

网络出版时间:2016-07-12 08:45

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2016.08.012

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160712.0845.024.html

不同施氮水平下 3 种类型粳稻光合特性及 干物质积累分析

武志海^a,高 娃^a,金鸿明^b,郝 娜^a,杨美英^b,凌凤楼^a,张治安^a

(吉林农业大学 a 农学院,b 生命科学院,吉林 长春 130118)

【摘 要】 【目的】阐明吉林省主推粳稻品种在不同氮水平下光合特性及干物质积累的差异,为提高稻田氮肥利用率提供依据。**【方法】**采用大田试验,在不施氮(CK)、1N(纯氮 70 kg/hm²)、2N(纯氮 140 kg/hm²)和 3N(纯氮 210 kg/hm²)4 种施氮水平下,研究 3 个吉林省主推水稻品种(吉农大 505,吉农大 603,吉农大 809)灌浆期农艺性状、光合特性和干物质积累特性及产量的变化。**【结果】**随施氮水平的增加,灌浆期株高、分蘖数和叶面积指数均显著增大。吉农大 505 在 2N 条件下剑叶和倒三叶净光合速率最大,吉农大 603 在 3N 条件下倒三叶净光合速率较高,吉农大 809 功能叶净光合速率受施氮水平影响不明显,3 个品种净光合速率的差异可能是由于不同氮水平对不同品种冠层结构的影响导致叶片表观叶肉导度不同而引起的。吉农大 603 和吉农大 809 茎鞘、叶和穗部的干物质积累量均呈现随施氮水平的增加而增加的趋势,吉农大 505 茎鞘的干物质积累量在 2N 水平达到最高值。吉农大 603 在 3N 水平产量最高,其他 2 个品种在 2N 水平下产量最高,这与对应氮水平条件下各品种灌浆期功能叶片净光合速率、高效叶面积有关。产量与茎鞘、穗及地上部干物质积累量显著或极显著正相关。**【结论】**不同类型粳稻品种适宜施氮量存在差异,吉农大 505 和吉农大 809 相对耐低氮,而吉农大 603 适宜在高氮下栽培。

【关键词】 水稻;氮;光合特性;干物质积累量

【中图分类号】 S511.03

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2016)08-0075-08

Photosynthesis and dry matter accumulation characteristics of 3 Japonica rice varieties under different nitrogen levels

WU Zhihai^a,GAO Wa^a,JIN Hongming^b,HAO Na^a,

YANG Meiying^b,LING Fenglou^a,ZHANG Zhi'an^a

(a Faculty of Agronomy,b College of Life Science,Jilin Agricultural University,Changchun,Jilin 130118,China)

Abstract: 【Objective】 The study investigated the differences in photosynthetic characteristics and dry matter accumulation of main commercial Japonica rice varieties with different nitrogen levels in Jilin to provide basis for improving nitrogen efficiency. **【Method】** A field experiment was carried out to investigate changes in agronomic traits,photosynthetic characteristics and dry matter accumulation characteristics and yield of three commercial Japonica rice varieties under four nitrogen (N) levels,including no N fertilizer (CK),1N (70 kg/hm² N),2N (140 kg/hm² N) and 3N (210 kg/hm² N). **【Result】** The plant height,tiller number and LAI at grain filling period showed significant change with the increase of nitrogen level. The leaf net photosynthetic rates of flag leaf and the third leaf of Jinongda 505 in 2N reached the maximum. The net photosynthetic rate of the third leaf of Jinongda 603 in 3N was the highest. The effect of nitrogen level

【收稿日期】 2015-10-16

【基金项目】 吉林省自然科学基金项目(201215183);吉林省科技厅科技引导计划项目(20130411017XH)

【作者简介】 武志海(1975—),男,内蒙古呼和浩特人,副教授,博士,主要从事水稻栽培生理研究。

E-mail:wuzhihai1116@163.com

on net photosynthetic rate of function leaf of Jinongda 809 was not significant. The difference in leaf net photosynthetic rates may be caused by the different effects on canopy structures of different Japonica rice varieties. The dry matter accumulation of stem and sheath, leaf and spike of Jinongda 603 and Jinongda 809 increased with the increase of the nitrogen level, while that of Jinongda 505 reached the maximum in 2N and then decreased. The yield of Jinongda 603 was highest in 3N, and the highest yields of the other two species were obtained in 2N, which was related to the net photosynthetic rates and high effective leaf areas of different varieties at filling stage. Yield and dry matter accumulation of stem, sheath, spike and shoot were significantly or extremely significantly related. 【Conclusion】 Different varieties had different optimal nitrogen levels. Jinongda 505 and Jinongda 809 were relatively low in nitrogen tolerance, while Jinongda 603 was suitable for cultivation under high nitrogen level.

Key words: rice; nitrogen; photosynthetic characteristics; dry matter accumulation

我国粳稻种植面积在 $8.3\times10^6\text{ hm}^2$, 其中 2/3 在北方, 东北地区种植面积约为 $3\times10^6\text{ hm}^2$ ^[1]。北方粳稻产量潜力高, 米质优, 深受人们喜爱。据世界粮农组织统计, 我国稻田氮肥吸收利用率明显低于世界平均水平^[2-3], 仅为 30%~35%^[4-5]。南北方稻作区由于生态条件、种植模式及品种特性的不同, 在施氮水平及氮肥利用特性方面存在差异。南方水稻施氮量高于北方, 平均施氮量在 240~300 kg/hm²^[6], 而吉林省近几年的氮肥施用量为 181~225 kg/hm²^[7]。长期以来, 关于南方水稻不同氮肥用量对光合特性、物质积累与产量形成影响的研究已有一些报道。魏海燕等^[8]的研究表明, 在水稻生长后期, 氮高效基因型水稻较氮低效基因型水稻具有更好的光合特性和较长的光合功能期。孙永健等^[9]的研究表明, 高产氮高效品种氮素利用和产量与生理代谢指标间的相关性明显高于氮低效品种, 结实期高产氮高效品种更能维持叶片及根系的代谢同化能力, 促进氮素转运、再分配到籽粒中, 从而提高稻谷生产效率及氮肥利用效率。水稻自身光合物

质的积累、分配、运输和转化是否协调合理是影响产量的主要因素, 中后期的物质积累优势可有效促进植株对氮肥的吸收利用^[10]。

关于北方粳稻氮肥利用效率及不同施氮水平对粳稻功能叶片光合特性影响的研究较少, 仅见关于氮肥对个别水稻品种氮素利用率^[11]、根系活力^[12]以及植株衰老和产量影响^[13]的报道。本试验研究了 4 个氮肥处理对吉林省 3 个主推水稻品种灌浆期植株农艺性状、不同功能叶片光合特性、干物质积累特性及产量的影响, 试图在已有研究的基础上, 进一步明确北方粳稻在不同施氮条件下的光合特性和物质生产特性, 为提高北方稻田氮肥利用率提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种

供试品种为吉林省主推水稻品种吉农大 505、吉农大 603 和吉农大 809, 各品种均由吉林农业大学水稻研究所提供, 3 个品种的详细信息见表 1。

表 1 供试水稻品种

Table 1 Rice varieties tested in this experiment

品种 Variety	育成年代 Year of release	生育期/d Growth period	亲本(♀×♂) Pedigree
吉农大 505 Jinongda 505	2012	132	松粳 3 号×吉农大 10 号 Songjing 3×Jinongda 10
吉农大 603 Jinongda 603	2011	136	由吉农大 19 号太空处理育成 Handled by Jinongda 19 space breeding
吉农大 809 Jinongda 809	2013	140	秋光×通 211 Qiuguang×Tong 211

1.2 试验设计

试验于 2013—2014 年在吉林省农安县靠山镇(东经 125°39′, 北纬 44°46′)高产田中进行。试验随机区组设计, 小区面积 25 m², 重复 3 次, 设 4 个氮肥(尿素)处理, 分别是 1N(纯氮 70 kg/hm²)、2N(纯氮 140 kg/hm²)、3N(纯氮 210 kg/hm²)及不施氮

对照(CK)。小区田间作埂隔离, 并用塑料薄膜覆盖埂体, 各小区单独排灌。于每年 04-10 左右浸种, 04-17 催芽, 04-18 播种, 05-20 左右移栽, 栽插密度为 22 万穴/hm²(30 cm×15cm)。磷钾肥以底肥施入, 分别为过磷酸钙(P₂O₅ 70 kg/hm²)和硫酸钾(K₂O 70 kg/hm²), 氮肥按 *m*(基肥): *m*(分蘖肥):

$m(\text{穗肥})=5:3:2$ 的方式施入,其中穗肥分别于倒四叶和倒二叶叶龄期施入。河水灌溉,其他常规管理。土壤有机质含量 18.1 g/kg,碱解氮含量 119.02 mg/kg,速效钾含量 231.33 mg/kg,速效磷含量 43.7 mg/kg,pH 为 7.49。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 农艺性状及干物质积累的测定 于灌浆中期,每小区连续取 10 株水稻,调查茎蘖数,取茎蘖数为平均值的植株 5 穴,进行单株叶面积、株高及干物质的测定。每穴按茎鞘、叶、穗分开用纸袋装好,105℃下杀青 30 min,80℃下烘干至恒质量,测定干物质量及叶片干质量;叶面积采用 CI-203 型激光叶面积仪测定。计算比叶重(SLW)、高效叶面积和叶面积指数(LAI): $SLW=\text{叶干质量}/\text{叶面积}$, $\text{高效叶面积}=\text{剑叶面积}+\text{倒二叶面积}+\text{倒三叶面积}$, $LAI=\text{总叶面积}/\text{土地面积}$ 。

1.3.2 光合特性的测定 于水稻灌浆中期,选择晴朗无风的上午,各处理随机选取 5 株,在 09:00—11:00 利用 Li-6400 型便携式光合作用测定仪活体测定剑叶、倒二叶和倒三叶的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i),重复 3 次。

表观叶肉导度(AMC)指 CO_2 从气孔腔到叶肉细胞叶绿体的导度,按照 Fisher(1998)等^[5]的方法计算: $AMC=P_n/C_i$ 。

叶绿素含量测定采用分光光度法。取待测水稻剑叶 0.5 g,用 20 mL 体积分数 95%乙醇浸泡过夜至叶片完全变白,于 665 和 649 nm 波长下测定浸泡

液的吸光度值(OD_{665} , OD_{649}),计算叶绿素含量:叶绿素含量= $Cr\times\text{提取液体积}/\text{叶片鲜质量}$, $Cr=6.33OD_{665}+17.64OD_{649}$ 。

1.3.3 考种及产量的测定 成熟时每小区取具有代表性的植株 5 株,考查实粒数、空粒数、结实率和千粒质量,并去除四周边行、杂株,按实收计产。

1.4 数据处理

使用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理,差异显著和相关性分析用 DPS 软件进行。2 年试验结果趋势一致,本研究主要以 2014 年的数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平下 3 个粳稻品种农艺性状的 变化

由表 2 可知,灌浆期 3 个品种粳稻分蘖数呈现随氮水平的增加而增加的趋势。3 个品种的高效叶面积随氮水平的增加变化规律不同,吉农大 505 在 2N 水平下高效叶面积最高,且与对照差异达显著水平;吉农大 603 在 3N 水平时高效叶面积达到最大,显著高于对照及其他 2 个氮水平;吉农大 809 在 2N 水平下的高效叶面积最高,但是与对照和其他 2 个氮水平的差异均未达到显著水平。各品种剑叶和倒二叶及吉农大 505 和吉农大 809 倒三叶的比叶重在不同施氮水平下无显著差异,吉农大 603 倒三叶 CK 处理比叶重最高,为 55.20 g/m²,1N 处理最低,为 32.66 g/m²。灌浆期吉农大 505 的叶面积指数在 2N 水平时达到最高,而吉农大 603 和吉农大 809 的叶面积指数随氮水平的增加而显著增大。

表 2 不同施氮水平下 3 个粳稻品种的灌浆期农艺性状

Table 2 Agronomic traits of three japonica rice varieties under different nitrogen levels at different growth stages

品种 Variety	氮水平 Nitrogen level	株高/cm Plant height	分蘖数 Tiller number	高效叶 面积/cm ² High efficiency leaf area	比叶重/(g·m ⁻²) SLW			叶面积指数 LAI
					剑叶 Flag leaf	倒二叶 Top 2nd leaf	倒三叶 Top 3rd leaf	
吉农大 505 Jinongda 505	CK	81.00 b	14.00 b	78.81 b	48.61 a	47.03 a	47.41 a	3.20 b
	1N	87.73 ab	16.33 b	80.44 b	42.11 a	60.12 a	49.32 a	3.82 b
	2N	90.33 a	19.67 a	114.60 a	48.26 a	46.51 a	41.17 a	4.96 a
	3N	93.67 a	19.00 a	95.63 ab	41.54 a	39.01 a	44.34 a	4.00 b
吉农大 603 Jinongda 603	CK	82.67 c	12.00 c	71.57 c	52.00 a	45.16 a	55.20 a	2.62 c
	1N	94.00 b	14.67 b	98.83 b	43.35 a	39.11 a	32.66 b	4.25 b
	2N	92.33 b	20.00 a	99.30 b	47.88 a	42.86 a	42.72 ab	4.37 b
	3N	108.33 a	21.00 a	121.52 a	41.64 a	41.89 a	41.15 ab	5.61 a
吉农大 809 Jinongda 809	CK	84.67 b	14.67 c	106.25 a	38.86 a	44.04 a	38.65 a	3.43 c
	1N	85.40 b	16.33 bc	111.18 a	38.15 a	40.74 a	38.07 a	4.39 b
	2N	95.67 a	17.33 b	122.06 a	42.31 a	46.40 a	42.85 a	4.24 b
	3N	87.67 b	21.00 a	108.87 a	43.24 a	50.05 a	37.51 a	6.10 a

注:表中不同小写字母表示各处理在 $P=0.05$ 水平差异显著。下表同。
Note:Different lowercase letters mean significant difference among treatments at $P=0.05$ level. The same below.

2.2 不同施氮水平下 3 个品种粳稻灌浆期光合特性的变化

2.2.1 不同功能叶片光合特性的比较 由图 1 可知,吉农大 505 剑叶 P_n 在 2N 条件下最高且显著高于其他氮水平,2N 和 3N 条件下倒二叶和倒三叶 P_n 高于对照,1N 条件下倒二叶、剑叶和倒三叶 P_n 依次降低;吉农大 603 剑叶和倒二叶 P_n 随氮水平的增加变化不显著,倒三叶在 3N 条件下 P_n 最大;吉农大 809 则随氮水平的增加 P_n 有下降趋势,特别是剑叶较明显。吉农大 505 剑叶 Tr 在 2N 和 3N 下均显著高于对照,倒二叶的 Tr 随施氮水平的增

加变化不显著;吉农大 603 剑叶和倒二叶的 Tr 在 2N 下显著高于对照,倒三叶在 3N 下 Tr 显著高于其他氮水平;吉农大 809 剑叶的 Tr 在 1N 下最高,倒二叶的 Tr 随着氮水平的增加显著下降,倒三叶在 2N 下 Tr 显著高于其他氮水平。气孔导度的变化与蒸腾速率的变化基本一致。2N 和 3N 条件下,吉农大 505 剑叶和倒三叶 AMC 显著高于对照,而倒二叶各氮水平变化不显著;吉农大 603 在 3N 条件下剑叶 AMC 显著高于 1N,倒三叶 AMC 显著高于其他 N 水平;氮水平对吉农大 809 功能叶片的 AMC 影响不明显。

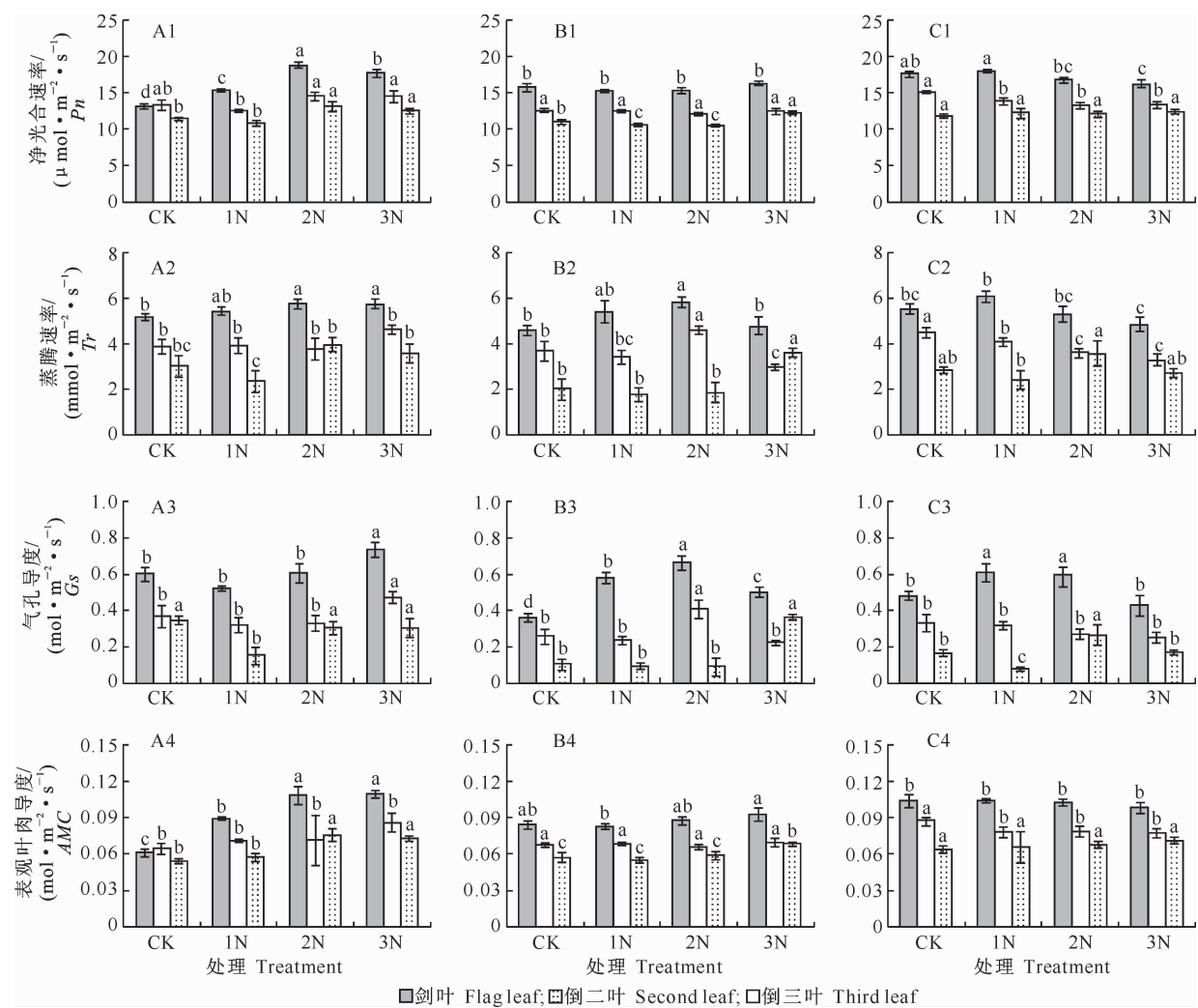


图 1 不同施氮水平下 3 个粳稻品种叶片光合特性的变化

A1~A4. 吉农大 505; B1~B4. 吉农大 603; C1~C4. 吉农大 809。

图柱上标不同小写字母表示同一品种不同处理在 $P=0.05$ 水平存在显著差异,下同

Fig. 1 Change in photosynthesis of 3 Japonica rice varieties under different nitrogen levels

A1—A4. Jinongda 505; B1—B4. Jinongda 603; C1—C4. Jinongda 809. Different lowercase letters

mean significant difference among treatments at $P=0.05$ level. The same below

2.2.2 不同功能叶片叶绿素含量的比较 如图 2 所示,吉农大 603 在同一氮水平下 3 种功能叶片叶

绿素含量表现为剑叶>倒二叶>倒三叶,吉农大 505 在 CK、1N、3N 及吉农大 809 在 CK、1N、2N 水

平下也表现出相同的规律。吉农大 505 在 2N 及吉农大 809 在 3N 时,3 种功能叶片叶绿素含量表现为倒二叶>剑叶>倒三叶。随着氮水平的增加 3 个水稻品种不同功能叶片的叶绿素含量均显著上升,3N

水平时,吉农大 505 和吉农大 603 剑叶的叶绿素含量达最大,分别为 30.03 和 23.77 mg/g;而吉农大 809 倒三叶叶绿素的含量达到最大,为 27.03 mg/g。

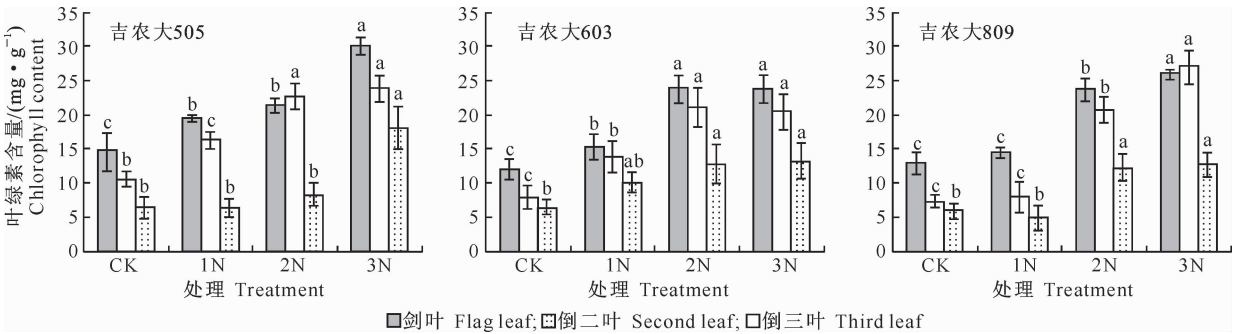


图 2 不同施氮水平下 3 个梗稻品种叶绿素含量的变化

Fig. 2 Change in chlorophyll of 3 japonica rice varieties under different nitrogen levels

2.3 不同施氮水平下 3 个品种梗稻各器官干物质积累的变化

从表 3 可以看出,吉农大 603 和吉农大 809 茎鞘的干物质积累量均随着氮水平的增加呈显著增加趋势,吉农大 505 茎鞘的干物质积累量在 2N 水平达到最高值;3 个品种叶片和穗部干物质积累量均

呈现随氮水平的增加而增加的趋势。从积累比例看,3 个品种梗稻的穗部占总干质量的比例最大,且吉农大 505 在各氮水平下均明显高于其他 2 个品种。吉农大 603、吉农大 809 和吉农大 505 地上部干物质积累量均随氮水平的增加而显著增加。

表 3 不同施氮水平下 3 个梗稻品种灌浆期各器官干物质积累量的变化

Table 3 Change in dry matter accumulation of different organs of 3 Japonica rice varieties at grain filling stages under different nitrogen levels

品种 Variety	氮水平 Nitrogen level	茎鞘 Stem-sheath		叶片 Leaf		穗 Panicle		地上部总干物质 积累量/ (t·hm ⁻²) Aboveground dry matter accumulation
		干物质积累量/ (t·hm ⁻²) Dry matter accumulation	比例/% Ratio to total	干物质积累量/ (t·hm ⁻²) Dry matter accumulation	比例/% Ratio to total	干物质积累量/ (t·hm ⁻²) Dry matter accumulation	比例/% Ratio to total	
吉农大 505 Jinongda 505	CK	4.22 b	39.47	1.01 c	9.45	5.46 c	51.08	10.69 c
	1N	4.36 ab	35.59	1.13 bc	9.22	6.76 b	55.18	12.25 b
	2N	4.73 a	35.65	1.80 b	13.59	6.74 b	50.76	13.27 b
	3N	4.23 b	26.06	2.83 a	17.45	9.16 a	56.49	16.22 a
吉农大 603 Jinongda 603	CK	3.84 c	42.13	0.98 b	10.74	4.30 b	47.14	9.12 d
	1N	5.05 b	45.25	1.23 b	11.00	4.89 b	43.76	11.16 c
	2N	5.51 b	40.73	1.41 b	10.44	6.61 a	48.83	13.53 b
	3N	6.99 a	38.44	3.63 a	19.94	7.56 a	41.61	18.18 a
吉农大 809 Jinongda 809	CK	4.05 c	47.70	0.85 b	9.96	3.60 c	42.34	8.49 d
	1N	4.61 bc	42.55	1.07 b	9.88	5.15 b	47.56	10.84 c
	2N	5.02 b	36.32	1.63 a	11.77	7.18 a	51.91	13.83 b
	3N	6.21 a	40.25	1.86 a	12.07	7.35 a	47.68	15.42 a

2.4 不同施氮水平下 3 个品种梗稻产量及其构成因素的变化

3 个品种梗稻在不同施氮水平下产量及其构成的变化如表 4 所示。由表 4 可以看出,施氮对 3 个品种的主要影响表现在穗数上,吉农大 603 和吉农大 809 在 2N 及以上水平下穗数显著高于对照,而吉农大 505 在 1N 及以上水平显著高于对照。吉农

大 505 和吉农大 809 产量在 2N 水平时最高,分别为 13 037.91 和 12 745.04 kg/hm²,吉农大 603 在 3N 水平下最高,为 12 379.25 kg/hm²。由表 5 可知,吉农大 603 和吉农大 809 的产量与其茎鞘、穗和地上部分干物质积累量呈极显著正相关关系;而吉农大 505 产量与穗部干物质积累量及地上部干物质积累量呈显著正相关关系,相关系数分别为 0.578

和 0.655,与茎鞘干物质积累量相关性不显著。

表 4 不同施氮水平下 3 个粳稻品种产量及其构成的变化

Table 4 Change in grain yield and components of 3 Japonica rice varieties under different nitrogen levels						
品种 Variety	氮水平 Nitrogen level	穗数/(穗·m ⁻²) Panicles	穗粒数 Spikelets panicles	结实率/% Filled Spikelets	千粒质量/g 10 ³ -grain weight	产量/kg·hm ⁻²) Grain yield
吉农大 505 Jinongda 505	CK	315.33 b	116.67 a	92.84 a	18.68 a	7 915.67 c
	1N	410.67 a	122.33 a	93.85 a	21.26 a	10 886.33 b
	2N	425.33 a	137.33 a	93.85 a	20.33 a	13 037.91 a
	3N	442.00 a	126.00 a	91.11a	20.74 a	12 321.95 ab
吉农大 603 Jinongda 603	CK	278.67 b	107.00 a	88.92 a	19.03 a	4 946.63 c
	1N	293.33 b	122.33 a	90.94 a	22.37 a	8 036.16 b
	2N	418.00 a	126.00 a	91.29 a	22.70 a	11 888.21 a
	3N	454.67 a	129.67 a	94.72 a	20.35 a	12 379.25 a
吉农大 809 Jinongda 809	CK	278.67 b	114.33 a	91.92 b	20.50 a	6 648.03 c
	1N	344.67 ab	126.00 a	92.64 ab	21.26 a	9 243.52 bc
	2N	447.33 a	130.67 a	93.64 ab	21.88 a	12 745.04 a
	3N	425.33 a	132.00 a	93.00 a	19.70 a	12 145.69 ab

表 5 3 个粳稻品种产量与干物质积累量间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between yield and dry matter accumulation of 3 Japonica rice varieties				
品种 Varieties	茎鞘 Stem-sheath	叶片 Leaf	穗 Panicle	地上部干物质积累量 Above-ground dry matter accumulation
吉农大 505 Jinongda 505	0.367	0.520	0.578 *	0.655 *
吉农大 603 Jinongda 603	0.791 **	0.566	0.921 **	0.851 **
吉农大 809 Jinongda 809	0.740 **	0.547	0.897 **	0.851 **

3 讨 论

氮肥是对水稻产量影响最大的一种肥料,其在增产过程中作用显著^[14]。在一定施氮范围内,水稻产量、氮素积累总量和利用效率随着供氮水平的提高而增加,但超过一定的氮肥水平以后,水稻的产量和氮素利用效率将不再提高,稻米品质下降,严重影响水稻的经济效益^[15]。我国南方部分高产稻田的施氮量为 270~300 kg/hm²,高的已达 350 kg/hm²,而氮肥吸收利用率一般仅有 30%~35%,较发达国家低 10%~15%^[3]。沈娟等^[7]的调查分析表明,吉林省近几年偏低的氮肥施用量为 75~120 kg/hm²,偏高的施用量为 181~225 kg/hm²,适宜施用量为 121~180 kg/hm²,相对低于南方稻田的施氮水平,但仍高于发达国家。本试验对吉林省 3 个高产粳稻在不同施氮水平下生产性能的研究表明,不同类型高产粳稻对氮的响应存在明显差异,吉农大 505 和吉农大 809 在 140 kg/hm² 施氮量下产量最高,而吉农大 603 在 210 kg/hm² 施氮量下产量最高,特别是在低氮条件下(不施氮和 70 kg/hm²),吉农大 505 具有显著的产量优势,表现出相对耐低氮的特性。由此看来,不同粳稻品种对氮素的反应存在一定差异,在实际生产中应针对品种特性制定氮肥施用策略,这与魏海燕等^[8]的研究较为一致。

光合作用是水稻物质生产的基础^[8,16],水稻籽粒产量的 90%来自花后叶片光合作用,尤其是剑叶对产量的贡献最大^[17]。氮素能促进叶绿素的合成,延缓其降解,增强光合作用^[18]。Shiratsuchi 等^[19]研究表明,水稻叶片的含氮量、叶绿素含量与其光合生产能力密切相关,是影响氮素利用的活跃因素。但是不同类型水稻品种的光合特性、农艺性状及干物质积累有明显差异^[20-24]。张亚洁等^[25]研究表明,陆稻和水稻对种植方式和氮素的响应有明显差异。然而,以上研究多以籼稻为主,关于粳稻的相关研究报道并不多见。本研究表明,吉农大 505 在 2N 条件下及吉农大 603 在 3N 条件下的叶片净光合速率增加,均与表观叶肉导度增加有关,这表明不同施氮水平下叶片净光合速率的提高主要与表观叶肉导度的增加有关,与气孔导度无关,这与安久海等^[26]的研究结果一致。本研究也表明,不同品种在适宜的施氮水平下才具有较高的表观叶肉导度、较大的灌浆期高效叶面积和产量。叶绿素含量随施氮量增加而显著增加,而低氮条件下只有耐低氮品种才具有较高的叶绿素含量。这说明不同品种在不同施氮条件下保持灌浆期功能叶的光合面积和光合功能存在差异,吉农大 505 和吉农大 809 在 2N 条件下光合功能保持较好,吉农大 603 在 3N 条件下光合功能保持较好。因此氮肥对灌浆期光合功能调节的品种差

异是水稻栽培中应该重视的问题。

许多研究表明,成熟期及抽穗至成熟期的干物质积累量越多越有利于产量的形成^[20-24]。而霍忠祥等^[27]的研究表明,在满足氮肥群体最高生产力的施肥条件下,抽穗至成熟阶段叶片的干物质转运量与产量呈显著负相关($r=-0.360$),过量施氮虽可增加灌浆期的物质生产但不能有效转化为经济产量^[14,28]。本研究结果也表明,不同施氮水平下,粳稻灌浆期地上部分干物质积累量与产量呈极显著正相关关系,特别是穗部干物质积累量与产量显著或极显著正相关,但是不同施氮量下,最高产量并不是在最大干物质积累的施氮量下获得的,如吉农大505和吉农大809在2N获得最高产量,而在3N下干物质积累量最大,这表明北方粳稻过量施氮会形成无效的干物质积累,不同品种在适宜施氮量下灌浆期的干物质积累才是有效的,适当的干物质转运可能是北方粳稻高产因素的重要组成部分,过量施氮可能会抑制物质的转运,这有待进一步深入研究。

4 结 论

施氮水平对灌浆期水稻高效叶面积有显著影响,适宜的施氮量有利于最大高效叶面积的形成,从而有利于产量形成。不同施氮水平下灌浆期功能叶净光合速率决定于叶片表观叶肉导度,与气孔限制无关,不同施氮量对叶片核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶(Rubisco)活性有显著影响,合理施氮可提高叶片表观叶肉导度,从而促进上三叶的光合作用。吉农大505相对耐低氮,其适宜施氮量为 140 kg/hm^2 ;吉农大603喜高氮,其适宜施氮量为 210 kg/hm^2 ;吉农大809介于二者之间,其适宜施氮量为 $140\sim 210\text{ kg/hm}^2$ 。

[参考文献]

- [1] 徐正进,邵国军,韩 勇,等.东北三省水稻产量和品种及其与穗部性状关系的初步研究[J].作物学报,2006,32(12):1878-1883.
- Xu Z J, Shao G J, Han Y, et al. A preliminary study on yield and quality of rice and their relationship with panicle characters in northeast region of China [J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(12): 1878-1883.
- [2] 剧成欣,张 耗,王志琴,等.水稻高产和氮肥高效利用研究进展[J].中国稻米,2013,19(1):16-21.
- Ju C X, Zhang H, Wang Z Q, et al. Research progress on high yield and high efficient nitrogen utilization in rice [J]. China Rice, 2013, 19(1): 16-21.
- [3] 刘立军,杨立年,孙小淋,等.水稻实地氮肥管理的氮肥利用效

- 率及其生理原因[J].作物学报,2009,35(9):1672-1690.
- Liu L J, Yang L N, Sun X L, et al. Fertilizer-nitrogen use efficiency and its physiological mechanism under site-specific nitrogen management in rice [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(9): 1672-1690.
- [4] 彭少兵,黄见良,钟旭华,等.提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J].中国农业科学,2002,35(9):1095-1103.
- Peng S B, Huang J L, Zhong X H, et al. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(9): 1095-1103.
- [5] Fisher R A, Rees D, Sayre K D, et al. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies [J]. Crop Sci, 1998, 38(6): 1467-1475.
- [6] 冯 洋,陈海飞,胡孝明,等.高、中、低产田水稻适宜施氮量和氮肥利用率的研究[J].植物营养与肥料学报,2014,20(1):7-16.
- Feng Y, Chen H F, Hu X M, et al. Optimal nitrogen application rates on rice grain yield and nitrogen use efficiency in high, middle and low-yield paddy fields [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(1): 7-16.
- [7] 沈 娟,高 强.吉林省水稻氮肥现状的调查分析[J].吉林农业科学,2011,36(2):40-43,59.
- Shen J, Gao Q. Investigation and analysis of rice fertilization status in Jinlin province [J]. Journal of Jinlin Agricultural Sciences, 2011, 36(2): 40-43, 59.
- [8] 魏海燕,张洪程,马 群,等.不同氮肥利用效率水稻基因型剑叶光合特性[J].作物学报,2009,35(12):2243-2251.
- Wei H Y, Zhang H C, Ma Q, et al. Photosynthetic characteristics of flag leaf in rice genotypes with different nitrogen use efficiencies [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(12): 2243-2251.
- [9] 孙永健,孙园园,徐 微,等.水氮管理模式对不同氮效率水稻氮素利用特性及产量的影响[J].作物学报,2014,40(9):1639-1649.
- Sun Y J, Sun Y Y, Xu W, et al. Effects of water-nitrogen management patterns on nitrogen utilization characteristics and yield in rice cultivars with different nitrogen use efficiencies [J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(9): 1639-1649.
- [10] 凌启鸿.作物群体质量[M].上海:上海科学技术出版社,2000:44-104.
- Ling Q H. Crop population quality [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2000: 44-104.
- [11] 李 珣,苗立新,孙 杰,等.氮肥运筹对北方超级稻水稻氮素利用率的影响[J].北方水稻,2014,44(5):15-18.
- Li X, Miao L X, Sun J, et al. Effect of nitrogen application on nitrogen use efficiency of super rice in Northern China [J]. North Rice, 2014, 44(5): 15-18.
- [12] 吕小红,陈温福,宋玉婷,等.施氮条件下不同株型水稻品种的根系活力研究[J].北方水稻,2014,44(4):7-11.
- Lü X H, Chen W F, Song Y T, et al. Study on the root vigor of

- different plant types of rice varieties at different nitrogen application conditions [J]. North Rice, 2014, 44(4): 7-11.
- [13] 刘 宛,徐正进,陈温福,等. 氮素水平对不同穗型水稻品种植株衰老和产量的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(4): 243-246.
- Liu W, Xu Z J, Chen W F, et al. Effect of different N-level on plant senescence and grain yield of rice varieties with different panicle types [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2001, 32(4): 243-246.
- [14] 张洪程,马 群,杨 雄,等. 水稻品种氮肥群体最高生产力及其增长规律 [J]. 作物学报, 2012, 38(1): 86-98.
- Zhang H C, Ma Q, Yang X, et al. The highest population productivity of nitrogen fertilization and its variation rules in rice cultivars [J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(1): 86-98.
- [15] 潘圣刚,黄胜奇,翟 晶,等. 氮肥用量与运筹对水稻氮素吸收转运及产量的影响 [J]. 土壤, 2012, 44(1): 23-29.
- Pan S G, Huang S Q, Zhai J, et al. Effects of nitrogen rate and its basal to dressing ratio on uptake, translocation of nitrogen and yield in rice [J]. Soils, 2012, 44(1): 23-29.
- [16] 徐克章,黑田荣喜,平野贡. 水稻开花后叶片含氮量与光合作用的动态变化及其关系 [J]. 作物学报, 1995, 21(2): 171-175.
- Xu K Z, Eiki K, Mitsugu H. The dynamic changes of nitrogen content and photosynthesis and their correlations in pot rice leaves after anthesis [J]. Acta Agronomica Sinica, 1995, 21(2): 171-175.
- [17] 马文波,马 均,明东风,等. 不同穗重型水稻品种剑叶光合特性的研究 [J]. 作物学报, 2003, 29(2): 236-240.
- Ma W B, Ma J, Ming D F, et al. Studies on the photosynthetic characteristics of the flag leaf of different panicle weight types of rice [J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(2): 236-240.
- [18] 吴 平. 水稻氮素光合效率及有关叶片参数的测定 [J]. 浙江农业学报, 1994, 6(2): 131-134.
- Wu P. Measurement of nitrogen photosynthetic rate and related leaf parameters in rice [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 1994, 6(2): 131-134.
- [19] Shiratsuchi H, Yamagishi T, Ishii R. Leaf nitrogen distribution to maximize the canopy photosynthesis in rice [J]. Field Crops Research, 2006, 95: 291-304.
- [20] 戚昌翰,贺浩华,石庆华,等. 大穗型水稻的物质生产特性与产量能力的研究 [J]. 作物学报, 1986, 12(2): 121-127.
- Qi C H, He H H, Shi Q H, et al. Studies on the relationship between the characteristics of the dry matter production and yield potential in the large-panicle yupe rice [J]. Acta Agronomica Sinica, 1986, 12(2): 121-127.
- [21] 敖和军,王淑红,邹应斌,等. 超级杂交稻干物质生产特点与产量稳定性研究 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 1927-1936.
- Ao H J, Wang S H, Zhou Y B, et al. Study on yield stability and dry matter characteristics of super hybrid rice [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(7): 1927-1936.
- [22] 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.
- Wu W G, Zhang H C, Qian Y F, et al. Analysis on dry matter production characteristics of middle-season indica super hybrid rice [J]. Chinese Journal Rice Science, 2007, 21(3): 287-293.
- [23] 郭玉春,林文雄,梁义元,等. 新株型水稻物质生产与产量形成的生理生态: I. 新株型水稻物质生产与灌浆特性 [J]. 福建农业大学学报, 2001, 30(1): 1-8.
- Guo Y C, Lin W X, Liang Y Y, et al. Physioecological studies on dry matter production and yield formation in new plant type(NPT) rice: I. dry matter production and grain-filling characteristics in NPT rice [J]. Journal of Fujian Agricultural University, 2001, 30(1): 1-8.
- [24] 杨建昌,杜 永,吴长付,等. 超高产粳型水稻生长发育特性的研究 [J]. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1336-1345.
- Yang J C, Du Y, Wu C C, et al. Growth and development characteristics of super-high-yielding mid-season Japonica rice [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(7): 1336-1345.
- [25] 张亚洁,周 然,杜 斌,等. 不同种植方式下氮素营养对陆稻和水稻产量的影响 [J]. 作物学报, 2008, 34(6): 1005-1013.
- Zhang Y J, Zhou R, Du B, et al. Effects of nitrogen nutrition on grain yield of upland rice and paddy rice under different cultivation methods [J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(6): 1005-1013.
- [26] 安久海,刘晓龙,徐 晨,等. 氮高效水稻品种的光合生理特性 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(12): 29-38, 45.
- An J H, Liu X L, Xu C, et al. Photosynthetic physiological characteristics of rice varieties with high nitrogen use efficiencies [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2014, 42(12): 29-38, 45.
- [27] 霍忠祥,杨 雄,张洪程,等. 不同氮肥群体最高生产力水稻品种各器官的干物质和氮素的积累与转运 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5): 1035-1045.
- Huo Z X, Yang X, Zhang H C, et al. Accumulation and translocation of dry matter and N nutrition in organs of rice cultivars with different productivity levels [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2012, 18(5): 1035-1045.
- [28] 李红宇,侯显铭,陈英华,等. 东北地区水稻主要株型性状比较分析 [J]. 作物学报, 2009, 35(5): 921-929.
- Li H Y, Hou Y M, Chen Y H, et al. Comparison of rice plant types in northeast region of China [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(5): 921-929.