

## 养分运筹对早稻干物质累积及转运的影响

周旋<sup>1,2,3,4</sup>, 彭建伟<sup>1,2,3,4\*</sup>, 刘强<sup>1,2,3,4</sup>, 蔡桂青<sup>1,2,3,4</sup>, 田昌<sup>1,2,3,4</sup>, 刘亚娇<sup>1</sup>

(1.湖南农业大学 资源环境学院, 湖南 长沙 410128; 2.农田污染控制与农业资源利用湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128; 3.植物营养湖南省普通高等学校重点实验室, 湖南 长沙 410128; 4.土壤肥料资源高效利用国家工程实验室, 湖南 长沙 410128)

**摘要:**以湘早籼 45 号为材料, 采用田间小区试验, 分别在湖南益阳、湘阴设置不施氮肥、农民习惯施肥、高产高效施肥、超高产施肥、超高产高效施肥 A 和超高产高效施肥 B 共 6 个处理, 研究养分运筹对早稻干物质累积及转运的影响。结果表明: 高产高效施肥与农民习惯施肥相比, 在节氮 20% 的条件下, 通过增施有机肥及调节后期施氮比例, 益阳、湘阴早稻抽穗后干物质累积量分别提高 43.55%、18.85%, 增产 4.20%、4.80%; 益阳超高产高效施肥 A 和 B 处理早稻抽穗后干物质累积量比农民习惯施肥分别提高 80.85%、94.00% 增产 16.60%、18.75%; 湘阴超高产高效施肥 A 和 B 处理早稻抽穗后干物质累积量比农民习惯施肥分别提高 23.64%、22.91% 增产 10.10%、6.75%; 不同地力环境条件下, 早稻抽穗后干物质累积量与产量呈极显著正相关, 提高抽穗后干物质累积量是促进早稻高产的重要途径。

**关键词:**早稻; 养分运筹; 干物质累积; 干物质转运

中图分类号: S511.062 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2012)03-0229-06

## Effect of nutrient application on dry matter accumulation and translocation of early rice

ZHOU Xuan<sup>1,2,3,4</sup>, PENG Jian-wei<sup>1,2,3,4\*</sup>, LIU Qiang<sup>1,2,3,4</sup>, CAI Gui-qing<sup>1,2,3,4</sup>, TIAN Chang<sup>1,2,3,4</sup>, LIU Ya-jiao<sup>1</sup>

(1.College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128,China; 2.Hunan Provincial Key Laboratory of Farmland Pollution Control and Agricultural Resources Use, Changsha 410128,China; 3.Hunan Provincial Key Laboratory of Plant Nutrition in Common University, Changsha 410128, China; 4.National Engineering Laboratory on Soil and Fertilizer Resources Efficient Utilization, Changsha 410128, China)

**Abstract:** Plot experiments were set up with rice cultivar Xiangzaoxian45 in Yiyang and Xiangyin to investigate the effects of different nutrient application on dry matter accumulation and distribution in early rice. Six treatments were used in each experiment including T1 (fertilization application without nitrogen), T2 (conventional fertilization application used by farmers), T3 (fertilization application for high yield and high efficiency), T4 (fertilization application for super high yield), T5 (fertilization application for super high yield and high efficiency A) and T6 (fertilization application for super high yield and high efficiency B). The results showed that dry matter accumulation after heading stage in Yiyang and Xiangyin with T3 increased by 43.55% and 18.85%, respectively and the corresponding yield of early rice increased by 4.20% and 4.80%, respectively, compared to T2 under the condition of saving 20% nitrogen fertilizer. In the experiment conducted in Yiyang, dry matter accumulation after heading stage and yield of early rice with T5 increased by 80.85% and 16.60% respectively, with T6 increased by 94.00% and 18.75%, respectively, compared to those with T2; and in Xiangyin, dry matter accumulation after heading stage and yield of early rice with T5 increased by 23.64% and 10.10%, respectively, with T6 increased by 22.91% and 6.75% respectively, compared to those with T2. There was an extremely

收稿日期: 2012-03-01

基金项目: 国家“十二·五”科技支撑计划项目(2012BAD15B04); 农业部公益性行业(农业)科研专项(201103003); 湖南农业大学人才科学基金项目(09WD52)

作者简介: 周旋(1986—), 男, 四川攀枝花人, 硕士研究生, 主要从事植物生理与营养施肥研究, zhouxuan\_123@126.com; \*通信作者, jwpngpd@sina.com

significant correlation between yield and dry matter accumulation after heading stage at different soil fertility levels. Therefore it is an important way to increase the accumulation of dry matter after heading stage for improving the yield of early rice.

**Key words:** early rice; nutrient application; dry matter accumulation; dry matter translocation

近年来,随着高产耐肥水稻品种的培育及推广,氮肥施用量越来越多,在促进水稻单产大幅度提高的同时,所带来的氮素利用率低、病虫害加重、生产成本高和环境污染等问题日益突出<sup>[1-3]</sup>。氮肥施用技术和种植密度对水稻产量有着重要影响<sup>[4]</sup>。

水稻产量的形成实质是干物质合成、累积、转运与分配的过程<sup>[5]</sup>。水稻营养生长阶段的干物质积累是后期产量形成的重要基础,稻谷产量的高低取决于水稻干物质的生产量及其向籽粒运转分配的比例。前人在这方面做了大量研究,但研究结论不尽一致:张洪松等<sup>[6]</sup>认为,产量的形成主要靠穗前干物质转运;凌启鸿等<sup>[7-10]</sup>则认为,主要靠穗后干物质转运;而王永锐等<sup>[11-13]</sup>认为依靠前后两段时间的物质转运。这些研究大多针对单一地区。关于早稻在不同地区的养分运筹模式与干物质累积及转运的关系报道较少。笔者研究不同种植密度条件下,不同养分运筹措施对不同地区早稻干物质累积及分配的影响,早稻抽穗后干物质累积及转运与产量的关系,以期早稻高产高效栽培提供

参考依据和技术途径。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验点为益阳市赫山区笔架山乡中塘村(28°30'N, 112°30'E)和岳阳市湘阴县兴隆村(28°40'N, 112°48'E),两地均为亚热带大陆性季风湿润气候。益阳点年均气温 16.5 °C,年日照 1 348 ~ 1 772 h,无霜期 263 ~ 276 d,年均降水量 1 230 ~ 1 700 mm;湘阴点年均气温 17.1 °C,年日照 1 400 ~ 2 059 h,无霜期 223 ~ 304 d,年均降水量 1 392.62 mm。

### 1.2 材料

供试早稻品种为湘早粳 45 号,由湖南省益阳市农业科学研究所选育。供试肥料为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)、氯化钾(含 K<sub>2</sub>O 60%)、菜籽饼肥(含 N 5%)。两地供试土壤成土母质均为河湖沉积物,其土壤基本理化性质见表 1。

表 1 试验点土壤肥力状况

地点	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	pH 值
益阳	3.09	93.71	0.34	9.38	8.67	149.69	22.30	4.52
湘阴	2.72	120.77	0.50	7.84	15.47	144.70	28.61	4.73

### 1.3 试验设计

试验于 2011 年进行。设 6 个处理: T1, 不施氮肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 45 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>); T2, 农民习惯施肥(N 150 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 45 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>); T3, 高产高效施肥(N 120 kg/hm<sup>2</sup> (以 12 kg/hm<sup>2</sup> 菜籽饼肥代替作基肥), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 45 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>); T4, 超高产施肥(N 180 kg/hm<sup>2</sup> (以 20 kg/hm<sup>2</sup> 菜籽饼肥代替作基肥), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 50 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 100 kg/hm<sup>2</sup>、硫酸锌 5 kg/hm<sup>2</sup>、硅肥 600 kg/hm<sup>2</sup> 作基肥, 抽穗期叶面喷施磷酸二氢钾 7.5 kg/hm<sup>2</sup>、爱苗 2 ~ 3 次); T5, 超高产高效施肥 A(N 150 kg/hm<sup>2</sup> (以 20 kg/hm<sup>2</sup> 菜籽饼肥代替作基肥), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 50 kg/hm<sup>2</sup>,

K<sub>2</sub>O 100 kg/hm<sup>2</sup>, 硫酸锌 5 kg/hm<sup>2</sup> 作基肥); T6, 超高产高效施肥 B(有机无机肥复混肥(N、P、K 质量比为 7.8 : 5.5 : 3.5), N 150 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 50 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 100 kg/hm<sup>2</sup>)。氮、磷、钾肥具体施用方法见表 2。T1、T2 株行距均为 20 cm × 20 cm, 24 穴/m<sup>2</sup>; T3、T4、T5、T6 株行距均为 16.7 cm × 20 cm, 30 穴/m<sup>2</sup>。每个小区面积 30 m<sup>2</sup>。随机区组排列, 3 次重复。各小区之间筑埂, 用塑料薄膜覆盖隔离, 单排单灌, 以防串水串肥。各处理均采用塑料软盘湿润秧田育秧, 益阳点于 3 月 25 日播种, 4 月 24 日移栽, 7 月 17 日收获; 湘阴点于 3 月 26 日播种, 4 月 26 日移栽, 7 月 14 日收获。

表 2 各处理氮、磷、钾肥施用量

处理	氮肥				磷肥	钾肥	
	基肥	分蘖肥	穗肥	粒肥	(基肥)	基肥	穗肥
T1	0	0	0	0	45	90	0
T2	120	30	0	0	45	90	0
T3	60	36	24	0	45	90	0
T4	90	36	36	18	50	60	40
T5	75	45	30	0	50	60	40
T6	75	45	30	0	50	60	40

#### 1.4 测定项目及方法

于早稻幼穗分化期、抽穗期、抽穗后 20 d 和成熟期取整株样，每小区 5 穴，洗净，105 °C 杀青，75 °C 烘干至恒重，称重；于成熟期取样考种，按小区收获记产。

茎叶物质转运量(TAA) = 抽穗期茎叶干重 - 成熟期茎叶干重；

茎叶物质转运率(TAR) = (抽穗期茎叶干重 - 成熟期茎叶干重) / 抽穗期茎叶干重 × 100%；

抽穗后干物质累积量(PAA) = 成熟期干重 - 抽穗期干重；

茎叶物质贡献率(CTA) = (抽穗期茎叶干重 - 成熟期茎叶干重) / 籽粒质量 × 100%；

抽穗后同化物质贡献率(CPA) = (成熟期干重 - 抽穗期干重) / 籽粒质量 × 100%；

抽穗后干物质累积强度 = (成熟期干重 - 抽穗期干重) / 成熟期干重 × 100%<sup>[5]</sup>。

#### 1.5 数据处理

采用 Excel 2003 和 DPS 软件进行数据处理和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 养分运筹对早稻产量及其构成因素的影响

由表 3 可知，益阳、湘阴有效穗数分别以 T6、T4 最高，T3 比 T2 分别高 5.61%、17.80%；益阳点 T4、T5、T6 有效穗数比 T2 分别提高 33.60%、32.33%、33.84%，湘阴点分别提高 27.62%、24.73%、20.83%，说明养分运筹模式(T3、T4、T5、T6)可以通过大幅度增加有效穗数实现高产。益阳点每穗实粒数以 T4 最高，与 T1 处理差异达极显著水平，与其他各处理差异均达显著水平，施氮处理与不施氮处理间差异极显著；湘阴点每穗实粒数各处理差异均不显著。不同试验点结实率均呈现随施氮量和种植密度增加而下降的趋势，其中施氮量影响显著 ( $r = -0.394^*$ ,  $n=36$ )。益阳点千粒重以 T1 最高，湘阴点以 T3 最高，各处理差异均不显著，可能是因为随施氮量增加，茎鞘贮藏物质转运率下降导致千粒重降低。不同地区产量均以 T1 最低，且与其他各处理差异均达极显著水平；T3 氮肥施用量较 T2 降低 20%，但益阳点的早稻产量 T3 比 T2 提高 4.20%，湘阴点提高 4.80%；T5、T6 氮肥施用量与 T2 相同，益阳点产量比 T2 分别提高 16.60%、18.75%，差异极显著；湘阴点比 T2 分别提高 10.10%、6.75%，差异显著，说明在本试验氮肥施用量范围内，早稻产量的高低与氮肥投入量的多少不存在直接的正相关；调整早稻生育前、中、后期的施肥比例，合理利用光、热资源，结合早稻需肥规律，在减少总氮量和氮肥施用时间后移的条件下仍可获得高产。

表 3 不同养分运筹处理下早稻产量及其构成因素

地点	处理	有效穗数 / ( $\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	每穗实粒数 / 粒	结实率 / %	千粒重 / g	产量 / ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
益阳	T1	(294.67±20.15)cB	(64.83±0.89)cB	(80.27±1.26)aA	(22.98±0.09)aA	(3929.90±200.77)dC
	T2	(426.13±28.94)bcAB	(89.02±0.51)abA	(68.36±1.15)bB	(22.55±0.13)aA	(7190.87±224.74)cB
	T3	(450.04±54.43)abAB	(82.90±1.78)bAB	(77.30±3.36)aA	(22.95±0.26)aA	(7492.94±430.86)bcAB
	T4	(569.33±56.93)aA	(103.77±12.33)aA	(68.34±1.99)bB	(22.26±0.33)aA	(8629.53±391.30)aA
	T5	(563.91±43.63)aA	(92.21±0.94)abA	(75.38±0.91)aAB	(22.52±0.24)aA	(8384.78±334.66)abA
	T6	(570.35±51.31)aA	(96.37±4.50)abA	(75.62±1.77)aAB	(22.28±0.37)aA	(8539.20±113.27)aA
湘阴	T1	(310.53±26.72)cB	(75.19±3.51)aA	(87.23±1.17)aA	(21.40±0.24)abA	(3940.76±100.04)cC
	T2	(469.48±11.78)ba	(82.42±3.56)aA	(82.22±2.27)aA	(20.62±0.32)ba	(7037.86±147.83)bb
	T3	(553.07±40.94)abA	(80.14±5.23)aA	(82.86±0.90)aA	(21.89±0.67)aA	(7375.55±143.30)abAB
	T4	(599.16±58.34)aA	(78.35±4.19)aA	(81.13±4.52)aA	(20.73±0.34)ba	(7630.44±64.78)abAB
	T5	(585.60±29.33)aA	(80.13±5.46)aA	(82.90±1.46)aA	(20.90±0.22)abA	(7748.45±201.98)aA
	T6	(567.30±19.05)abA	(79.68±3.86)aA	(84.56±0.41)aA	(21.25±0.13)abA	(7513.17±157.71)abAB

## 2.2 养分运筹对早稻干物质累积的影响

由表4可知,不同地区早稻幼穗分化期施氮处理干物质累积量均极显著高于不施氮处理,T3干物质累积量均显著低于T2。抽穗期表现与幼穗分化期相似。成熟期高密度处理(T3、T4、T5、T6)干物质累积量均高于低密度处理(T1、T2),说明合理密植结合养分运筹措施可以提高早稻的干物质累积量。益阳、湘阴抽穗后干物质累积强度分别以T4、T3最大,与其他各处理差异均达显著或极显著水平,

施氮处理与不施氮处理间差异极显著,说明增加抽穗阶段的干物质累积量是提高早稻产量的有效途径。穗重增加是抽穗后干物质累积量增加的主要原因。与T2相比,益阳、湘阴T3抽穗后20d穗的累积量分别提高9.46%、12.05%,说明T3有利于早稻籽粒灌浆,提高穗的干物质累积。T2在前期较高的氮素水平下随着无效分蘖增多,叶面积指数过大,群体结构恶化,不利于灌浆结实期的物质累积与运转。

表4 不同养分运筹处理下早稻的干物质累积量

Table 4 Dry matter accumulation of early rice by different nutrient application

地点	处理	干物质累积量/(t·hm <sup>-2</sup> )			抽穗后干物质 累积强度/%	抽穗后20d干物质累积量/(t·hm <sup>-2</sup> )	
		幼穗分化期	抽穗期	成熟期		穗	叶片和茎鞘
益阳	T1	(3.00±0.08)cB	(4.62±0.13)cB	(6.34±0.48)cC	(26.59±3.38)cC	(3.02±0.41)bB	(2.34±0.10)cC
	T2	(5.81±0.34)aA	(8.94±0.53)abA	(12.43±0.63)bB	(27.98±3.41)bcBC	(4.93±0.66)aAB	(5.22±0.50)abAB
	T3	(4.79±0.12)ba	(7.99±0.20)ba	(13.00±0.97)abAB	(37.98±3.94)abABC	(5.40±0.74)aAB	(4.12±0.24)bBC
	T4	(5.08±0.22)abA	(8.46±0.37)abA	(16.26±1.26)aA	(47.61±2.32)aA	(5.14±0.56)aAB	(6.28±0.78)aA
	T5	(5.49±0.39)abA	(9.14±0.64)abA	(15.46±0.75)aAB	(40.97±1.47)aABC	(6.47±0.29)aA	(4.95±0.48)abAB
	T6	(5.59±0.21)aA	(9.32±0.35)aA	(16.09±1.75)aA	(41.16±4.52)aAB	(6.13±0.54)aA	(5.43±0.51)abAB
湘阴	T1	(2.10±0.05)cB	(3.51±0.09)cB	(6.35±0.29)bB	(44.72±1.27)cB	(2.19±0.31)dC	(2.06±0.34)bB
	T2	(3.60±0.22)abA	(6.01±0.37)abA	(11.89±0.74)aA	(49.46±0.90)bcAB	(3.50±0.52)cBC	(3.67±0.42)aAB
	T3	(3.36±0.07)ba	(5.60±0.12)ba	(12.60±1.02)aA	(55.07±2.96)aA	(3.92±0.23)bcAB	(3.22±0.24)abAB
	T4	(3.90±0.26)abA	(6.49±0.43)abA	(13.68±1.19)aA	(52.34±1.20)abAB	(4.54±0.28)abAB	(4.30±0.55)aA
	T5	(3.86±0.07)abA	(6.43±0.12)abA	(13.71±0.90)aA	(52.81±2.26)abA	(4.42±0.16)abcAB	(3.63±0.34)aAB
	T6	(4.03±0.30)aA	(6.72±0.50)aA	(13.95±0.95)aA	(51.84±1.30)abAB	(4.97±0.20)aA	(3.17±0.62)abAB

## 2.3 养分运筹对早稻抽穗后干物质运转的影响

由表5可知,益阳、湘阴TAA均以T2最高;从抽穗期到成熟期,不同地区早稻PAA增加1.72~7.79 t/hm<sup>2</sup>,且各施氮处理均极显著高于不施氮处理;T3虽然氮肥施用量减少,但通过增施有机肥,基肥、分蘖肥和穗肥分施,从而提高了早稻从源到库的转化。T3、T4、T5、T6益阳点PAA与T2相比分别提高43.57%、123.22%、80.85%、94.00%,湘阴点与T2相比提高18.88%、22.05%、23.64%、22.91%;可见,在均衡施用氮、磷、钾肥的条件下,基肥、分蘖肥和穗肥按一定比例分施对库的累积效

果好于只作基肥和分蘖肥施用。T3、T4、T5、T6的TAR均低于T1、T2,TAR呈现随早稻产量增高而减少的趋势。从早稻产量来源看,益阳、湘阴T3、T4、T5、T6的CTA均显著低于T1、T2,其中,T2比T3分别高40.45%、61.66%;CPA表现为T3、T4、T5、T6均显著高于T2,益阳、湘阴T3比T2分别高35.01%、10.56%。抽穗后较高的物质同化能力是产量增加的生理基础,T2由于未施用穗肥,抽穗后物质同化能力较低,其产量形成对于营养器官贮存物质的再运转依赖性更强。

表 5 不同养分运筹处理下早稻抽穗后干物质的运转

Table 5 Dry matter translocation after heading stage of early rice by different nutrient application						
地点	处理	TAA/ (t·hm <sup>-2</sup> )	PAA/ (t·hm <sup>-2</sup> )	TAR/ %	CTA/ %	CPA/ %
益阳	T1	(2.34±0.07)cB	(1.72±0.35)dC	(50.74±1.74)aA	(61.07±5.04)aA	(43.35±5.03)cC
	T2	(4.28±0.39)aA	(3.49±0.52)cdBC	(47.77±1.83)abAB	(57.96±4.99)aAB	(46.92±5.54)bcBC
	T3	(3.14±0.15)bcAB	(5.01±0.84)bcABC	(39.37±2.73)bcABC	(41.27±5.99)bABC	(63.35±5.94)abABC
	T4	(2.31±0.06)cB	(7.79±0.94)aA	(27.44±1.28)dC	(24.50±2.59)cC	(80.55±3.30)aA
	T5	(3.39±0.28)abAB	(6.31±0.17)abAB	(37.04±0.46)cdBC	(36.53±1.19)bcBC	(68.53±3.52)aAB
	T6	(3.64±0.53)abA	(6.77±1.50)abAB	(39.44±6.54)bcABC	(38.13±8.10)bcBC	(66.82±8.71)aABC
湘阴	T1	(0.99±0.03)bA	(2.85±0.21)bB	(28.31±1.30)aA	(27.37±2.04)aA	(78.00±2.50)bB
	T2	(1.60±0.20)aA	(5.89±0.40)aA	(26.53±2.53)aAB	(22.37±2.29)abAB	(82.44±2.30)abAB
	T3	(1.00±0.20)bA	(7.00±0.91)aA	(18.00±4.06)bAB	(13.84±4.20)cB	(91.15±4.55)aA
	T4	(1.49±0.10)aA	(7.18±0.77)aA	(23.24±2.63)abAB	(18.38±2.41)bcAB	(86.54±2.49)abAB
	T5	(1.52±0.07)aA	(7.28±0.78)aA	(23.63±1.55)abAB	(18.42±2.35)bcAB	(86.27±2.35)abAB
	T6	(1.14±0.22)abA	(7.23±0.52)aA	(16.87±2.64)bB	(14.33±2.54)bcB	(90.74±2.49)aA

### 3 结论与讨论

光合产物在营养器官中的累积量,以及开花后向籽粒转运分配的比率都直接影响到粒重和产量。相关研究<sup>[14]</sup>表明,作物开花前合成的同化物约3%~30%转运到籽粒,但不同作物类型、不同生长环境条件下同化物转运量有很大差异。增施氮肥是水稻发挥高产潜力的主要途径,随施氮量的增加,地上部含氮量增加,水稻表现为分蘖增多,氮素较多积累在叶片、茎鞘等营养器官中,“奢侈耗氮”现象严重,造成了水稻实质性减产<sup>[15-20]</sup>。本研究结果表明,前氮后移结合其他养分运筹模式能够提高早稻抽穗后干物质累积量,其产量随着抽穗后干物质增加而显著增加,抽穗后干物质累积量和产量呈极显著正相关( $r=0.727^{**}$ ,  $n=36$ ),与前人研究结果<sup>[5,15,21]</sup>相似;因此,抽穗后干物质累积增加,即穗重增加对于早稻高产尤为重要。同时茎叶物质转运率高,容易引起早稻根系早衰<sup>[5,15,22]</sup>,养分运筹模式能够提高早稻抽穗后同化物质对产量的贡献率,降低茎叶物质转运贡献率,有效地防止早稻根系、茎秆的早衰,提高抗倒伏能力。

氮肥用量增加和种植密度的加大均会大幅度提高单位面积有效穗数<sup>[4,16,23]</sup>。本研究结果表明,氮肥与栽培密度对穗粒数的影响,总的趋势是随氮肥水平和种植密度的提高而上升。氮肥增加促进大量分蘖,从而提高了有效穗数;密度增加则是通过基本苗数量的增加而提高了有效穗数,栽培密度对

不同地力环境条件下早稻产量的影响达到显著水平。随着有效穗数和总粒数的增加,早稻库容量变大,光合产物相对其大库而显得不足,造成结实率下降。

农民习惯施肥模式在早稻生育前期优势明显,但后期生殖生长养分供给不足,不利于从源到库的转化,导致抽穗后干物质累积量降低,分蘖质量下降。而养分运筹模式有利于抽穗后干物质累积,促进早稻籽粒灌浆,提高穗的干物质累积,达到增产的目的。针对目前稻田氮含量较高,早稻灌浆结实期阴雨较多的气候特点,可适当降低氮肥施用量,优化后期群体结构,提高抽穗至成熟期干物质生产能力,使氮肥施用量、施用时间与对氮肥的生理需求协调一致,合理调整基肥、分蘖肥、穗肥比例,改变传统基肥、分蘖肥各施1次的施肥模式,压缩高峰苗,减少无效分蘖,提高成穗率,增加穗粒数,有效地实现高产稳产。

#### 参考文献:

- [1] 钟旭华, 黄农荣, 郑海波. 华南双季杂交稻氮素养分消耗量及其影响因素研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 569-576.
- [2] Cassman K G, Dobermann A, Walters D T. Agroecosystems, nitrogen use efficiency and nitrogen management[J]. *Ambio*, 2002, 31: 132-140.
- [3] Wei J Y, Shen Z, Pu S, et al. How do nitrogen inputs to the Changjiang basin impact the Changjiang River nitrate: A temporal analysis for 1968-1997[J]. *Glob*

- Biogeochem Cycl, 2003, 17(4): 1091-1099.
- [4] 周江明, 赵琳, 董越勇, 等. 氮肥和栽植密度对水稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 274-281.
- [5] 陈丽楠, 彭显龙, 刘元英, 等. 养分管理对寒地水稻干物质积累及运转的影响[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(5): 52-55.
- [6] 张洪松, 岩田忠寿, 佐藤勉. 粳型杂交稻与常规稻的物质生产及营养特性的比较[J]. 西南农业学报, 1995, 8(4): 11-16.
- [7] 凌启鸿, 张洪程, 蔡建中, 等. 水稻高产群体质量及其优化控制探讨[J]. 中国农业科学, 1993, 26(6): 1-11.
- [8] 朱庆森, 张祖建, 杨建昌, 等. 亚种间杂交稻产量源库特征[J]. 中国农业科学, 1997, 30(3): 52-59.
- [9] 杨建昌, 朱庆森, 王志琴, 等. 亚种间杂交稻光合特性及物质积累与运转的研究[J]. 作物学报, 1997, 23(1): 82-88.
- [10] 杨惠杰, 李义珍, 杨仁崔, 等. 超高产水稻的干物质生产特性研究[J]. 中国水稻科学, 2001, 15(4): 265-270.
- [11] 王永锐. 作物高产群体生理[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991: 337-350.
- [12] 林贤青, 王雅芬, 朱德峰, 等. 水稻茎鞘非结构性碳水化合物与穗部性状关系的研究[J]. 中国水稻科学, 2001, 15(2): 155-157.
- [13] 赵全志, 黄丕生, 凌启鸿. 水稻群体光合速率和茎鞘贮藏物质与产量关系的研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 304-310.
- [14] 张均华, 刘建立, 张佳宝. 施氮量对稻麦干物质转运与氮肥利用的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(10): 1736-1742.
- [15] 彭显龙, 刘元英, 罗盛国, 等. 实地氮肥管理对寒地水稻干物质累积和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(11): 2286-2293.
- [16] 吴文革, 张洪程, 钱银飞, 等. 超级杂交中籼水稻物质生产特性分析[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(3): 287-293.
- [17] 彭建伟, 丁哲利, 刘强, 等. 施氮模式对早稻农艺性状及氮肥利用率的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2010, 36(2): 224-228.
- [18] 敖和军, 王淑红, 邹应斌, 等. 不同施肥水平下超级杂交稻对氮、磷、钾的吸收累积[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3123-3132.
- [19] 敖和军, 邹应斌, 申建波, 等. 早稻施氮对连作晚稻产量和氮肥利用率及土壤有效氮含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 772-780.
- [20] 高士杰, 陈温福, 徐正进, 等. 直立穗型水稻的研究Ⅳ. 直立穗型水稻生育后期物质生产与转运[J]. 吉林农业科学, 2001, 26(6): 16-19.
- [21] 马均, 朱庆森, 马文波, 等. 重穗型水稻光合作用、物质积累与运转的研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(4): 375-381.
- [22] 黄卫群, 郝兴顺, 冯志峰, 等. 不同氮肥水平下水稻干物质生产量及氮素利用率研究[J]. 陕西农业科学, 2010(4): 7-9.
- [23] 丁哲利, 彭建伟, 刘强, 等. 不同地力水平下不同养分管理模式对早稻氮素利用效率及产量的影响[J]. 中国稻米, 2010, 16(2): 30-33.

责任编辑: 杨盛强