

双季晚粳稻氮肥精确运筹研究

许轲¹, 张军^{1,2}, 张洪程^{1*}, 花劲¹, 郭保卫¹, 霍中洋¹, 戴其根¹,
魏海燕¹, 高辉¹, 周培建³, 程飞虎³, 黄大山³, 陈忠平³, 陈国梁⁴

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

2 淮安市农业技术推广中心, 江苏淮安 223001; 3 江西省农业技术推广总站, 江西南昌 330046;

4 江西省上高县农业局, 江西上高 336400)

摘要:【目的】我国南方双季稻区晚稻品种以籼稻为主。近年来我国粳米需求量逐渐增大, 研究者提出了利用南方双季稻区充足的温光等资源进行晚季稻“籼改粳”以提高粳稻总产量。系统研究双季晚粳稻高产、优质和高效的氮肥运筹方式就显得十分重要。【方法】2011~2012年, 在南方典型双季稻区江西省上高县泗溪镇, 以杂交粳稻常优5号和甬优8号为晚稻材料, 在总施纯氮量 225 kg/hm² 条件下, 设置 10:0、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7 七种基肥与穗肥运筹比例, 通过研究不同氮肥运筹方式对双季晚粳稻产量及其构成因素、叶面积指数、茎蘖动态、光合物质生产与积累、氮素吸收利用以及稻米品质等方面的影响, 明确了南方稻区双季晚粳稻氮肥精确运筹模式。【结果】随基肥占总施氮量比例的降低, 结实率、千粒重和每穗粒数呈先增加后减少的趋势, 穗数呈减少趋势。氮肥基肥与穗肥比例在 6:4~7:3 范围内, 双季晚粳稻群体穗数充足、穗型大、群体颖花量高, 且结实率和千粒重较稳定, 产量显著高于其他处理, 最高产量为 9985 kg/hm²。拔节前群体茎蘖数增加较慢, 但高峰苗数适宜, 拔节后群体茎蘖数下降平缓, 茎蘖成穗率显著高于其他处理, 高于 70%; 生育中期和后期, 群体叶面积指数较高, 群体光合势高, 光合生产力强, 干物质积累量显著提高。随基肥占总施氮量比例降低, 成熟期氮素积累总量、氮肥表观利用率、氮肥农学利用率及氮肥偏生产力均呈先增加后减少的趋势, 百公斤稻谷需氮量呈先减少后增加的趋势。6:4 和 7:3 处理拔节前氮素积累量较少, 拔节至抽穗期氮素积累量和成熟期积累量显著高于其他处理。6:4 和 7:3 处理氮肥表观利用率、农学利用率及偏生产力显著高于其他处理, 百公斤稻谷需氮量显著低于其他处理。氮肥表观利用率与基肥比例呈开口向下的二次曲线关系。同时该氮肥运筹模式可改善稻米加工品质、蒸煮食味和营养品质, 但增加了稻米垩白率和垩白度, RVA 谱特征值各指标不能同时达到最佳值。【结论】基肥: 穗肥为 6:4~7:3 的氮肥运筹方案, 可使双季晚粳稻高产、优质、高效得到较好的协调统一。

关键词: 晚粳稻; 氮肥运筹; 产量形成; 氮素吸收利用; 稻米品质

中图分类号: S511.4⁺2.062

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2014)05-1063-13

Nitrogen managements of late japonica rice in double-cropping rice area

XU Ke¹, ZHANG Jun^{1,2}, ZHANG Hong-cheng^{1*}, HUA Jin¹, GUO Bao-wei¹, HUO Zhong-yang¹, DAI Qi-gen¹,
WEI Hai-yan¹, GAO Hui¹, ZHOU Pei-jian³, CHENG Fei-hu³, HUANG Da-shan³, CHEN Zhong-ping³, CHEN Guo-liang⁴

(1 Yangzhou University/Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze Valley, Ministry of Agriculture/

Jiangsu Province Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;

2 Huai'an Agricultural Technology Promotion Center, Huai'an, Jiangsu 223001, China;

3 Jiangxi Agricultural Technology Extension Station, Nanchang, Jiangxi 330046, China;

4 Bureau of Agriculture of Shanggao County of Jiangxi Province, Shanggao, Jiangxi 333100, China)

Abstract: 【Objectives】The *indica* rice has been planted as the major variety of late-season rice in double-cropping rice regions in South China. In recent years, due to the gradually increasing demand of *japonica* rice observed in

收稿日期: 2013-09-15

接受日期: 2014-01-06

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划重大项目(2011BAD16B03); 超级稻配套栽培技术开发与集成(农业部专项); 公益性行业(农业)科研专项(201303102); 江苏省农业科技自主创新基金项目(CX[10]129)资助。

作者简介: 许轲(1969—), 男, 江苏沛县人, 博士, 副教授, 主要从事作物栽培生理研究。Tel: 0514-87979220, E-mail: xuke@yzu.edu.cn

* 通信作者 E-mail: hc Zhang@yzu.edu.cn

most provinces of China, the project of “*indica to japonica*” in late season has been proposed in order to produce more *japonica* rice, which may benefit from the sufficient temperature and light in South China. To achieve high yield, good quality and high efficiency of *japonica* rice production, it is critical to determine the most effective split application of fertilizer nitrogen at the tillering and panicle stages. **[Methods]** Therefore, field experiments were conducted at the farm of Zenxi Town, Shanggao County, Jiangxi Province, China in late rice-growing seasons in 2011–2012. Two hybrid *japonica* rice cultivars, i. e., Changyou-5 and Yongyou-8, were grown by applying basal-tillering-fertilizer and panicle-fertilizer in different proportions (i. e., 10:0, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6 and 3:7), respectively at the same gross nitrogen application rate of 225 kg/ha. Subsequently, the effects of the nitrogen application strategies on yield and its formation, leaf area index (LAI), stems and tillers dynamic change, dry matter production and accumulation, nitrogen use efficiency and rice quality of late *japonica* rice were analyzed and compared. **[Results]** It was found that the number of panicles decreased while the filled-grain percentage, 1000-grain weight and spikelets per panicle first increased and then decreased with decreasing basal-tillering-fertilizer proportion, and panicle-fertilizer in the proportions of 6:4 and 7:3 led to larger panicle population, bigger panicles, larger spikelet population, more stable filled-grain percentage and 1000-grain weight, and higher rice yields (as high as 9985 kg/ha). When the two treatments of 6:4 and 7:3 were compared, before jointing stage, the population of stems and tillers increased slowly to an appropriate peak value, and then decreased gently after jointing stage. The spike rate was significantly higher than that in the other treatments. During middle and late growth stages, the population had significantly higher dry matter production and accumulation with larger LAI and photosynthetic potential. It was also found that, when the ratio of basal-tillering fertilizer to total nitrogen decreased, the total N accumulation in the mature stage, the apparent nitrogen use efficiency (ANUE), agronomic efficiency (AE) and partial factor productivity of applied N (PFP) increased first and then decreased while the nitrogen requirement for 100 kg grain decreased first and then increased. The treatments with the proportions of 6:4 and 7:3 led to significantly higher total nitrogen accumulation, apparent nitrogen use efficiency (ANUE), agronomic efficiency (AE) and partial factor productivity of applied N (PFP) as well as lower nitrogen requirement for 100 kg grain than the other treatments from jointing stage to panicle stage. The relation between ANUE and ratio of basal-tillering-fertilizer could be represented by a quadratic curve opening downward. In addition, the application of basal-tillering-fertilizer and panicle-fertilizer in the proportions of 6:4 or 7:3 can also improve the cooking, eating and nutritional qualities of rice although the two treatments increased rice chalkiness grain percentage and degree of chalkiness, and they cannot improve the RVA profile characters. **[Conclusions]** In general, the treatments with the proportions of 6:4 and 7:3 can achieve high-yield and good quality *japonica* rice production with high N use efficiency in double-cropping rice regions.

Key words: late *japonica* rice; nitrogen management; yield formation; nitrogen use efficiency; grain quality

水稻是中国最主要的粮食作物,稻田氮肥消费量占中国氮肥总消费量的 30% 以上;氮是水稻需求量最大的营养元素,科学施用氮肥是水稻优质高产的重要策略,也可减少对环境的污染^[1]。氮肥运筹技术(不同生育时期施用比例)是(超)高产栽培技术的重要组成部分^[2-4],与稻谷产量形成、氮肥吸收利用和稻米品质等关系密切;合理氮肥运筹能提高水稻对氮素的吸收利用^[5],促进生育及优良稻米品质的形成。针对南方双季晚稻,凌启鸿等^[6]认为,适宜施氮量下基肥与穗肥的比例为 7:3 和 6:4

时产量较高,且氮肥利用率较高。田智慧等^[7]研究表明,随中后期施氮比例的增加产量增加,成穗率提高。陈爱忠等^[8]研究认为,早熟品种基肥与穗肥比例为 7:3 的处理产量最高,中迟熟品种在 7:3 和 6:4 处理可达到最高产量;超级晚稻淦鑫 688 施氮量 N 232.5 kg/hm²、基肥与穗肥比例为 6:4 的稻谷产量、总吸氮量和氮肥利用率最高^[9],得到南昌双季稻基于 Stanford 方程的精确施氮参数^[10]。张四海等^[11]研究表明,施氮量为 N 225 kg/hm²、基肥与穗肥比例为 7:3 处理的产量最高,比例为 6:4

和 7:3 的处理能较好协调产量和品质的矛盾。张祥明等^[12]认为产量、氮肥利用率与氮肥基肥比例呈抛物线关系,抛栽方式基肥占 42.97%、移栽方式为 40.88% 时氮肥利用率最高。袁小乐等^[13]研究表明,100 kg 稻谷所需养分较对照低 10% 左右,生育中期养分吸收量大是超级晚稻高产的重要原因。前人在不同肥料管理下双季晚稻生长发育、产量形成和氮素利用效率等方面做了较多研究,对建立和优化氮肥施用技术起到了重要作用。上述研究采用的品种均为常规或杂交籼稻,针对南方双季杂交晚粳稻氮肥精确运筹技术的研究尚未见系统报道。近年来,晚粳稻在我国南方双季稻区表现出较大的高产和稳产潜力^[14],“籼改粳”的研究工作已取得较大进展^[15]。目前在晚粳稻生产中,氮肥适宜施用量已基本确定,究竟何种氮肥运筹方式最适于双季晚粳稻仍存在争议,有必要进行系统研究。本研究于 2011~2012 年在江西省上高县,以杂交粳稻常优 5 号和甬优 8 号为晚稻材料,设置 7 种不同基肥与穗肥比例,系统研究了不同氮肥运筹对双季晚粳稻产量形成、氮素吸收利用及稻米品质的影响,以期为南方双季晚粳稻氮肥的合理施用提供依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2011~2012 年在江西省上高县泗溪镇曾家村(115°09'E,28°31'N)进行。该地年均降水量

1650 mm,年均日照时数 1700 h,年均温度 17.5℃。试验田前茬为早稻,晚稻后茬种植紫云英,土壤类型属砂壤土,地力中上等,土壤有机质含量 24.77 g/kg、速效氮 80.12 mg/kg、速效磷 47.55 mg/kg、速效钾 72.18 mg/kg。

根据本课题组近年在江西省双季稻区的专题研究结果和双季稻区晚稻季气候特征,选择供试粳稻品种为常优 5 号和甬优 8 号。在水稻氮肥精确定量施用技术研究的基础上^[6],对双季晚粳稻超高产氮肥施用量进行了研究,明确了晚粳稻(前茬籼稻 6750 kg/hm² 以上、不施氮区晚粳稻稻谷产量 5025 kg/hm² 以上)高产、稳产的适宜施氮量为 N 255 kg/hm²(采用斯坦福方程确定)。在此基础上,基肥与穗肥比例设 7 个处理,分别为 10:0、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7,另设置全生育期不施氮肥处理(CK),每处理重复 3 次,小区面积 15 m²,共 48 个小区,随机排列。小区间筑 35~40 cm 土埂,用塑料薄膜包裹严密,保证各小区单独排灌,四周设保护行。

氮肥的分蘖肥和穗肥种类均为尿素(含氮量 46%),分蘖肥在移栽后 7 d 匀施,穗肥在倒四叶、倒二叶两次等量施用,具体施肥方案见表 1。氮、磷、钾比例为 1:0.5:0.5,磷肥一次性基施,钾肥分别于耕翻前、拔节期等量施入。6 月 22 日播种,湿润育秧,7 月 23 日移栽,行株距为 26.4 cm×14 cm,每穴栽 3 苗。水分管理及病虫害防治等相关的栽培措施均按照粳稻超高产栽培要求实施。

表 1 不同施氮量处理试验设计
Table 1 Experimental design of different nitrogen application treatments

处理 Treat.	基肥(kg/hm ²) Basal and tillering fertilizer		穗肥(kg/hm ²) Panicke fertilizer		占总氮肥量比例(%) Ratio to total nitrogen application			
	基肥 BF	分蘖肥 TF	倒 4 叶 4LFT	倒 2 叶 2LFT	基肥 BF	分蘖肥 TF	倒 4 叶 4LFT	倒 2 叶 2LFT
10:0	135	90	0	0	60	40	0	0
8:2	113	68	23	23	50	30	10	10
7:3	90	68	34	34	40	30	15	15
6:4	79	56	45	45	35	25	20	20
5:5	68	45	56	56	30	20	25	25
4:6	56	34	68	68	25	15	30	30
3:7	45	23	79	79	20	10	35	35

注(Note): BF—Basal fertilizer; TF—Tillering fertilizer; 4LFT—The fourth leaf from the top; 2LFT—The second leaf from the top.

1.2 测定项目与方法

1.2.1 茎蘖动态 每个小区定点 10 穴作为一个观察点,选取 3 个观察点作为重复。分别在移栽期、有效分蘖临界叶龄期、拔节期、抽穗期、乳熟期(抽穗后 20 d)和成熟期观察茎蘖数消长动态。

1.2.2 叶面积指数 分别于移栽期、有效分蘖临界叶龄期、拔节期、孕穗期、抽穗期、乳熟期(抽穗后 20 d)、腊熟期(抽穗后 35 d)和成熟期,每处理取 3 穴为 1 个样本,用直尺量取叶片长与宽值,以长 $\times$ 宽 $\times$ 0.75 计算 3 穴样本的总叶面积,再折算成相应的叶面积指数。每次测 3 个重复。

1.2.3 干物质与氮素积累量 分别于有效分蘖临界叶龄期、拔节期、抽穗期、乳熟期(抽穗后 20 d)、腊熟期(抽穗后 35 d)和成熟期,每处理取 3 穴为 1 个样本,每样本分叶、茎、鞘和穗(抽穗后),105℃下杀青 30 min,80℃下烘干至恒重,测定干物质重。样品粉碎后用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消化,半微量凯氏定氮法测植株各部分氮含量。

1.2.4 理论产量与实际产量 成熟期普查每小区 100 穴,计算有效穗数,取 5 穴调查每穗粒数、结实率,测千粒重和理论产量;各小区除边上 2 行外全部收割,脱粒、去杂晒干后称重。

1.2.5 稻米品质 籽粒收获 3 个月后,测定稻米碾米品质(糙米率、精米率、整精米率)、外观品质(垩白粒率、垩白大小、垩白度)、蒸煮食味品质(胶稠度、直链淀粉含量、蛋白质含量)等主要品质指标。其中直链淀粉含量、蛋白质含量用 FOSS TECATOR 公司生产的近红外谷物分析仪(Infratec1241 Grain Analyzer)测定;其它指标均参考中华人民共和国国家标准《GB/T17891-1999 优质稻谷》进行测定。稻米淀粉粘滞谱(RVA)采用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司生产的 Super3 型 RVA(Rapid Viscosity-Analyzer)快速测定淀粉谱粘滞特性,用 TWC(Thermal Cycle for Windows)配套软件进行分析,粘度用 cp 表示(Centipoise,RVA 粘度单位)。

1.3 计算与统计方法

氮肥表观利用率(%)=(施氮区植株总吸氮量-无氮区植株总吸氮量)/总施氮量 $\times$ 100

氮肥农学利用率(kg/kg)=(施氮区产量-空白区产量)/总施氮量

氮肥偏生产力(kg/kg)=籽粒产量/总施氮量

用 Microsoft Excel 软件进行数据处理、计算与作图,DPS 等软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 氮肥运筹对双季晚粳产量及其形成影响

2.1.1 产量及其构成因素 连续两年两个水稻品种不同氮肥运筹处理的实际产量,常优 5 号各处理表现为 7:3>6:4>8:2>5:5>10:0>4:6>3:7,甬优 8 号为 7:3>6:4>8:2>5:5>4:6>10:0>3:7,前 4 个处理的顺序一致,但 10:0 和 4:6 处理排序有所差异,两处理实际产量差异不显著(表 2)。7:3、6:4 处理产量均极显著高于其余处理,如 2011 年,常优 5 号 7:3 与 6:4 处理产量分别为 9985、9813 kg/hm²,分别较 3:7 处理增加了 38.19% 和 35.82%,8:2、5:5、4:6、10:0 处理分别较 3:7 处理增加了 29.78%、26.56%、18.28%、14.69%。进一步研究表明,各品种产量(y)与基肥占施氮量的比例(x)的关系式,2011 年为:

$$y_{\text{甬优8号}} = -0.0015x^2 + 0.2065x + 3.4069 \\ (x_{\text{opt}} = 68.83\%, r = 0.9674^{**})$$

$$y_{\text{常优5号}} = -0.0016x^2 + 0.2229x + 1.9605 \\ (x_{\text{opt}} = 69.66\%, r = 0.9860^{**});$$

2012 年为:

$$y_{\text{甬优8号}} = -0.0013x^2 + 0.1888x + 3.0262 \\ (x_{\text{opt}} = 72.62\%, r = 0.9783^{**})$$

$$y_{\text{常优5号}} = -0.0017x^2 + 0.2332x + 2.5221 \\ (x_{\text{opt}} = 68.59\%, r = 0.9782^{**})$$

结果说明,基肥占施氮量的比例为 68.59%~72.62% 时产量最高,即氮肥运筹为 6:4~7:3 时,利于晚粳稻高产的形成。

从产量构成因素看,两品种不同处理的结实率和千粒重,随基肥占施氮量比例的降低,呈先增后减趋势。群体颖花量构成因素的穗数随基肥占施氮量比例的降低呈减少的趋势,每穗粒数呈先增后减趋势。通径分析表明,产量(Y)与构成因素(穗数 x_1 、每穗粒数 x_2 、结实率 x_3 和千粒重 x_4)的最优回归方程为 $Y = 97.67 + 27.63x_1$,说明单位面积穗数对双季晚粳稻产量的影响最大,直接通径系数为 0.9849。

由于两年试验结果的规律基本一致,下文就 2012 年的试验数据进行详细分析。

2.1.2 水稻各生育期的群体茎蘖数 由图 1 可知,在移栽期,两品种各处理茎蘖数差异较小;有效分蘖临界叶龄期(N-n 期)各处理茎蘖数差异显著,表现为 10:0>8:2>7:3>6:4>5:5>4:6>3:7;拔节期均达高峰苗,不同处理间的表现趋势与有效分蘖

表 2 不同处理水稻产量及其构成
Table 2 Grain yield and its components of two rice cultivars in different treatments

品种 Cultivar	处理 Treat.	穗数 Panicle No. ($\times 10^4$ No./ hm^2)	每穗粒数 Grain No. (No./panicle)	总颖花量 Total spikelet No. ($\times 10^4$ No./ hm^2)	结实率 Filled-grain percentage (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	理论产量 Theoretic yield (kg/hm^2)	实际产量 Actual yield (kg/hm^2)
2011								
常优 5 号 Changyou 5	10:0	317.1 aA	130.2 deCD	41721 cC	83.2 fF	25.7 eE	8842 dD	8546 cC
	8:2	311.1 aAB	140.4 bcBC	43666 bB	84.1 eE	26.2 cdCD	9635 bB	9377 bB
	7:3	300.6 abBC	148.3 abAB	44581 aA	86.7 cBC	26.7 bBC	10297 aA	9985 aA
	6:4	286.8 bcBC	152.2 aA	43648 bB	87.1 bB	26.8 bAB	10175 aA	9813 aA
	5:5	279.9 cCD	145.4 abAB	40695 cC	86.5 cC	26.5 bcBCD	9334 cC	9144 bB
	4:6	272.3 cdDE	141.1 bcBC	38423 dD	85.2 dD	26.1 dDE	8546 eE	8287 cC
	3:7	259.1 dE	136.7 cdBC	35410 eE	81.8 gG	25.7 eE	7455 fF	7225 dD
	CK	196.2 eF	122.2 eD	23968 fF	87.8 aA	27.2 aA	5711 gG	5343 eE
甬优 8 号 Yongyou 8	10:0	298.1 aA	148.6 cC	44299 cC	82.1 gF	25.3 eC	9211 cC	8886 cC
	8:2	278.4 cB	168.2 bB	46816 bB	83.1 fE	26.1 bcABC	10136 bB	9878 bB
	7:3	272.9 cB	176.7 abAB	48210 aA	85.5 cdBC	26.4 abcAB	10889 aA	10675 aA
	6:4	259.7 dC	182.4 aA	47358 abAB	85.6 bcABC	26.6 abAB	10778 aA	10533 aA
	5:5	249.9 eD	177.7 abAB	44395 cC	86.3 dA	26.1 bcABC	10018 bB	9788 bB
	4:6	241.7 fE	173.7 abAB	41972 dD	85.0 dC	25.9 cdBC	9252 cC	9029 cC
	3:7	239.5 fE	169.4 bAB	40469 eE	84.3 eD	25.5 deC	8682 dD	8360 dD
	CK	176.7 gF	144.9 cC	25600 fF	86.1 abAB	26.9 aA	5928 eE	5695 eE
2012								
常优 5 号 Changyou 5	10:0	319.8 aA	132.4 deCD	42354 dC	83.2 ecdD	25.5 dC	8988 bBC	8651 dC
	8:2	299.4 bB	143.4 bcBC	42922 cBC	84.2 bcCD	26.2 bcBC	9460 abAB	9227 bcB
	7:3	291.7 cB	152.3 abAB	44405 aA	86.3 aAB	26.4 bcB	10101 aA	9850 aA
	6:4	282.3 dC	154.2 aA	43528 bB	86.5 aAB	26.6 bB	10002 aAB	9663 abAB
	5:5	276.8 deCD	148.4 abcAB	41067 eD	86.3 aAB	26.4 bB	9368 abAB	9174 cB
	4:6	270.6 eD	143.6 bcBC	38845 fE	85.1 bBC	26.1 bcBC	8628 bcBC	8407 dC
	3:7	261.6 fE	139.2 cdCD	36420 gF	82.3 dE	25.9 cdBC	7760 cC	7450 eD
	CK	187.8 gF	128.6 eD	24149 hG	87.3 aA	27.4 aA	5765 dD	5503 fE
甬优 8 号 Yongyou 8	10:0	299.3 aA	143.6 dB	42978 eE	82.5 cC	25.7 cdBC	9103 cBC	8813 dC
	8:2	282.6 bB	163.1 bcAB	46078 cC	84.2 bBC	26.1 bcAB	10136 abAB	9953 cB
	7:3	273.3 cC	179.1 abA	48959 aA	85.3 abAB	26.4 abAB	11021 aA	10790 aA
	6:4	255.2 dD	187.2 aA	47772 bB	85.6 abAB	26.6 abA	108545 aA	10430 abA
	5:5	251.0 eDE	179.2 abA	44968 dD	86.4 aA	26.2 bAB	10194 abAB	9881 cB
	4:6	245.0 eEF	165.9 bcAB	40647 fF	85.2 abAB	26.5 abA	9187 bcBC	8923 dC
	3:7	238.4 fF	162.5 bcdAB	38725 gG	84.6 bAB	25.2 dC	8265 cC	8095 eD
	CK	180.6 gG	145.7 dB	26312 hH	86.6 aA	26.8 aA	6104 dD	5792 fE

注 (Note): 同一品种同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平 Values followed by different lowercase and capital letters in a column are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

临界叶龄期相似;抽穗后,基肥占总施氮量比例较高的处理群体茎蘖数消亡较快,比例低的处理较平缓;成熟期,随基肥占总施氮量比例的降低,各处理穗数呈减少趋势,最终成穗率表现为 $6:4 > 7:3 > 5:5 > 3:7 > 8:2 > 10:0$,其中 $7:3 \sim 4:6$ 的处理显著高于其它处理,如常优5号 $7:3$ 、 $6:4$ 、 $5:5$ 、 $4:6$ 处

理的成穗率分别为71.94%、72.11%、71.36%、70.25%, $10:0$ 、 $8:2$ 、 $3:7$ 处理分别为63.78%、66.25%、68.06%,均小于70%。

2.1.3 叶面积指数和光合势 由图2可以看出,有效分蘖临界叶龄期((N-n),随基肥占总施氮量比例的降低,叶面积指数表现为 $10:0 > 8:2 > 7:3 >$

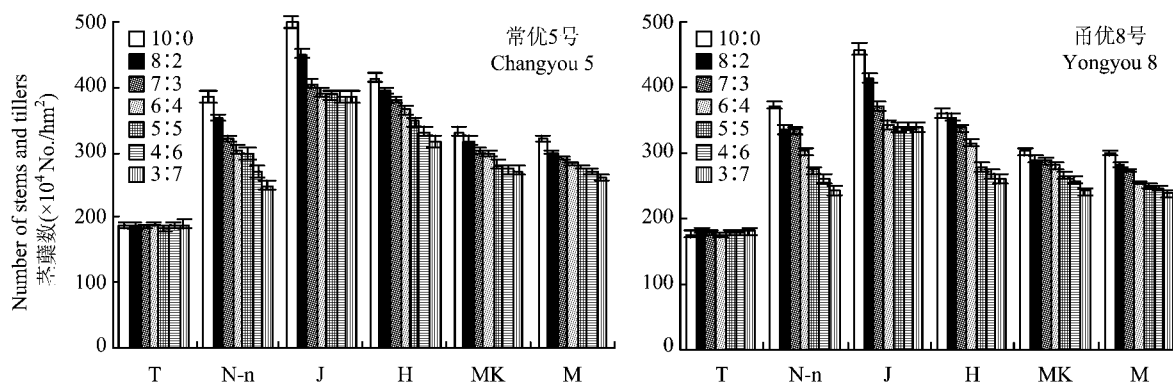


图1 不同处理水稻各生育时期群体茎蘖数

Fig.1 The stem and tiller number of two rice cultivars in different growth periods with different treatments

[注(Note): T—移栽期 Transplanting stage; N-n—有效分蘖临界叶龄期 Critical leaf-age for productive tillers; J—拔节期 Jointing stage; H—抽穗期 Heading stage; MK—乳熟期 Milky stage; M—成熟期 Maturity stage.]

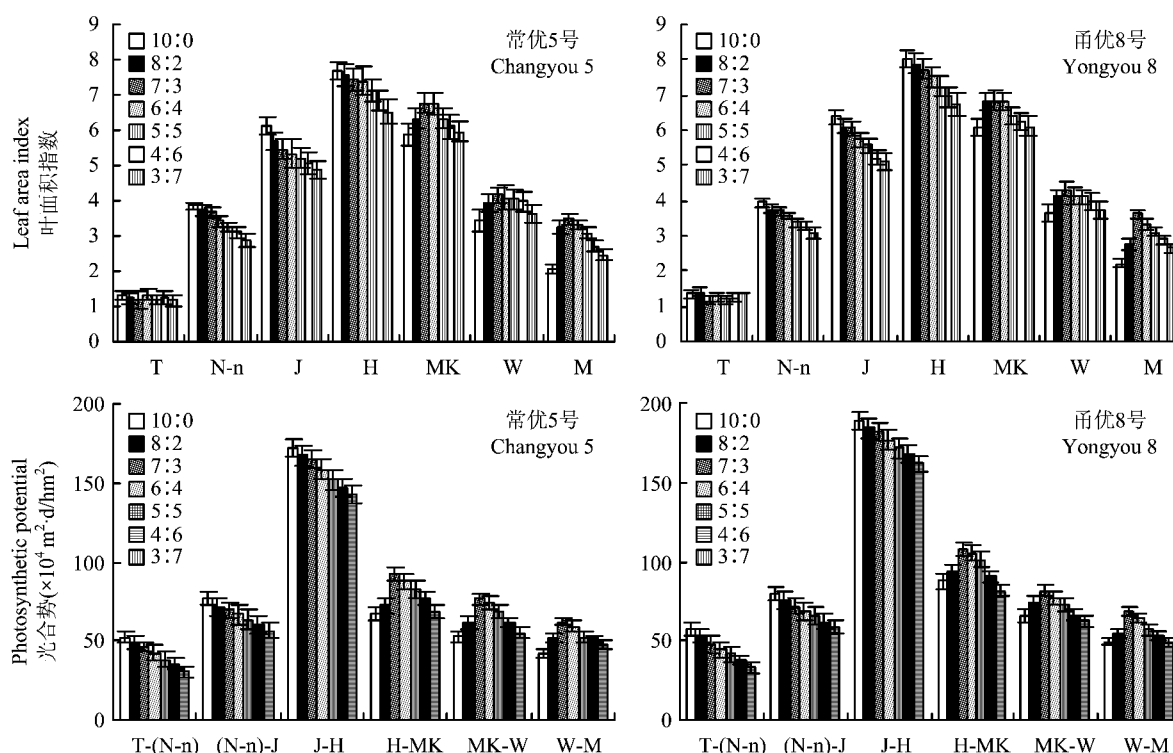


图2 不同处理水稻各生育时期群体叶面积指数与光合势

Fig.2 LAI and photosynthetic potential of two rice cultivars in each growth period with different treatments

[注(Note): T—移栽期 Transplanting stage; N-n—有效分蘖临界叶龄期 Critical leaf-age for productive tillers; J—拔节期 Jointing stage; H—抽穗期 Heading stage; MK—乳熟期 Milky stage; W—蜡熟期 Waxy stage; M—成熟期 Maturity stage.]

6:4>5:5>4:6>3:7;拔节期的趋势与 N-n 期相似;孕穗期各处理均达最大值,且群体叶面积指数(LAI)随基肥占施氮量比例的减少而顺次减小;此后,各处理茎蘖数均开始下降,基肥占施氮量比例较高的处理下降较快,至乳熟期群体 LAI 表现为 7:3>6:4>5:5>4:6>3:7>10:0>8:2;蜡熟期和成熟期 7:3、6:4 处理的 LAI 显著高于其余处理,如常优 5 号,成熟期两处理 LAI 分别为 3.47 和 3.31。

就群体光合势而言,在移栽至有效分蘖临界叶龄期(N-n)、有效分蘖临界叶龄至拔节期、拔节至抽穗期,随着基肥占施氮量比例的降低,各处理光合势均表现为 10:0>8:2>7:3>6:4>5:5>4:6>3:7;抽穗至乳熟期、乳熟至蜡熟期、蜡熟至成熟期,则表现为 7:3>6:4>5:5>8:2>4:6>3:7>10:0,其中 7:3、6:4 处理显著高于其余处理。不同处理的总光

合势表现为 7:3>6:4>8:2>10:0>5:5>4:6>3:7,如常优 5 号上述各处理总光合势依次分别为 512.49、488.49、473.60、463.30、457.24、431.84、401.23。可见基肥占施氮总量比例过高或过低,晚粳稻的群体光合生产能力均较小,本试验条件下,基肥占施氮总量的比例以 6:4~7:3 较为适宜。

2.1.4 群体干物质积累量 图 3 显示,在有效分蘖临界叶龄期(N-n),两品种各处理的群体干物质积累量相当,此后,基肥占施氮量比例高的处理,干物质生产速率较快,拔节期各处理的群体干物质积累量呈现 10:0>8:2>7:3>6:4>5:5>4:6>3:7 的趋势;在抽穗期,10:0 处理的干物质积累量仍最多,其余处理随基肥比例降低依次减小;乳熟期、蜡熟期和成熟期 7:3、6:4 两处理干物质积累量最高,其它处理的大小顺依次为 8:2、5:5、4:6、10:0、3:7,可见抽穗后穗肥比例高的处理干物质生产力增强。

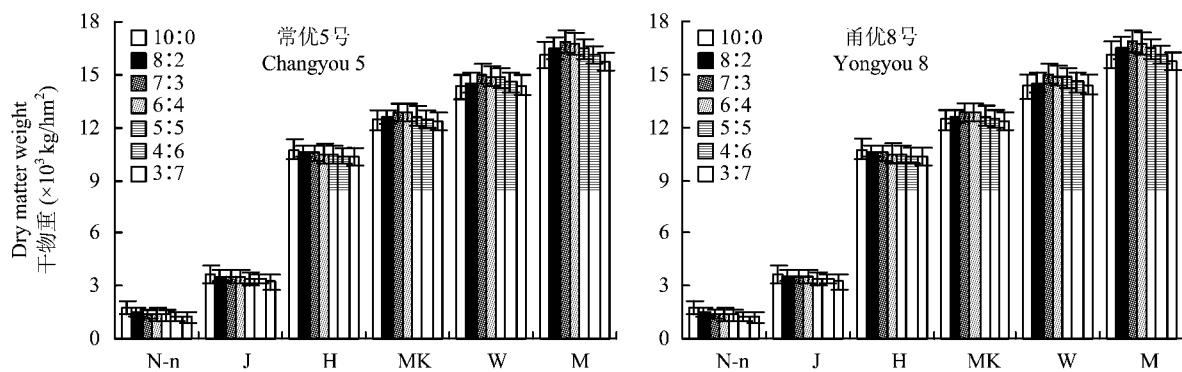


图 3 不同处理水稻群体各生育时期干物质积累量

Fig. 3 Dry matter accumulation of two rice cultivars under different treatments

[注(Note): N-n—有效分蘖临界叶龄期 Critical leaf-age for productive tillers; J—拔节期 Jointing stage; H—抽穗期 Heading stage; MK—乳熟期 Milky stage; W—蜡熟期 Waxy stage; M—成熟期 Maturity stage.]

2.2 氮肥运筹对双季晚粳氮素吸收与利用的影响

2.2.1 对不同生育阶段氮素积累量的影响 表 3 表明,拔节前,两品种均以基肥与穗肥比例为 10:0 的处理氮素积累总量最高,其余处理随基肥占施氮总量比例的下降而降低,氮素积累量表现为 10:0>8:2>7:3>6:4>5:5>4:6>3:7,各处理间存在显著或极显著差异;拔节前氮素积累量占全生育期总吸氮量的比例,10:0、8:2 处理极显著高于其它处理,7:3~3:7 的处理间差异不显著。拔节期~抽穗期,氮素积累量表现为 7:3>6:4>5:5>4:6>8:2>3:7>10:0,随穗肥比例的增加呈现出先增后减的趋势;拔节~抽穗期氮素积累量占总吸氮量比例,随基肥比例的降低呈上升趋势,两品种均以

3:7 的处理最高。抽穗期~成熟期,氮素积累量与拔节~抽穗期的变化趋势相似,但其占总吸氮量的比例在各处理间的规律不明显,两品种均以 7:3 和 6:4 处理最高。

2.2.2 不同处理百公斤稻谷需氮量及氮肥利用率

由表 4 可以看出,随基肥占施氮量比例的降低,常优 5 号和甬优 8 号成熟期氮素积累总量、氮肥表观利用率、氮肥农学利用率及氮肥偏生产力均呈先增后减的趋势,其中成熟期氮素积累总量、氮肥农学利用率及氮肥偏生产力,以 7:3 和 6:4 两处理最高。进一步分析表明,氮肥表观利用率与基肥比例呈开口向下的二次曲线关系($r_{\text{常优5号}} = 0.9927^{**}$ 、 $r_{\text{甬优8号}} = 0.9160^{**}$),基肥占施氮总量的比例在

表 3 不同处理水稻各生育阶段氮素吸收积累特点

Table 3 Nitrogen accumulation in each growth stages of two rice cultivars under different treatments

品种 Cultivar	处理 Treat.	拔节前 Before jointing		拔节~抽穗期 Jointing-heading		抽穗~成熟期 Heading-maturity	
		氮素积累量 NA	占总吸氮量比例 Ratio to total NA	氮素积累量 NA	占总吸氮量比例 Ratio to total NA	氮素积累量 NA	占总吸氮量比例 Ratio in total NA
		(kg/hm ²)	(%)	(kg/hm ²)	(%)	(kg/hm ²)	(%)
常优 5 号 Changyou 5	10:0	75.63 aA	48.40 aA	55.42 cD	35.47 dC	25.21 dD	16.13 eC
	8:2	68.60 bB	41.83 bB	61.23 bC	37.34 dC	34.16 aA	20.83 abcAB
	7:3	61.81 cC	36.97 cdCD	69.38 aA	41.50 cB	36.00 aA	21.53 abAB
	6:4	58.87 dCD	36.20 dCD	68.52 aA	42.12 cB	35.26 aA	21.68 abAB
	5:5	55.57 eDE	35.28 dD	67.03 aAB	42.56 bcB	34.92 aA	22.17 aA
	4:6	54.66 eE	35.87 dCD	66.34 aAB	43.54 bcB	31.38 bB	20.60 bcAB
	3:7	50.30 fF	35.51 dD	62.96 bBC	44.46 bB	28.37 cC	20.03 cB
	CK	28.91	38.09	37.38	49.26	13.16	17.93
甬优 8 号 Yongyou 8	10:0	83.08 aA	43.99 aA	67.35 dD	35.66 fD	38.45 eE	20.36 eE
	8:2	77.32 bB	39.72 bB	74.47 cCD	38.26 eCD	42.87 dCD	22.02 dD
	7:3	69.72 cC	32.18 cdCD	85.71 aA	39.57 deBC	61.19 aA	28.25 aAB
	6:4	64.84 dD	31.09 dCD	84.40 aAB	40.47 cdBC	59.29 aA	28.43 aA
	5:5	58.45 eE	30.66 dD	80.53 abABC	42.25 bcAB	51.62 bB	27.08 bB
	4:6	54.84 fF	30.84 dD	77.54 cBC	43.61 abA	45.43 cC	25.55 cC
	3:7	50.22 gG	30.16 dD	74.15 cCD	44.53 aA	42.14 dD	25.31 cC
	CK	39.23	33.77	51.24	44.12	26.22	22.57

注(Note): NA—Nitrogen accumulation. 同一品种同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平 Values followed by different lowercase and capital letters in a column are significant among different treatments for the same cultivar at the 5% and 1% probability levels, respectively.

71.22% 和 72.46% 时,常优 5 号和甬优 8 号的氮肥表观利用率最高,分别为 37.91% 和 40.33%。两个品种百公斤稻谷需氮量随基肥比例的降低呈先减少后增加的趋势,6:4 和 7:3 处理较低,常优 5 号百公斤稻谷需氮量分别为 1.68 kg 和 1.67 kg,甬优 8 号分别为 1.83 kg 和 1.85 kg。

2.3 氮肥运筹对双季晚粳稻米品质的影响

2.3.1 外观品质 不同氮肥运筹对外观品质的影响较大(表 5),两品种的垩白率、垩白度随基肥占总施氮量比例的降低均呈先增加后减少的趋势,二者与基肥的比例呈极显著二项式相关($r_{\text{常优5号}} = 0.9238^{**}$ 、 $r_{\text{常优5号}} = 0.9458^{**}$ 、 $r_{\text{甬优8号}} = 0.9446^{**}$ 、 $r_{\text{甬优8号}} = 0.9509^{**}$),以常优 5 号为例,垩白率和垩白度分别均以 7:3、6:4 处理最高(分别为 17.56%、

17.68% 和 2.92%、3.03%),不同处理间差异显著或极显著。垩白大小随基肥占总施氮量比例的降低呈增加趋势,不同处理间差异显著或极显著。

2.3.2 加工品质 随基肥占总施氮量比例的降低,晚粳稻的出糙率、精米率及整精米率均有上升趋势,各处理间差异显著或极显著(表 5)。如常优 5 号,糙米率、精米率和整精米率均以 10:0 和 8:2 两处理最低,4:6 和 3:7 处理最高,说明适当增加穗肥比例有利于提高晚粳稻的加工品质。

2.3.3 蒸煮食味及营养品质 随着基肥占总施氮量比例的降低,两品种的直接淀粉含量逐渐减少;蛋白质含量变化趋势与直链淀粉含量相反,各处理间差异显著(表 5)。同时,胶稠度表现为直线增加趋势,以 4:6 和 3:7 处理最长,分别达到 75.16 mm 和

表 4 不同处理水稻百公斤稻谷需氮量及氮肥利用特点

Table 4 N requirement for 100 kg grain and fertilizer utilization of two cultivars in different treatments

品种 Cultivar	处理 Treat.	氮素积累总量 NA (kg/hm ²)	氮肥表观利用率 ANUE (%)	氮肥农学利用率 AE (kg/kg)	氮肥偏生产力 PFP (kg/kg)	百公斤稻谷需氮量 NRG (kg)
常优 5 号 Changyou 5	10:0	156.25 cC	33.94 cBC	14.24 dC	37.98 cC	1.84 bAB
	8:2	163.99 bAB	37.38 abA	17.93 bB	41.68 bB	1.74 bB
	7:3	167.19 aA	38.80 aA	20.63 aA	44.38 aA	1.67 bB
	6:4	165.66 abA	36.78 abA	19.87 aA	43.62 aA	1.68 bB
	5:5	157.52 cCD	34.54 cB	16.90 cB	40.62 bB	1.73 bB
	4:6	152.38 dD	32.21 dC	13.08 eC	36.83 cC	1.84 bAB
	3:7	141.63 eE	27.44 eD	8.37 fD	32.11 dD	2.04 aA
	CK	80.89			23.75	1.52
甬优 8 号 Yongyou 8	10:0	188.88 bB	32.08 dC	14.18 bC	39.49 cC	2.05 abA
	8:2	194.66 bB	34.65 cC	18.59 bB	43.90 bB	1.89 bcA
	7:3	216.63 aA	44.42 aA	22.13 aA	47.44 aA	1.83 cA
	6:4	208.52 abA	40.81 bB	21.50 aA	46.81 aA	1.85 cA
	5:5	190.61 bB	32.85 cdC	18.19 bB	43.50 bB	1.91 abcA
	4:6	177.81 cC	27.17 eD	14.82 cC	40.13 cC	1.97 abcA
	3:7	166.51 dD	22.14 fE	11.85 dD	37.16 dD	2.06 aA
	CK	93.69			25.31	1.61

注(Note): NA—Nitrogen accumulation; ANUE—Apparent nitrogen use efficiency; AE—Agronomic nitrogen use efficiency; PFP—Partial factor productivity of applied N; NRG—Nitrogen requirement for 100 kg grains. 同一品种同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平 Values followed by different lowercase and capital letters in a column are significant among different treatments for the same cultivar at the 5% and 1% probability levels, respectively.

表 5 不同处理水稻稻米品质特点

Table 5 Grain quality of two rice cultivars under different treatments

品种 Cultivar	处理 Treat.	加工品质 Milling quality			外观品质 Appearance quality			营养品质 Nutrition quality		
		糙米率 BR	精米率 MR	整精米率 HMR	垩白率 CP	垩白大小 CA	垩白度 CD	直链淀粉 AC	胶稠度 GC	蛋白质 PC
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mm)	(%)
常优 5 号 Changyou 5	10:0	83.22 dD	72.44 fF	67.55 fE	16.24 eC	14.35 fE	2.33 dCD	17.62 bB	70.66 fE	7.15 eE
	8:2	84.67 cC	73.19 eD	68.34 eD	16.87 bB	15.06 eD	2.54 cBC	16.87 cC	71.58 eE	7.29 eDE
	7:3	85.66 bB	75.26 dC	71.09 dC	17.56 aA	16.63 dC	2.92 abA	16.42 dD	73.18 dD	7.56 dCD
	6:4	85.87 bB	75.86 cBC	72.18 cB	17.68 aA	17.13 cBC	3.03 aA	15.89 bB	73.98 cCD	7.68 cdC
	5:5	86.23 bB	76.14 bcB	72.68 bcAB	16.33 cC	17.65 bAB	2.88 abA	15.24 fF	74.22 cBC	7.87 bcBC
	4:6	87.15 aA	76.58 abAB	73.04 abA	15.59 dD	18.04 abA	2.81 bA	13.76 gG	75.16 bAB	8.06 bB
	3:7	87.69 aA	77.04 aA	73.28 aA	15.16 eD	18.22 aA	2.76 bAB	13.38 hG	75.89 aA	8.67 aA
甬优 8 号 Yongyou 8	10:0	80.68 eE	68.64 dE	61.26 dD	17.05 eE	15.72 fF	2.68 efCD	19.26 bB	65.36 eD	8.11 fD
	8:2	81.65 dD	69.84 cDE	64.89 cC	17.69 cdD	16.90 dD	2.99 cdBC	19.04 bB	67.24 cdC	8.49 eC
	7:3	82.26 cCD	70.22 cCD	67.24 bB	18.34 bBC	19.47 aA	3.57 aA	18.18 cC	68.75 cdC	8.96 dB
	6:4	82.84 bBC	70.61 bcBCD	67.87 abAB	18.66 bAB	18.27 bB	3.41 abA	17.69 dD	70.19 aA	9.08 cdB
	5:5	83.16 bB	71.19 abABC	68.31 abAB	17.85 cCD	17.87 cC	3.19 bcAB	17.22 eE	67.63 cC	9.26 cB
	4:6	83.95 aA	71.58 aAB	68.74 aAB	17.36 deDE	16.36 eE	2.84 deBCD	16.75 fF	67.22 cdC	9.74 bA
	3:7	84.26 aA	72.04 aA	69.07 aA	16.88 fE	14.87 gG	2.51 fDE	16.32 gG	66.72 dC	10.08 aA

注(Note): BR—Brown rice; MR—Milled rice; HMR—Head milled rice; CP—Chalkiness percentage; CA—Chalkiness area; CD—Chalkiness degree; AC—Amylose content; GC—Gel consistency; PC—Protein content. 同一品种同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平 Values followed by different lowercase and capital letters in a column are significantly different among different treatments for the same cultivar at the 5% and 1% probability levels, respectively.

75.89 mm,显著高于其它各处理。

2.3.4 淀粉 RVA 谱特性 不同氮肥运筹对两品种的 RVA 谱特征值有较大影响(表 6)。随着基肥占施氮总量比例的降低,峰值粘度、热浆粘度表现为减小趋势,均以 3:7 处理最小。崩解值除常优 5 号

的 10:0 处理外,总体呈降低趋势,两品种均以 3:7 处理最小。不同处理的消减值变化呈相反趋势,均以 3:7 处理最高。峰值时间和糊化温度,各处理间差异不显著。可见,施氮比例为 6:4~7:3 未能使 RVA 谱各特征值同时达到最优。

表 6 不同处理水稻 RVA 谱特征

Table 6 Character of RVA profile in different treatments and cultivars

品种 Cultivar	处理 Treatment	峰值粘度 Peak viscosity (cp)	热浆粘度 Hot viscosity (cp)	崩解值 Breakdown (cp)	消减值 Setback (cp)	最终粘度 Cool viscosity (cp)	峰值时间 Peak time (s)	糊化温度 Pasting temp. (°C)
常优 5 号 Changyou 5	10:0	2755 bB	1464 aA	1291 bcBC	21.74 gG	2776 bcBC	5.86 aA	73.26 cB
	8:2	2752 bB	1456 abAB	1296 bB	26.78 fF	2779 bcBC	5.88 aA	74.33 bA
	7:3	2750 bBC	1452 abAB	1298 bB	34.54 eE	2784 bcBC	5.90 aA	74.58 abA
	6:4	2743 bBC	1448 abcAB	1295 bB	35.27 dD	2779 bcBC	5.90 aA	74.66 abA
	5:5	2735 bcBCD	1443 abcAB	1292 bcBC	37.41 cC	2773 bcdBC	5.86 aA	74.67 abA
	4:6	2724 cdCD	1438 bcAB	1286 bcBC	44.87 bB	2769 cdBC	5.82 aA	75.02 abA
	3:7	2712 dD	1429 cBC	1283 bcBC	50.24 aA	2763 dC	5.82 aA	75.15 aA
甬优 8 号 Yongyou 8	10:0	2763 aA	1483 aA	1280 bB	26.56 gG	2789 bcAB	5.86 aA	74.22 bcAB
	8:2	2756 abAB	1479 aAB	1276 bB	38.46 fF	2794 abcAB	5.90 aA	75.35 bA
	7:3	2752 abABC	1472 abABC	1280 bB	53.41 eE	2806 aA	5.98 aA	75.68 aA
	6:4	2740 abcBCD	1466 bBC	1275 bB	55.81 dD	2796 abAB	5.90 aA	75.84 aA
	5:5	2729 cdBCD	1462 bCD	1267 cC	59.02 cC	2788 bcAB	5.86 aA	75.89 aA
	4:6	2722 cdCD	1450 cDE	1272 bcB	63.29 bB	2785 bcAB	5.84 aA	75.94 aA
	3:7	2708 dD	1446 cE	1263 cdC	69.69 aA	2778 cB	5.62 bB	76.05 aA

注 (Note): 同一品种同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平 Values followed by different lowercase and capital letters in a column mean are significantly different among different treatments for the same cultivar at the 5% and 1% probability levels, respectively.

3 讨论

3.1 关于双季晚稻的氮肥运筹模式

氮肥运筹对水稻高产、优质、高效栽培至关重要,合理的氮肥运筹能够提高水稻种植效益,减轻肥料对环境的污染^[1,16]。水稻生产上习惯将氮肥分为基肥、返青肥(活棵肥)、分蘖肥(促蘖肥或壮蘖肥)、长粗肥、促花肥、保花肥与粒肥等,不同稻区施肥管理有较大差异^[17]。双季稻区晚季籼稻品种生育期较短,为争足穗需攻取大群体,氮肥施用一般习惯采用“一炮轰”(基肥与穗肥比为 10:0)的施肥方法。但随着产量的不断提升,对穗肥研究得到重视,如,“三定”栽培中氮肥的基肥占总量施氮量为 58%

~70% 时可显著提高双季晚籼稻产量(平均为 8.39 t/hm²),比传统栽培方式(基肥与穗肥比为 10:0)增产 7.41%^[18]。“旺壮重”栽培中 40% 的氮肥作分蘖肥、穗肥和粒肥,杂交晚籼稻产量比传统栽培法提高 13.3%^[19]。单季粳稻区依据生态区特点、品种特点及栽培方式等采用相应的氮肥运筹方案^[20-21],较一致认为粳稻氮肥运筹应十分重视穗肥的施用。南方传统双季稻区粳稻种植面积较小,目前籼稻仍占主导地位,晚粳稻氮肥运筹方式研究较少,多是沿用当地籼稻施肥方法,致使晚粳稻产量优势没有得到充分发挥。双季晚粳稻究竟以传统的“一炮轰”法来“促前期”还是以当前单季粳稻区的运筹方案“优后期”,有必要进行深入研究。本研究结果表明,不

同氮肥运筹方式对双季晚粳稻的产量形成、氮素吸收利用及稻米品质均有较大影响,基肥与穗肥比例为 6:4 和 7:3 可稳定获得较高的产量。

3.2 氮肥运筹对双季晚粳稻产量及形成的影响

连续两年的试验结果表明,不同基肥占总施氮量的施用比例对双季晚粳稻产量的影响有显著或极显著差异,以 6:4~7:3 处理产量较高。分析表明,产量构成因素中单位面积穗数对双季晚粳稻产量影响最大,高产栽培策略应在稳定每穗总粒数基础上主攻单位面积有效穗数。由于晚粳稻营养生长期较短^[22],依靠品种短期内自身提升群体茎蘖增长速率从而增加有效茎蘖数较困难,依靠前期增大基肥比例进而增加群体有效茎蘖数是有效措施之一;但基肥比例过高后,导致群体茎蘖成穗率较低(10:0、8:2 处理均未达到 70%),同时穗型变小,群体颖花量不高,不易攻取高产。基肥和穗肥比例 7:3 和 6:4 处理生育后期仍保持较多绿叶面积和较高的物质生产能力,利于大库容的杂交粳稻品种灌浆结实和提高粒重。因此,基肥占总施氮总量的比例为 7:3~6:4 的运筹方案能较好地满足晚粳稻的生长需求,发挥其高产潜力。本研究是在湿润育秧手栽条件下进行,作者通过对双季晚粳稻大田调查发现,抛秧和机插方式在氮肥总量适宜的基础上基肥与穗肥比例以 7:3 甚至 8:2 更好,不同栽培方式晚粳稻氮肥运筹方案还有待进一步深入研究。

3.3 氮肥运筹对晚粳稻氮素吸收利用的影响

中国水稻氮肥吸收利用率多为 30%~40%,在较好的氮肥管理水平下可达 50% 左右;合理分期施氮肥能提高水稻吸氮量和氮素利用率^[23-24]。研究表明,氮肥运筹比例对不同生育期晚粳稻品种氮素吸收利用的影响无明显规律性,一般以 7:3 处理的吸氮量、氮肥利用率高于 6:4 处理,百公斤稻谷需氮量 2.01~2.30 kg^[8];也有研究认为随穗肥施用量的减少,晚粳稻氮总积累量和氮肥表观利用率和收获指数降低,农艺利用率和生理利用率呈先增后降的趋势((氨基肥:分蘖肥:穗肥=5:2:3 最大);百公斤稻谷需氮量呈先降后增的趋势,变化范围为 1.79~2.01 kg^[25]。百公斤稻谷需氮量存在较大差异,也有研究认为其适宜值为 1.77~1.89 kg^[19],两系杂交晚稻为 2.10 kg^[26]。上述研究均以籼稻为试验材料,本研究以晚粳稻为材料,研究表明随基肥占总施氮量比例的降低,水稻总吸氮量和氮肥当季利用率、农学效率和氮素偏生产力均呈先增后降趋势,基肥占总施氮量 70% 左右氮素积累总量最

高和利用水平较高;6:4、7:3 处理的百公斤稻谷需氮量最低。这与以单季粳稻和籼稻为试验材料的研究结果有一定差异^[6,27]。本研究结果初步明确了南方双季晚粳稻的氮肥吸收利用特性,对该地区确定晚粳稻合理氮肥运筹具有重要指导意义。

3.4 氮肥运筹对晚粳稻稻米品质的影响

关于氮肥运筹对稻米加工品质影响,前人研究结论几乎一致认为增加中后期氮肥比例可提高稻米的加工品质^[10,28]。本文结果也表明,随基肥占总施氮总量的降低,晚粳稻出糙率、精米率、整精米率均呈增加趋势。关于氮肥运筹对稻米外观品质和营养品质的影响,研究认为适当增施氮肥可改善稻米加工品质、提高胶稠度、改善营养品质,但外观品质会变劣^[29];随基肥比例的降低,稻米外观、营养品质有先升后降的趋势^[10],稻米垩白率、垩白度呈开口向下的抛物线型^[30];高氮条件下基肥和穗肥比例为 5:5 时,可提高稻米垩白度^[31]。上述研究结果存在一定差异。本研究结果表明,随基肥占总施氮量比例的降低,晚粳稻垩白率、垩白度呈先增加后减少趋势;稻米直链淀粉含量降低,蛋白质含量增加,胶稠度变长;峰值粘度、热浆粘度、崩解值总体呈降低趋势,均以 3:7 处理最小。综上所述,基肥占总施氮量比例过高对晚粳稻的加工品质及蒸煮食味品质造成不利影响,但 RVA 谱特征值各项指标较好。因此,氮肥运筹对晚粳稻稻米品质的调控存在矛盾,可针对某一品质性状采取适宜的氮肥运筹方案。

4 结论

不同氮肥运筹处理对双季晚粳的产量及形成有显著影响,基肥:穗肥在 6:4~7:3 范围可获得充足的有效穗数和较大穗型,保持较高结实率和千粒重;氮素吸收利用率高,百公斤稻谷需氮量少。上述运筹方式可保证晚粳稻高产和高效,但稻米品质各项指标未能同时达到较优,可针对某一欠佳的品质性状来确定适宜的氮肥运筹措施。南方双季晚粳稻在中上等地力(前茬籼稻 6750 kg/hm² 以上,不施氮区晚粳稻产量 5250 kg/hm² 以上)、施氮量 N 225 kg/hm² 条件下,高产稳产优质的基肥和穗肥比例以 6:4~7:3 较为适宜。

参考文献:

- [1] 朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259-273.

- Zhu Z L, Jin J Y. Fertilizer use and food security in China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(2): 259–273.
- [2] Peng S B, Buresh R J, Huang J L *et al.* Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China[J]. *Field Crops Research*, 2006, 96(1): 37–471.
- [3] Jiang L G, Dai T B, Jiang D *et al.* Charactering physiological N-use efficiency as influenced by nitrogen management in three rice cultivars[J]. *Field Crops Research*, 2004, 88: 239–250.
- [4] Dordas C. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations [J]. *European Journal of Agronomy*, 2009, 30: 129–139.
- [5] Dobermann A, Cassman K G. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia[J]. *Plant and Soil*, 2002, 247(1): 153–175.
- [6] 凌启鸿, 张洪程, 丁艳锋, 等. 水稻精确定量栽培理论与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006. 99–124.
Ling Q H, Zhang H C, Ding Y F *et al.* Theory and technique of precise and quantitative culture in rice [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006. 99–124.
- [7] 田智慧, 潘晓华. 氮肥运筹及密度对超高产水稻中优 752 的产量及产量构成因素的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2007, 29(6): 894–898.
Tian Z H, Pan X X. Effects of nitrogen application and plant density on yield and its components of super high yield hybrid rice Zhongyou752 [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2007, 29(6): 894–898.
- [8] 陈爱忠, 潘晓华, 吴建富, 等. 氮肥运筹对不同生育期晚稻品种产量及氮素吸收利用的影响[J]. *作物研究*, 2011, 25(1): 4–6, 10.
Chen A Z, Pan X H, Wu J F *et al.* Effects of nitrogen fertilizer management on yield and nitrogen absorption and utilization of late rice varieties with different growth duration [J]. *Crop Research*, 2011, 25(1): 4–6, 10.
- [9] 陈爱忠, 潘晓华, 吴建富, 等. 氮素施用比例对双季超级稻产量和氮素吸收、利用的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2011, (3): 40–44.
Chen A Z, Pan X H, Wu J F *et al.* Effect of the nitrogen fertilizer application ratio on the super early and late rice yield and nitrogen using efficiency[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2011, (3): 40–44.
- [10] 陈爱忠, 潘晓华, 吴建富, 等. 双季水稻精确定施氮参数的确定与验证[J]. *江西农业大学学报*, 2011, 33(1): 6–12.
Chen A Z, Pan X H, Wu J F *et al.* Validation and identification of parameters of precision nitrogen application in double-cropping rice[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2011, 33(1): 6–12.
- [11] 张四海, 吴文革, 李泽福, 等. 氮肥运筹对双季晚稻产量和品质的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2008, (3): 28–31.
Zhang S H, Wu W G, Li Z F *et al.* The effect of different proportion of nitrogen application on yield and quality of double cropping late rice [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2008, (3): 28–31.
- [12] 张祥明, 郭熙盛, 李泽福, 等. 不同双季晚稻丰产栽培模式下的氮肥运筹技术研究[J]. *土壤通报*, 2008, 39(5): 1061–1066.
Zhang X M, Guo X S, Li Z F *et al.* Study on nitrogen management technique under different high yield cultivation models for double-season late rice [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(5): 1061–1066.
- [13] 袁小乐, 潘晓华, 石庆华, 等. 超级早、晚稻的养分吸收和根系分布特性研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(1): 27–32.
Yuan X Y, Pan X X, Shi Q H *et al.* Characteristics of nutrient uptake and root system distribution in super yield early and late rice [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(1): 27–32.
- [14] 程飞虎, 周培建. 江西适度发展粳稻的探索与思考[J]. *中国农技推广*, 2012, 28(1): 6, 8–9.
Cheng F H, Zhou P J. The exploration and reflection about developing japonica rice in Jiangxi province [J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2012, 28(1): 6, 8–9.
- [15] 张洪程, 张军, 龚金龙, 等. “籼改粳”的生产优势及其形成机理[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(4): 686–704.
Zhang H C, Zhang J, Gong J L *et al.* The productive advantages and formation mechanisms of “indica rice to japonica rice” [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(4): 686–704.
- [16] Fillery R P, Dedatta S K. Ammonia volatilization from nitrogen volatilization as a N loss mechanism in flooded rice fields [J]. *Fertilizer Research*, 1986, 9: 78–98.
- [17] 杨文钰, 屠乃美. 作物栽培学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003. 46–49.
Yang W Y, Tu N M. Special crop cultivation [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003. 46–49.
- [18] 蒋鹏, 黄敏, Md. Ibrahim, 等. “三定”栽培对双季超级稻产量形成及生理特性的影响[J]. *作物学报*, 2011, 37(5): 855–867.
Jiang P, Huang M, Md. Ibrahim *et al.* Effects of “San-Ding” Cultivation method on yield formation and physiological characteristics of double cropping super rice [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(5): 855–867.
- [19] 邹应斌, 黄见良, 屠乃美, 等. “旺壮重”栽培对双季杂交稻产量形成及生理特性的影响[J]. *作物学报*, 2001, 27(3): 343–350.
Zou Y B, Huang J L, Tu N M *et al.* Effects of the VSW cultural method on yield formation and physiological characteristics in double cropping hybrid rice [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(3): 343–350.
- [20] 范立春, 彭显龙, 刘元英, 等. 寒地水稻实地氮肥管理的研究与应用[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(9): 1761–1766.
Fan L C, Peng X L, Liu Y Y *et al.* Study on the site-specific nitrogen management of rice in cold area of northeastern China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(9): 1761–1766.

- [21] 张洪程, 吴桂成, 戴其根, 等. 水稻氮肥精确后移及其机制[J]. 作物学报, 2011, 37(10): 1837-1851.
Zhang H C, Wu G C, Dai Q G *et al.* Precise postponing nitrogen application and its mechanism in rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(10): 1837-1851.
- [22] 张军, 张洪程, 霍中洋, 等. 不同栽培方式对双季晚粳稻产量及温光利用的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(10): 2130-2141.
Zhang J, Zhang H C, Huo Z Y *et al.* Effects of cultivation methods on yield and utilization of temperature and light of late japonica rice in southern double cropping rice areas[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(10): 2130-2141.
- [23] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plant-soil system and the strategies and techniques for its reduction[J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2000, 9(1): 1-6.
- [24] Peng S B, Huang J L, Zhong X H *et al.* Challenge and opportunity improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2002, 1(7): 776-785.
- [25] 何虎. 稻草全量还田下氮肥运筹对晚稻产量形成的影响及其机理[D]. 南昌: 江西农业大学硕士学位论文, 2011. 35-39.
He H. Effects of nitrogen application on yield formation of late rice and its mechanism under full amount straw-returning[D]. Nanchang: Ms thesis of Jiangxi Agricultural University, 2011. 35-39.
- [26] 李祖章, 陶其骥, 刘光荣, 等. 双季两系杂交稻高产营养特性和施肥技术[J]. 江西农业学报, 1998, 10(4): 29-37.
Li Z Z, Tao Q X, Liu G R *et al.* Nutritional characteristics and fertilizer techniques in high-yield double-cropping biliner hybrid rice[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 1998, 10(4): 29-37.
- [27] 贺帆, 黄见良, 崔克辉, 等. 实时实地氮肥管理对不同杂交水稻氮肥利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 470-479.
He F, Huang J L, Cui K H *et al.* Effect of real-time and site-specific nitrogen management on nitrogen use rate of various hybrid rice[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(2): 470-479.
- [28] 金正勋, 秋太权, 孙艳丽, 等. 氮肥对稻米垩白及蒸煮食味品质特征的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1): 31-35.
Jin Z X, Qiu T Q, Sun Y L *et al.* Effects of nitrogen fertilizer on chalkiness ration and cooking and eating quality properties of rice grain[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 7(1): 31-35.
- [29] 许仁良, 戴其根, 霍中洋, 王秀芹. 施氮量对水稻不同品种类型稻米品质的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2005, 26(1): 66-68, 84.
Xu R L, Dai Q G, Huo Z Y, Wang X Q. Effects of nitrogen fertilizer rate on quality of different rice cultivars[J]. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 2005, 26(1): 66-68, 84.
- [30] 万靛军, 张洪程, 霍中洋, 等. 不同氮肥施用比例对两优培九产量及品质的影响[J]. 扬州大学学报, 2005, 26(1): 69-72.
Wan L J, Zhang H C, Huo Z Y *et al.* The effect of different proportion of nitrogen application on yield and quality of rice Liangyoupeijiu[J]. *Journal of Yangzhou University*, 2005, 26(1): 69-72.
- [31] 潘圣刚, 翟晶, 曹凑贵, 等. 氮肥运筹对水稻养分吸收特性及稻米品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 522-527.
Pan S G, Zhai J, Cao C G *et al.* Effects of nitrogen management practices on nutrition uptake and grain qualities of rice[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(3): 522-527.