

# 分蘖角度动态型水稻的形态特征及生长特性分析

康文启<sup>#</sup> 欧阳由男<sup>#</sup> 章善庆 董成琼 朱练峰 禹盛苗 许德海 金千瑜<sup>\*</sup>

(中国水稻研究所 水稻生物学国家重点实验室, 浙江 杭州 310006; <sup>#</sup> 共同第一作者; <sup>\*</sup> 通讯联系人, E-mail: jinqy@mail.hz.zj.cn)

## Morphological and Ontogenic Characterization of Rice with Dynamic Tiller Angle

KANG Wen qi<sup>#</sup>, OUYANG You nan<sup>#</sup>, ZHANG Shan qing, DONG Cheng qiong, ZHU Lian feng, YU Sheng miao, XU De hai, JIN Qian yu<sup>\*</sup>

(State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; <sup>#</sup> These authors contributed equally to this paper; <sup>\*</sup> Corresponding author, E-mail: jinqy@mail.hz.zj.cn)

**Abstract:** The tiller angle is very important for plant architecture and canopy structure in rice. Changes in tiller angle and relevant physiological and ecological characteristics were studied by using three varieties differed in tiller angle (9308, erect; M09, semi scattered; and DI508, semi scattered at the tillering stage and erect at the full heading stage) as materials. DI508 is characterized by fast growth at the tillering stage and erect culms after booting and its leaves maintain stable photosynthesis. At the initial tillering stage the tiller angles (between the horizontal and tiller) of the 1st, 2nd and 3rd tillers on the main culm in DI508 were 59.74°, 62.94° and 68.54°, respectively, similar to M09. After booting the angles changed into 90°, similar to erect rice 9308. The effective tiller rate of DI508 was 68.35%, 3.09 percent point higher than that of M09. And the mean dry biomass per plant of DI508 was 155.54 g at the maturity stage, being 15.84% and 64.09% higher than those of M09 and 9308 respectively. Meanwhile, the mean dry biomass per tiller of DI508 was 9.15 g, being 63.69% and 44.78% higher than those of M09 and 9308, respectively. From booting to maturity the photosynthetic ability of the top three leaves of DI508 was stable and strong, with mean net photosynthetic rates of 26.89, 25.69 and 24.83  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . Moreover, the potential roles of dynamic tiller angle character in rice breeding for high photosynthetic efficiency and high yielding was discussed.

**Key words:** rice (*Oryza sativa*); tiller angle; dynamic plant type; morphological characteristic; ontogeny

**摘要:** 以前期分蘖半散生、抽穗后直立的分蘖角度动态型水稻材料 DI508 为研究对象, 对照全生育期直立型材料 9308 和全生育期半散生型材料 M09, 研究了全生育期分蘖角度的变化和相关的生理生态特性。结果表明, DI508 在分蘖期具有明显的丛生快长和拔节后直立抽穗的特性, 生育后期上 3 叶功能稳定。其主茎的第 1、第 2 和第 3 分蘖在始蘖期与水平地面夹角平均值分别为 59.74°、62.94° 和 68.54°, 与半散生水稻材料 M09 表现一致, 抽穗后接近 90°, 与直立型水稻材料 9308 表现一致。DI508 的分蘖成穗率为 68.35%, 较 M09 的 66.24% 增加 3.09 个百分点。DI508 成熟期单株干物质质量为 155.54 g, 较 M09 和 9308 分别高 15.84% 和 64.09%; 平均单蘖干物质质量 9.15 g, 较 M09 和 9308 高 63.69% 和 44.78%。拔节后至成熟, DI508 的上 3 叶净光合速率平均值为 26.89、25.69 和 24.83  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 具有较强的光合功能。最后, 讨论了分蘖角度动态型水稻前期半散生快长、后期直立灌浆特性的生长优势以及在水稻高光效、高产育种上的潜在利用价值。

**关键词:** 水稻; 分蘖角度; 动态株型; 形态特性; 个体发育

中图分类号: Q944; S511.01

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2007)04-0372-07

水稻分蘖角度是指分蘖与水平地面的夹角, 它是构成水稻株型的重要因素之一, 也是构成水稻理想株型和高产的重要农艺性状, 在水稻育种中具有重要的意义<sup>[1]</sup>。随着我国矮秆水稻低脚乌尖和野败不育基因等特异材料的发现和利用, 水稻的产量取得了突破。对于以理想株型塑造与亚种间优势利用相结合的超高产水稻品种选育而言, 水稻新株型材料发掘尤为重要<sup>[2]</sup>。新株型材料是水稻高产性状基因的载体, 是水稻超高产育种的基础。围绕提高水稻分蘖成穗率、产量及其构成性状等方面, 国内外对水稻分蘖角度进行了大量的研究<sup>[3-5]</sup>。分蘖角度的遗传研究, 已经从普通遗传研究深入到利用遗传群体材料对分蘖角度的基因进行定位<sup>[6-13]</sup>。上

述有关水稻分蘖角度与株型研究, 主要从水稻生育前期或者齐穗后某一生育期, 分析和研究水稻分蘖角度的生理、生态和遗传特性。而从水稻分蘖发生开始直到抽穗、齐穗、成熟, 有关分蘖角度在全生育期的变化及其对生长发育的影响研究较少, 利用分蘖角度动态型水稻新材料的相关研究尚未见报道。本研究对新发现的“分蘖期半散生、抽穗后直立”的分蘖角度动态型水稻进行了形态、冠层光辐射

收稿日期: 2006-12-06; 修改稿收到日期: 2007-05-24。

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (M303373); 水稻生物学国家重点实验室开放基金资助项目。

第一作者简介: 康文启 (1981 - ), 男, 硕士研究生; 欧阳由男 (1975 - ), 男, 助理研究员。

以及光合特性的初步考查与分析,探讨了该分蘖角度动态变化株型材料对水稻高光效栽培和育种的潜在利用价值。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验内容

供试的分蘖角度动态型水稻材料 DI508(始蘖期半散生,抽穗后直立)由国家水稻改良中心提供;M09(CK1)在全生育期表现为半散生,来自于国家水稻突变体库;9308(CK2)全生育期直立,由中国水稻研究所国家水稻种质中期库提供。

试验于 2006 年单季稻生长季节在中国水稻研究所试验网室的栽培池进行。试验材料于 4 月 4 日播种。采用随机区组设计,每个水稻材料播种面积为 1.2 m×4.0 m,重复 3 次。水稻种植方法为穴播,播种规格为 25 cm×30 cm,每穴播种 3 粒芽谷,出苗后定单本。肥水及病虫草害管理同当地当年生产丰产田。

### 1.2 测定项目与方法

分蘖动态:水稻始蘖后开始调查茎蘖数,每品种每重复调查 10 株,每周 1 次,至高峰苗后分蘖总数下降至稳定后停止调查。齐穗期调查有效穗数。

分蘖角度:始蘖后选取生长健壮一致的 10 株水稻,每周测量主茎一次分蘖的第 1、2 和 3 分蘖角度直至齐穗。分蘖角度测量方法参考文献[8]。

冠层幅度:播后第 34 天(5 月 8 日),选取健壮一致的 10 株稻株测量植株冠层幅度,每周 1 次。测量时以离地面一定高度相隔最远的分蘖距离为冠层幅度值。5 月 8 日—5 月 22 日(分蘖期)以离地面

10 cm 为测量高度;5 月 29 日—6 月 12 日(分蘖盛期)以离地面 15 cm 为测量高度;6 月 19 日—7 月 16 日(孕穗期)以离地 30 cm 为测量高度。

透光率:用东京光电株式会社生产的 ANA-313 型照度计,于始蘖期、分蘖期、分蘖盛期、拔节期、孕穗期、齐穗期,成熟期测量水稻冠层光照强度(light intensity, LI)[单位: $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ],透光率(light transmission rate, LTR)计算公式如下:

$$\text{LTR} = \frac{\text{LI}_{\text{群体内}}}{\text{LI}_{\text{植株顶部}}} \times 100\%$$

叶面积:应用美国 LI-COR 公司生产的 LI-3000C 便携式叶面积仪测量叶面积,并计算叶面积指数。每水稻材料测量健康一致的水稻 3 株。

净光合速率:应用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 光合测定仪,于晴好天气的上午测量水稻孕穗期、齐穗期和灌浆期上 3 叶的净光合速率。测定光通量密度设定为 2000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。各水稻材料测量健康一致的水稻 3 株,每株测量 5 个分蘖,测定位置为分蘖上 3 叶的中部。

干物质质量:分别于分蘖期、分蘖高峰期、孕穗期、齐穗期、灌浆期和成熟期取样调查,每品种每次取健康一致的水稻 3 株,样品烘干方法参照文献[14]。

## 2 结果与分析

### 2.1 分蘖角度及茎蘖数

由图 1 可知,在 7 月 3 日前,DI508 的 3 个分蘖角度与 M09 基本类似,均较 9308 小,表现出半散生特性。7 月 3 日后 DI508 的 3 个分蘖角度逐渐增大,至齐穗期分蘖直立,与 9308 趋于一致,植株表现

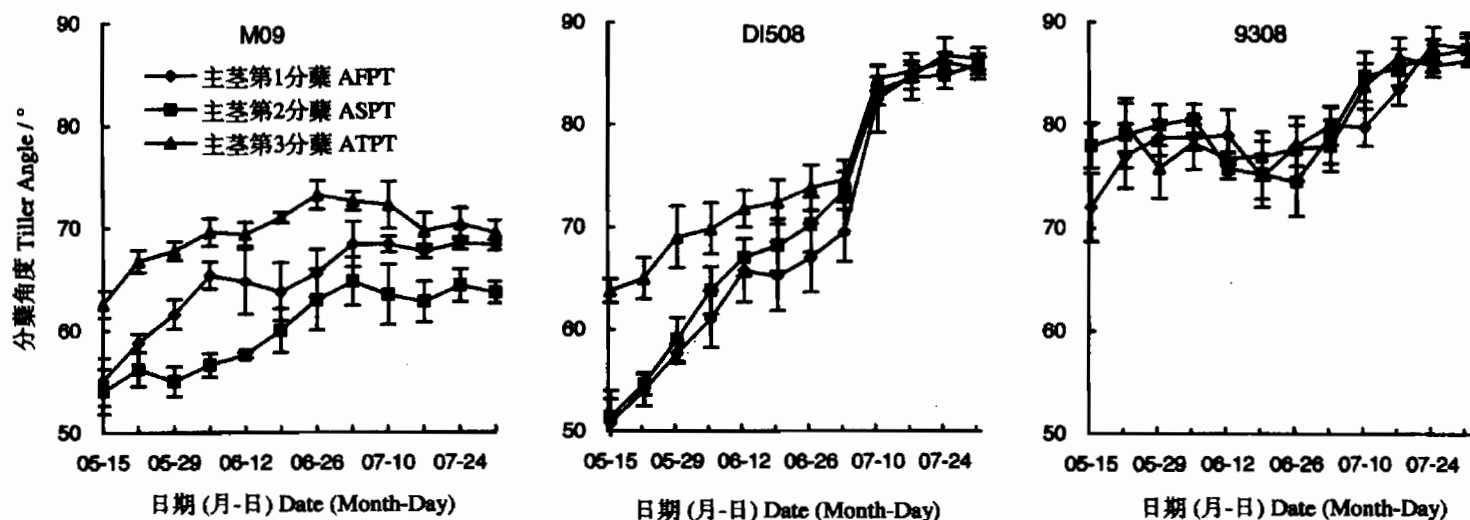


图 1 水稻主茎一次分蘖角度的变化

Fig. 1. Angle variation of the primary tiller of the main culm in rice.

AFPT、ASPT 和 ATPT 分别表示水稻主茎的第 1、第 2 和第 3 分蘖。

AFPT, ASPT and ATPT indicate the first, second and third primary tillers of the main culm in rice.

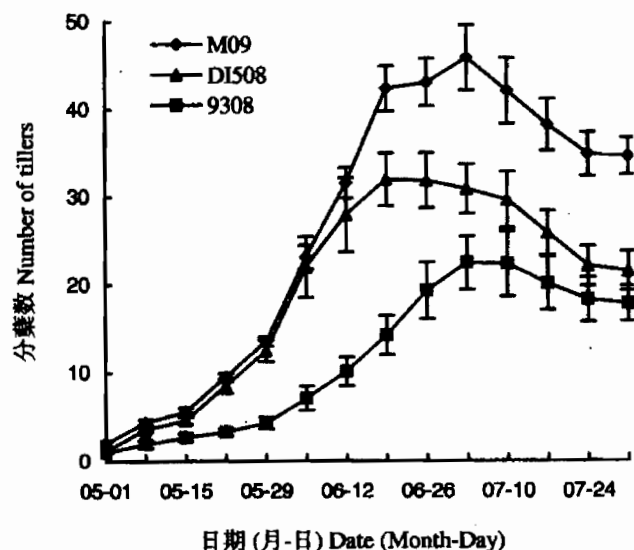


图2 不同分蘖角度变化特性水稻的茎蘖动态  
Fig. 2. Tiller number variation of rice with different tiller angles.

为直立型。

由图2可知,半散生型水稻材料M09和分蘖角度动态型水稻材料DI508的茎蘖数在始蘖后增加迅速,直立型水稻材料9308增加较为缓慢。DI508植株分蘖达到最高峰的天数较M09、9308均缩短了14 d。从始蘖到分蘖高峰,DI508和M09的分蘖增长速率为0.64个/d和0.63个/d,9308为0.34个/d。DI508、M09和9308的分蘖成穗率分别为68.35%、66.24%和73.82%。

## 2.2 植株冠层特性及其透光率分析

由图3-A可知,从5月8日测量开始,3个试验水稻材料的冠层幅度逐渐增加。其中,DI508和M09于6月20日前后达最大,9308于6月27日达最宽。在6月20日前,DI508和M09冠层幅度相近,均高于9308。在6月20日后DI508冠层幅度开始下降,至7月18日与9308相当,而M09的冠层幅度于7月11日后保持在22.5 cm,仍为半散生型。图3-B表明,3个试验水稻材料植株基部幅度随着生育进程而增加。DI508的植株基部幅宽在6月27日后增长减缓,在5月8日到7月11日与M09趋势一致,7月11日之后趋向9308。由3个试验水稻植株的冠层及基部幅宽的变化可知,DI508田间表现出前期半散生、后期直立的分蘖角度变化特性。

由图3-C可知,DI508在7月3日之前,收敛指数(测量处高度与冠层幅度的比值)平均为0.90;7月3日以后,收敛指数平均为2.35。表现为前期收敛指数小、植株松散;后期收敛指数增大、植株紧凑。在测量期间(分蘖期至孕穗期)半散生型水稻材料

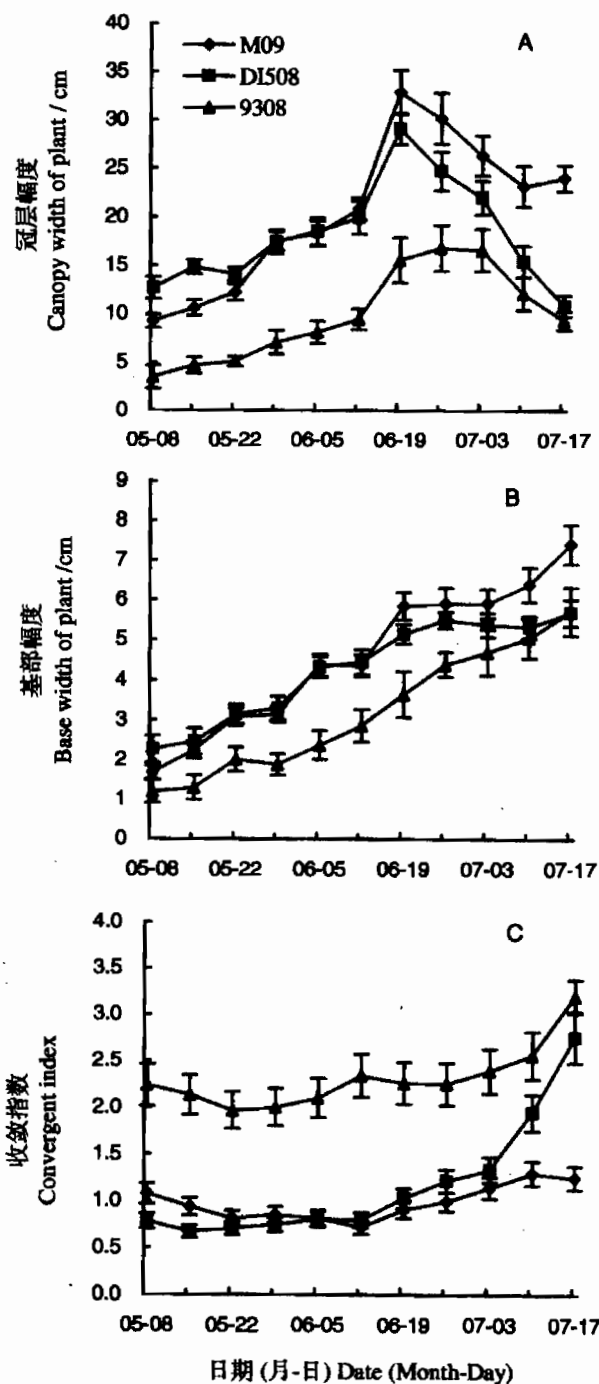


图3 不同分蘖角度特性水稻的冠层幅度(A)和基部幅度(B)以及植株收敛指数(C)

Fig. 3. Width of plant canopy(A), width of plant base(B) and the convergent index(C) of rice with different tiller angles.

M09的收敛指数变化不明显,平均值为0.98;直立型水稻材料9308的收敛指数平均为2.31,与植株田间表现出的直立特性相一致。比较3个不同分蘖角度特性水稻材料,DI508拔节孕穗期前与M09一致,收敛指数小,拔节后则与9308一致,收敛指数增大,田间表现直立。

从测定的4株水稻中间位置地表和离地表30 cm处的透光率数据可知,3个试验材料的群体透光率基本符合随生育进程而减小的趋势(表1)。直立型9308群体透光率在各生育期较M09和DI508大。分蘖期,DI508的平均透光率较散生型M09的小,田间表现为分蘖角度大、株型较M09更为松散。

表 1 不同生育期的水稻群体透光率

Table 1 . Light transmission rate at different growth stages .

| 水稻材料<br>Rice material       | 分蘖期<br>Tillering stage<br>(05 08) | 分蘖盛期<br>Maximum<br>tillering stage<br>(05 29) | 拔节期<br>Elongating<br>stage<br>(06 19) | 孕穗期<br>Booting<br>stage<br>(07 16) | 齐穗期<br>Full heading<br>stage<br>(07 31) | 灌浆期<br>Grain filling<br>stage<br>(08 07) | 成熟期<br>Maturity<br>stage<br>(09 02) |
|-----------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------------|------------------------------------|---|--|-------------------------------------|
| 离地 30 cm 30 cm above ground |                                   |   |                                       |                                    |   |  |                                     |
| DI508                       | 32.21 c                           | 17.72 c                                       | 24.58 b                               | 25.31 b                            | 16.45 b                                 | 10.16 b                                  | 8.68 b                              |
| M09                         | 67.05 a                           | 32.91 b                                       | 25.34 b                               | 19.45 b                            | 12.35 c                                 | 7.07 c                                   | 9.42 b                              |
| 9308                        | 46.61 b                           | 49.86 a                                       | 52.14 a                               | 45.28 a                            | 41.36 a                                 | 38.93 a                                  | 35.58 a                             |
| 地面 Near to ground           |                                   |   |                                       |                                    |   |  |                                     |
| DI508                       | 19.87 b                           | 12.83 b                                       | 16.98 b                               | 19.46 ab                           | 10.43 b                                 | 8.83 b                                   | 7.11 b                              |
| M09                         | 36.19 a                           | 17.41 b                                       | 12.13 b                               | 10.37 b                            | 8.92 b                                  | 5.44 c                                   | 7.33 b                              |
| 9308                        | 37.48 a                           | 41.19 a                                       | 46.16 a                               | 28.67 a                            | 26.73 a                                 | 30.61 a                                  | 25.87 a                             |

每列数据后具相同字母者表示 Duncan s 新复极差检测在  $P < 0.05$  水平差异不显著。下表同。

Data followed by the common letters within a column are not significantly different at the  $P < 0.05$  level by DMRT .The same as in tables below .

表 2 不同生育期的水稻叶面积及叶面积指数

Table 2 . Leaf area and leaf area index at different growth stages .

| 水稻材料<br>Rice material                            | 分蘖期<br>Tillering stage<br>(05 08) | 分蘖盛期<br>Maximum<br>tillering stage<br>(05 29) | 拔节期<br>Elongating<br>stage<br>(06 19) | 孕穗期<br>Booting<br>stage<br>(07 16) | 齐穗期<br>Full heading<br>stage<br>(07 31) | 灌浆期<br>Grain filling<br>stage<br>(08 07) | 成熟期<br>Maturity<br>stage<br>(09 02) |
|--|-----------------------------------|---|---------------------------------------|------------------------------------|---|--|-------------------------------------|
| 单株总叶面积 Total leaf area per plant/cm <sup>2</sup> |                                   |   |                                       |                                    |   |  |                                     |
| DI508  | 2247.39 a                         | 5691.39 a                                     | 5422.72 a                             | 6096.43 a                          | 5199.87 a                               | 4499.55 a                                | 3764.95 a                           |
| M09  | 1205.40 ab                        | 3620.46 b                                     | 3808.79 b                             | 3793.49 b                          | 4142.58 b                               | 2749.55 b                                | 2239.38 b                           |
| 9308   | 980.02 b                          | 2650.44 c                                     | 3240.82 b                             | 2980.58 b                          | 2935.67 c                               | 2401.41 b                                | 1748.84 b                           |
| 群体叶面积指数 Leaf area index                          |                                   |   |                                       |                                    |   |  |                                     |
| DI508  | 3.00 a                            | 7.59 a  | 7.23 a                                | 8.13 a                             | 6.93 a                                  | 6.00 a                                   | 5.02 a                              |
| M09  | 1.61 ab                           | 4.83 b  | 5.08 b                                | 5.06 b                             | 5.52 b                                  | 3.67 b                                   | 2.99 b                              |
| 9308   | 1.31 b                            | 3.53 c  | 4.32 b                                | 3.97 b                             | 3.91 c                                  | 3.20 b                                   | 2.33 b                              |

分蘖盛期 ,DI508 和 M09 的群体透光率均迅速减小 ,DI508 在拔节期有所增大。拔节期至齐穗期 ,DI508 的群体透光率大多较 M09 大。这与 DI508 直立抽穗的田间表型一致。由于灌浆后籽粒的重力牵引使得 DI508 植株上部的伸长节间弯曲 ,群体透光率测量值与 M09 趋向一致。

同时 ,在不同生育期 ,各品种的叶面积基本呈先增后降的趋势(表 2)。DI508 的单株总叶面积及其叶面积指数均较 M09 和 9308 大 ,差异达显著水平。其中 ,分蘖盛期至齐穗期 ,DI508 的叶面积指数平均为 7.47 ,而对照 M09 和 9308 则分别为 5.12 和 3.93 ,DI508 表现出较大的叶面积优势。至成熟期 ,DI508 叶面积仍保持较高水平 ,表现为青秆黄熟。

### 2.3 净光合速率和地上部干物质质量

对 3 个水稻生殖生长时期上 3 叶的净光合速率测量的结果表明 ,所有 3 个水稻材料上 3 叶的净光

合速率从孕穗期到灌浆期表现出下降的趋势(表 3)。其中 ,DI508 上 3 叶的净光合速率从孕穗期到灌浆期分别下降了 1.03、2.74 和 0.72  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  ,平均为 1.40  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  ,直立型水稻材料 9308 下降幅度与 DI508 相近 ,而 M09 则分别下降了 4.59、5.01 和 4.95  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  ,平均下降了 4.85  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  ,与 DI508 和 9308 相比 ,M09 下降显著。上 3 叶净光合作用下降幅度表明在生殖生长时期 ,特别是在灌浆期 DI508 上 3 叶具有较强的功能活性 ,这对它后期的灌浆物质形成、促进籽粒灌浆饱满具有重要的作用。

由表 4 可知 ,3 个试验材料的地上部的单株平均干物质质量及分蘖干物质质量随生育进程而增加 ,DI508 全生育积累的单株干物质质量与 M09 差异不显著 ,但由于平均茎蘖数较 M09 少(图 1) ,所以其平均单蘖的干物质质量较 M09 大 ;DI508 全生育期积累

表 3 水稻生育后期上 3 功能叶净光合速率

Table 3 . Net photosynthetic rates of the top three leaves at the reproductive stage in rice . μmol/(m<sup>2</sup> · s)

| 水稻材料<br>Material | 剑叶 Flag leaf                   |                                     |                                      | 倒 2 叶 The 2nd leaf from the top |                                     |                                      | 倒 3 叶 The 3rd leaf from the top |                                     |                                      |
|------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
|                  | 孕穗期<br>Booting<br>stage(07 17) | 齐穗期<br>Full heading<br>stage(07 31) | 灌浆期<br>Grain filling<br>stage(08 07) | 孕穗期<br>Booting<br>stage(07 17)  | 齐穗期<br>Full heading<br>stage(07 31) | 灌浆期<br>Grain filling<br>stage(08 07) | 孕穗期<br>Booting<br>stage(07 17)  | 齐穗期<br>Full heading<br>stage(07 31) | 灌浆期<br>Grain filling<br>stage(08 07) |
| DI508            | 27.39 b                        | 26.93 bc                            | 26.36 c                              | 27.19 b                         | 25.15 cd                            | 24.73 cd                             | 25.24 b                         | 24.73 bc                            | 24.53 c                              |
| M09              | 29.27 a                        | 29.45 a                             | 24.68 d                              | 28.71 a                         | 28.38 a                             | 23.70 e                              | 27.86 a                         | 27.88 a                             | 22.91 d                              |
| 9308             | 26.36 c                        | 26.22 c                             | 26.42 c                              | 25.45 c                         | 24.73 cd                            | 24.42 de                             | 25.33 b                         | 24.53 c                             | 23.13 d                              |

表 4 水稻单株和单蘖地上部的干物质量

Table 4 . Dry biomass weight per plant and per tiller of the above ground in rice .

| 水稻材料<br>Rice material   | 苗期<br>Seedling<br>stage<br>(05 08) | 分蘖期<br>Tillering<br>stage<br>(05 29) | 分蘖盛期<br>Maximum<br>tillering stage<br>(06 19) | 孕穗期<br>Booting<br>stage<br>(07 16) | 齐穗期<br>Full heading<br>stage<br>(07 31) | 灌浆期<br>Grain filling<br>stage<br>(08 07) | 成熟期<br>Maturity<br>stage<br>(09 02) |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------------|---|--|-------------------------------------|
| 地上部植株干物质量<br>Above ground biomass per plant / (g · plant <sup>-1</sup> )    |                                    |                                      |   |                                    |   |  |                                     |
| DI508   | 0.44 a                             | 14.73 a                              | 85.68 a                                       | 103.80 a                           | 109.74 a                                | 114.78 a                                 | 155.54 a                            |
| M09   | 0.32 b                             | 9.70 ab                              | 43.48 b                                       | 78.98 a                            | 90.95 a                                 | 103.08 a                                 | 134.27 a                            |
| 9308  | 0.27 b                             | 7.02 b                               | 28.67 c                                       | 49.31 b                            | 50.69 b                                 | 69.65 b                                  | 94.79 b                             |
| 地上部每分蘖干物质量<br>Above ground biomass per tiller / (g · tiller <sup>-1</sup> ) |                                    |                                      |   |                                    |   |  |                                     |
| DI508   | 0.09 b                             | 0.80 a                               | 1.99 a  | 4.61 a                             | 4.88 a                                  | 6.20 a                                   | 9.15 a                              |
| M09   | 0.09 b                             | 0.72 a                               | 0.99 b  | 3.47 b                             | 3.37 b                                  | 4.30 b                                   | 5.59 b                              |
| 9308  | 0.11 a                             | 0.74 a                               | 1.37 b  | 2.35 c                             | 3.62 b                                  | 3.67 b                                   | 6.32 b                              |
| 干物质积累速率<br>Rate of biomass accumulation / (g · d <sup>-1</sup> )            |                                    |                                      |   |                                    |   |  |                                     |
| DI508   | 0.0129 a                           | 0.6805 a                             | 3.3786 a                                      | 0.6711 b                           | 0.3960 b                                | 0.7200 c                                 | 1.5677 a                            |
| M09   | 0.0094 b                           | 0.4467 b                             | 1.6086 b                                      | 1.3148 a                           | 0.7980 a                                | 1.7329 b                                 | 0.9174 b                            |
| 9308  | 0.0032 c                           | 0.3214 c                             | 1.0310 b                                      | 0.7644 b                           | 0.0920 c                                | 2.7086 a                                 | 0.7394 b                            |

的单株干物质量显著高于 9308 ,而平均茎蘖数相差不大 ,故平均单蘖的干物质量显著高于 9308。从水稻地上部的干物质积累可知分蘖具有半散生 挺立特性的 DI508 单株的干物质生产能力较半散生的 M09 强 ,单个分蘖健壮 ,这奠定了它早分蘖、高成穗率的物质基础。而各品种干物质积累速率大致呈增加 减小 再增加的趋势。其中 ,DI508 在分蘖期干物质积累速率持续增大 ,至分蘖盛期达最大 ,且与 M09 和 9308 差异达显著水平 ;抽穗后 ,干物质积累速率减小并一直较低 ,灌浆后则骤增 ,表现出明显的分蘖期快长特性 ,而 M09 和 9308 则并没有该特性。

### 3 讨论

分蘖是水稻生长发育的习性 ,分蘖发生及其在植株个体和群体条件下的时间和空间上的变化决定了水稻植株的光能利用、同化物形成和经济产量形成<sup>[15]</sup>。为了促进水稻早发分蘖和提高分蘖成穗率 ,国内外学者进行了大量的水肥调控等农艺栽培管理技术研究<sup>[16]</sup>。在水稻品种选育过程中分蘖特性是重要的选择指标之一<sup>[17-20]</sup>。近年来 ,对水稻分蘖特

性的研究已经深入到分子水平 ,水稻分蘖发生的关键基因已经克隆<sup>[13]</sup>。随着分蘖的发生和死亡 ,水稻的群体呈现出由小苗小群体到大苗大群体 ,再下降直到稳定的过程。在水稻生育前期 ,由于分蘖发生缓慢、分蘖小使得水稻群体叶面积小、光合面积小、稻田裸露、多杂草滋生。具分蘖散生特性的水稻品种较直立型品种 ,在前期具有光合叶面积大、封行早等优点。新发现的分蘖角度动态型水稻材料 DI508 的分蘖角度和植株冠层幅度在分蘖期与半散生型水稻材料 M09 一致 ,即分蘖半散生、冠层幅度较大 ,在抽穗后其分蘖表型和直立型水稻材料 9308 一致 ,即分蘖直立、冠层幅度减小。植株收敛指数的试验数据同样表明分蘖角度动态型水稻材料 DI508 前期低收敛、松散 ,后期高收敛、紧凑的株型动态变化过程。

不同稻区的水稻育种家根据本稻区的适栽水稻品种特性和光温生态条件 ,分别提出了各自适宜的水稻育种理论和高产品种<sup>[21-22]</sup>。根据籼稻品种特性及南方稻作光温生态条件 ,20 世纪 80 年代黄耀祥院士等<sup>[23]</sup>提出以前期“丛生早长”为核心的水稻株型 ,强调在水稻营养生长期构建较长、较厚和较大

的叶片(叶鞘),提高叶面积指数,保证后期穗大粒多。在该理论指导下,选育并推广了特青和胜优等半矮秆早长型超高产品种,并实现了单产 12 862.5 kg/hm<sup>2</sup> (857.5 kg/亩)的超高产水平。本试验分蘖角度动态型水稻材料 DI508 在抽穗前株型半散生,单株叶面积及群体叶面积指数分别为 5422.72 cm<sup>2</sup> 和 7.23,群体近地表处的透光率为 32.21%,表现为群体受光面积显著大于 M09 和 9308;其分蘖期单株干物质质量均较 M09 和 9308 高,且分蘖期至分蘖盛期的干物质积累速率显著大于 M09 和 9308,表现出分蘖期显著的“丛生快长”特性。同时,由于最高茎蘖数和有效穗数较半散生株型水稻材料 M09 多、分蘖成穗率高,其单分蘖的干物质质量显著提高,这一生育前期表现出的较强的分蘖势和生长势使它具有获取高产超高产的潜力。而根据我国东北稻区粳稻品种的灌浆结实特性和后期温度较低等生态特点,杨守仁等<sup>[22]</sup>基于粳稻品种后期生长制约因子提出理想粳稻株型三要素,并认为直立株型有利于改善群体结构和受光姿态。本试验水稻材料 DI508 在拔节抽穗后,分蘖与地面的夹角逐渐增大,在齐穗期接近 90°,植株表现茎秆直立、叶片挺立。在灌浆成熟期,DI508 和 9308 的上 3 功能叶净光合速率没有显著下降,均保持在较高的水平(表 3),而半散生型水稻材料 M09 的上 3 功能叶净光合速率显著下降;此时,DI508 的干物质增长速率为 1.5677 g/d,与对照的差异达极显著水平。这些结果均证明了分蘖角度动态型水稻材料 DI508 具有与杨守仁教授提出的水稻成熟期直立株型相类似的高产超高产潜力。因此,分蘖角度动态型水稻材料 DI508 在全生育期,分蘖角度从半散生到直立的变化,结合了“丛生快长”和“直立灌浆结实”这两个水稻高产超高产生长所必需的特性,使它具有作为高产超高产株型改良材料的重要潜质。

分蘖角度对于水稻株型构成具有重要意义,理想的群体结构是空间内茎叶排布合理,有利于充分利用光能并有利于通风和减少病虫害的发生。水稻育种实践表明,一方面,水稻分蘖角度与纹枯病等病害抗性有直接的关系,一般来说株型较为松散的发病程度较轻;另一方面,水稻分蘖角度与产量呈负相关,即分蘖角度太大,影响群体产量构成,使产量降低。因此,在育种实践中,需要筛选出分蘖角度适当的品种,使株型表现为前期松散后期紧凑的特点。王贵学等<sup>[24]</sup>报道了生育前期叶片披垂、后期叶片直立的动态株型水稻材料沪香 90A,认为水稻前期叶

片披垂,提高了叶片的载光,从而提高了光能利用率,有利于后期的籽粒灌浆及增产。而分蘖角度动态型水稻材料 DI508 很好地满足这一特点,其前期的散生快长,使得秧苗在分蘖期具有较强的生长优势,分蘖早发、成穗率较高;后期的直立抽穗,茎秆挺拔,能够提高植株的抗倒伏力,适于机械收割;上 3 叶叶色浓绿、直挺,功能期长。对 DI508 新材料进行生理生态研究,可望取得水稻动态超高产新株型研究的开拓性进展,丰富水稻超高产新株型理论,并可为水稻超高产育种提供新材料,为通过育种手段解决超高产水稻栽培的密植多病虫、根系早衰、直播高产倒伏等问题提供一条可能的途径。从水稻株型分蘖角度特性进行研究,还可以为水稻有害生物防治,解决水稻超高产与环境污染的矛盾提供新思路。

谢辞:国家水稻改良中心、中国水稻研究所国家水稻种质中期库和国家水稻突变体库提供试验材料,在此深表谢意。

#### 参考文献:

- [1] 闵绍楷,申宗坦,熊振民.水稻育种学.北京:中国农业科技出版社,1996.
- [2] 杨守仁,张龙步,陈温福,等.水稻超高产育种的理论和方法.中国水稻科学,1996,10(2):115-120.
- [3] 余柳青,陆永良,周勇军,等.相同遗传背景不同植株形态水稻等基因系与杂草的竞争及化感作用.应用生态学报,2005,16(4):721-725.
- [4] 于亚辉,徐正进.不同栽培条件下水稻分蘖角度动态变化分析.中国农学通报,2006,22(2):179-181.
- [5] Nori K, Kazumaru M, Ken-ichi N, et al. Rice mutants and genes related to organ development, morphogenesis and physiological traits. *Plant Cell Physiol*, 2005, 46(1): 48-62.
- [6] Xu Y B, Susan R M, Shen Z T. Transgressive segregation of tiller angle in rice caused by complementary gene action. *Crop Sci*, 1998, 38: 12-19.
- [7] Qian Q, He P, Teng S, et al. QTL analysis of rice (*Oryza sativa* L.) tiller angle in a double haploid population derived from anther culture of indica/japonica. *Chinese Rice Res News*, 1999, 7(4): 1-2.
- [8] 余传元,刘裕强,江玲,等.水稻分蘖角度 QTL 定位和主效基因的遗传分析.遗传学报,2005,32(9):948-954.
- [9] 沈圣泉,庄杰云,包劲松,等.水稻分蘖最大角度的 QTL 分析.农业生物技术学报,2005,13(1):16-20.
- [10] Yan J Q, Zhu J, He C X, et al. Molecular marker assisted dissection of genotype x environment interaction for plant type traits in rice (*Oryza sativa* L.). *Crop Sci*, 1999, 39: 538-544.
- [11] Li Z K, Andrew H P, Shannon R M P, et al. RFLP facilitated analysis of tiller and leaf angles in rice (*Oryza sativa* L.).

- Euphytica*, 1999, 109 : 79-84 .
- [12] 李培金, 曾大力, 刘新仿, 等. 水稻散生突变体的遗传和基因定位研究. 科学通报, 2003, 48(21) : 2271-2274 .
- [13] Li X Y, Qian Q, Fu Z M, et al. Control of tillering in rice. *Nature*, 2003, 422 : 618-621 .
- [14] 凌启鸿, 苏祖芳, 张海泉. 水稻成穗率与群体质量的关系及其影响因素的研究. 作物学报, 1995, 21(4) : 464-469 .
- [15] 梁康迳, 林文雄, 王雪仁, 等. 籼型三系杂交水稻茎蘖数的发育遗传研究. 中国农业科学, 2002, 35(9) : 1033-1039 .
- [16] Xu Y B, Shen Z T. Diallel analysis of tiller number at different growth stages in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor Appl Genet*, 1991, 83 : 243-249 .
- [17] Yang S R, Zhang L B, Xu Z J, et al. Basic research on rice breeding for ideal plant morphology and a comparison of achievements with those of parallel studies at home and abroad. *Chinese J Rice Sci* (中国水稻科学), 1993, 7(3) : 187-192 .
- [18] Ken I. Identification of a locus increasing rice yield and physiological analysis of its function. *Plant Physiol*, 2003, 133 : 1083-1090 .
- [19] Kim J K, Vergara B S. A low tillering ideotype of rice plant for increasing grain yield potential. *Kor J Crop Sci*, 1991, 36(2) : 134-142 .
- [20] Khush G S. Prospects and approaches to increasing the genetic yield potential of rice// Herdt R W, Hossain M, Evenson R E. *Rice Research in Asia: Progress and Priorities*. Wallingford : CAB International and IRRI, 1996 : 59-71 .
- [21] Chen Y D, Wan B H, Zhang X. Plant ideotype at heading for super high yielding rice in double cropping system in south China. *Rice Sci*, 2005, 12(2) : 92-100 .
- [22] 杨守仁, 张龙步, 王进民. 水稻理想株形育种的理论和方法初论. 中国农业科学, 1984, 17(3) : 6-13 .
- [23] Huang Y X. Foundation and new development on the scientific system of rice ecological breeding. *Chinese Rice Res News*, 2000, 8(2) : 13-14 .
- [24] 王贵学, 黄俊丽, 金良, 等. 水稻动态株型材料的遗传特性. 重庆大学学报: 自然科学版, 2006, 29(7) : 108-110 .