

网络出版时间:2014-07-30 16:13

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.09.029

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.09.029.html>

减氮对华南早晚兼用型水稻产量、品质及氮吸收利用的影响

莫钊文^{1,2}, 李 武³, 段美洋^{1,2}, 潘圣刚^{1,2}, 田 华^{1,2}, 唐湘如^{1,2}

(1 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642; 2 农业部 华南地区作物栽培科学观测实验站, 广东 广州 510642;

3 广东省农业科学院 作物研究所, 广东 广州 510640)

【摘 要】【目的】分析常规施磷钾条件下减氮对不同华南早晚兼用型水稻品种产量、品质及氮吸收利用的影响, 为水稻精确减量施肥及氮高效利用提供参考。【方法】在大田常规施磷钾条件下, 研究了 3 个不同水平氮肥处理(常规施氮肥(纯氮 187.5 kg/hm²)、减氮 28%(纯氮 135.0 kg/hm²)和不施氮肥(纯氮 0 kg/hm²))对不同基因型水稻(“粤晶丝苗 2 号”、“桂香占”和“天优 998”)产量、品质及氮素吸收利用的影响。【结果】与常规施氮相比, 减氮条件下“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”的每穗总粒数、结实率和千粒质量增加但有效穗数减少, 对“天优 998”产量构成因子无显著影响。减氮 28% 处理对水稻的碾磨品质和蒸煮品质无显著影响, 提高了“天优 998”的外观品质。减氮 28% 处理有利于提高“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”灌浆期剑叶蔗糖磷酸合成酶和蔗糖合成酶活性, 对氮吸收影响不显著, 但一定程度上利于提高氮素利用效率。【结论】适度减氮有利于华南早晚兼用型水稻增产、稳产及保持或改善稻米品质。

【关键词】 华南早晚兼用型水稻; 减氮处理; 产量; 稻米品质; 氮吸收利用

【中图分类号】 S511.062

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)09-0083-08

Effects of reducing nitrogen fertilizer on the yield, quality and N uptake and utilization of early/late season rice in South China

MO Zhao-wen^{1,2}, LI Wu³, DUAN Mei-yang^{1,2}, PAN Sheng-gang^{1,2},
TIAN Hua^{1,2}, TANG Xiang-ru^{1,2}

(1 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 2 Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in South China, Ministry of Agriculture, Guangzhou, Guangdong 510642, China;

3 Crops Research Institute, Guangdong Academy of Agriculture, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

Abstract: 【Objective】The effects of reducing nitrogen (N) on grain yield, quality and N uptake and utilization in different early/late season rice (*Oryza sativa* L.) varieties with normal levels of phosphate (P) and potassium (K) fertilizers were analyzed, aiming at providing references for precisely quantitative fertilization and efficient utilization of N. 【Method】Three N applying rates, conventional N (187.5 kg/hm²), reducing N by 28% (135.0 kg/hm²) and without N (0 kg/hm²), were arranged in field experiment, and the effects of N on grain yield, quality and N uptake and utilization of different rice varieties (Yuejingsimiao 2, Guixiangzhan and Tianyou 998) were studied. 【Results】Compared with conventional N, Yuejingsimiao 2 and Guixiangzhan with reduced nitrogen by 28% had higher grain number per panicle, full filling percent-

【收稿日期】 2013-06-25

【基金项目】 国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAD89B14); 广东省农业攻关重点专项(2006A20303001); 广东省农业攻关项目(2004B20101007)

【作者简介】 莫钊文(1986—), 男, 广东怀集人, 在读博士, 主要从事作物栽培与生理研究。E-mail: scaumozhw@126.com

【通信作者】 唐湘如(1964—), 男, 湖南宁乡人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事作物栽培与生理研究。

E-mail: tangxr@scau.edu.cn

age and 1 000-grain weight, and lower effective panicles. Reducing nitrogen had no significant effect on Tianyou 998. Reducing nitrogen by 28% had no significant effect on milling and cooking qualities of rice, while the appearance qualities of Tianyou 998 were improved. Reducing nitrogen by 28% increased activities of sucrose phosphate synthase and sucrose synthase in flag leaves of Yuejingsimiao 2 and Guixiangzhan. It had no significant effect on N uptake, but improved N utilization to some extent. 【Conclusion】 Reducing nitrogen fertilizer properly was beneficial to keep or increase yield along with maintain or improve rice quality of early/late season rice in South China.

Key words: early/late season rice (*Oryza sativa* L.) in South China; nitrogen reduction treatment; yield; grain quality; N uptake and utilization

水稻是我国最主要的粮食作物,其播种面积约占我国粮食作物总面积的 27%,稻谷产量占全国谷物总产量的 40%以上,水稻产量水平的提高对粮食安全和社会稳定具有重要的意义;然而,过去几十年间,随着水稻产量的提高,化肥特别是氮肥的施用量不断增加,中国氮肥消费量占世界氮肥总量的 30%,生产水稻所消耗的氮肥占世界水稻氮肥总消耗量的 37%^[1]。氮肥使用量逐年增加,但水稻氮素利用率却明显下降,氮肥利用效率的低下和氮素的大量投入,导致了一系列的环境问题^[2-3]。更重要的是在化肥用量持续增加的同时,农作物产量却没有相应地持续提高,使农业生产成本急剧上升^[4-5]。因此,如何提高稻田氮肥利用率,少施氮肥且保证水稻稳产,已成为人们关注的焦点。

广东省气候条件优越,光温水资源丰富,是中国重要的双季稻区,水稻生产具有较大的生产潜力。广东省农业厅在 2008 年公布的水稻早、晚季纯氮平均施用量约为 187.5 kg/hm²,属于较高的施氮水平。研究表明,对华南早晚兼用型水稻实行减氮栽培可以增产或稳产^[6-12];中国作物生产减氮 30%~60%是可行的^[13]。本课题组经过多年的大田试验,也证明水稻减氮栽培是可行的^[14-16]。但有关减氮栽培对水稻品质影响的研究仍较少,且在不同环境条件下减氮栽培增产的表现不一致。为此,本研究在大田试验条件下,观测了减氮对不同华南早晚兼用型水稻品种产量、品质及剑叶碳氮代谢酶活性和氮吸收利用的影响,探讨减氮的增产、稳产及优米效应,旨在为水稻生产实现资源高效利用及可持续发展提供实践依据和理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

供试的华南早晚兼用型水稻品种为常规香稻“桂香占”、常规优质稻“粤晶丝苗 2 号”和超级杂交

稻“天优 998”,其均在生产上作为主推品种,有较大的种植面积。

1.2 试验设计

试验于 2009 年早季在华南农业大学农学院教学实验农场进行。试验田前茬为水稻,土壤为砂壤土,耕层土壤理化性质为:有机质 22.60 g/kg,全氮 1.620 g/kg,全磷 0.393 2 g/kg,全钾 31.75 g/kg,碱解氮 85.2 mg/kg,速效磷 84.9 mg/kg,速效钾 86.9 mg/kg, pH 6.68。土壤全氮和全钾含量较丰富,全磷含量较低,其余养分含量中等。

试验设 3 个施氮处理:常规施氮(N2),施尿素 407.6 kg/hm²(即纯氮 187.5 kg/hm²);减氮 28%(N1),施尿素 293.5 kg/hm²(即纯氮 135.0 kg/hm²);不施氮(N0),施尿素 0 kg/hm²(即纯氮 0 kg/hm²)。每处理施过磷酸钙 450.0 kg/hm²(即五氧化二磷 54 kg/hm²)、氯化钾 225.0 kg/hm²(即氧化钾 135 kg/hm²),所有肥料皆作为基肥一次性施用。每处理重复 3 次,小区面积 24 m²。其他栽培措施基本一致,2 本移栽,插置规格为 20 cm×20 cm。水稻于 2009-03-09 播种,04-01 移栽,“天优 998”于 07-08 收割,“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”均于 07-15 收割。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 产量及其构成因素 水稻成熟后,每小区取具代表性水稻植株 30 株调查有效穗数,根据有效穗数选取代表性植株 3 株,测定每穗总粒数、结实率和千粒质量,同时,测定 100 穴水稻产量并根据密度换算成单位面积实际产量。

1.3.2 稻米品质性状 稻米收获干燥后储藏 3 个月,测定品质性状。糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率、垩白度、直链淀粉含量和胶稠度的测定参照部颁标准《NY 147—88 米质测定方法》^[17]进行。

1.3.3 水稻剑叶酶活性 分别于水稻齐穗期、齐穗后 7 d、齐穗后 14 d 和齐穗后 21 d,根据群体的平均

茎蘖数选取 5 株代表性植株的剑叶,液氮固定后保存于一 80 ℃ 冰箱用于酶活性测定。蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 和蔗糖合成酶 (SS) 活性参照文献[18]的方法测定。

1.3.4 氮肥吸收与利用 于成熟期根据群体的平均茎蘖数选取代表性植株 5 株,用去离子水清洗后于 105 ℃ 下杀青 30 min,转至 80 ℃ 烘干至质量恒定后称量。称取磨碎(过孔径 0.25 mm 筛)的植物样品 0.5 g 于 100 mL 消煮管中,采用 H₂SO₄-HClO₄ 法进行消煮,用全自动凯氏定氮仪进行全氮含量的测定。吸氮量及氮素利用效率(氮素产谷率、吸氮利用率和生理氮转化率)计算参考文献[19]的方法进

行。

1.4 数据处理与分析

数据分析采用 Excel 2003 进行,使用 SPSS 17.0 进行数据方差分析和相关性分析,并采用 LSD 法检测同一品种不同处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 减氮对水稻产量及其构成因素的影响

减氮对水稻产量及其构成因素的影响如表 1 所示。方差分析结果表明,施氮量与品种互作对水稻产量无显著影响。

表 1 减氮对水稻产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of N reduction on yield and its components of rice

品种 Cultivar	处理 Treatment	有效穗数/ (×10 ⁴ hm ⁻²) Effective panicle number	每穗总粒数 Grain numbers per panicle	结实率/% Full filling percentage	千粒质量/g 1 000-grain weight	产量/(t·hm ⁻²) Harvested yield
粤晶丝苗 2 号 Yuejingsimiao 2	N2	270.80 a	162.70 a	84.79 a	23.97 a	8.01 b
	N1	243.80 b	185.30 a	89.98 a	24.43 a	8.97 a
	N0	212.50 c	169.00 a	86.29 a	24.13 a	6.73 c
桂香占 Guixiangzhan	N2	270.80 a	118.30 b	79.15 b	27.10 a	7.44 a
	N1	255.60 b	171.00 a	87.60 a	27.27 a	7.85 a
	N0	219.40 c	159.70 a	70.84 c	27.03 a	6.39 b
天优 998 Tianyou 998	N2	290.00 a	180.00 a	82.71 a	24.57 a	9.44 a
	N1	285.80 a	155.70 a	85.62 a	24.37 a	8.81 a
	N0	210.00 b	172.00 a	83.67 a	24.10 a	7.41 b

注:同列数据后标不同小写字母者表示同一品种不同施氮处理之间差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note: Different lowercase letters mean significant different at $P<0.0$ level within the same variety. The same below.

由表 1 可以看出,与 N2 处理相比,N1 处理显著提高了“粤晶丝苗 2 号”的实际产量($P<0.05$),增幅为 11.99%,N1 处理对“桂香占”和“天优 998”的实际产量均无显著影响($P>0.05$);N0 处理显著降低了“粤晶丝苗 2 号”、“桂香占”和“天优 998”的实际产量($P<0.05$),降幅分别为 15.88%,14.11%和 21.50%。可见,适度减氮可以增产或稳产,不施氮将导致产量显著下降。

由表 1 还可知,与 N2 处理相比,N1 和 N0 处理均显著降低了“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”的有效穗数,N0 处理还显著降低了“天优 998”的有效穗数($P<0.05$),而 N1 处理对“天优 998”的有效穗数无显著影响($P>0.05$)。可见,减氮对“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”的有效穗数影响显著,但适度减氮不会显著降低“天优 998”的有效穗数。与 N2 处理相比,N1 和 N0 处理显著提高了“桂香占”的每穗总粒数($P<0.05$),对“粤晶丝苗 2 号”和“天优 998”的每穗总粒数无显著影响($P>0.05$)。与 N2 处理相比,N1 处理显著提高了“桂香占”的结实率($P<0.05$),

N0 处理显著降低了“桂香占”的结实率($P<0.05$),N1 和 N0 处理对“粤晶丝苗 2 号”和“天优 998”的结实率无显著影响($P>0.05$)。与 N2 处理相比,N1 和 N0 处理对 3 个水稻品种的千粒质量均无显著影响($P>0.05$)。

可见,适度减氮条件下,“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”较高的每穗总粒数、结实率和千粒质量弥补了其由于减氮导致的有效穗数不足的制约,适度减氮对“天优 998”的各产量构成因素均无显著影响,这可能是早晚兼用型水稻实施减氮栽培增产或稳产的直接原因。

2.2 减氮对水稻稻米品质的影响

从表 2 可以看出,与 N2 处理相比,N1 和 N0 处理对“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”的稻米碾磨品质(糙米率、精米率和整精米率)均无显著影响($P>0.05$);N1 处理对“天优 998”的稻米碾磨品质(糙米率、精米率和整精米率)无显著影响($P>0.05$),N0 处理显著提高了“天优 998”的精米率($P<0.05$),而对“天优 998”的糙米率和整精米率均无显著影响

($P>0.05$)。

从表 2 还可知,与 N2 处理相比,N1 和 N0 处理对“粤晶丝苗 2 号”的稻米外观品质(垩白粒率和垩白度)无显著影响($P>0.05$);N1 处理对“桂香占”的稻米外观品质(垩白粒率和垩白度)无显著影响

($P>0.05$),但显著降低了“天优 998”的垩白粒率和垩白度($P<0.05$);N0 处理显著提高了“桂香占”的稻米垩白粒率($P<0.05$),对“桂香占”的稻米垩白度和“天优 998”的稻米外观品质均无显著影响($P>0.05$)。

表 2 减氮对水稻稻米品质的影响
Table 2 Effects of N reduction on grain quality of rice

品种 Cultivar	处理 Treatment	糙米率/% Brown rice rate	精米率/% Milled rice rate	整精米率/% Head rice rate	垩白粒率/% Chalky rice rate	垩白度/% Chalkiness degree	直链淀粉含量/ (g·kg ⁻¹) Amylase content	胶稠度/mm Gel consistency
粤晶丝苗 2 号 Yuejingsimiao 2	N2	77.86 a	71.98 a	65.78 a	10.33 a	0.69 a	157.0 a	78.67 a
	N1	76.60 a	71.37 a	63.22 a	11.00 a	0.72 a	145.8 a	77.00 a
	N0	76.90 a	71.60 a	64.42 a	11.00 a	0.78 a	144.5 a	81.67 a
桂香占 Guixiangzhan	N2	77.77 a	71.09 a	64.52 a	22.67 b	5.67 a	138.9 b	98.83 a
	N1	76.91 a	69.33 a	56.07 a	23.00 b	4.77 a	147.3 ab	96.00 a
	N0	77.52 a	71.03 a	60.72 a	26.67 a	4.18 a	167.7 a	94.33 a
天优 998 Tianyou 998	N2	80.61 a	70.16 b	60.59 a	24.00 a	4.98 a	171.8 a	27.00 b
	N1	80.57 a	70.86 ab	55.05 a	17.67 b	3.77 b	198.3 a	35.00 ab
	N0	79.89 a	71.50 a	61.34 a	21.00 a	4.38 a	185.6 a	38.00 a

表 2 显示,与 N2 处理相比,N1 和 N0 处理对“粤晶丝苗 2 号”的稻米蒸煮品质(直链淀粉含量和胶稠度)均无显著影响($P>0.05$);N1 处理对“桂香占”和“天优 998”的稻米蒸煮品质(直链淀粉含量和胶稠度)均无显著影响($P>0.05$);N0 处理显著提高了“桂香占”的稻米直链淀粉含量和“天优 998”的稻米胶稠度,对“桂香占”的稻米胶稠度和“天优 998”的稻米直链淀粉含量均无显著影响。

可见,适度减氮对稻米的碾磨品质(糙米率、精米率和整精米率)和蒸煮品质(直链淀粉含量和胶稠度)均无显著影响;对“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”的

稻米外观品质(垩白粒率和垩白度)无显著影响;可以提高“天优 998”的稻米外观品质(垩白粒率和垩白度均降低)。

2.3 减氮对水稻剑叶代谢关键酶活性的影响

2.3.1 蔗糖磷酸合成酶 蔗糖磷酸合成酶(SPS)是植物体内控制蔗糖合成的关键酶。植物体内蔗糖的积累与 SPS 活性呈正相关,SPS 还参与植物的生长和产量形成,并在植物的抗逆过程中起重要作用。减氮对水稻剑叶蔗糖磷酸合成酶活性的影响如表 3 所示。

表 3 减氮对水稻剑叶蔗糖磷酸合成酶活性的影响
Table 3 Effects of N reduction on sucrose phosphate synthase activity in rice flag leaves mg/(g·h)

品种 Cultivar	处理 Treatment	齐穗期 Full heading stage	齐穗后 7 d 7 days after full heading	齐穗后 14 d 14 days after full heading	齐穗后 21 d 21 days after full heading
粤晶丝苗 2 号 Yuejingsimiao 2	N2	123.84 c	84.05 b	42.89 a	29.67 a
	N1	195.01 a	119.27 a	71.77 a	32.07 a
	N0	177.33 b	64.77 c	49.19 a	19.23 a
桂香占 Guixiangzhan	N2	139.29 a	89.20 b	65.70 a	12.93 a
	N1	165.24 a	129.08 a	71.89 a	18.69 a
	N0	139.29 a	89.20 ab	65.70 a	12.93 a
天优 998 Tianyou 998	N2	108.66 b	93.32 a	31.38 a	13.89 a
	N1	165.91 a	75.95 a	33.63 a	13.43 a
	N0	152.77 ab	90.67 a	46.26 a	12.58 a

从表 3 可以看出,与 N2 处理相比,N1 处理显著提高了“粤晶丝苗 2 号”和“天优 998”齐穗期的剑叶 SPS 活性($P<0.05$);显著提高了“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”齐穗后 7 d 的剑叶 SPS 活性($P<0.05$);对“粤晶丝苗 2 号”齐穗后 14 和 21 d 的剑叶 SPS 活性,“桂香占”齐穗期、齐穗后 14 和 21 d 的剑

叶 SPS 活性及“天优 998”齐穗后 7,14 和 21 d 的剑叶 SPS 活性均无显著影响($P>0.05$)。与 N2 处理相比,N0 处理显著提高了“粤晶丝苗 2 号”齐穗期剑叶 SPS 活性,显著降低了齐穗后 7 d 剑叶 SPS 活性,对齐穗后 14 和 21 d 的剑叶 SPS 活性均无显著影响;N0 处理对“桂香占”和“天优 998”剑叶的 SPS

活性无显著影响。可见,适度减氮有利于提高“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”灌浆期剑叶 SPS 活性,对“天优 998”影响不显著。

2.3.2 蔗糖合成酶 蔗糖合成酶(SS)是植物蔗糖代谢的关键酶,在植物生长发育过程中起重要作用。从表 4 可以看出,与 N2 处理相比,N1 处理显著提高了“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”齐穗后 7 和 14 d 的剑叶 SS 活性,显著降低了“天优 998”齐穗后 14 d

的剑叶 SS 活性($P<0.05$);对 3 个品种其他时期的剑叶 SS 活性无显著影响($P>0.05$)。与 N2 处理相比,N0 处理显著降低了“桂香占”齐穗期剑叶 SS 活性($P<0.05$),对其他品种各时期的剑叶 SS 活性均无显著影响($P>0.05$)。可见,适度减氮总体有利于提高“粤晶丝苗 2 号”、“桂香占”和“天优 998”灌浆期剑叶 SS 活性。

表 4 减氮对水稻剑叶蔗糖合成酶活性的影响
Table 4 Effects of N reduction on sucrose synthase activity in rice flag leaves mg/(g·h)

品种 Cultivar	处理 Treatment	齐穗期 Full heading stage	齐穗后 7 d 7 days after full heading	齐穗后 14 d 14 days after full heading	齐穗后 21 d 21 days after full heading
粤晶丝苗 2 号 Yuejingsimiao 2	N2	110.44 ab	81.98 b	51.76 b	60.61 a
	N1	127.84 a	106.09 a	95.21 a	69.91 a
	N0	92.47 b	70.14 b	76.06 ab	74.06 a
桂香占 Guixiangzhan	N2	137.28 a	41.29 b	52.22 b	40.50 a
	N1	121.76 a	93.01 a	78.58 a	54.97 a
	N0	86.52 b	77.69 ab	61.20 ab	41.11 a
天优 998 Tianyou 998	N2	117.20 ab	89.53 a	73.89 a	25.51 a
	N1	135.86 a	107.43 a	52.76 b	29.78 a
	N0	88.79 b	72.66 a	56.70 ab	24.05 a

2.4 减氮对水稻氮素利用效率的影响

从表 5 可以看出,与 N2 处理相比,N1 处理对 3 个水稻品种的吸氮量无显著影响($P>0.05$),N0 处理显著降低了 3 个水稻品种的吸氮量($P<0.05$)。相对于 N2 处理,N1 处理显著提高了“粤晶丝苗 2 号”的氮素产谷率和生理氮转化率($P<0.05$),对其吸氮利用率无显著影响($P>0.05$);N1 处理显著提高了“桂香占”的氮素产谷率和吸氮利用率($P<$

0.05),也提高了生理氮转化率,但未达显著水平($P>0.05$);N1 处理对“天优 998”的氮素产谷率、吸氮利用率及生理氮转化率均无显著影响($P>0.05$)。可见,适度减氮条件下,“粤晶丝苗 2 号”的群体吸氮量减少,但氮素利用效率随之提高;“桂香占”仍具有较大吸氮量,且提高了氮素利用效率;“天优 998”的群体吸氮量减少,对氮素利用效率无显著影响。

表 5 减氮对水稻氮素利用效率的影响
Table 5 Effects of N reduction on rice nitrogen use efficiency

品种 Cultivar	处理 Treatment	吸氮量/ (kg·hm ⁻²) N uptake	氮素产谷率/ (kg·kg ⁻¹) Agronomic efficiency	吸氮利用率/% Recovery efficiency	生理氮转化率/ (kg·kg ⁻¹) Physiological nitrogen efficiency
粤晶丝苗 2 号 Yuejingsimiao 2	N2	149.99 a	6.83 b	29.59 a	24.80 b
	N1	136.12 a	15.32 a	28.46 a	53.72 a
	N0	94.50 b	—	—	—
桂香占 Guixiangzhan	N2	111.94 a	5.55 b	23.32 b	23.93 a
	N1	116.57 a	9.93 a	33.06 a	29.96 a
	N0	68.21 b	—	—	—
天优 998 Tianyou 998	N2	168.22 a	10.83 a	39.03 a	28.31 a
	N1	144.78 a	9.57 a	34.01 a	28.61 a
	N0	95.04 b	—	—	—

2.5 水稻产量及其构成因素与氮吸收的相关性

从表 6 可以看出,有效穗数与实际产量及吸氮量分别呈显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)正相

关关系,吸氮量与产量呈极显著正相关关系($P<0.01$),产量和吸氮量均与每穗总粒数、结实率和千粒质量无显著相关关系($P>0.05$)。

表 6 水稻产量及其构成因素与氮吸收的相关性
Table 6 Correlation between yield,yield components and total N uptake

指标 Index	有效穗数 Effective panicle number	每穗总粒数 Grain numbers per panicle	结实率 Full filling percentage	千粒质量 1 000-grain weight	产量 Harvested yield
每穗总粒数 Grain numbers per panicle	−0.227 5				
结实率 Full filling percentage	0.171 7	0.461 3			
千粒质量 1 000-grain weigh	0.009 3	−0.498 4	−0.521 3		
产量 Harvested yield	0.740 9 *	0.357 1	0.548 4	−0.388 8	
吸氮量 N uptake	0.842 5 * *	0.224 2	0.530 1	−0.440 7	0.921 1 * *

注: * 和 * * 分别表示相关性达显著($P<0.05$)或极显著水平($P<0.01$)。
Note: * and * * represent significant difference at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively.

3 讨 论

氮肥是影响水稻产量的重要因子之一,前人对于合适的水稻施氮量进行了大量研究,认为适量的氮肥及其在各时期进行合理的分配可以获得较高的产量和氮肥利用率^[14,20]。中国稻田氮肥吸收利用率大多在 30%~40%^[21],其主要原因可能与氮肥施用量较高有关。刘怀珍等^[22]研究表明,减氮后会导致水稻减产,但差异不显著;另有研究认为,减氮能增产稳产^[6-12]。本研究结果表明,对华南早晚兼用型水稻减氮 28%(施尿素 293.5 kg/hm²)能有效增产或稳产。原因在于:减氮 28%条件下,“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”较高的穗粒数、结实率和千粒质量,能弥补减氮对有效穗数的制约,亦能保持“天优 998”各产量构成因子的稳定性。同时,减氮 28%处理对 3 个华南早晚兼用型水稻品种吸氮量均无显著影响,却有利于提高“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”的氮素利用效率,对“天优 998”的氮素利用效率亦无显著负面影响。同时,实施减氮栽培后,水稻生育后期蔗糖磷酸合成酶(SPS)和蔗糖合成酶(SS)的活性亦较高。因此,减氮最终表现为有利于华南早晚兼用型水稻增产或稳产。通过进一步的相关性分析发现,有效穗数与产量及吸氮量呈显著或极显著正相关关系,吸氮量与产量呈极显著正相关关系。因此,减氮栽培后产量提高的关键是因为提高了吸氮量和增加了有效穗数。

施用氮肥是当前水稻生产中稻米品质的重要调控手段之一^[23-25],对不同品种于不同时期合理地施用氮肥,可以协调水稻的优质和高产^[26-27]。谢黎虹等^[28]以籼粳杂交水稻“甬优 6 号”为材料,研究发现施氮处理稻米的糙米率、精米率、整精米率、垩白度、胶稠度、蛋白质含量等品质指标均明显高于不施氮处理,但施氮处理间差异不显著。本试验结果表明,适度减氮处理能保持或改善华南早晚兼用型水稻稻

米品质。适度减氮对“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”稻米品质性状均无显著影响,这可能是由于适度减氮提高了“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”灌浆期剑叶蔗糖磷酸合成酶(SPS)和蔗糖合成酶(SS)的活性,协调了水稻品种的碳氮代谢。即适度减氮处理能使常规优质稻保持稻米品质性状的稳定性;能改善“天优 998”的外观品质(降低垩白粒率和垩白度),进而表现出一定的优米效果,说明适度减氮对杂交水稻稻米品质具有良好的改善效果。

4 结 论

与常规施氮相比,适度减氮有利于华南早晚兼用型水稻增产或稳产,并保持或改善稻米品质。因为适度减氮下协调了“粤晶丝苗 2 号”和“桂香占”的产量构成,而对“天优 998”产量构成无显著影响;且适度减氮对于剑叶关键酶无显著负面影响,对氮吸收影响不显著,且有利于保持较高的氮素利用效率。

[参考文献]

[1] 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 in irrigated rice in China[J]. Scientia Agricultura Sinica,2002,35(9):1059-1103. (in Chinese)

[2] Peng S B, Huang J L, Zhong X H, et al. Challenge and opportunity in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. Agricultural Sciences in China,2002,1(7):776-785.

[3] Liu X, Zhang Y, Han W, et al. Enhanced nitrogen deposition over China[J]. Nature,2013,494:459-463.

[4] 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,2006,96:37-47.

[5] Jiang L G, Dai T B, Jiang D, et al. Characterizing physiological N-use efficiency as influenced by nitrogen management in rice cultivars[J]. Field Crops Research,2004,88:239-250.

- [6] 钟旭华,郑海波,黄农荣,等. 实地养分管理技术(SSNM)在华南双季早稻的应用效果[J]. 中国稻米,2006(3):30-32,36.
Zhong X H,Zheng H B,Huang N R,et al. Application effect of site specific nutrient management (SSNM) technique in southern China early rice [J]. Chinese Rice,2006(3):30-32,36. (in Chinese)
- [7] 钟旭华,黄农荣,欧杰文,等. 实地养分管理技术(SSNM)在华南双季晚稻上的应用效果[J]. 中国稻米,2006(6):34-36.
Zhong X H,Huang N R,Ou J W,et al. Application effect of site specific nutrient management (SSNM) technique in Southern China late rice [J]. Chinese Rice,2006(6):34-36. (in Chinese)
- [8] 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]. 植物营养与肥科学报,2007,13(4):569-576.
Zhong X H,Huang N R,Zheng H B. Nitrogen consumption of double-season hybrid rice and influence factors in South China [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2007,13(4):569-576. (in Chinese)
- [9] 钟旭华,黄农荣,郑海波,等. 不同时期施氮对华南双季杂交稻产量及氮素吸收和氮肥利用率的影响[J]. 杂交水稻,2007,22(4):62-66,70.
Zhong X H,Huang N R,Zheng H B,et al. Effect of nitrogen application timing on grain yield, nitrogen uptake and use efficiency of hybrid rice in South China [J]. Hybrid Rice,2007,22(4):62-66,70. (in Chinese)
- [10] 钟旭华,梁向明,黄农荣,等. 水稻化肥减量栽培技术规范[J]. 广东农业科学,2010(12):71-72.
Zhong X H,Liang X M,Huang N R,et al. Specification of chemical fertilizer-reduction technology for rice [J]. Guangdong Agricultural Sciences,2010(12):71-72. (in Chinese)
- [11] 何健灵,李茂禾,廖美敬,等. 增城市水稻测土配方施肥田间肥效试验应用效果[J]. 广东农业科学,2009(4):54-56.
He J L,Li M H,Liao M J,et al. Application effects of rice soil testing and fertilizer in field experiment in Zengcheng [J]. Guangdong Agricultural Sciences,2009(4):54-56. (in Chinese)
- [12] 黄农荣,钟旭华,郑海波,等. 天优 998 高产高效制种施氮技术研究[J]. 杂交水稻,2011,26(1):31-34.
Huang N R,Zhong X H,Zheng H B,et al. High-yielding and high-beneficial techniques in application of nitrogen fertilizers for hybrid seed production of Tianyou 998 [J]. Hybrid Rice,2011,26(1):31-34. (in Chinese)
- [13] Ju X T,Xing G X,Chen X P,et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2009,106(9):3041-3046.
- [14] 王 辉. 施氮和密度对超级稻源库特性的影响[D]. 广州:华南农业大学,2006.
Wang H. Effects of nitrogen and planting density on source and sink characteristics of super-rice [D]. Guangzhou:South China Agricultural University,2006. (in Chinese)
- [15] 李 武. 穗肥和密度对超级稻产量和品质形成的影响[D]. 广州:华南农业大学,2008.
Li W. Effects of panicle N-fertilizer application and plant density on yield and quality parameters in super rice (*Oryza sativa* L.) [D]. Guangzhou:South China Agricultural University,2008. (in Chinese)
- [16] 舒时富. 氮肥和密度对精量穴直播水稻产量的影响[D]. 广州:华南农业大学,2010.
Shu S F. Effects of nitrogen fertilizer and density on yield of precision hill-direct-seeding rice [D]. Guangzhou:South China Agricultural University,2010. (in Chinese)
- [17] 中华人民共和国农业部颁标准. NY 147—88 稻米品质评价方法[S]. 北京:中国标准出版社,1988:4-6.
Ministry of Agriculture, P. R. China. NY147—88 Evaluation method for rice grain quality [S]. Beijing:China Standard Press,1988:4-6. (in Chinese)
- [18] 中国科学院上海植物生理研究所,上海植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,1999.
Shanghai Institute of Plant Physiology of Chinese Academy of Science, Shanghai Society for Plant Physiology. Modern experimental manual of plant physiology [M]. Beijing:Science Press,1999. (in Chinese)
- [19] 刘立军,徐 伟,桑大志,等. 实地氮肥管理提高水稻氮肥利用效率[J]. 作物学报,2006,32(7):987-994.
Liu L J,Xu W,Sang D Z,et al. Site-specific nitrogen management increases fertilizer nitrogen use efficiency in rice [J]. Acta Agron Sin,2006,32(7):987-994. (in Chinese)
- [20] 刘立军,桑大志,刘翠莲,等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 中国农业科学,2003,36(12):1456-1461.
Liu L J,Sang D Z,Liu C L,et al. Effects of real-time and site-specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen use efficiency [J]. Scientia Agricultura Sinica,2003,36(12):1456-1461. (in Chinese)
- [21] 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 plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction [J]. Soil and Environmental Sciences,2000,9(1):1-6. (in Chinese)
- [22] 刘怀珍,黄 庆,陆秀明,等. 施氮量和插植密度对超级杂交晚稻天优 998 产量的影响[J]. 杂交水稻,2010,25(1):44-47.
Liu H Z,Huang Q,Lu X M,et al. Effects of transplanting density and nitrogen fertilizer rate on yield of late-cropping super hybrid rice Tianyou 998 [J]. Hybrid Rice,2010,25(1):44-47. (in Chinese)
- [23] 莫惠栋. 我国稻米品质的改良[J]. 中国农业科学,1993,26(4):8-14.
Mo H D. Improvement of rice quality in China [J]. Scientia Agricultura Sinica,1993,26(4):8-14. (in Chinese)
- [24] 袁继超,刘丛军,俄胜哲,等. 施氮量和穗粒肥比例对稻米营养品质及中微量元素含量的影响[J]. 植物营养与肥科学报,

2006,12(2):183-187.

Yuan J C,Liu C J,E S Z,et al. Effect of nitrogen application-rate and fertilizer ratio on nutrition quality and trace-elementscontents of rice grain [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2006,12(2):183-187. (in Chinese)

[25] 马 群,张洪程,戴其根,等. 生育类型与施氮水平对梗稻加工品质的影响 [J]. 作物学报,2009,35(7):1282-1289.

Ma Q,Zhang H C,Dai Q G,et al. Effects of nitrogen application rate and growth-development type on milling quality in *Japonica* rice [J]. Acta Agron Sin,2009,35(7):1282-1289. (in Chinese)

[26] 李国生,张 耗,王志琴,等. 氮素水平对水稻产量与品质的影响 [J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版,2007(4):66-70.

Li G S,Zhang H,Wang Z Q,et al. Effects of nitrogen levels on grain yield and quality of rice [J]. Journal of Yangzhou University:Agricultural and Life Science Edition,2007(4):66-70. (in Chinese)

[27] 张洪程,王秀芹,戴其根,等. 施氮量对杂交稻两优培九产量、品质及吸氮特性的影响 [J]. 中国农业科学,2003,36(7):800-806.

Zhang H C,Wang X Q,Dai Q G,et al. Effects of N-application rate on yield,quality and characters of nitrogen uptake of hybrid rice variety Liangyoupeiiju [J]. Scientia Agricultura Sinica,2003,36(7):800-806. (in Chinese)

[28] 谢黎虹,叶定池,胡培松,等. 氮肥用量和施用方式对水稻“甬优 6 号”产量和品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):789-794.

Xie L H,Ye D C,Hu P S,et al. Effects of nitrogen fertilizer application rate and management strategy on grain yield and quality of rice variety ‘Yongyou 6’ [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2011,17(4):789-794. (in Chinese)

(上接第 82 页)

[11] Pereira H. Chemical composition and variability of cork from *Quercus suber* L. [J]. Wood Sci. Technol,1988,22:211-218.

[12] Pereira H. Cork: biology, production and uses [M]. Elsevier Publications, Amsterdam,2007.

[13] Silva S P,Sabino M A,Fernandes E M,et al. Cork: Properties, capabilities and applications [J]. International Materials Reviews,2005,50(6):345-365.

[14] 郑志方. 树皮化学与利用 [M]. 北京:中国林业出版社,1988.

Zheng Z F. The chemistry and application of bark [M]. Beijing:China Forestry Publishing House,1988. (in Chinese)

[15] 成俊卿. 木材学 [M]. 北京:中国林业出版社,1985.

Cheng J Q. Wood science [M]. Beijing:China Forestry Publishing House,1985. (in Chinese)

[16] 彭万喜,朱同林,郑真真,等. 木材抽提物的研究现状与趋势 [J]. 林业科技开发,2004,18(5):6-9.

Peng W X,Zhu T L,Zheng Z Z,et al. Research status and trend of wood extractives [J]. Forestry Science and Technology,2004,18(5):6-9. (in Chinese)

[17] 戚红晨. 人工林赤桉木材抽提物特性与胶合微扰机理研究 [D]. 湖南长沙:中南林业科技大学,2011.

Qi H C. Research on the characteristic of *Eucalyptus camaldulensis* extractives and the influencing mechanism on the bond performance [D]. Changsha,Hunan:Central South University of Forestry and Technology,2011. (in Chinese)

[18] 王 肖,贾 军,贾朦朦,等. 基于软木脂的高分子材料: I. 软木脂的来源、合成、结构与性能 [J]. 广州化学,2009,34(3):60-72.

Wang X,Jia J,Jia M M,et al. Suberin-based macromolecular materials: I. The source, synthesis, structure and properties of suberin [J]. Guangzhou Chemistry,2009,34(3):60-72. (in Chinese)

[19] 贾 军,贾朦朦,郑 羿,等. 基于软木脂的高分子材料: II. 软木脂的功能与应用 [J]. 广州化学,2010,35(3):57-62.

Jia J,Jia M M,Zheng Y,et al. Suberin-based macromolecular materials: II. The function and application [J]. Guangzhou Chemistry,2010,35(3):57-62. (in Chinese)

[20] Pereira H. Variability of the chemical composition of cork [J]. Bio Resources,2013,8(2):2246-2256.