

减钾对华南早晚兼用型水稻产量形成、品质及钾吸收利用的影响

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:在大田条件下,研究了低氮磷水平下施钾处理(常规施钾(225.0 kg/hm²)、减钾28%(175.5 kg/hm²)和不施钾(0 kg/hm²))对水稻粤晶丝苗2号、桂香占、华优8305和天优998的产量形成、品质及钾吸收利用的影响。结果表明,与常规施钾相比,减钾28%提高华优8305的结实率及天优998的有效穗和结实率,进而增产;桂香占的有效穗、结实率和千粒质量提高,但每穗总粒数下降,因而稳产;粤晶丝苗2号有明显的减穗减粒效应。减钾28%有利改善华优8305的稻米品质;不利改善另外3个水稻品种稻米碾磨品质。适度减钾对水稻剑叶和籽粒生理代谢酶活性无显著负面影响,减钾28%有利提高钾素利用率。低氮磷水平下减钾对华南早晚兼用型水稻产量和品质的影响因品种而异。

关键词:华南早晚兼用型水稻;减钾;产量形成;品质;钾吸收利用

中图分类号:S511 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2014)01-0151-08

Effects of Reduced Potassium Fertilizer on the Yield Formation, Rice Quality and K 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 510642, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in South China, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510642, China; 3. Crops Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China.)

Abstract: Effects of K fertilizer (Conventional N (225.0 kg/ha), reduction of K by 28% (175.5 kg/ha) and without K (0 kg/ha)) on rice yield formation, rice quality and K uptake and utilization were studied using four varieties (Yuejingsimiao 2, Guixiangzhan, Huayou 8305 and Tianyou 998) in field experiment. Results showed that, compared with conventional K, reduction of K by 28% improved seed setting rate in Huayou 8305, increased both effective panicle numbers and seed setting rate in Tianyou 998, which result in increase in yield; Guixiangzhan showed stable in yield due to increase in effective panicle numbers, seed setting rate and 1000-grain weight, but decrease in grains number per panicle. For Yuejingsimiao 2, significant decrease in effective panicle numbers and grains number per panicle was found. Reduction of K by 28% improved rice quality in Huayou 8305, but showed unfavorable effect on milling quality in other experimental varieties. Moderate reduction of K showed no significant negative effects on physiological metabolism enzyme activity in flag leaf and grain, reduction of K by 28% was favorable to improve K utilization. Reduction K application had different effects on the yield and quality of different varieties used in both early and late season

Key words: Early/late season rice (*Oryza Sativa* L.); Potassium reduction; Yield formation; Quality; K uptake and utilization

收稿日期:2013-11-26

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。莫钊文、李武为同等贡献作者。

通讯作者:唐湘如(1964-),男,湖南宁乡人,博士,教授,博士生导师,主要从事作物栽培与生理研究。

在水稻生长发育过程中,钾素起着重要作用^[1]。土壤的钾含量很大程度上影响施钾量的多少^[2],稻田钾素水平是影响水稻高产的因素之一^[3],低钾条件下提高稻作生产一直是研究的重点^[4-6]。合理配施氮、磷、钾是提高肥料利用效率的重要条件之一,适量施氮时,增施钾肥可以提高水稻产量^[6],反过来,施钾量影响作物对氮的吸收和利用^[7-8]。低钾条件或结合不同氮磷配施条件下研究钾素对水稻的影响已有报道^[6,9-15]。但是,低氮磷水平条件下钾素对水稻的影响报道尚少,低氮磷水平条件下减少钾的投入是否可行有待探讨。磷素供应水平能影响水稻对于氮、钾的吸收和积累,并存在基因型差异。基于三方面考虑,氮、磷、钾按照合理的比例配施是提高肥料利用效率的重要条件之一,那么氮磷减量化条件下,最佳的钾肥施用量有待进一步优化配置;不同水稻品种对钾吸收、转运及利用存在显著差异,那么本研究中4个大面积推广并具品种类型代表性的水稻品种钾素利用效率有何表现,至今未见报道;钾肥成本高,而稻米品质是稻米经济效益的一个重要方面,钾素对不同水稻品种稻米品质影响的研究具有重要意义。本研究以4个具有代表性的华南早晚兼用型高产优质水稻品种(组合)为试验材料,研究低氮低磷水平下(施氮量为 135.0 kg/hm^2 ,施过磷酸钙为 351.0 kg/hm^2)水稻产量形成、品质及钾吸收利用对钾素水平的响应,以期水稻肥料精确减量施用及营养高效利用的水稻品种筛选和新品种选育提供理论和实践依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试常规稻品种为华南早晚兼用型水稻粤晶丝苗2号和桂香占,杂交稻品种为华南早晚兼用型水稻华优8305和天优998。

1.2 试验条件 and 设计

试验于2010年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,耕层有机质含量 18.17 g/kg 、全氮 1.117 g/kg 、全磷 0.917 g/kg 、全钾 32.62 g/kg 、碱解氮 90.6 mg/kg 、速效磷 79.68 mg/kg 、速效钾 87.6 mg/kg ,土壤pH值6.16。试验设3个施钾处理,分别为:常规施钾(K2),施氯化钾 225.0 kg/hm^2 ;减钾28%(K1),施氯化钾 175.5 kg/hm^2 ;不施钾(K0),施氯化钾 0 kg/hm^2 。每处理重复3次,小区面积 24 m^2 。其他栽培措施基本一致,每处理施尿素 293.5 kg/hm^2 、过磷酸钙 351.0 kg/hm^2 ,均作基肥一次性施用;2本移

栽,插置规格为 $20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$ 。水稻于3月11日播种,4月7日移栽,桂香占、华优8305及天优998均是由于7月18日收割,粤晶丝苗2号于7月23日收割。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 剑叶和籽粒酶活性 谷氨酰胺合成酶(GS)活性、蔗糖磷酸合成酶(SPS)和蔗糖合成酶(SS)活性测定参照文献^[16]的方法。

可溶性淀粉合成酶(SSS)活性测定:称取 0.4 g 新鲜叶片或去壳籽粒,洗净,置于预冷的研钵中,加4倍体积的缓冲液(100 mmol/L Tricine-NaOH, pH值7.5, 8 mmol/L MgCl_2 , 2 mmol/L EDTA, 12.5% (V/V)甘油, 1% (m/V) PVP-40, 50 mmol/L 巯基乙醇),磨成匀浆,在 8000 r/min , $4\text{ }^\circ\text{C}$ 离心 10 min ,然后收集上清液置于冰浴作为粗酶液。取 $20\text{ }\mu\text{L}$ 粗酶液加入 $36\text{ }\mu\text{L}$ 反应液(反应液最终浓度为 50 mmol/L HEPES-NaOH (pH值7.4)、 1.6 mmol/L ADPG、 0.7 mg 支链淀粉、 15 mmol/L DTT), $30\text{ }^\circ\text{C}$ 反应 20 min 后,沸水中终止反应 30 s ,冷却;加 $20\text{ }\mu\text{L}$ 反应液(含 50 mmol/L HEPES-NaOH (pH值7.4)、 4 mmol/L PEP、 200 mmol/L KCl、 10 mmol/L MgCl_2 、 1.2 单位的丙酮酸激酶, $30\text{ }^\circ\text{C}$ 反应 20 min 后,沸水中终止反应, 4000 r/min 离心 10 min 。取上清液 $60\text{ }\mu\text{L}$ 与 $43\text{ }\mu\text{L}$ 反应液(50 mmol/L HEPES-NaOH (pH值7.4)、 10 mmol/L 葡萄糖、 10 mmol/L MgCl_2 , 2 mmol/L NADP、 1.4 单位的已糖激酶、 0.35 单位的葡萄糖-6-磷酸脱氢酶), $30\text{ }^\circ\text{C}$ 反应 10 min 后,测定 340 nm OD值的变化。

束缚性淀粉合成酶(GBSS)活性测定:SSS的离心后粗提酶液下层沉淀用提取液冲洗2次, 8000 r/min , $4\text{ }^\circ\text{C}$ 离心 20 min ,然后重悬浮在 2 mL 的同样的提取液,即得束缚性淀粉合成酶(GBSS)的粗酶液。取 $20\text{ }\mu\text{L}$ GBSS的粗酶液加入 $20\text{ }\mu\text{L}$ 反应液(去掉支链淀粉,其余成分与可溶性淀粉合成酶的反应液相同),接下来的步骤与可溶性淀粉合成酶完全相同。

1.3.2 产量及其构成因素 水稻成熟后,每小区取具代表性的5穴水稻,调查有效穗数、每穗总粒数、结实率和千粒质量等,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。

1.3.3 稻米品质 收获后的稻谷于室温下保存3个月以保证稻谷品质的稳定^[17],稻米品质参照中华人民共和国国家标准《GB/T17891-1999 优质稻谷》方法测定^[18]。

1.3.4 钾吸收利用 每小区取具代表性植株3穴,将植株地上部分按茎、鞘、叶、穗分开,于 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 的烘箱中杀青 30 min ,在 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重,钾素测定

参考文献[19]的方法,并计算出钾吸收量;钾素利用效率计算参考文献[20]公式:

$$\text{钾素干物质生产效率(kg/kg)} = \frac{\text{地上部生物量}}{\text{地上部吸钾量}}$$

$$\text{钾素稻谷生产效率(kg/kg)} = \frac{\text{产量}}{\text{植株吸钾量}}$$

2 结果与分析

2.1 减钾对产量及其构成因素的影响

表1表明,与K2相比,K1和K0降低粤晶丝苗2号有效穗数和每穗总粒数,其中K0影响均差异显著;对结实率和千粒质量均无显著影响。相对于

K2,K1和K0显著提高桂香占的有效穗、结实率和千粒质量;降低了每穗总粒数,其中K1影响差异显著。相对于K2,K1和K0对华优8305的有效穗、每穗总粒数和千粒质量均无显著影响;显著提高K1的结实率,但显著降低K0的结实率。可见,相对于常施钾处理,减钾处理有利提高华优8305的结实率,有利提高天优998的有效穗、结实率,进而增产;亦有利提高桂香占有效穗、结实率来弥补每穗总粒数的劣势,从而稳产;然而对粤晶丝苗2号的结实率的提高弥补不了有效穗和每穗总粒数均较少的劣势,进而导致显著减产。

表1 减钾对水稻产量及其构成的影响

Tab.1 Effect of K reduction on rice yield and its component

品种 Cultivar	处理 Treatment	有效穗数/(10 ⁴ /hm ²) Effective panicles number	每穗总粒数 Grains number per panicle	结实率/% Seed setting rate	千粒质量/g 1000-grain weight	实际产量 /(t/hm ²) Harvested yield
粤晶丝苗2号 Yuejingsimiao 2	K2	240.0a	157.7a	93.15a	22.27a	7.36a
	K1	223.3ab	148.0ab	95.28a	22.50a	6.28b
	K0	209.2b	140.6b	93.95ab	22.03a	6.09b
桂香占 Guixiangzhan	K2	240.0b	118.2a	73.48b	26.43b	5.82a
	K1	271.7a	96.8b	80.81a	26.93a	5.63a
	K0	270.0a	106.5ab	86.04a	26.83a	5.94a
华优8305 Huayou 8305	K2	200.0a	231.9a	88.50b	19.07a	8.06a
	K1	195.0a	236.4a	93.98a	19.47a	8.66a
	K0	205.0a	240.4a	82.48c	19.33a	7.81a
天优998 Tianyou 998	K2	236.7b	161.8a	76.75c	25.17a	7.48b
	K1	260.0a	160.9a	83.28b	24.73a	8.93a
	K0	207.5c	156.1a	92.37a	25.13a	8.44ab

注:同一品种内不同小写字母表示差异达5%显著水平。表2~8同。

Note: Different small letters mean significant at 5% levels within a variety. The same Tab. 2-8.

2.2 减钾对稻米品质的影响

表2表明,相对于K2,K1显著提高了粤晶丝苗2号的糙米率、精米率;而K1和K0均显著降低了其整精米率;而K1和K0提高粤晶丝苗2号粒长,其中K0影响达显著水平;K1对垩白米率无显著影响而显著降低了垩白度,但K0显著提高了垩白米率和垩白度;K1和K0显著提高直链淀粉含量,但对胶稠度无显著影响。与K2相比,K1显著降低了桂香占的糙米率、精米率,而K0影响差异不显著;K0显著降低了整精米率,K1对整精米率影响不显著;K1和K0对桂香占的粒长、长宽比及垩白度均无显著影响;但显著提高了其垩白米率;K1和K0显著提高了桂香占的直链淀粉含量,对胶稠度无显著影响。相对于K2,K1对华优8305糙米率、精米率及整精米率均无显著影响;K0显著降低了其糙米率,对精米率、整精米率均无显著影响;K1和K0对华优8305的粒长、长宽比及垩白度均无显著影响;K1

显著降低了垩白米率,K0则相反;K1和K0对华优8305的直链淀粉含量均无显著影响;提高了胶稠度,其中K0影响显著。相对于K2,K1和K0对天优998糙米率、精米率均无显著影响,却显著降低了整精米率;K1和K0对天优998的粒长、长宽比及垩白度均无显著影响;K0显著降低了垩白米率,而K1的却相反;K1显著降低了天优998的直链淀粉含量,而K0影响不显著;K1和K0均显著提高了其胶稠度。可见,相对于K2,减钾处理对华优8305无负面影响,降低了另外3个水稻的碾磨品质;减钾处理有利降低粤晶丝苗2号的垩白度,有利降低华优8305的垩白米率,进而改善稻米外观品质;减钾处理对桂香占、天优998皆因提高垩白米率而降低了外观品质;减钾处理有利提高华优8305的胶稠度,亦有利降低天优998直链淀粉含量并提高其胶稠度,进而改善稻米蒸煮品质;然对粤晶丝苗2号、桂香占因提高直链淀粉含量而降低了蒸煮品质。

表 2 减钾对稻米品质的影响

Tab. 2 Effect of K reduction on rice quality

品种 Cultivar	处理 Treatment	糙米率/% Brown rice rate	精米率/% Milling rice rate	整精米率/% Head milling rice rate	粒长/mm Grain length	长宽比 Ratio of length and width	垩白米率/% Chalkiness	垩白度/% Chalkiness degree	直链淀粉含量/% Amylose content	胶稠度/mm Gel consistency
粤晶丝苗 2 号	K2	78.16b	67.00b	55.09a	6.00b	2.94a	6.00b	3.64b	15.07c	80.33a
Yuejingsimiao 2	K1	80.20a	68.26a	48.83b	6.18b	2.90a	5.67b	2.80c	15.67a	79.33a
	K0	78.89b	66.67b	50.12b	6.21a	3.00a	8.00a	4.69a	15.37b	82.33a
桂香占 Guixiangzhan	K2	81.01a	66.51a	34.12a	6.47a	2.99a	33.33c	18.91a	16.13b	89.33a
	K1	77.39b	64.23b	34.42a	6.42a	2.94a	36.33b	18.19a	16.77a	86.00a
华优 8305 Huayou 8305	K0	80.38a	66.63a	32.26b	6.37a	2.95a	40.00a	20.50a	17.00a	90.00a
	K2	78.59a	65.95ab	43.88a	5.38a	2.50a	35.67a	18.31a	21.60a	57.67b
天优 998 Tianyou 998	K1	78.68a	66.20a	42.46a	5.48a	2.62a	30.67b	17.69a	25.03a	63.67a
	K0	78.00b	65.53b	42.34a	5.42a	2.54a	34.67a	16.10a	25.20a	58.33b
天优 998 Tianyou 998	K2	81.38a	65.99a	42.08a	6.20a	2.75a	43.33b	24.80a	20.63a	57.00b
	K1	81.25a	65.66a	40.57b	6.14a	2.80a	48.00a	26.12a	18.67b	62.33a
Tianyou 998	K0	81.16a	64.68a	26.29b	6.03a	2.75a	37.33c	21.82a	21.00a	63.33a

2.3 减钾对剑叶生理特性的影响

2.3.1 剑叶蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 活性 表 3 表明,与 K2 相比,K1 和 K0 显著降低粤晶丝苗 2 号齐穗后 7 d 剑叶 SPS 活性,而对其他时期影响不显著;K0 降低桂香占生育后期剑叶 SPS 活性,K1 显著降低了齐穗后 7 d 剑叶 SPS 活性;K1 和 K0 对华优

8305 生育后期剑叶 SPS 活性均无显著影响;K1 和 K0 对天优 998 生育后期剑叶 SPS 活性均无显著影响。可见,相对于 K2,适度减钾对华优 8305、天优 998 生育后期剑叶 SPS 活性无负面影响;却降低了粤晶丝苗 2 号、桂香占齐穗后 7 d 剑叶 SPS 活性。

表 3 减钾对水稻剑叶蔗糖磷酸合成酶活性的影响

Tab. 3 Effect of K reduction on sucrose phosphate synthase activity in 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	K2	132.72a	126.37a	137.57a	85.75a
	K1	182.03a	75.22b	118.01a	68.87a
桂香占 Guixiangzhan	K0	124.20a	63.85b	156.79a	99.79a
	K2	126.87a	188.55a	116.01a	136.56a
华优 8305 Huayou 8305	K1	98.62a	124.2b	118.35a	101.63a
	K0	132.05a	180.69a	108.82a	111.99a
天优 998 Tianyou 998	K2	114.33a	79.06ab	98.62ab	62.35a
	K1	86.25a	97.62a	87.59b	68.70a
Tianyou 998	K0	93.44a	52.49b	142.42a	81.07a
	K2	143.42a	111.32a	43.79a	102.13a
Tianyou 998	K1	92.77a	119.18a	35.10a	90.10a
	K0	120.85a	121.69a	45.30a	99.12a

2.3.2 剑叶谷氨酰胺合成酶活性 从表 4 可以看出,相对于 K2,K1 和 K0 显著提高了粤晶丝苗 2 号齐穗期剑叶谷氨酰胺合成酶 (GS) 活性;对齐穗后 7,14,21 d 剑叶 GS 活性均无显著影响;K1 和 K0 对桂香占和华优 8305 生育后期剑叶 GS 活性均无显著影响;K1 和 K0 对天优 998 齐穗期、齐穗后 14,21 d 剑叶 GS 活性亦均无显著影响;K0 显著提高了齐穗后 7 d 剑叶 GS 活性,而 K1 影响差异不显著。

可见,相对于 K2,适度减钾有利提高粤晶丝苗 2 号齐穗期剑叶 GS 活性;对另外 3 个水稻品种亦无负面影响。

2.4 减钾对籽粒淀粉合成关键酶活性的影响

2.4.1 蔗糖合成酶 表 5 表明,相对于 K2,K1 对粤晶丝苗 2 号齐穗后 7,14,21 d 籽粒 SS 活性有所降低,但差异均未达显著水平;K0 显著降低各期籽粒 SS 活性。K1 和 K0 对华优 8305 齐穗后 7,14 d 籽

粒 SS 活性均无显著影响;但 K0 显著降低了齐穗后 21 d 籽粒 SS 活性,而 K1 影响差异不显著。K1 和 K0 对天优 998 和桂香占各期籽粒 SS 活性均无显著

影响。可见,相对于 K2,适度减钾对 4 个水稻品种各期籽粒 SS 活性均无负面影响。

表 4 减钾对水稻剑叶谷氨酰胺合成酶活性的影响

Tab. 4 Effect of K reduction on glutamine synthetase activity in flag leaves

OD

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	K2	0.32b	0.43a	0.36a	0.31a
Yuejingsimiao 2	K1	0.43a	0.41a	0.34a	0.27a
	K0	0.45a	0.40a	0.34a	0.26a
	K2	0.44a	0.51a	0.36a	0.47a
桂香占 Guixiangzhan	K1	0.40a	0.50a	0.33a	0.54a
	K0	0.38a	0.53a	0.31a	0.43a
	K2	0.57a	0.52a	0.48a	0.27ab
华优 8305 Huayou 8305	K1	0.51a	0.57a	0.38a	0.22b
	K0	0.58a	0.54a	0.48a	0.35a
	K2	0.52a	0.48b	0.49a	0.31a
天优 998 Tianyou 998	K1	0.46a	0.41b	0.49a	0.32a
	K0	0.45a	0.69a	0.50a	0.41a

表 5 减钾对水稻籽粒蔗糖合成酶活性的影响

Tab. 5 Effect of K reduction on sucrose synthase activity in grains

mg(g·h)

品种 Cultivar	处理 Treatment	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	K2	141.60a	144.93a	124.28a
Yuejingsimiao 2	K1	130.93ab	130.49a	115.17ab
	K0	116.02b	103.98b	96.11b
	K2	112.66a	115.84ab	109.65a
桂香占 Guixiangzhan	K1	104.49a	99.8b	97.70a
	K0	127.22a	119.27a	105.81a
	K2	91.15a	83.35a	87.92a
华优 8305 Huayou 8305	K1	96.21a	81.79a	83.83ab
	K0	106.39a	74.17a	71.12b
	K2	145.39a	120.08ab	97.53a
天优 998 Tianyou 998	K1	148.35a	134.60a	110.57a
	K0	135.33a	113.05b	95.53a

2.4.2 可溶性淀粉合成酶 表 6 表明,相对于 K2, K1 和 K0 对粤晶丝苗 2 号齐穗后 7,21 d 籽粒 SSS 活性无显著影响;提高了齐穗后 14 d 籽粒 SSS 活性,其中 K0 影响达显著水平。K1 和 K0 提高了桂香占齐穗后 7,21 d 籽粒 SSS 活性,其中 K2 影响均达显著水平;而对齐穗后 14 d 籽粒 SSS 活性无显著影响。K1 和 K0 对华优 8305 各期籽粒 SSS 活性均无显著影响。K1 显著提高了天优 998 齐穗后 14 d 籽粒 SSS 活性,而对其他时期的籽粒 SSS 活性均无显著影响。可见,相对于 K2,适度减钾处理有利于

提高天优 998 齐穗后 14 d 籽粒 SSS 活性,亦对另外 3 个水稻品种各期籽粒 SSS 活性均无负面影响。

2.4.3 束缚性淀粉合成酶 从表 7 中可以看出,相对于 K2, K1 和 K0 对粤晶丝苗 2 号或天优 998 齐穗后 7,14,21 d 籽粒 GBSS 活性均无显著影响;对桂香占或华优 8305 齐穗后 7,14 d 籽粒 GBSS 活性均无显著影响;K1 显著提高了齐穗后 21 d 籽粒 GBSS 活性。可见,相对于 K2,适度减钾处理有利提高桂香占、华优 8305 齐穗后 21 d 籽粒 GBSS 活性;对另外 2 个水稻品种各期籽粒 GBSS 活性亦无负面影响。

表 6 减钾对水稻籽粒可溶性淀粉合成酶活性的影响

Tab. 6 Effect of K reduction on soluble starch synthase activity in grains $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{min})$

品种 Cultivar	处理 Treatment	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	K2	19.51a	16.57b	17.50a
	K1	14.94a	17.33ab	14.63a
	K0	12.64a	19.86a	19.64a
桂香占 Guixiangzhan	K2	10.14b	8.72a	15.41b
	K1	10.75ab	9.57a	12.18ab
	K0	16.10a	10.25a	22.58a
华优 8305 Huayou 8305	K2	8.09a	27.13a	16.83a
	K1	8.84a	26.01a	14.22a
	K0	11.61a	27.79a	16.42a
天优 998 Tianyou 998	K2	12.86ab	16.68b	14.46a
	K1	8.57b	22.17a	15.75a
	K0	15.13a	20.40ab	17.15a

表 7 减钾对水稻籽粒束缚性淀粉合成酶活性的影响

Tab. 7 Effect of K reduction on granule bound starch synthase activity in grains $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{min})$

品种 Cultivar	处理 Treatment	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	K2	9.40a	10.23a	13.84a
	K1	9.47a	10.358a	8.18a
	K0	12.76a	11.83a	10.98a
桂香占 Guixiangzhan	K2	7.88a	5.69a	13.46b
	K1	9.73a	8.32a	25.71a
	K0	9.05a	8.66a	8.85b
华优 8305 Huayou 8305	K2	7.94a	7.20a	8.44b
	K1	6.46a	6.84a	18.38a
	K0	9.27a	6.51a	6.58b
天优 998 Tianyou 998	K2	11.4a	5.74a	9.71a
	K1	8.38a	8.06a	12.85a
	K0	7.33a	5.93a	6.50a

2.5 减钾对钾素利用效率的影响

从表 8 中可以看出,相对于 K2, K1 对桂香占的

吸钾量影响不明显,降低了粤晶丝苗 2 号、华优

8305 及天优 998 的吸钾量,其中对华优 8305 影响达

表 8 减钾对水稻钾素利用效率的影响

Tab. 8 Effect of K reduction on rice K use efficiency

品种 Cultivar	处理 Treatment	吸钾量/ (kg/hm^2) Total K uptake	钾素干物质 生产效率/ (kg/kg) K use efficiency	钾素稻谷 生产效率/ (kg/kg) K productivity of grains
粤晶丝苗 2 号 Yuejingsimiao2	K2	200.8a	70.19b	38.04b
	K1	164.4a	71.01b	38.15b
	K0	98.9b	94.57a	61.82a
桂香占 Guixiangzhan	K2	115.1a	87.66b	51.59a
	K1	116.8a	93.39b	51.90a
	K0	107.1a	116.53a	55.97a
华优 8305 Huayou 8305	K2	220.3a	60.94c	36.80b
	K1	144.0b	85.78b	61.14a
	K0	94.7c	107.21a	84.038a
天优 998 Tianyou 998	K2	220.4a	63.20c	34.58c
	K1	202.1a	67.45b	44.49b
	K0	127.2b	88.27a	66.57a

显著水平;K0 显著降低了除桂香占的水稻品种吸钾量。相对于 K2, K1 对粤晶丝苗 2 号、桂香占的钾素干物质生产效率和钾素稻谷生产效率均无显著影响,不施钾则提高或显著提高了这 2 个指标。K1 或 K0 均显著提高了华优 8305、天优 998 的钾素干物质生产效率和钾素稻谷生产效率,且不施钾增幅最大。可见,2 个杂交稻品种随着施钾量减小,群体含钾量减小,而钾素干物质生产效率和稻谷生产效率则随之提高,2 个常规稻品种亦有此趋势,但 K1 与 K2 差异不显著。

3 讨论与结论

相对于常规施钾(CK),减钾 28% 降低了粤晶丝苗 2 号的有效穗和每穗总粒数。减钾 28% 对另种 3 个水稻品种却有增产或稳产效应。①相对于对照,减钾 28% 或不施钾能进一步提高桂香占的有效穗、结实率及千粒质量,进而增产。有利保持其生育后期特别是齐穗后 7 d 较高的剑叶蔗糖磷酸合成酶活性,群体功能叶分布匀称而保持活力;另一方面,不施钾有利提高籽粒可溶性或束缚性淀粉合成酶活性。减钾有效克服了水稻穗粒矛盾并在较高层次上实现了穗粒并举的局面。②相对于对照,减钾 28% 能进一步提高华优 8305 的结实率,进而增产。减钾 28% 对华优 8305 碳氮代谢关键酶活性无显著负面影响,且减钾有利提高其齐穗后 21 d 籽粒束缚性淀粉合成酶活性。③相对于对照,减钾 28% 能进一步提高天优 998 的有效穗、结实率,进而增产,这和范业成等^[21]有相似的报道,然彭智平等^[22]却有不同观点。减钾 28% 有利提高其齐穗后 14 d 籽粒可溶性淀粉合成酶活性。即:在减氮 28%、减磷 28% (施过磷酸钙 351.0 kg/hm²、尿素 293.5 kg/hm²) 条件下,以常规施钾为对照,减钾有利提高华优 8305 的结实率、天优 998 的有效穗和结实率,进而增产。减钾或不施钾有利提高桂香占有有效穗、结实率及千粒质量来弥补每穗总粒数的劣势,从而稳产。减钾对粤晶丝苗 2 号的结实率的提高弥补不了有效穗和每穗总粒数均较少的劣势,进而导致显著减产。华南早晚兼用型水稻结实率与灌浆中期籽粒可溶性或束缚性淀粉合成酶呈极显著或显著的正相关(数据未列出),即活库效应是其高产的关键因素之一。总的来说,相对于常规施钾,减钾 28% 有利提高华优 8305 的结实率、天优 998 的有效穗和结实率,进而增产,亦有利提高桂香占的有效穗、结实率及千粒质量来弥补每穗总粒数的劣势而稳产;然而,减钾 28% 却对粤晶丝苗 2 号有明显的减穗减粒效应。

通常施钾能提高和改善稻米的外观品质和碾磨品质^[23-25]。本研究中,相对于常规施钾,以常规施钾为对照,减钾 28% 对华优 8305 稻米碾磨品质无显著负面影响,有利改善其外观品质和蒸煮品质;减钾虽有利提高天优 998 稻米蒸煮品质,却降低了碾磨品质和外观品质。减钾或不施钾不利改善桂香占稻米品质。减钾虽降低了粤晶丝苗 2 号碾磨品质和蒸煮品质,但能显著降低垩白度而有利提高外观品质。就钾肥利用效率而言,2 个杂交稻品种随着施钾量减小,群体含钾量减小,而钾素干物质生产效率和稻谷生产效率则随之提高,2 个常规稻品种亦有此趋势,但减钾 28% 与常规施钾差异不显著。总的来说,相对于常规施钾,减钾 28% 有利改善华优 8305 的稻米外观品质和蒸煮品质;却不利改善另外 3 个水稻品种稻米碾磨品质。相对于常规施钾,减钾 28% 有利提高 4 个水稻品种的钾素利用率,其中对杂交稻品种影响达显著水平。

参考文献:

- [1] Ashley MK, Grant M, Grabov A. Plant responses to potassium deficiencies: A role for potassium transport proteins [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2006, 57(2): 425 - 436.
- [2] 杨贵成, 杨贵春, 王加龙, 等. 不同水稻品种施钾增产效果及施用方法研究 [J]. *农业科学研究*, 2011, 32(2): 42 - 46.
- [3] 王汝慈, 程式华, 曹立勇. 水稻耐低钾胁迫研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2009, 25(6): 77 - 83.
- [4] 刘建祥, 杨肖娥, 吴良欢, 等. 低钾胁迫对水稻叶片光合功能的影响及其基因型差异 [J]. *作物学报*, 2001, 27(6): 1000 - 1006.
- [5] 胡泓, 王光火, 张奇春, 等. 田间低钾胁迫条件下水稻对钾的吸收和利用效率 [J]. *中国水稻科学*, 2004, 18(7): 526 - 532.
- [6] 贾彦博, 杨肖娥, 王为木. 不同供钾水平下水稻钾素吸收利用与产量的基因型差异 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20(2): 64 - 67, 72.
- [7] 吴传洲, 朱克保, 袁焕进, 等. 沿江江南地区水稻钾、氮吸收特性与施钾效应研究 [J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(3): 1519 - 1520, 1570.
- [8] 李玉影, 金继运, 刘双全, 等. 钾对春小麦生理特性、产量及品质的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(4): 449 - 455.
- [9] 谭金芳, 洪坚平, 赵会杰, 等. 不同施钾量对旱作冬小麦产量、品质和生理特性的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(3): 456 - 462.
- [10] 彭海欢, 翁晓燕, 徐红霞, 等. 缺钾胁迫对水稻光合特性及光合防御机制的影响 [J]. *中国水稻科学*, 2006,

- 20(6):621-625.
- [11] 孙骏威,翁晓燕,李 娟,等. 缺钾对水稻不同品种光合和能量耗散的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007,13(4):577-584.
- [12] 库文珍,彭克勤,张雪芹,等. 低钾胁迫对水稻苗期矿物质营养吸收和植物激素含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(1):69-75.
- [13] 王为木,杨肖娥,李 华,等. 低钾胁迫对两个耐钾能力不同水稻品种养分吸收和分配的影响[J]. 中国水稻科学,2003,17(1):53-57.
- [14] 张祥明,郭熙盛,李霞红,等. 钾肥运筹对中籼稻产量·钾素积累利用的影响[J]. 安徽农业科学,2012,40(31):15207-15209.
- [15] 库文珍,赵运林,董 萌,等. 低钾胁迫对不同基因型水稻光合特性的影响[J]. 湖北农业科学,2012,51(22):5001-5004.
- [16] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,1999:126,157-158.
- [17] Perez C M, Juliano B O, Liboon S P, *et al.* Effects of late nitrogen fertilizer application on head rice yield, protein content, and grain quality of rice[J]. Cereal Chemistry, 1996,73(5):556-560.
- [18] 国家质量技术监督局. 中华人民共和国国家标准. GB/T17891-1999 优质稻谷[S]. 北京:中国标准出版社,1999.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999:315-316.
- [20] 杨 波,任万军,杨文钰等. 不同种植方式下钾肥用量对水稻钾素吸收利用及产量的影响[J]. 杂交水稻,2008,23(5):60-64,91.
- [21] 范业成,陶其襄. 稻田肥料效应和肥力监测阶段性研究报告[J]. 江西农业学报,1996,8(2):114-122.
- [22] 彭智平,黄继川,李小利,等. 杂交水稻‘天优 998’营养特性和施肥效应研究[J]. 中国农学通报,2011,27(5):223-227.
- [23] 周瑞庆. 肥料种类及营养元素对稻米产量与品质影响的初步研究[J]. 作物研究,1988(1):14-17.
- [24] 李卫国,任永玲. 氮、磷、钾、硅肥配施对水稻产量及其构成因素的影响[J]. 山西农业科学,2001,29(1):53-58.
- [25] 宋桂云,徐正进,陈温福,等. 田间低钾对不同穗型水稻钾的吸收和利用效率的影响[J]. 华北农学报,2006,21(6):89-94.