

# 氮肥和密度对双季杂交稻干物质积累和产量的影响\*

刘文祥<sup>1</sup> 青先国<sup>2\*\*</sup> 艾治勇<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 湖南农业大学生物科技学院, 长沙 410128; <sup>2</sup> 湖南省农业厅, 长沙 410005; <sup>3</sup> 国家杂交水稻工程技术研究中心, 长沙 410125)

**摘要** 以早稻“陆两优 996”, 晚稻“Y 两优 86”为试验品种, 设 4 个氮肥水平、3 个栽插密度, 研究了双季超级杂交稻在不同氮肥水平和栽插密度条件下的干物质积累、冠层光能截获率和产量及其构成因素的特性。结果表明: 早晚稻产量与氮肥水平呈现单峰曲线关系, 以中氮处理产量最高, 分别为 10245.04 和 11015.37 kg · hm<sup>-2</sup>, 有效穗随施氮量的增加而增加, 但每穗实粒数以中氮处理(早 N135、晚 N180)最高, 分别达 143.92 和 142.80 粒 · 穗<sup>-1</sup>; 3 个栽插密度之间早晚稻产量差异不显著, 且对早稻产量构成因子无显著影响, 但对晚稻有效穗、结实率的影响有极显著差异, 高密度处理有效穗高、结实率低, 低密度处理有效穗低、结实率高; 氮肥与密度互作对早晚稻产量均无显著影响, 但从高产高效节氮栽培综合考虑, 双季早稻“陆两优 996”和晚稻“Y 两优 86”的适宜施氮量分别为 135 和 180 kg · hm<sup>-2</sup>, 栽插密度为 45 × 10<sup>4</sup> 和 30 × 10<sup>4</sup> 穴 · hm<sup>-2</sup>。

**关键词** 氮肥水平; 干物质积累; 光能截获率; 产量

**中图分类号** S963 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)12-3094-08

**Effects of nitrogen fertilization rate and transplanting density on the dry matter accumulation and grain yield of double season rice.** LIU Wen-xiang<sup>1</sup>, QING Xian-guo<sup>2\*\*</sup>, AI Zhi-yong<sup>3</sup> (<sup>1</sup> College of Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; <sup>2</sup> Hunan Agricultural Bureau, Changsha 410005, China; <sup>3</sup> National Hybrid Rice Research Center, Changsha 410125, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(12): 3094-3101.

**Abstract:** Taking early rice variety Luliangyou 996 and late rice variety Y-liangyou 86 as test materials, a field experiment with 4 nitrogen (N) fertilization rates and 3 transplanting densities was conducted to study the effects of N fertilization rate and transplanting density on the plant dry matter accumulation, canopy solar energy interception rate, grain yield and its components of double season super hybrid rice. A single peak curve relationship was observed between the N fertilization rate and grain yield of test varieties. A medium N fertilization rate could obtain the maximum yield, with 10245.04 kg · hm<sup>-2</sup> for Luliangyou 996 and 11015.37 kg · hm<sup>-2</sup> for Y-liangyou 86. The effective panicles increased with increasing N fertilization rate, but the filled grain number per panicle reached the peak at medium N fertilization rate (N135 for Luliangyou 996 and N180 for Y-liangyou 86), with the grain · panicle<sup>-1</sup> being 143.92 and 142.80, respectively. Transplanting density had minor effects on the grain yields of both Luliangyou 996 and Y-liangyou 86 and the yield components of Luliangyou 996, but had significant effects on the effective panicles and seed setting rate of Y-liangyou 86. High transplanting density induced high effective panicles but low seed setting rate, while low transplanting density was in adverse. The interaction of N fertilization rate and transplanting density had no significant effects on the grain yields of Luliangyou 996 and Y-liangyou 86, but, in terms of high yielding and high fertilizer N use efficiency, the optimal N fertilization rate for Luliangyou 996 and Y-liangyou 86 was 135 and 180 kg · hm<sup>-2</sup>, and the optimal transplanting density for Luliangyou 996 and Y-liangyou 86 was

\* 国家粮食丰产科技工程湖南专项(2011BAD16B01)和湖南省农业科学院创新基金项目(2009hnnkycx24)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: qingxianguo@163.com

收稿日期: 2012-05-05 接受日期: 2012-09-06

$45 \times 10^4$  and  $30 \times 10^4$  clusters  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>, respectively.

**Key words:** nitrogen fertilization rate; dry matter accumulation; solar energy interception rate; yield.

氮素是对水稻生长发育影响最大营养元素之一,它与水稻产量形成关系密切,因此农民常通过加大氮肥用量来获得高产。近年来随着超级杂交稻的推广,产量虽逐年上升,但氮肥用量也越来越大(彭少兵等,2002;宇万太等,2006)。氮肥过度施用不仅使氮素增产效率下降,还会增加水稻生产成本和加重病虫害(Cassman *et al.*, 2002;钟旭华等,2007);而适宜的氮肥用量,不但有增产作用(自由路等,2007),还可以减少因过量施氮造成的环境污染(凌启鸿,2000;晏娟等,2008)。氮肥和密度水平通过对水稻群体的综合调控,来影响干物质的形成、分配和积累,但前人关于水稻群体干物质积累和分配特性的研究,大多是针对品种类型、肥料或一季稻等单一因子进行的。

通过对湖南 14 个县市区两年的施肥状况调查,发现,当前湖南水稻生产平均氮肥用量为 180.2 kg  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>,最高的达 235.5 kg  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>(陈德华等,2005)。特别是超高产耐肥性强的超级杂交稻的推广,实际施氮量随着栽插密度的稀植、超稀植而进一步增大。因此,针对当前水稻生产普遍存在氮肥用量大的问题,本研究在保证水稻产量的前提下采用不同氮肥和密度水平构建的群体为材料,研究氮肥和密度水平对水稻干物质积累和产量的影响,旨在为湖南双季稻节氮高效栽培提供一定的理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地点及供试材料

试验于 2011 年在湖南省水稻研究所试验田进行(长沙,112°59'E,28°13'N,该区属于亚热带季风气候,春末夏初多雨,夏末秋季多旱,年平均气温 16.8 ℃ ~ 17.2 ℃),前作为冬闲田,有机质含量 35.6 g  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>,全氮 2.28 g  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>,全磷 0.51 g  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>,全钾 10.5 g  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>,速效氮 145.6 g  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>,速效磷 1.82 g  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>,速效钾 140.0 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>。早晚稻分别以“陆两优 996”、“Y 两优 86”为试验材料。

### 1.2 试验设计

裂区设计,随机排列,氮肥水平为主区。施氮量早稻为纯 N0(CK)、90、135、180 kg  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>,用 N0、N90、N135、N180 表示;晚稻为纯 N0(CK)、135、180、

225 kg  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>,用 N0、N135、N180、N225 表示。密度为副区,栽插密度早稻为 13.32 cm  $\times$  16.65 cm、16.65 cm  $\times$  19.98 cm、19.98 cm  $\times$  23.31 cm 分别用 M45、M30、M22 表示;晚稻为 16.65 cm  $\times$  19.98 cm、19.98 cm  $\times$  23.31 cm、23.31 cm  $\times$  26.64 cm 用 M30、M22、M16 表示。各小区面积为 15 m<sup>2</sup>,3 次重复,共 36 个小区。

早稻 3 月 24 日播种,4 月 23 日移栽,收获期为 7 月 15 日;晚稻 6 月 20 日播种,7 月 18 日移栽。各主区间起双埂隔离,埂上覆膜,实行单独排灌。早晚稻各处理均施过磷酸钙 600 kg  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>、氯化钾 225 kg  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>。氮肥分 3 次施用,基肥:蘖肥:穗肥 = 4:4:2;磷肥全部用作基肥;钾肥基、穗肥各占 50%。按超高产栽培的原则,进行田间水分管理和病虫害防治。

### 1.3 测定方法

**1.3.1 叶面积指数动态** 于分蘖盛期、孕穗期(剑叶全展)、齐穗期(抽穗 80%)、乳熟期、蜡熟期每小区选取有代表性的植株 3 株,用长宽系数法测定叶面积(叶面积 = 叶长  $\times$  叶宽  $\times$  0.75),并计算叶面积指数。

**1.3.2 干物质生产** 于分蘖盛期、孕穗期(剑叶全展)、齐穗期(抽穗 80%)、乳熟期、蜡熟期每小区选取有代表性的植株 5 株,洗净然后剪除根系,分叶片、茎(包括叶鞘)及穗等 3 部分装袋,在 105 ℃ 下杀青 20 min,再置于 80 ℃ 干燥箱中烘干至恒重,最后称取干重。

**1.3.3 冠层叶片 SPAD 值** 于齐穗期、乳熟期和蜡熟期,每小区随机选择稻株 10 株,用 SPAD-502 型便携式叶绿素含量测定仪进行活体测定,每株选剑叶和倒二、倒三叶中部、中部上端 3 cm 处和中部下端 3 cm 处测定,取平均值为该叶的观测值,以 5 点的总平均值作为该叶片的 SPAD 值。

**1.3.4 冠层太阳辐射截获率** 齐穗期、乳熟期和蜡熟期选择晴好天气,采用英国 Delta 公司生产的 Sunscan 冠层分析系统测定,冠层太阳辐射截获率(%) = 冠层截获的太阳辐射量/穗顶部太阳辐射总量  $\times$  100%。

**1.3.5 产量及其构成因子** 每小区收获前 2 d 调

查20株计算有效穗,另取5株考查每穗实粒数、空秕粒数、结实率和千粒重等产量构成因子,结实率= $[\text{每穗实粒数}/(\text{每穗实粒数}+\text{每穗空秕粒数})]\times 100\%$ 。

#### 1.4 数据分析

采用Excel 2003进行数据处理和相关性分析,利用DPS软件进行裂区方差分析,多重比较用LSD法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施氮量和栽插密度处理群体叶面积指数动态

由裂区方差分析可知(表1),氮肥和密度水平对叶面积指数的效应达显著或极显著水平,早晚稻的叶面积指数都在齐穗期达到最高值。早稻叶面积指数除幼穗分化期高氮处理最高外,其他时期均为中氮处理最高,CK最低;晚稻叶面积指数随施氮量的增加而增大;不同密度处理的早晚稻叶面积指数均随密度的增加而增加;表明提高栽插密度有利于增加叶面积指数。氮肥和密度的交互效应对早稻叶面积指数的影响极显著,但对晚稻不显著。

### 2.2 不同施氮量和栽插密度处理群体叶片 SPAD 值动态

由表2可知,早晚稻冠层叶片 SPAD 值均在齐穗期达最大值,齐穗后呈下降趋势,剑叶>倒二>倒三;不同氮肥处理冠层叶片 SPAD 值与施氮量成正比,高氮处理为最高;不同密度处理的早稻冠层叶片 SPAD 值均以中密最高其次是低密,晚稻除齐穗期外均以高密处理最高。氮肥和密度互作对早稻冠层叶片 SPAD 值影响效果不显著;但对晚稻互作影响效果极显著。

### 2.3 不同施氮量和栽插密度处理群体干物质积累

由图1可以得出,早晚稻干物质积累量在成熟期达到最大值;早稻在孕穗期之前干物质积累量增长缓慢,孕穗期到齐穗期增长较快,齐穗后增长又开始变缓;晚稻移栽后到分蘖盛期干物质积累较慢,分蘖盛期到孕穗期增长较快,齐穗期到蜡熟期增长又开始缓慢。早稻不同施氮处理在孕穗前差异不大,齐穗后随施氮量的增加而增加且以高氮处理最高;早稻不同密度处理间干物质积累跟密度呈正比关系即高密处理最高。晚稻不同氮肥和密度水平之间干

表1 不同施氮量和栽插密度处理的早稻叶面积指数(LAI)变化动态

Table 1 LAI dynamics changes of early rice under different nitrogen rate and planting density

水稻类型	处理	分蘖盛期	幼穗分化期	孕穗期	齐穗期	乳熟期	蜡熟期
早稻	施氮量						
	N0	1.00 d	2.36 c	4.30 d	4.96 d	4.17 d	0.45 d
	N90	1.90 c	3.35 b	5.01 c	5.48 c	4.95 c	0.48 b
	N135	2.14 a	3.63 a	5.97 a	6.28 a	5.28 a	0.51 a
	N180	2.01 b	3.70 a	5.72 b	6.13 b	5.12 b	0.49 b
	密度						
	M45	2.25 a	3.78 a	5.87 a	6.12 a	5.23 a	0.54 a
	M30	1.74 b	3.37 b	5.38 b	5.91 b	5.07 b	0.46 b
	M22	1.29 c	2.63 c	4.51 c	5.11 c	4.33 c	0.45 c
	N	**	**	**	**	**	**
	M	**	**	**	**	**	**
N×M	**	**	**	**	**	**	
晚稻	施氮量						
	N0	2.70 c	4.25 d	5.98 d	6.32 d	5.32 c	1.25 c
	N135	2.83 b	4.82 c	6.75 c	7.08 c	6.41 b	1.44 b
	N180	2.87 a	4.92 b	7.04 b	7.37 b	6.55 a	1.46 ab
	N225	2.88 a	4.95 a	7.12 a	7.57 a	6.57 a	1.49 a
	密度						
	M30	2.88 a	4.80 a	6.82 a	7.17 a	6.31 a	1.47 a
	M22	2.83 b	4.74 b	6.72 b	7.10 b	6.24 b	1.41 b
	M16	2.76 c	4.67 c	6.62 c	6.98 c	6.10 c	1.34 c
	N	**	**	**	**	**	**
	M	**	ns	*	*	**	**
N×M	ns	ns	ns	ns	*	ns	

数据为3次重复平均值;同一栏中,数据后跟不同小写字母者表示施氮量或栽插密度处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

表 2 不同施氮量和栽插密度处理的早晚稻群体叶片 SPAD 值变化动态

Table 2 Dynamics changes in leaf SPAD values of early and late rice under different nitrogen rate and planting density

水稻类型	处理	剑叶			倒二			倒三		
		齐穗期	乳熟期	蜡熟期	齐穗期	乳熟期	蜡熟期	齐穗期	乳熟期	蜡熟期
早稻	施氮量									
	N0	42.26 c	32.36 b	26.31 c	40.17 c	32.36 b	22.83 b	39.14 b	29.77 b	18.38 c
	N90	46.09 b	38.73 a	30.84 b	44.93 b	38.73 a	29.27 a	43.81 a	33.94 a	25.97 b
	N135	47.72 a	38.87 a	31.77 ab	45.63 b	38.87 a	29.29 a	44.46 a	35.02 a	27.04 ab
	N180	48.10 a	39.31 a	32.69 a	47.48 a	39.31 a	29.51 a	45.01 a	35.69 a	28.13 a
	密度									
	M22	45.60 a	35.02 b	30.69 a	43.56 b	35.03 a	26.70 ab	42.05 b	33.51 a	23.40 b
	M30	46.54 a	38.56 a	30.51 a	45.38 a	35.81 a	28.57 a	43.68 a	33.67 a	26.25 a
	M45	46.00 a	38.37 a	30.00 a	44.71 a	35.37 a	27.90 ab	43.59 a	33.63 a	24.98 ab
	N	**	**	**	**	**	**	**	**	**
M	ns	*	*	**	ns	*	*	ns	*	
N×M	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
晚稻	施氮量									
	N0	44.99 d	38.89 d	33.81 b	43.51 c	38.45 d	28.58 d	40.34 d	36.09 c	24.86 c
	N135	47.56 c	42.17 c	32.86 c	42.41 d	40.41 c	30.35 c	40.96 c	37.14 b	24.60 d
	N180	48.25 b	43.27 b	32.87 c	43.93 b	40.93 b	30.72 b	42.06 b	37.46 a	25.22 b
	N225	49.31 a	44.48 a	34.31 a	44.97 a	42.21 a	30.92 a	43.83 a	37.48 a	25.62 a
	密度									
	M22	47.94 a	43.18 a	33.97 a	44.14 a	40.90 a	30.51 a	42.71 a	36.77 b	25.33 a
	M30	46.57 b	42.19 b	33.40 b	43.19 c	40.67 b	29.93 b	41.53 b	37.13 a	24.90 c
	M45	48.07 a	41.24 c	33.02 c	43.80 b	39.93 c	30.00 b	41.16 c	37.22 a	24.99 b
	N	**	**	**	**	**	**	**	**	**
M	**	**	**	**	**	**	**	**	**	
N×M	**	**	**	**	**	**	**	**	**	

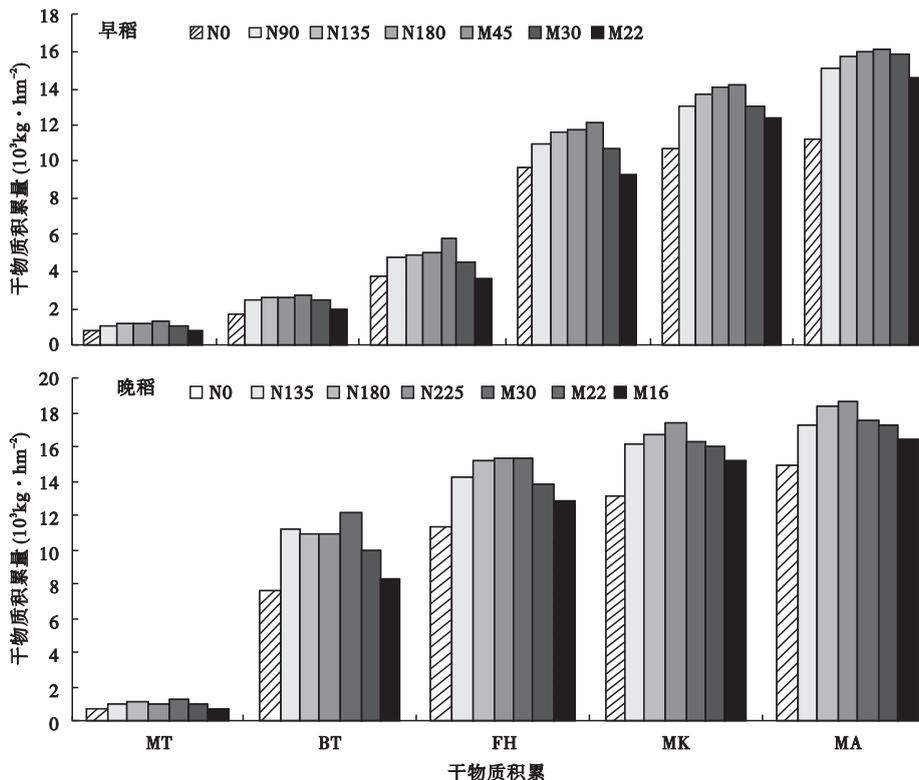


图 1 不同施氮量和栽插密度处理的早晚稻干物质积累

Fig. 1 Dry matter accumulation of early and late rice under different nitrogen rate and planting density

MT:分蘖盛期;PT:幼穗分化期;BT:孕穗期;FH:齐穗期;MK:乳熟期;MA:蜡熟期。下同。

物质积累随施氮量或密度的增加而增加,不同氮肥处理间差异在齐穗前不大,齐穗后进一步拉大;而不同密度处理的差距则在孕穗期最大,齐穗后差距慢慢缩小。

#### 2.4 不同施氮量和栽插密度处理群体冠层太阳辐射截获率与干物质积累的关系

水稻冠层的光能截获率与光合生产潜力密切相关,群体结构良好的光能截获率相对要高,而水稻群体的产量形成过程实际上就是光合产物的形成与分配,即干物质的形成与运转。图2表明,早晚稻生育后期的干物质积累与冠层光能截获率之间存在正相关,越到生育后期两者之间的相关系数越大,说明氮肥和密度水平对生育后期群体结构的影响更大。

#### 2.5 不同施氮量和栽插密度处理群体产量及其构成

从表3可以看出,不同氮肥和密度水平处理的早晚稻理论产量均存在差异,不同氮肥处理间理论产量差异均达到显著水平,不同密度处理间的理论

产量差异未达到显著水平;表明早晚稻分别在施氮水平为 $0 \sim 180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $0 \sim 210 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的范围内产量差异显著,且中氮处理的产量最高;早晚稻不同栽插密度处理间产量差异不大,但高密处理的产量最高。

从产量构成因素来看,施氮量对早晚稻有效穗的影响达显著水平,有效穗随施氮量的增加而增加;早晚稻有效穗均与密度呈现正相关,早稻不同密度处理间的有效穗差异不显著,晚稻高密、中密与低密间的差异达显著水平。早晚稻不同氮肥水平的每穗实粒数均以中氮处理最高,CK最低;不同密度处理间的早稻穗实粒数随密度增加而减少;晚稻则是中密最高,低密次之。早稻不同氮肥处理的结实率为 $\text{CK} > \text{中氮} > \text{低氮} > \text{高氮}$ ;晚稻则是 $\text{中氮} > \text{低氮} > \text{CK} > \text{高氮}$ ;不同密度处理间的早晚稻结实率均随密度的增加而下降。早稻不同氮肥水平的千粒重,低氮 $>$ 中氮 $>$ 高氮 $>$ CK;晚稻则与施氮水平呈反比,CK最高,高氮最低;而密度对千粒重的影响,早稻为高密处理

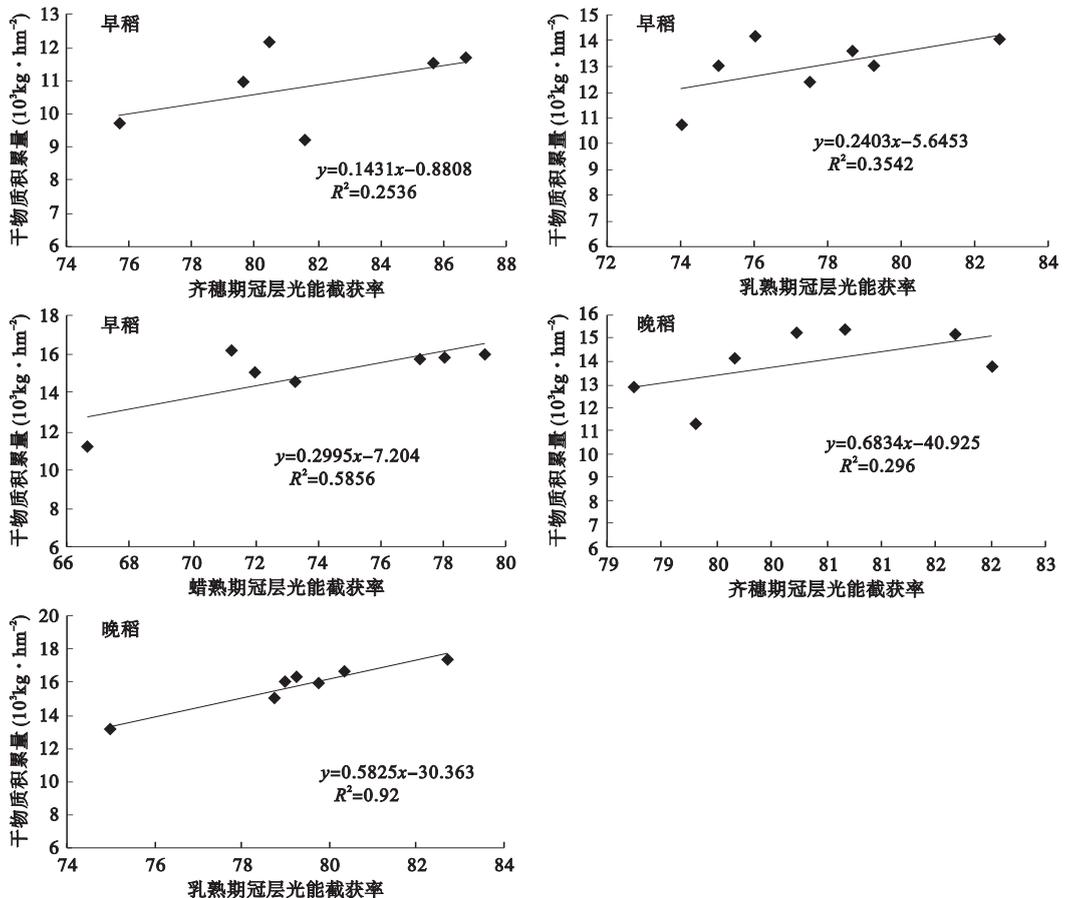


图2 不同施氮量和栽插密度处理的早晚稻群体冠层太阳辐射截获率与干物质积累的关系

Fig. 2 Relationship between the canopy solar radiation interception rate and the dry matter accumulation of early and late rice under nitrogen rate and transplanting density

表3 3 施氮量和栽插密度对早晚稻产量及产量构成因素的影响

Table 3 Effects of nitrogen rate and transplanting density on the yield and its components of early and late rice

水稻类型	处理	有效穗	每穗实粒数	结实率	千粒重	产量	
早稻	施氮量						
	N0	184.11 c	138.09 b	82.18 a	28.87 b	6023.99 c	
	N90	281.72 b	142.92 a	80.19 b	30.02 a	9689.80 b	
	N135	300.32 a	143.92 a	80.83 ab	29.33 ab	10245.04 a	
	N180	302.10 a	141.93 a	79.73 b	29.03 ab	9962.12 ab	
	移栽密度						
	M45	263.59 a	142.58 a	81.30 a	29.23 ab	8937.42 a	
	M30	268.24 a	141.95 a	80.89 a	28.98 b	8985.74 a	
	M22	269.35 a	140.62 a	80.01 a	29.75 a	9017.56 a	
	N	**	**	**	ns	**	
	M	ns	ns	ns	ns	ns	
	N×M	**	ns	ns	ns	ns	
	晚稻	施氮量					
		N0	245.34 d	110.71 c	84.59 a	27.94 a	6452.57 c
N130		320.56 c	129.54 b	85.13 a	27.62 ab	9712.77 b	
N180		326.99 b	142.80 a	85.48 a	27.48 b	11015.37 a	
N225		335.89 a	127.63 b	83.47 b	27.31 b	9769.26 b	
移栽密度							
M30		313.61 a	124.92 a	82.50 b	27.78 a	9591.76 a	
M22		311.71 a	130.00 a	85.27 a	27.56 a	9062.52 a	
M16		296.27 b	128.10 a	86.24 a	27.42 a	9036.95 a	
N		**	**	**	ns	**	
M		**	ns	**	ns	ns	
N×M		ns	ns	*	ns	ns	

最高,中密处理最低,晚稻千粒重则随密度的增加而增大,高密最高。

高产或超高产栽培一般都要求足穗大穗或稳穗增粒,多数高产或超高产水稻栽培研究表明,产量结构特征主要是每穗总粒数的增加(张洪程,2001;邹江石,2003;吴文革,2006),在保证一定穗数的前提下,库的增大是通过选择较大的穗来实现(Ramasamy *et al.*, 1997; Ying *et al.*, 1998a, 1998b)。本试验中,通过对产量与产量构成因子的相关分析可得出(图3),早晚稻理论产量均与每穗粒数、有效穗之间存在正相关,早稻理论产量与千粒重存在正相关,而与结实率之间存在负相关;晚稻理论产量与千粒重之间存在负相关,但与结实率之间存在正相关。

### 3 讨论

氮肥和密度是调节水稻群体发育及其结构的两大栽培措施,但氮肥和密度与水稻产量呈抛物线关系,即在一定的范围内,产量随氮肥和密度的增加而增加,当氮肥和密度水平超过某一范围后产量则随

施氮量或密度的增加而下降(唐启源等,2003)。有试验报道,氮肥水平为  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,能稳定中早22穗数和协调穗数与结实率、千粒重的关系,从而获得高产;晚稻“4007”的产量也最高(郭彬等,2004;徐春梅等,2008;晏娟等,2008);也有研究指出,单季稻施氮  $218 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  是最佳用量,经济产量最高(朱兆良,2006)。有的则认为,晚稻栽插密度为  $30 \times 10^4 \text{ 穴} \cdot \text{hm}^{-2}$  能保证高产(李木英等,2009);还有认为,连作晚稻应稀播壮穗夺高产,栽插密度为  $21 \times 10^4 \text{ 穴} \cdot \text{hm}^{-2}$  最适宜(张玉屏等,2008)。另有研究表明,水稻在高产稳产的基础上,应适当增加栽插密度减少氮肥施用量,既能提高氮肥利用率,又达到了节本高效栽培的目的(周江明等,2010)。本研究表明,早稻施氮 90、135、180  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  比 CK 分别增产 60.85%、70.07%、65.37%,晚稻施氮 135、180、210  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  比 CK 分别增产 50.53%、70.71%、51.40%;早稻栽插密度 45、 $36 \times 10^4 \text{ 穴} \cdot \text{hm}^{-2}$  对比  $22 \times 10^4 \text{ 穴} \cdot \text{hm}^{-2}$  分别增产 0.9%、0.54%,晚稻栽插密度  $30$ 、 $22 \times 10^4 \text{ 穴} \cdot \text{hm}^{-2}$  对比  $16 \times 10^4 \text{ 穴} \cdot \text{hm}^{-2}$  分别增产 6.14%、0.28%。

水稻群体 LAI 与产量密切相关,较大的 LAI 有利于抽穗前的物质生产和抽穗后光合势的提高,足够的 LAI 是获得高产的先决条件(陈温福等,1991;苏祖芳等,1994)。本试验早稻氮肥水平为  $135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,其群体 LAI 在孕穗期、齐穗期分别为 5.97、6.28;晚稻施氮量为  $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,其群体 LAI 在孕穗期、齐穗期分别为 7.04、7.37;早稻栽插密度为  $45 \times 10^4 \text{ 穴} \cdot \text{hm}^{-2}$  其群体 LAI 在孕穗期、齐穗期分别为 5.87、6.12;晚稻密度水平为  $30 \times 10^4 \text{ 穴} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,其群体 LAI 在孕穗期、齐穗期分别为 6.82、7.17。本试验条件下,不同处理的群体抽穗前的 LAI 较大,抽穗后的 LAI 足够高,群体能保持良好的光合生产能力,最终能实现高产目标。关于水稻群体抽穗前后干物质生产对产量贡献大小的研究尚没有定论。有研究认为,高产水稻不同生长阶段的干物质生产比例是协调的(邹应斌等,2001);也有报道指出,在保证抽穗前具有适宜的干物质积累条件下,抽穗后干物质积累对增加水稻产量贡献更大(朱庆森等,1997;马均等,2003;彭显龙等,2006;徐春梅等,2010);有的则认为,超高产品种干物质生产优势在抽穗前(陈温福等,1995;张洪松等,1995)。本研究表明,不同氮肥处理的早稻干物质生产在各生长阶段的比例协调;晚稻则为抽穗前低氮处理干物质积

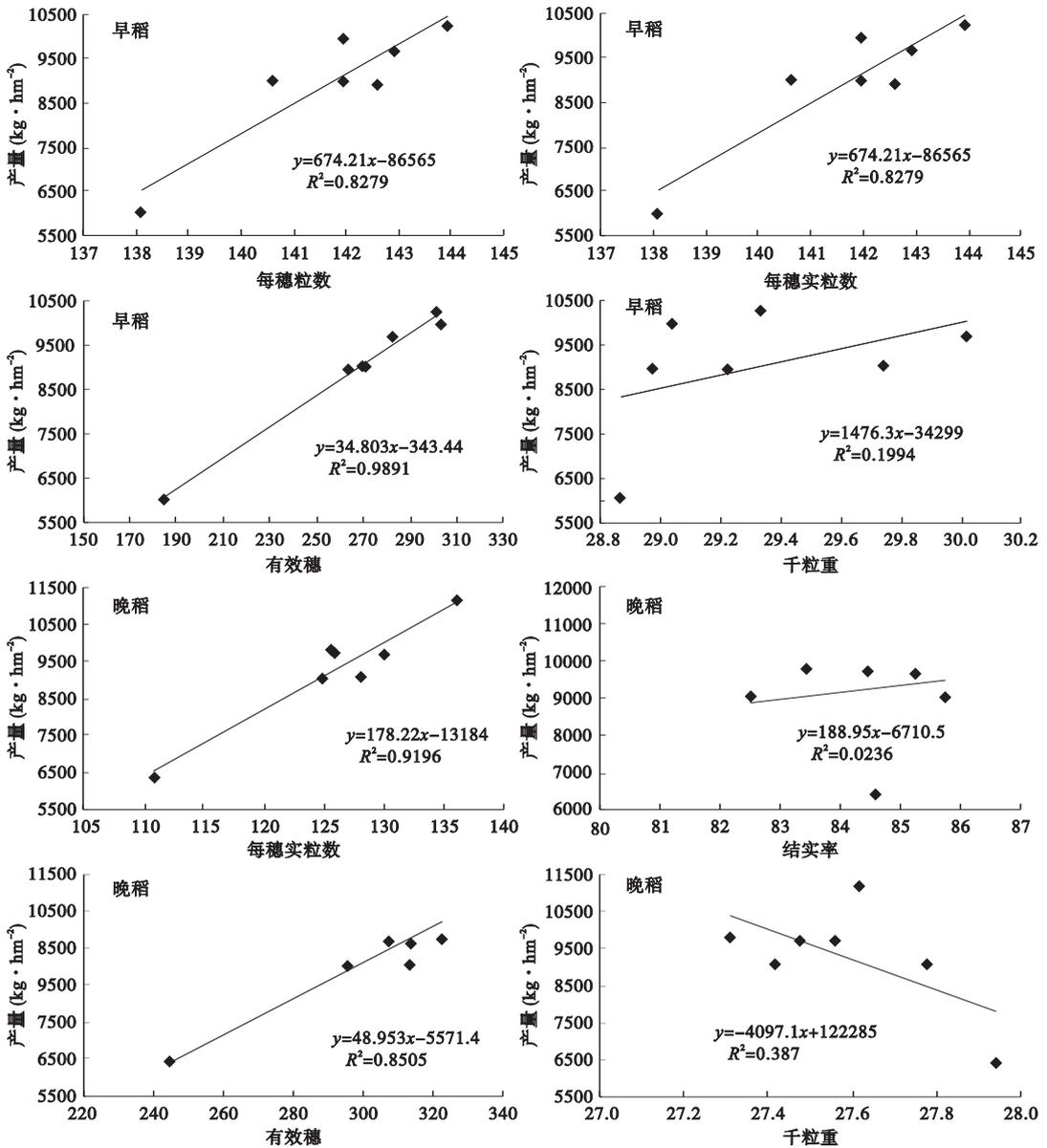


图3 施氮量和栽插密度对早晚稻产量及产量构成因子间的关系

Fig. 3 Relationship between the yield and the yield components of early and late rice under nitrogen rate and transplanting density

累优势明显且与CK差距大,抽穗后高氮和中氮处理的干物质积累显著提高。不同密度处理的早稻干物质生产在抽穗前高密处理占优势,抽穗后低密处理的优势较明显;而晚稻表现为抽穗前高密与低密差异显著,抽穗后低密增长迅速且各处理间差距进一步缩小。

水稻高产是在保证足量有效穗的基础上再提高每穗粒数,因此,早稻应合理密植保证基本苗为足量有效穗打好基础,氮肥适当后移减少前期群体的奢侈吸氮和氮素的流失;晚稻则要在适量节氮的基础上充分利用群体的自身调节能力,构建好足量有效

穗的群体。从本试验产量构成因子分析可知:早稻中氮处理在保证足量有效穗的同时,能协调好有效穗与穗粒数、结实率的关系,高密处理则在兼顾足量有效穗的基础上,能提高每穗实粒数和千粒重;晚稻中氮处理在保证足量穗数的前提下,能形成大穗和提高结实率,而高密处理是通过增穗促大粒这一途径来实现高产目标。综合不同施氮量和栽插密度对双季杂交稻产量及产量构成因素的影响,从高产高效栽培的角度考虑,双季早稻陆两优996和晚稻Y两优86的适宜施氮量分别为135、180 kg · hm<sup>-2</sup>,栽插密度分别为45×10<sup>4</sup>、30×10<sup>4</sup>穴 · hm<sup>-2</sup>。

## 参考文献

- 白由路, 杨俐苹, 金继运. 2007. 测土配方施肥原理与实践. 北京: 中国农业出版社.
- 陈德华, 尹丽辉, 邹应斌. 2005. 推广和普及测土配方施肥技术的建议. 湖南农业科学, (5): 47-48, 51.
- 陈温福, 徐正进, 张龙步. 1995. 水稻超高产育种生理基础. 沈阳: 辽宁科学技术出版社.
- 郭彬, 娄运生, 梁永超, 等. 2004. 氮硅肥配施对水稻生长、产量及土壤肥力的影响. 生态学杂志, 23(6): 33-36.
- 李木英, 石庆华, 王涛, 等. 2009. 种植密度对双季超级稻群体发育和产量的影响. 杂交水稻, 24(2): 72-77.
- 凌启鸿. 2000. 作物群体质量. 上海: 上海科学技术出版社.
- 马均, 朱庆森, 马文波, 等. 2003. 重穗型水稻光合作用、物质积累与转运的研究. 中国农业科学, 36(4): 375-381.
- 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 2002. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略. 中国农业科学, 35(9): 1095-1103.
- 彭显龙, 刘元英, 罗盛国, 等. 2006. 实地氮肥管理对寒地水稻干物质积累和产量的影响. 中国农业科学, 39(11): 2286-2293.
- 苏祖芳, 郭宏文, 李永丰, 等. 1994. 水稻群体叶面积动态类型的研究. 中国农业科学, 27(4): 23-30.
- 唐启源, 邹应斌, 米湘成, 等. 2003. 不同施氮条件下超级杂交稻的产量形成特点与氮肥利用. 杂交水稻, 18(1): 44-48.
- 吴文革, 吴桂成, 杨联松, 等. 2006. 超级稻Ⅲ优98的产量构成与物质生产特性研究. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 27(2): 11-15.
- 徐春梅, 王丹英, 邵国胜, 等. 2008. 施氮量和栽插密度对超高产水稻中早22产量和品质的影响. 中国水稻科学, 22(5): 507-512.
- 徐春梅, 周昌南, 郑根深, 等. 2010. 施氮量和栽培密度对超级稻中嘉早17物质生产特性的影响. 浙江农业学报, 22(4): 502-508.
- 晏娟, 尹斌, 张绍林, 等. 2008. 不同施氮量对水稻氮素吸收与分配的影响. 植物营养与肥料学报, 14(5): 835-839.
- 宇万太, 赵鑫, 张璐, 等. 2006. 长期施肥对作物产量的贡献. 生态学杂志, 26(12): 2040-2044.
- 张洪程, 王夫玉. 2001. 中国水稻群体研究进展. 中国水稻科学, 15(1): 51-56.
- 张洪松, 岩田忠寿, 佐藤勉, 等. 1995. 粳型杂交稻与常规稻的物质生产及营养特性的比较. 西南农业学报, 8(4): 11-16.
- 张玉屏, 陈穗哲, 周爱珠, 等. 2008. 浙江省连作晚稻产量差异及其成因分析. 中国稻米, (4): 43-45.
- 钟旭华, 黄农荣, 郑海波. 2007. 华南双季杂交稻氮素养分消耗量及其影响因素研究. 植物营养与肥料学报, 13(4): 569-576.
- 周江明, 赵琳, 董越勇, 等. 2010. 氮肥和栽植密度对水稻产量及氮肥利用率的影响. 植物营养与肥料学报, 16(2): 274-281.
- 朱庆森, 张祖建, 杨建昌, 等. 1997. 亚种间杂交稻产量源库特征. 中国农业科学, 30(3): 52-59.
- 朱兆良. 2006. 推荐氮肥适宜施用量的方法论刍议. 植物营养与肥料学报, 12(1): 1-4.
- 邹江石, 吕川根, 王才林, 等. 2003. 两系杂交稻“两优培九”选育及栽培特性. 中国农业科学, 36(8): 869-872.
- 邹应斌, 黄见良, 屠乃美, 等. 2001. “旺壮重”栽培对双季杂交稻产量形成及生理特性的影响. 作物学报, 27(3): 343-350.
- Cassman KG, Dobermann A, Walters DT. 2002. Agroecosystems, nitrogen use efficiency, and nitrogen management. *Ambio*, 31: 132-140.
- Ramasamy S, ten Berge HFM, Purushothaman S. 1997. Yield formation in rice in response to drainage and nitrogen application. *Field Crops Research*, 51: 65-82.
- Ying J, Peng S, He Q, et al. 1998a. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments. I. Determinants of grain and dry matter yields. *Field Crops Research*, 57: 71-84.
- Ying J, Peng S, Yang G, et al. 1998b. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments. II. Nitrogen accumulation and utilization efficiency. *Field Crops Research*, 57: 85-93.

---

作者简介 刘文祥, 1977年生, 男, 博士研究生, 研究方向为农业生态学. E-mail: liuwenxiang7536@126.com

责任编辑 李凤芹

---