

# 基肥与穗肥氮比例对双季稻产量和碳氮比的影响

林忠成<sup>1,2</sup>, 李土明<sup>3</sup>, 吴福观<sup>2</sup>, 张洪程<sup>1</sup>, 戴其根<sup>1\*</sup>, 叶世超<sup>1</sup>, 郭宏文<sup>3</sup>

(1 扬州大学, 江苏省作物遗传生理重点实验室, 农业部长江流域稻作技术创新中心, 江苏扬州 225009;

2 吴江市农业委员会, 江苏吴江 215200; 3 赣州市农业科学研究所, 江西赣州 341000)

**摘要:** 试验研究了基肥与穗肥氮比例对双季早、晚稻产量, 干物质积累量, 氮素积累量和碳氮比的影响。结果表明, 当总施氮量为 N 225 kg/hm<sup>2</sup> 时, 基肥与穗肥氮比例 7:3 处理的产量最高, 其次为 6:4、8:2 处理, 均比当地习惯施肥法 (10:0) 高产。同时, 当基肥占总施氮量 60%~70% 时, 双季早、晚稻具有较高的干物质积累量、氮素积累量、氮素当季利用率、氮素农艺效率, 群体的碳氮代谢也比较协调。早稻孕穗期叶片可用性糖 (可溶性总糖 + 淀粉) 含量 17%~18%, 碳氮比 5.0~5.5, 晚稻孕穗期叶片可用性糖含量 19%~21%, 碳氮比 5.0~6.0, 这可能是基肥与穗肥氮比例为 7:3 和 6:4 时双季水稻高产的生理基础。综合双季早、晚稻产量、氮素利用率及碳氮比值, 穗肥施氮量占总施氮量的适宜比例为 30%~40%。

**关键词:** 双季稻; 氮肥运筹; 产量; 氮素利用; 碳氮比

中图分类号: S511.062

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)02-0269-07

## Effects of nitrogen application on yield and C/N of double-cropping rice

LIN Zhong-cheng<sup>1,2</sup>, LI Tu-ming<sup>3</sup>, WU Fu-guan<sup>2</sup>, ZHANG Hong-cheng<sup>1</sup>, DAI Qi-gen<sup>1\*</sup>, YE Shi-chao<sup>1</sup>, GUO Hong-wen<sup>3</sup>  
(1 Yangzhou University/Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province/Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze Valley, Ministry of Agriculture, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; 2 Agricultural Committee of Wujiang County, Wujiang, Jiangsu 215200, China; 3 Ganzhou Institute of Agricultural Sciences, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

**Abstract:** The experiment was conducted to study effects of different ratios of basic and tillering, and panicle nitrogen fertilization on yield, dry matter accumulation, nitrogen accumulation and the ratio of carbon and nitrogen of double-cropping rice. The results show that when the total nitrogen rate is N 225 kg/ha, the yield is the highest under the treatment which the ratio of basic and tillering nitrogen amount to panicle nitrogen amount is about 7:3, the followings are the treatments of ratios of 6:4 and 8:2, which are all higher than that of the conventional nitrogen application pattern (10:0). When the ratio of basic and tillering nitrogen application to total nitrogen application amount is from 60% to 70% of double-cropping rice, the dry matter accumulation, nitrogen accumulation, nitrogen utilization efficiency, N-agronomy efficiency are all increased under the ratio of 7:3, the carbon metabolism and nitrogen metabolism are also in a good coordination. The usable carbohydrate including soluble sugars and starch of early rice leaf at booting stage is 17%–18%, C/N is 5.0–5.5, and the usable carbohydrate of late rice is 19%–21% and C/N is 5.0–6.0. These would be the physiological base of getting higher rice yield when the ratios are 7:3 and 6:4. In all, synthesizing the yield, nitrogen utilization efficiency and C/N of double-cropping rice, the ratio of nitrogen application at the panicle stage of rice to total nitrogen application amount is from 30% to 40%.

**Key words:** double-cropping rice; nitrogen application; grain yield; nitrogen utilization; C/N

收稿日期: 2010-01-29

接受日期: 2010-09-30

基金项目: 国家粮食丰产科技工程项目(2006BAD02A03); 国家自然科学基金项目(30671223)资助。

作者简介: 林忠成(1981—), 男, 江苏响水人, 博士, 主要从事作物高产栽培与生理研究。E-mail: linzc1981@139.com

\* 通讯作者 E-mail: qgdai@yzu.edu.cn

试验在凌启鸿教授和苏祖芳教授指导下进行, 在此致以衷心感谢!

水稻是我国重要的粮食作物,其中双季水稻种植面积较大,稻谷产量高,有着极为重要的地位。关于双季稻栽培技术的研究很多<sup>[1-5]</sup>,主要采用多穗增产的途径,肥料主要以基肥为主,很少施用穗肥或者施用量很少,由于大量肥料在前期施用,氮肥利用效率偏低<sup>[6-9]</sup>。氮肥运筹在单季稻区的研究取得了高产、优质、高效、节肥等显著成效<sup>[10-11]</sup>,有必要对双季稻进行氮肥运筹研究。

植株体内碳、氮代谢是作物正常生长和高产的物质基础,植株组织的可溶性糖含量、氮含量及 C/N 比值是反映植株体内生理代谢状况的重要指标。关于水稻碳、氮代谢的研究已有很多报道<sup>[12-23]</sup>,一般以某个特定的生理代谢过程或某个器官进行研究。碳、氮代谢作为作物体内最基本的生理过程,特别是穗分化时期植株碳、氮代谢是否协调,将在很大程度上影响产量及其构成因素。植株组织的 C/N 比值可以作为反映作物碳、氮代谢协调程度的重要指标<sup>[17]</sup>。氮肥运筹方式对水稻植株体的氮素代谢有着重要影响,将会改变 C/N 比值,从而影响植株的生理代谢。因此,在双季稻区研究氮肥运筹对双季早晚稻产量、吸氮特性、碳氮比值的影响,探求水稻植株适宜的 C/N 比值范围,以期对双季稻合理施肥与高产栽培生理提供理论与实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2006 ~ 2007 年在江西省赣州市农业科学研究所大田进行。土壤类型为酸性红壤土,早稻前茬为代表性的冬闲田,晚稻前茬为有代表性的早稻田。0—20 cm 土壤中有有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾分别为早稻 31.0 g/kg、2.1 g/kg、98.03 mg/kg、22.01 mg/kg 和 65.25 mg/kg; 晚稻 37.3 g/kg、2.5 g/kg、101.11 mg/kg、18.80 mg/kg 和 74.27 mg/kg。

试验在普施磷、钾肥基础上,设总施氮量为 N 225 kg/hm<sup>2</sup> 的不同基肥与穗肥比例,即: 10:0、8:2、7:3、6:4、5:5、0(无氮区)6 个处理,随机排列,重复 3 次。基肥中的基肥和分肥比例各占 50%,分肥在移栽后 5 d 匀施; 穗肥于倒 3 叶期施用。氮肥为尿素; 磷肥为过磷酸钙,全部基施,施用 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 kg/hm<sup>2</sup>; 钾肥为氯化钾,基施 K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>,结合倒 3 叶期施穗肥时,再施用 K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>。

供试早稻品种为金优 463,主茎总叶片数为 13 叶,4 个伸长节间,3 月 24 日播种,4 月 26 日移栽;

晚稻品种为天优 998,主茎总叶片数为 14 叶,5 个伸长节间,6 月 23 日播种,7 月 23 日移栽。行株距分别为 26 cm 和 15 cm,每穴 2 苗。小区面积 13 m<sup>2</sup>。各小区间筑 35 ~ 40 cm 宽度的土埂,并在施肥前用塑料薄膜包裹严密,保证各小区单独排灌,四周设保护行,水浆管理与病虫草害防治等均按照高产田块进行。

施氮量的设计按照斯坦福理论公式计算,即: 氮用量(kg/hm<sup>2</sup>) = (目标产量需氮量 - 土壤当季供氮量)/肥料当季利用率。目标产量设为 8250 kg/hm<sup>2</sup>,目标产量需氮量为每百千克子粒需氮量为 N 2 kg,总需氮量为 N 165 kg/hm<sup>2</sup>,基础地力供氮量设计为 N 75 kg/hm<sup>2</sup>,肥料当季利用率以 40% 计,根据公式计算,则获得产量 8250 kg/hm<sup>2</sup> 的氮量为 (165 - 75)/40% = 225 kg/hm<sup>2</sup>,即本试验施氮量设定为 225 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.2 测定项目与方法

土壤肥力的测定: 水稻整地移栽前取表土 0—20 cm 的土壤样品,测定土壤的全氮、碱解氮、速效磷、速效钾和有机质的含量;

干物质积累量和氮素积累量的测定: 分别于移栽期、倒 3 叶期、抽穗期和成熟期,根据平均茎蘖数取有代表性植株 5 穴,烘干法测定干物质积累量; 用凯氏半微量定氮法测定植株的含氮率。

植株碳氮比的测定: 分别于倒 2 叶期、倒 1 叶期、孕穗期和抽穗期,每处理各取 5 穴主茎或大分蘖,测定其各器官(叶、茎鞘、穗)中可用性糖(可溶性总糖 + 淀粉)和氮素的百分含量,计算出植株的碳氮比,可溶性总糖和淀粉用蒽酮法测定<sup>[22]</sup>。

成熟期考种与测产: 成熟期各处理数取 100 穴水稻,计算穗数; 每小区取有代表性水稻 5 穴,考察每穗粒数、千粒重和结实率,千粒重为水漂后饱粒风干重; 各处理收获水稻 5 m<sup>2</sup> 计实际产量。

有关氮素指标的计算方法<sup>[24]</sup>:

氮肥农学利用率(kg/kg) = (施氮区水稻产量 - 空白区水稻产量)/施氮量;

氮肥表观利用率(%) = (施氮区植株氮素积累量 - 空白区植株氮素积累量)/施氮量 × 100;

氮肥生理利用率(kg/kg) = (施氮区水稻产量 - 空白区水稻产量)/(施氮区植株氮素积累量 - 空白区植株氮素积累量);

百千克子粒需氮量(kg) = 植株氮素积累量/产量 × 100;

碳氮比<sup>[22]</sup> = 可用性糖的百分含量(可溶性总糖

+ 淀粉) × 干物质重/氮素的百分含量 × 干物质重。

试验数据采用 DPS 软件进行统计分析。因两年的试验结果基本一致,分析数据均为 2006 年资料。

## 2 结果与分析

### 2.1 对双季稻产量及其构成因素的影响

基蘖肥与穗肥氮比例不同,双季稻产量处理间差异达显著水平。由表 1 可知,随着穗肥氮比例增

大,水稻产量先增加后减小,当基蘖肥与穗肥氮比例为 7:3 时产量最高,早、晚稻分别为 7767 和 8051 kg/hm<sup>2</sup>,其次是处理 6:4 的产量,均高于当地习惯施氮处理 10:0 的产量 7097 和 7477 kg/hm<sup>2</sup>。各处理间的穗数、结实率和千粒重差异较小,而每穗粒数和总颖花量随着穗肥氮比例增大而增大,尔后又略有下降。在本试验条件下,双季早、晚稻在稳定穗数的基础上,适量施用穗肥能显著提高每穗粒数,对结实率也有促进作用,从而获得高产。

表 1 基蘖肥与穗肥氮比例对双季稻产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of different ratios of basic and tillering nitrogen to panicle nitrogen on double-cropping rice yield and its components

处理 Treatment	穗数 Panicle number (No./m <sup>2</sup> )	每穗粒数 Grain number per panicle (No./panicle)	总颖花量 Spikelet number (×10 <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	结实率 Seed setting rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	理论产量 Theoretic yield (kg/hm <sup>2</sup> )	实际产量 Actual yield (kg/hm <sup>2</sup> )	
早稻 Early rice	10:0	316.34 a	108.88 c	34.44 b	77.67 b	27.45 a	7347 c	7097 c
	8:2	319.94 a	111.82 bc	35.78 ab	78.35 b	27.41 a	7671 b	7413 b
	7:3	320.54 a	116.68 ab	37.40 a	79.26 b	27.39 a	8109 a	7767 a
	6:4	310.04 a	118.52 a	36.75 ab	79.13 b	27.36 a	7954 a	7722 a
	5:5	311.84 a	117.21 ab	36.58 ab	78.27 b	27.06 a	7725 b	7475 b
	0	228.94 b	100.12 d	22.92 c	85.62 a	27.74 a	5446 d	5169 d
晚稻 Late rice	10:0	294.00 a	148.58 c	43.65 c	69.10 b	25.56 ab	7711 c	7477 c
	8:2	291.45 a	153.90 bc	44.78 b	70.18 b	25.39 b	7979 b	7776 b
	7:3	290.70 a	161.65 ab	46.99 a	70.26 b	25.28 b	8347 a	8051 a
	6:4	277.51 b	168.48 a	46.75 a	69.66 b	25.25 b	8224 ab	7969 a
	5:5	274.21 b	168.36 a	46.13 ab	68.99 b	25.10 b	7987 b	7813 b
	0	184.41 c	151.97 bc	28.02 d	74.49 a	26.09 a	5447 d	5229 d

注(Note): 同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same column are significant at 5% level.

### 2.2 对双季稻干物质积累量的影响

表 2 看出,移栽期水稻的干物质积累量没有差异,倒 3 叶期在尚未施用穗肥的情况下,水稻干物质积累量随着基蘖肥氮比例增大而增大;而抽穗期和成熟期的干物质积累量与基蘖肥氮比例呈二次曲线关系,即随着基蘖肥氮比例增大先增加,尔后又有所下降趋势。成熟期 10:0 和 8:2 处理前期干物质积累量较大,中后期因氮肥供给少,使群体的干物质积累量小;前期基蘖肥氮比例较小的 5:5 处理,由于群体较小,虽然中后期穗肥较多,但干物质积累量仍不及处理 7:3 和 6:4。处理间经济系数的变化不显著。

### 2.3 对双季稻氮素积累量和氮素利用率的影响

表 3 表明,倒 3 叶期植株氮素积累量随着基蘖

肥氮比例增大而增大;抽穗期和成熟期植株氮素积累量随着穗肥氮比例增大而增大。处理 5:5 穗肥施用量大,后期植株吸收了较多的氮素,但是大量氮素滞留在秸秆中,没有同步转化使产量提高。

表 3 还表明,基蘖肥与穗肥氮比例不同,双季稻的氮素利用效率也不同。随着穗肥比例增大,氮肥表观利用率和氮肥生理利用率增大,氮肥农学利用率先增大后略有减小,百千克子粒需氮量呈增大趋势。处理 5:5 氮肥利用效率和百千克子粒需氮量虽然较大但产量不高,说明本试验条件下,双季稻施 N 225 kg/hm<sup>2</sup> 时,基蘖肥与穗肥氮比例为 7:3 和 6:4 时,有利于水稻高产和氮肥高效。

表 2 基肥与穗肥氮比例对双季稻各生育时期干物质积累的影响  
Table 2 Effects of different ratios of basic and tillering nitrogen to panicle nitrogen on dry matter accumulation of each growing stage of rice

处理 Treatment		移栽期	倒 3 叶期	抽穗期	成熟期	经济系数 Economic coefficient
		Transplanting stage	L3	Heading stage	Maturity stage	
(kg/hm <sup>2</sup> )						
早稻 Early rice	10:0	183.45 a	3499 a	7668 c	12911 c	0.462 b
	8:2	183.90 a	3363 b	7987 b	13517 b	0.461 b
	7:3	182.85 a	3214 c	8100 a	13992 a	0.466 b
	6:4	182.55 a	3093 d	7956 b	13692 b	0.474 b
	5:5	184.95 a	2977 e	7862 bc	13359 bc	0.470 b
晚稻 Late rice	0	184.50 a	2639 f	6144 d	8834 d	0.492 a
	10:0	285.30 a	3521 a	8386 c	13992 c	0.449 b
	8:2	284.10 a	3411 b	8566 b	14582 b	0.448 b
	7:3	284.10 a	3262 c	8805 a	15141 a	0.447 b
	6:4	284.10 a	3128 d	8781 ab	15028 a	0.445 b
	5:5	282.75 a	2982 e	8538 b	14619 b	0.449 b
	0	284.10 a	2578 f	6365 d	9280 d	0.473 a

注 (Note): L3—The stage 3rd leaf from the top. 同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same column are significant at 5% level.

表 3 基肥与穗肥氮比例对双季稻氮素积累量和氮素利用率的影响  
Table 3 Effects of different ratios of basic and tillering nitrogen to panicle nitrogen on N accumulation and N utilization efficiency

处理 Treatment		氮素积累量(kg/hm <sup>2</sup> )			氮表观利用率	氮生理利用率	氮农学利用率	百千克子粒需氮量
		Nitrogen accumulation			N apparent	N physiological	N agronomic	N-requirement
		倒 3 叶期	抽穗期	成熟期	recovery efficiency	efficiency	efficiency	per 100 kg grain
		L3	Heading	Maturity	(%)	(kg/kg)	(kg/kg)	(kg)
早稻 Early rice	10:0	105.75 a	118.05 d	128.70 d	23.13 d	37.03 a	8.57 c	1.81 bc
	8:2	99.30 b	129.30 c	142.50 c	29.27 c	34.07 b	9.97 b	1.92 b
	7:3	90.60 c	137.85 b	156.90 b	35.67 b	32.37 b	11.55 a	2.02 ab
	6:4	81.90 d	141.45 b	156.75 b	35.60 b	31.87 b	11.35 a	2.03 ab
	5:5	71.70 e	151.80 a	161.25 a	37.60 a	27.25 c	10.25 b	2.16 a
晚稻 Late rice	0	58.65 f	66.45 e	76.65 e				1.48 c
	10:0	102.60 a	130.05 c	140.70 c	27.60 c	36.19 a	9.99 c	1.88 b
	8:2	93.90 b	136.95 b	155.25 b	34.07 b	33.23 b	11.32 b	2.00 ab
	7:3	84.60 c	145.95 a	164.85 a	38.33 ab	32.71 b	12.54 a	2.05 ab
	6:4	75.60 d	146.25 a	165.90 a	38.80 ab	31.38 b	12.18 a	2.08 ab
	5:5	65.55 e	144.00 a	167.25 a	39.40 a	29.14 c	11.48 b	2.14 a
	0	55.95 f	73.50 d	78.60 d				1.50 c

注 (Note): 移栽期早晚稻的吸氮量为 N 6.75 和 9.45 kg/hm<sup>2</sup> N accumulation of early rice and late rice are N 6.75 and 9.45 kg/ha at the transplanting stage. L3—The stage of 3rd leaf from the top. 同列数据后不同字母表示不同基肥与穗肥比例处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same column are significant among different treatments with different ratios of basic and tillering nitrogen to panicle nitrogen at 5% level.

#### 2.4 对双季稻主茎叶片和茎鞘糖含量和碳氮比的影响

不施氮处理叶片和茎鞘的可用性糖含量、可

用性糖含量与其氮素含量比值(碳氮比)显著高于施氮处理;各施氮处理的碳氮比随着穗肥氮比例增加而减小。由于在倒 3 叶期施用穗肥,植株得

氮耗糖,各处理叶片中的可用性糖含量和碳氮比均随着穗肥氮比例增大而减小。双季早、晚稻倒1叶期叶片中的可用性糖含量要低于倒2叶期,而孕穗期叶片的可用性糖含量和碳氮比要高于倒1

叶期;抽穗期叶片的可用性糖含量和碳氮比显著增大,可能是由于叶片光合产物不断增加从而可用性糖含量增加,此时氮素含量减小而使碳氮比较大程度增大(表4)。

表4 基肥与穗肥氮比例对主茎叶片和茎鞘可用性糖含量和碳氮比的影响

Table 4 Effects of different ratios of basic and tillering nitrogen to panicle nitrogen on carbohydrate content and ratio of carbon to nitrogen in leaves and stem and sheath

处理 Treatment		倒2叶期 L2		倒1叶期 L1		孕穗期 Booting stage		抽穗期 Heading stage	
		可用性糖 (%)	碳氮比	可用性糖 (%)	碳氮比	可用性糖 (%)	碳氮比	可用性糖 (%)	碳氮比
		Carbohydrate	C/N	Carbohydrate	C/N	Carbohydrate	C/N	Carbohydrate	C/N
叶 Leaves									
早稻	10:0	22.81 b	6.48 b	20.15 b	6.46 b	19.43 a	6.41 b	35.55 a	12.30 a
Early rice	8:2	19.98 c	5.50 c	16.91 c	5.22 c	16.37 bc	5.85 c	27.17 b	9.24 b
	7:3	19.02 d	5.10 c	15.15 cd	4.40 c	17.78 b	5.45 c	21.58 c	7.94 c
	6:4	19.76 c	5.04 c	12.65 d	3.24 d	16.94 bc	4.95 cd	22.28 c	7.43 c
	5:5	19.67 c	4.75 d	12.88 d	3.04 d	15.01 c	4.08 d	21.54 c	6.97 c
	0	31.50 a	11.41 a	23.32 a	10.01 a	17.37 b	7.82 a	28.64 b	13.57 a
晚稻	10:0	22.42 b	6.67 b	21.79 b	7.03 b	20.79 bc	7.24 b	35.69 a	15.45 a
Late rice	8:2	21.72 b	5.23 c	20.12 b	5.50 c	21.66 b	6.58 c	34.68 a	13.71 b
	7:3	20.90 bc	4.85 c	19.34 b	5.21 c	20.91 bc	6.01 c	33.70 a	10.47 c
	6:4	19.71 bc	4.48 c	18.21 bc	4.75 cd	19.45 c	5.30 cd	27.96 b	8.58 d
	5:5	18.28 c	4.01 cd	16.42 c	3.98 cd	18.81 c	4.96 cd	26.89 b	7.88 d
	0	28.01 a	10.81 a	25.95 a	10.14 a	24.32 a	9.58 a	33.27 a	16.07 a
茎鞘 Stem and sheath									
早稻	10:0	43.65 b	28.38 b	50.53 b	35.86 b	45.18 b	45.90 b	64.92 b	75.53 b
Early rice	8:2	41.02 c	24.28 c	48.39 b	27.77 c	43.03 b	35.54 c	62.54 b	48.85 c
	7:3	38.34 cd	21.44 cd	41.19 c	21.52 d	38.06 c	28.43 d	59.94 bc	44.63 c
	6:4	35.35 d	19.35 cd	40.92 c	17.90 e	33.17 d	21.41 e	57.24 bc	41.23 c
	5:5	34.36 d	16.71 d	40.81 c	16.14 e	26.65 e	15.04 f	48.87 c	30.91 d
	0	46.99 a	42.66 a	60.25 a	55.21 a	51.30 a	77.12 a	77.01 a	112.07 a
晚稻	10:0	52.59 a	33.56 b	51.80 b	43.94 b	55.56 bc	67.30 ab	65.03 c	94.39 b
Late rice	8:2	45.30 b	23.78 c	42.76 c	31.11 c	63.72 a	54.31 b	69.80 b	84.13 c
	7:3	44.22 b	19.03 d	41.87 c	24.61 d	60.81 b	47.32 b	72.03 b	81.67 c
	6:4	43.22 b	16.46 d	39.92 c	22.83 d	59.69 b	38.85 c	65.55 c	53.54 d
	5:5	39.09 c	14.34 d	34.34 d	17.97 e	57.53 bc	35.04 c	55.57 d	41.09 e
	0	45.63 b	46.24 a	59.05 a	62.91 a	53.08 c	71.45 a	78.62 a	177.00 a

注( Note): L2—The stage of 2nd leaf from the top; L1—The stage of 1st leaf from the top. 同列数据后不同字母表示不同基肥与穗肥比例处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in the same column are significant among different treatments with different ratios of basic and tillering nitrogen to panicle nitrogen at 5% level.

表4还看出,茎鞘中可用性糖含量和碳氮比要显著高于叶片,早、晚稻各处理茎鞘中的可用性糖含量和碳氮比均随着穗肥氮比例增大而减小。早稻倒1叶期茎鞘中的可用性糖含量要高于倒2叶期,而孕穗期茎鞘中可用性糖含量略有减小,可能是用于幼穗的生长发育而减小;抽穗期茎鞘中可用性糖含

量和碳氮比要显著增大,可能是叶片光合产物的积累。晚稻倒1叶期茎鞘中的可用性糖含量要略低于倒2叶期,孕穗期和抽穗期则呈增大的趋势;碳氮比是随着生育进程而增大。早稻和晚稻茎鞘中可用性糖含量和碳氮比的变化趋势略有差异,可能是晚稻的总叶片比早稻多一张,伸长节间数也不同,拔节

时期不同,使得早晚稻茎鞘中可用性糖含量和碳氮比的变化有所差异,亦可能是早、晚稻品种间差异引起的。

### 3 讨论

#### 3.1 氮肥运筹对双季稻产量及氮素吸收利用的影响

双季稻区较多地采用“重施基肥、早施攻蘖肥”的氮肥运筹法,依靠增加穗数来提高产量,但在水稻生育前期重施氮肥的传统施肥模式,肥料利用效率低,增加了生产成本,还容易引起氮肥的面源污染。现代高产水稻偏重于以大穗形成较多的颖花量来实现高产的群体质量。适当减少基肥而增加穗肥,可以在稳定单位面积适宜穗数的基础上,增加抽穗~成熟期的叶片含氮量,提高叶绿素含量,防止“一轰头”式施肥引发的后期脱肥早衰,提高齐穗后的绿叶面积和有效叶面积率以及群体光合势,有利于促进干物质积累,从而提高产量。

前氮后移增施穗肥,能为水稻整个生育期提供比较平衡的氮素供应,可促进氮素的吸收,提高氮肥当季利用效率。吴文革等<sup>[25-26]</sup>研究在施 N 180 kg/hm<sup>2</sup>的条件下,基:蘖:穗 = 50:25:25 的运筹模式是双季稻北缘地区早稻的合理施肥方式;郭宏文等<sup>[9]</sup>研究表明,基肥占总施氮量比例为 70% 时产量最高,达 7500 kg/hm<sup>2</sup> 以上,茎蘖成穗率 70% 以上;肖恕贤等<sup>[3]</sup>研究表明,早稻生育中期氮肥施用比例高则造成后期群体恶化,退化颖花大量增加,产量降低;前期氮肥比例高则造成前期疯长,同时肥料的增产效益低。本试验也说明了“一轰头”施氮方式(处理 10:0),虽然促进了水稻前期生长,但无效分蘖多,穗数并不增加,成穗率低;长穗期氮素营养不足而穗小,总颖花量小;抽穗至成熟期群体光合生产量低、结实率较低,造成产量和氮素利用效率低。

#### 3.2 氮肥运筹对双季稻植株可用性糖含量和碳氮比的影响

王勋等<sup>[17]</sup>研究表明,水稻植株营养器官非结构性碳含量(NSC)、碳氮比(C/N)与产量形成有着重要的关系。王志琴等<sup>[22-23]</sup>研究看出,从穗分化始期到孕穗期,叶片中非结构性碳水化合物不断水解,主要是淀粉水解为可溶性糖,与新合成的碳水化合物一起向茎鞘中转移运输;孕穗期茎鞘中积累的大量碳水化合物可能供穗生长发育所利用。孕穗期茎鞘中的可溶性糖含量略有降低,可能是为子粒灌浆提供物质和能量。这表明孕穗至抽穗期间茎鞘中可溶

性糖含量对子粒发育具有很大影响,对提高灌浆初期子粒库的活性,启动和促进子粒灌浆起重要作用。在抽穗期叶片和茎鞘中的可溶性糖含量都显著增加,可能是可溶性糖将作为灌浆物质不断地运往穗中合成贮藏性物质。抽穗前茎鞘中可用性糖的积累对提高子粒充实和粒重有着重要作用。

植株体要达到碳氮代谢的协调,由于得氮耗糖的影响,对氮素的施用要适期、适量,才能保证在抽穗前植株体内具有足够的可用性糖含量供灌浆初期使用。梁建生等<sup>[13]</sup>认为,茎鞘贮存物质在子粒早期发育中有着重要作用。本试验中,基肥氮比例为 60%~70% 时,群体的碳氮代谢比较协调,早稻孕穗期叶片可用性糖含量 17%~18%,碳氮比 5.0~5.5;晚稻孕穗期叶片可用性糖含量 19%~21%,碳氮比 5.0~6.0,这可能是基肥与穗肥比例 7:3 和 6:4 高产的生理基础,有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 陈小荣,石庆华,潘晓华,等. 金优 463 在赣中北作双季早稻的产量、产量构成因素分析与生产对策[J]. 江西农业大学学报,2006,28(2): 161-163.  
Chen X R, Shi Q H, Pan X H *et al.* Analysis on the yield and yield components of Jinyou 463 cultivated in the central and northern regions of Jiangxi province as double-season early rice and its cultural practice[J]. *Acta Agric. Univ. Jiangxiensis*, 2006, 28(2): 161-163.
- [2] 石庆华,潘晓华,钟晓华,等. 杂交早稻吸氮特性与产量形成的初步研究[J]. 江西农业大学学报,1989,(1): 18-23.  
Shi Q H, Pan X H, Zhong X H *et al.* Studies on the characteristics of nitrogen absorption and the yield formation in early hybrid rice[J]. *Acta Agric. Univ. Jiangxiensis*, 1989, (1): 18-23.
- [3] 肖恕贤,覃步生,陈盛球,等. 杂交早稻需肥特性和施肥技术研究[J]. 作物学报,1982,8(1): 23-32.  
Xiao S X, Qin B S, Chen S Q *et al.* Study on fertilizer requirement characteristics and fertilization technique of early hybrid rice [J]. *Acta Agron. Sin.*, 1982, 8(1): 23-32.
- [4] 石庆华,程永盛,潘晓华,等. 施氮对两系杂交晚稻产量和品质的影响[J]. 土壤肥料,2000,(4): 9-12.  
Shi Q H, Cheng Y S, Pan X H *et al.* Effects of nitrogen on yield and qualities of bilinear of late Rice[J]. *Soils Fert.*, 2000, (4): 9-12.
- [5] 石庆华,潘晓华,钟旭华,等. 威优 64 晚季稻种植的吸氮规律与施氮技术[J]. 杂交水稻,1989,(3): 8-10.  
Shi Q H, Pan X H, Zhong X H *et al.* Nitrogen uptake and the techniques of fertilization technique of late-season rice weiyou 64 [J]. *Hybrid Rice*, 1989, (3): 8-10.
- [6] 饶鸣钊,郑履端,刘珠. 氮肥运筹方式对水稻产量和品质的影响[J]. 耕作与栽培,2002,(3): 29-30.  
Rao M D, Zheng L D, Liu Z. Effect of nitrogenous fertilizer on double cropping rice yield and grain quality [J]. *Tillage Cult.*,

- 2002, (3): 29-30.
- [7] 慕永红,孙海燕,孙建勇,等.不同施氮比例对水稻产量与品质的影响[J].黑龙江农业科学,2000,(3):18-19.  
Mu Y H, Sun H Y, Sun J Y *et al.* The effect of proportion of nitrogenous fertilizer on yield and quality of rice[J]. Heilongjiang Agric. Sci., 2000, (3): 18-19.
- [8] Huang Q R, Hu F, Huang S *et al.* Effect of long-term fertilization on organic carbon and nitrogen in a subtropical paddy soil[J]. Pedosphere, 2009, 19(6): 727-734.
- [9] 郭宏文,李士明,李刚,等.氮肥运筹对双季稻产量及氮素利用率的影响[J].耕作与栽培,2006,(3):8-10.  
Guo H W, Li T M, Li G *et al.* Effect of nitrogenous fertilizer on double cropping rice yield and nitrogen use efficiency[J]. Tillage Cult., 2006, (3): 8-10.
- [10] 苏祖芳,张亚洁,张娟,等.基肥与穗粒肥配比对水稻产量形成和群体质量的影响[J].江苏农学院学报,1995,16(3):20-23.  
Su Z F, Zhang Y J, Zhang J *et al.* Effect of the ration of base-tillering fertilizer and ear-grain fertilizer on the population quality and the establishment of rice yield[J]. J. Jiangsu Agric. Sci., 1995, 16(3): 20-23.
- [11] 杨海生,张洪程,杨连群,等.依叶龄运筹氮肥对优质水稻产量与品质的影响[J].中国农业大学学报,2002,7(3):19-26.  
Yang H S, Zhang H C, Yang L Q *et al.* Effects of nitrogen operations according to leaf-age on yield and quality in good-quality rice[J]. J. China Agric. Univ., 2002, 7(3): 19-26.
- [12] 李义珍,黄育民,庄占龙.杂交稻高产群体干物质积累运转 II.碳水化合物积累运转[J].福建省农科院学报,1996,11(2):1-6.  
Li Y Z, Huang Y M, Zhuang Z L. Storage carbohydrate accumulation and transportation pattern of high yielding colony of hybrid rice[J]. J. Fujian Acad. Agric. Sci., 1996, 11(2): 1-6.
- [13] 梁建生,曹显祖,张海燕,等.水稻子粒灌浆期间茎鞘贮存物质含量变化及其影响因素研究[J].中国水稻科学,1994,8(3):151-156.  
Liang J S, Cao X Z, Zhang H Y *et al.* The changes and affecting factors of stem-sheath reserve contents of rice during grain filling[J]. Chin. J. Rice Sci., 1994, 8(3): 151-156.
- [14] Cock J H, Yoshida S. Accumulation of <sup>14</sup>C-labelled carbohydrate before flowering and the subsequent redistribution and respiration in the rice plant[J]. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn, 1972, 41: 226-234.
- [15] Jen Hsien W, Tom Oshiro T, Waichi A *et al.* Studies on dry matter and grain production of rice plants I. Influence of the reserved carbohydrate until heading stage and the assimilation productions during the ripening period on grain production[J]. Jpn. J. Crop Sci., 1982, 51(4): 500-509.
- [16] Banziger M, Fell B, Stanp P. Composition between nitrogen accumulation and grain growth for carbohydrates during grain filling of wheat[J]. Agron. J., 1994, 34(2): 440-446.
- [17] 王勋,朱练峰,戴廷波,等.不同环境和基因型条件下水稻植株的糖氮比变化及其与产量形成的关系[J].中国稻米,2008,(6):11-15.  
Wang X, Zhu L F, Dai T B *et al.* Change of ratio of sugar and nitrogen of rice plant under different genotypes and environmental and the relationship between its and yield[J]. Chin. Rice, 2008, (6): 11-15.
- [18] 王永锐,李小林.免(少)耕水稻同化物运转、碳/氮比研究[J].耕作与栽培,1992,(2):24-28.  
Wang Y R, Li X L. Study on rice assimilates and the ratio of carbon/nitrogen under free (less) farming[J]. Till. Cult., 1992, (2): 24-28.
- [19] 许德海,宋祥甫.早籼茎鞘和叶片糖氮含量与产量相关性的初步研究[J].中国水稻科学,1986,1(1):71-73.  
Xu D H, Song X F. Correlation between the total sugar and nitrogen contents in sheaths plus culms and leaf blades, and the yields in early Indica Rice Varieties[J]. Chin. J. Rice Sci., 1986, 1(1): 71-73.
- [20] 王琪,王连敏.水稻孕穗期阶段性低温对结实及植株糖、氮含量的影响[J].吉林气象,2000,(4):30-32.  
Wang Q, Wang L M. Effects of low temperature on sugar and nitrogen content of rice at booting stage[J]. Jilin Weather, 2000, (4): 30-32.
- [21] Zhang M K, He Z L. Long-term changes in organic carbon and nutrients of an Ultisol under rice cropping in southeast China[J]. Geoderma, 2004, 118: 167-179.
- [22] 王志琴,杨建昌,朱庆森,等.水稻抽穗期茎鞘中储存的可用性糖与子粒充实的关系[J].江苏农学院学报,1997,18(4):13-17.  
Wang Z Q, Yang J C, Zhu Q S *et al.* Relation of the usable carbohydrate reserved in stems and sheaths at heading state with gain-filling in rice plants[J]. J. Jiangsu Agric. Sci., 1997, 18(4): 13-17.
- [23] 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.  
Yang J C, Zhu Q S, Wang Z Q *et al.* Studies on photosynthetic characteristics of interspecific hybrid rice and accumulation and translocation of the nutrients[J]. Acta Agron. Sin., 1997, 23(1): 82-88.
- [24] 叶全宝,张洪程,魏海燕,等.不同土壤及氮肥条件下水稻氮利用效率和增产效应研究[J].作物学报,2005,31(11):1422-1428.  
Ye Q B, Zhang H C, Wei H Y *et al.* Effects of nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency and yield of rice under different soil conditions[J]. Acta Agron. Sin., 2005, 31(11): 1422-1428.
- [25] 吴文革,张四海,赵决建,等.氮肥运筹模式对双季稻北缘水稻氮素吸收利用及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(5):757-764.  
Wu W G, Zhang S H, Zhao J J *et al.* Nitrogen uptake, utilization and rice yield in the north rimland of double-cropping rice region as affected by different nitrogen management strategies[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(5): 757-764.
- [26] 吴文革,徐军,袁功平,等.双季稻北缘早稻优化氮肥施用研究[J].安徽农业大学学报,2007,34(1):57-60.  
Wu W G, Xu J, Yuan G P *et al.* Optimal nitrogen application for the north rimland of double-cropping rice[J]. J. Anhui Agric. Univ., 2007, 34(1): 57-60.