

魏 杰, 吴传万, 尹 航, 等. 外源硒、钙对优质食味粳稻产量、品质及稻米硒、钙含量的影响[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(5): 1162-1170.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.05.002

## 外源硒、钙对优质食味粳稻产量、品质及稻米硒、钙含量的影响

魏 杰, 吴传万, 尹 航, 张豪杰, 文章荣, 邵 青, 陈紫岩, 章安康, 彭 杰, 杜小凤

(江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所, 江苏 淮安 223001)

**摘要:** 本研究旨在探究叶面喷施外源硒钙制剂(氨基多糖硒钙水溶肥)对优质食味粳稻产量、品质和营养强化的影响。以优质食味粳稻南粳 9108、南粳 46、南粳 2728、南粳 505、淮稻 5 号和徐稻 9 号为研究材料, 设置田间试验, 在破口期喷施 133 ml/L 氨基多糖硒钙水溶肥(T), 以喷施等量清水为对照(CK), 成熟期测定水稻的产量及其构成因素、品质(外观品质、加工品质、营养品质、食味值)以及稻米中硒和钙的含量。方差分析结果表明, 氨基多糖硒钙水溶肥可显著提高水稻每穗粒数和产量, 平均增幅分别为 10.01% 和 7.10%; 对有的供试品种能改善粒型, 提高整精米率, 降低不完善粒率和黄米粒率; 处理后垩白粒率和垩白度下降, 平均降幅分别为 23.03% 和 18.52%; 米饭食味值显著提高, 平均增幅为 6.53%。此外, 氨基多糖硒钙水溶肥处理对稻米中硒、钙具有营养强化的作用, 大米中硒、钙含量平均增幅分别为 357.01% 和 86.82%。显然, 氨基多糖硒钙水溶肥对水稻产量、品质以及稻米中硒、钙营养强化具有良好的效果, 具有一定的推广价值。本研究结果可以为水稻稻米中的硒、钙营养强化栽培提供理论和实践依据。

**关键词:** 水稻; 氨基多糖硒钙水溶肥; 产量; 品质; 硒; 钙

**中图分类号:** S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)05-1162-09

## Effects of exogenous selenium and calcium on the yield, quality and contents of selenium and calcium of high-quality edible *japonica* rice

WEI Jie, WU Chuan-wan, YIN Hang, ZHANG Hao-jie, WEN Zhang-rong, SHAO Qing, CHEN Zi-yan, ZHANG An-kang, PENG Jie, DU Xiao-feng

(Huaiyin Institute of Agricultural Sciences of the Xuhuai District of Jiangsu Province, Huai'an 223001, China)

**Abstract:** To investigate the effects of amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer on the yield, quality and nutritional enhancement of high-quality edible *japonica* rice, a field experiment was conducted with high-quality *japonica* rice Nanjing 9108, Nanjing 46, Nanjing 2728, Nanjing 505, Huaidao 5 and Xudao 9 as research materials. The amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer (T) was sprayed at the break period with 133 ml/L, and the same amount of water was used as the control (CK). The yield and its components, quality (appearance quality, processing quality, nutritional quality

and taste value), and the contents of selenium and calcium in rice were determined at maturity stage. The results showed that the amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer could significantly increase the number of grains per spike and yield, with an average increase of 10.01% and 7.10%, respectively, it also improved the grain shape, increased the rate of polished rice, and significantly increased the taste value with an average increase of 6.53%. However,

收稿日期: 2022-04-26

基金项目: 江苏省第五期“333 工程”培养资金资助项目(BRA20202-22); 淮安市重点研发计划项目(HAN201903); 淮安市自然科学基金研究计划项目(HAB202170)

作者简介: 魏 杰(1996-), 女, 江苏淮安人, 硕士, 研究实习员, 主要从事作物栽培与调控研究。(E-mail) 1176060069@qq.com

通讯作者: 杜小凤, (E-mail) 15061234456@163.com

the chalky rice rate and degree of chalkiness decreased, with an average decrease of 23.03% and 18.52%, respectively. Besides, the rate of imperfect grain and yellow rice reduced. Furthermore, the amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer could significantly increase the contents of selenium and calcium in rice, with an average increase of 357.01% and 86.82%, respectively. Obviously, the amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer has remarkable effects on regulating rice yield, quality, selenium content and calcium content, so it has certain promotion value. The results of this study can provide theoretical and practical basis for rice nutrition intensification cultivation.

**Key words:** rice; amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer; yield; quality; selenium; calcium

水稻(*Oryza sativa* L.)是重要的粮食作物,全球50%以上的人以稻米为主食<sup>[1]</sup>,随着人口增加以及耕地面积的不断减少,增加水稻产量对保障中国粮食安全起着重要的作用<sup>[2]</sup>。近年来,随着居民生活水平和消费品质的提高,人们对稻米的消费需求逐渐由“吃饱”向“吃好”转变<sup>[3]</sup>,优质食味稻米的需求进一步增加,但优质稻米供应与市场需求存在较大的差距<sup>[4]</sup>。因此,如何在维持产量的同时,进一步改良稻米品质是当前迫切需要解决的问题。

氨基多糖主要以几丁质、脱乙酰几丁质的形式存在于节肢动物外骨骼和真菌细胞壁中,在自然界中的含量仅次于纤维素,是大量存在的碱性多糖<sup>[5]</sup>。大量研究结果表明,氨基多糖及其衍生物可以调节并促进水稻<sup>[6]</sup>、小麦<sup>[7-8]</sup>、玉米<sup>[9]</sup>、西瓜<sup>[10]</sup>、水果萝卜<sup>[11]</sup>、大白菜<sup>[12]</sup>等作物的生长,提质增产,提升作物对逆境的抗性。

硒是人体必需的微量元素,大量临床研究结果表明,硒在防治大骨节病和克山病、防癌抗癌、抗衰老以及提高人体免疫力等方面具有重要作用,被称为“生命的神奇元素”和“长寿元素”<sup>[13-14]</sup>。然而,中国是缺硒大国,有三分之二的人口面临缺硒带来的健康威胁。已有研究表明,通过根施硒肥或叶面喷施硒肥均可显著提高水稻籽粒硒的含量<sup>[15-16]</sup>,对稻米进行硒生物强化是解决中国居民缺硒的有效途径之一<sup>[17]</sup>。同时,外源硒还具有提高种子发芽率,增强光合作用,促进生长,增加产量,提升抗逆性,提高稻米品质等作用<sup>[13]</sup>。但是,目前关于外源硒对水稻产量、品质和营养强化效应影响的研究不多,尤其关于优质食味水稻硒营养强化的研究和技术方案极少。

钙是人体必需的大量元素,也是植物所必需的营养元素之一,在植物生长发育以及应对环境胁迫中具有重要作用<sup>[18]</sup>,钙肥可促进植物对养分的吸收,促进其生长<sup>[19]</sup>,还可提升植物生物膜结构的稳

定性<sup>[20]</sup>,改善植物的光合作用以及参与第二信使传递信号等作用<sup>[21]</sup>。但是目前关于钙制剂对水稻产量、品质、钙营养强化影响的研究还比较缺乏。

本研究拟以南粳9108、南粳46、南粳2728、南粳505、淮稻5号和徐稻9号为试验材料,设置田间试验,探究氨基多糖硒钙水溶肥对不同优质食味梗稻产量、品质和硒、钙营养强化的影响,以期水稻的营养强化栽培提供理论、实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

本研究选取江苏主导的优质食味水稻品种为试验材料,包括江苏省农业科学院选育的南粳9108、南粳46、南粳2728和南粳505,江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所选育的淮稻5号,江苏徐淮地区徐州农业科学研究所选育的徐稻9号。

本研究所用氨基多糖硒钙水溶肥为江苏双林海洋生物药业有限公司产品,氨基多糖 $\geq 100$  g/L,产品形态为水剂。

### 1.2 试验设计

试验于2019年在江苏省现代农业(稻麦)科技综合示范基地(淮阴区凌桥镇夏家湖农场)进行。前茬作物为小麦,淤泥质土,0~20 cm土层的有机质含量为24.2 g/kg,全氮含量为1.23 g/kg,速效磷含量为55.9 mg/kg,速效钾含量为126.1 mg/kg。

试验采用随机区组设计,于水稻破口期在叶面喷施133 ml/L的氨基多糖硒钙水溶肥,以喷施等量清水为对照,每个处理重复3次,小区面积为15 m<sup>2</sup>。田间管理措施参照当地水稻常规高产栽培管理<sup>[22]</sup>。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 产量及其构成因素 在水稻成熟期测定产量及其构成因素(穗数、每穗粒数、结实率和千粒质量),具体参照龚金龙等<sup>[23]</sup>的测定方法。

1.3.2 稻米品质、米饭食味值 糙米率、整精米率、

垩白粒率、垩白度、不完善粒率、黄米粒率、粒型(长宽比)等的测定方法参照中华人民共和国国家标准《GB/T 17891-1999 优质稻谷》<sup>[24]</sup>。精米蛋白质、直链淀粉含量利用近红外快速品质分析仪(PerkinElmer 公司产品)测定。采用米饭食味计[佐竹机械(苏州)有限公司产品]测定米饭的食味值。

1.3.3 硒含量和钙含量 成熟期从每个小区选取 3 个观察点,摘下稻穗装袋,委托通标标准技术服务(上海)有限公司测定硒含量和钙含量,硒含量检测方法参照文献[25],钙含量检测方法参照文献[26]。

#### 1.4 数据分析与处理

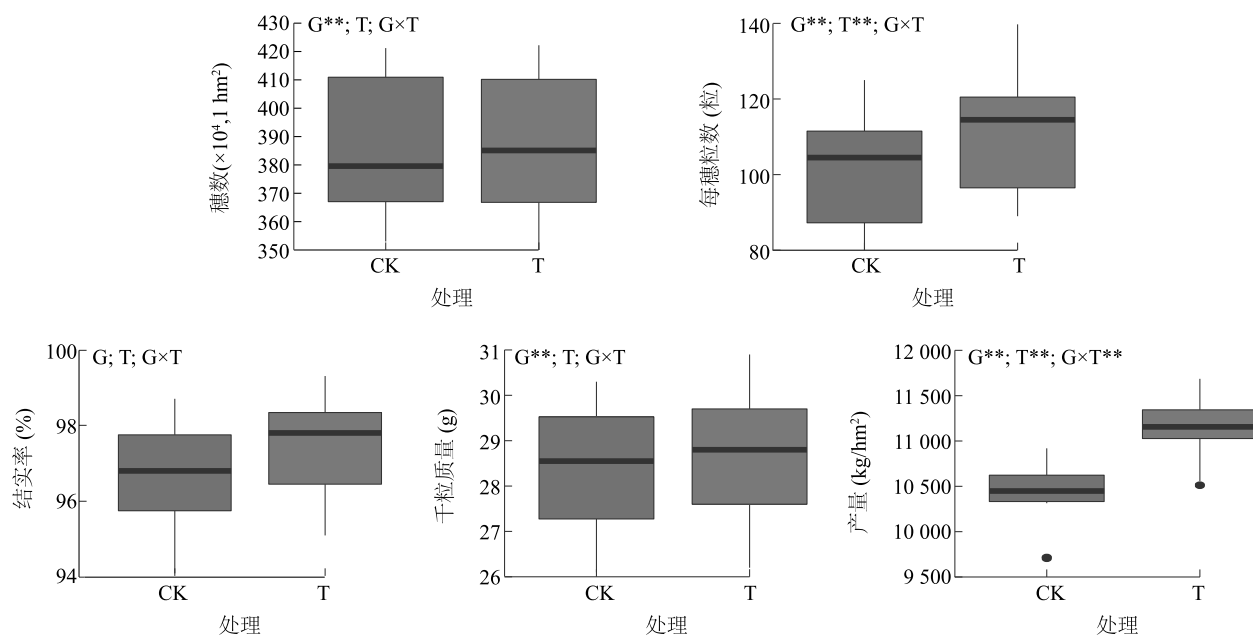
使用 IBM SPSS Statistics 23.0 和 Microsoft Excel

2003 对试验数据进行处理和统计分析,利用 SPSS 进行方差分析,各品种间、处理间差异采用  $t$  检验进行比较,采用 R3.4 中的 ggplot2 包进行图形处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味粳稻产量及其构成因素的影响

图 1 显示,氨基多糖硒钙水溶肥喷施处理对水稻的穗数、每穗粒数、结实率、千粒质量和产量具有一定的促进作用。方差分析结果表明,品种对穗数、每穗粒数、千粒质量和产量具有极显著影响,处理对每穗粒数、产量具有极显著影响,只有产量受到品种和处理互作效应的显著影响。



CK 表示对照;T 表示处理;G 表示品种;G×T 表示品种和处理的互作;\* 表示在 0.05 水平上影响显著;\*\* 表示在 0.01 水平上影响显著。

图 1 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味粳稻产量及其构成因素的影响

Fig.1 Effects of amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer on yield and its components of high-quality edible japonica rice

表 1 显示,与对照组相比,氨基多糖硒钙水溶肥处理下各品种的每穗粒数都表现为显著增加,南粳 9108 增幅最小(7.36%),南粳 505 增幅最大(12.77%),6 个供试品种平均增幅为 10.01%;氨基多糖硒钙水溶肥处理下各品种产量较对照都表现为极显著增加,南粳 505 增幅最小(6.24%),南粳 46 增幅最大(8.44%),6 个供试品种平均增幅为 7.10%。氨基多糖硒钙水溶肥处理下的穗数、结实

率和千粒质量较对照组虽有一定的增加,但差异不显著。

### 2.2 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味粳稻外观品质的影响

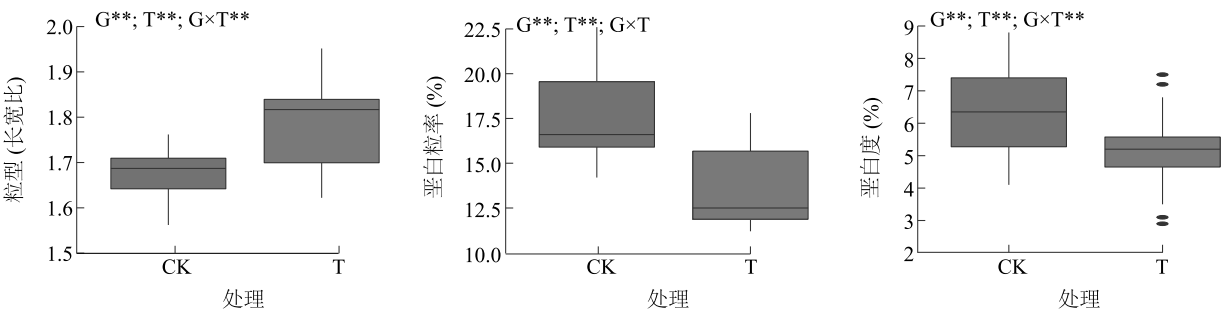
对不同处理下水稻外观品质进行分析,结果(图 2)表明,品种和处理对粒型(长宽比)、垩白粒率和垩白度均具有极显著影响,粒型(长宽比)、垩白度受到品种和处理互作效应的极显著影响。

表 1 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味粳稻产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer on yield and its components of high-quality edible japonica rice

品种	处理	穗数 ( $\times 10^4$ , 1 hm <sup>2</sup> )	每穗粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒质量 (g)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	增产率 (%)
南粳 9108	CK	370.33 $\pm$ 3.51	108.67 $\pm$ 3.06	97.07 $\pm$ 1.52	27.30 $\pm$ 0.72	10 324.67 $\pm$ 16.56	/
	T	375.33 $\pm$ 4.16	116.67 $\pm$ 3.22 *	97.30 $\pm$ 1.48	27.41 $\pm$ 0.60	11 026.67 $\pm$ 14.36 **	6.80
南粳 46	CK	389.67 $\pm$ 5.13	101.33 $\pm$ 2.08	95.77 $\pm$ 1.17	27.79 $\pm$ 0.67	9 703.50 $\pm$ 10.69	/
	T	395.33 $\pm$ 4.73	110.67 $\pm$ 5.03 *	96.43 $\pm$ 1.11	28.33 $\pm$ 0.66	10 522.67 $\pm$ 25.38 **	8.44
南粳 2728	CK	414.33 $\pm$ 5.86	86.31 $\pm$ 2.08	97.08 $\pm$ 1.61	29.79 $\pm$ 0.51	10 372.50 $\pm$ 16.26	/
	T	414.90 $\pm$ 4.58	94.82 $\pm$ 4.16 *	97.58 $\pm$ 2.01	29.96 $\pm$ 0.83	11 127.00 $\pm$ 29.10 **	7.27
南粳 505	CK	414.67 $\pm$ 4.73	82.14 $\pm$ 4.04	96.06 $\pm$ 1.72	29.58 $\pm$ 0.75	10 527.00 $\pm$ 26.63	/
	T	415.00 $\pm$ 6.25	92.63 $\pm$ 3.51 *	96.82 $\pm$ 1.47	29.63 $\pm$ 0.90	11 184.00 $\pm$ 29.46 **	6.24
淮稻 5 号	CK	357.90 $\pm$ 7.81	110.22 $\pm$ 3.51	97.55 $\pm$ 1.44	29.14 $\pm$ 0.50	10 900.50 $\pm$ 23.81	/
	T	358.67 $\pm$ 7.76	119.50 $\pm$ 3.22 *	98.64 $\pm$ 0.78	29.36 $\pm$ 0.32	11 677.5 $\pm$ 12.66 **	7.13
徐稻 9 号	CK	363.33 $\pm$ 10.41	120.37 $\pm$ 5.57	97.05 $\pm$ 0.87	26.48 $\pm$ 0.47	10 626.00 $\pm$ 24.55	/
	T	363.60 $\pm$ 11.59	135.33 $\pm$ 6.66 *	97.64 $\pm$ 0.71	26.65 $\pm$ 0.45	11 338.5 $\pm$ 42.34 **	6.71

CK 表示对照;T 表示氨基多糖硒钙水溶肥处理。\* 表示在 0.05 水平上差异显著; \*\* 表示同一品种中与对照相比在 0.01 水平上差异显著。



CK 表示对照;T 表示处理;G 表示品种;G×T 表示品种和处理的互作; \* 表示在 0.05 水平上影响显著; \*\* 表示在 0.01 水平上影响显著。

图 2 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味粳稻外观品质的影响

Fig.2 Effects of amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer on appearance quality of high-quality edible japonica rice

表 2 显示,与对照相比,氨基多糖硒钙水溶肥喷施处理对水稻的粒型(长宽比)具有促进作用,除南粳 9108 和南粳 46 外,其余 4 个品种均表现为显著或者极显著增加,南粳 505 增幅最大(15.15%),6 个供试品种的平均增幅为 6.46%。与对照组相比,氨基多糖硒钙水溶肥喷施处理下各品种的垩白粒率均表现为极显著降低,南粳 505 降幅最小(20.53%),徐稻 9 号降幅最大(26.46%),6 个供试品种的平均降幅为 23.03%;除徐稻 9 号外,氨基多糖硒钙水溶肥喷施处理下各品种的垩白度较对照组

均表现为显著或极显著降低,南粳 2728 和淮稻 5 号的降幅均大于 25.00%,6 个供试品种平均降幅为 18.52%。

2.3 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味粳稻加工品质的影响

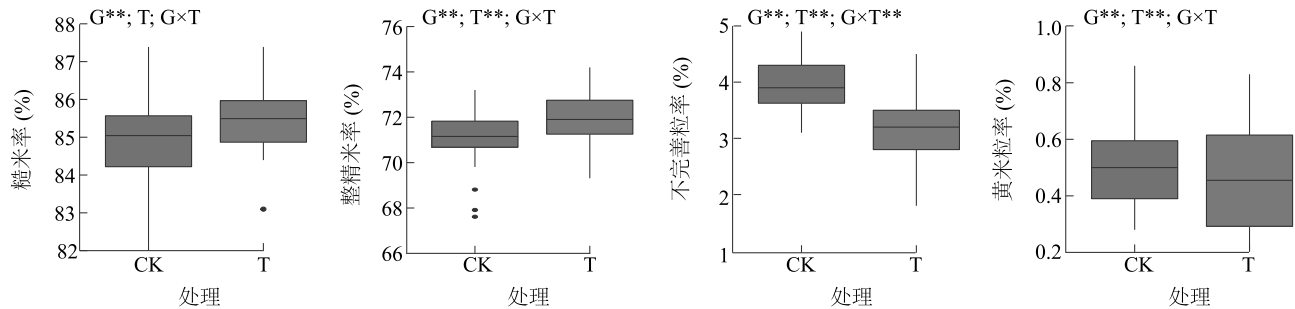
对水稻的加工品质进行分析,结果(图 3)表明,品种对糙米率、整精米率、不完善粒率、黄米粒率具有极显著影响,处理对整精米率、不完善粒率、黄米粒率具有极显著影响,只有不完善粒率受到品种和处理互作效应的极显著影响。

表 2 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味梗稻外观品质的影响

Table 2 Effects of amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer on appearance quality of high-quality edible japonica rice

品种	处理	粒型 (长宽比)	垩白粒率 (%)	垩白度 (%)
南梗 9108	CK	1.63±0.04	15.87±0.60	6.17±0.25
	T	1.68±0.04	11.77±0.57 **	5.17±0.35 *
南梗 46	CK	1.61±0.05	16.47±0.25	8.56±0.25
	T	1.66±0.04	12.58±0.31 **	7.14±0.35 **
南梗 2728	CK	1.72±0.04	19.78±0.47	6.66±0.32
	T	1.83±0.03 *	15.66±0.32 **	4.92±0.35 **
南梗 505	CK	1.65±0.04	21.87±0.75	7.45±0.35
	T	1.90±0.06 **	17.38±0.45 **	5.68±0.35 **
淮稻 5 号	CK	1.73±0.04	14.58±0.35	4.29±0.26
	T	1.81±0.03 *	11.53±0.31 **	3.18±0.31 **
徐稻 9 号	CK	1.71±0.03	16.78±0.42	5.11±0.40
	T	1.82±0.05 *	12.34±0.25 **	4.98±0.20

CK 表示对照;T 表示氨基多糖硒钙水溶肥处理。\* 表示同一品种中,与对照相比在 0.05 水平上差异显著;\*\* 表示同一品种中,与对照相比在 0.01 水平上差异显著。



CK 表示对照;T 表示处理;G 表示品种;G×T 表示品种和处理的交互;\* 表示在 0.05 水平上影响显著;\*\* 表示在 0.01 水平上影响显著。

图 3 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味梗稻加工品质的影响

Fig.3 Effects of amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer on processing quality of high-quality edible japonica rice

表 3 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味梗稻加工品质的影响

Table 3 Effects of amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer on processing quality of high-quality edible japonica rice

品种	处理	糙米率 (%)	整精米率 (%)	不完善粒率 (%)	黄米粒率 (%)
南梗 9108	CK	84.66±0.97	71.37±0.40	4.13±0.35	0.82±0.04
	T	85.27±0.57	72.37±0.41 *	3.97±0.50	0.78±0.04
南梗 46	CK	82.83±0.60	68.09±0.62	3.36±0.25	0.61±0.04
	T	84.11±0.91	69.88±0.49 *	3.32±0.26	0.63±0.04
南梗 2728	CK	84.56±0.45	71.69±0.97	3.41±0.35	0.49±0.04
	T	85.21±0.76	72.74±0.76	3.36±0.37	0.41±0.03
南梗 505	CK	85.13±0.45	70.63±0.74	4.58±0.35	0.38±0.07
	T	85.69±0.40	71.88±0.65	3.11±0.40 *	0.25±0.04 *
淮稻 5 号	CK	86.58±0.97	72.69±0.56	4.28±0.45	0.31±0.04
	T	86.85±0.55	73.58±0.45	3.15±0.40 *	0.29±0.04
徐稻 9 号	CK	85.61±0.55	71.12±0.20	4.01±0.30	0.52±0.04
	T	85.67±0.40	71.46±0.31	2.08±0.31 **	0.49±0.03

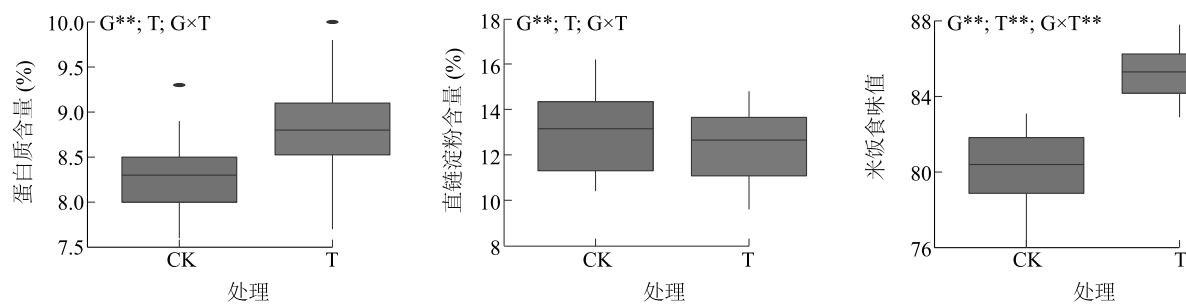
CK 表示对照;T 表示氨基多糖硒钙水溶肥处理。\* 表示同一品种中,与对照相比在 0.05 水平上差异显著;\*\* 表示同一品种中,与对照相比在 0.01 水平上差异显著。

表 3 显示,与对照相比,喷施氨基多糖硒钙水溶肥有助于糙米率的提高,但效果不显著;但是喷施氨基多糖硒钙水溶肥可以显著提高南梗 9108 和南梗 46 的整精米率。与对照相比,喷施氨基多糖硒钙水溶肥可显著或极显著降低南梗 505、淮稻 5 号和徐稻 9 号的不完善粒率;喷施氨基多糖硒钙水溶肥可显著降低南梗 505 的黄米粒率。

## 2.4 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味梗稻营养品质和食味值的影响

对水稻营养品质和食味值进行分析,结果(图 4)表明,品种对蛋白质含量、直链淀粉含量和米饭食味值均具有极显著影响,只有米饭食味值受到品种和处理交互效应的极显著影响。





CK 表示对照;T 表示处理;G 表示品种;G×T 表示品种和处理的互作;\* 表示在 0.05 水平上影响显著;\*\* 表示在 0.01 水平上影响显著。

图 4 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味粳稻营养品质和食味值的影响

Fig.4 Effects of amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer on nutritional quality and taste value of high-quality edible japonica rice

表 4 显示,与对照相比,喷施氨基多糖硒钙水溶肥对提高米饭食味值具有显著作用,淮稻 5 号增幅最大(9.13%),南粳 2728 增幅最小(2.01%),6 个供试品种的平均增幅为 6.53%。与对照相比,氨基多糖硒钙水溶肥对提高水稻蛋白质含量和直链淀粉含量虽有一定的功效,但效果不显著。

表 4 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味粳稻营养品质和食味值的影响

Table 4 Effects of amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer on nutritional quality and taste value of high-quality edible japonica rice

品种	处理	蛋白质含量 (%)	直链淀粉含量 (%)	食味值
南粳 9108	CK	7.97±0.35	13.78±0.33	80.50±0.76
	T	8.26±0.51	13.13±0.35	86.37±0.50 **
南粳 46	CK	8.11±0.36	12.48±0.35	82.44±0.61
	T	8.56±0.41	12.11±0.36	87.12±0.65 **
南粳 2728	CK	8.86±0.45	10.66±0.38	82.45±0.77
	T	9.51±0.46	10.01±0.36	84.11±0.51 *
南粳 505	CK	8.14±0.42	11.26±0.57	80.12±0.53
	T	8.85±0.35	10.98±0.35	85.26±0.35 **
淮稻 5 号	CK	8.21±0.40	14.33±0.40	76.36±0.42
	T	8.56±0.35	13.78±0.41	83.33±0.40 **
徐稻 9 号	CK	8.51±0.36	15.51±0.75	78.67±4.88
	T	9.15±0.60	14.28±0.55	85.49±4.87 **

CK 表示对照;T 表示氨基多糖硒钙水溶肥处理。\* 表示同一品种中,与对照相比在 0.05 水平上差异显著;\*\* 表示同一品种中,与对照相比在 0.01 水平上差异显著。

2.5 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味粳稻大米硒含量和钙含量的影响

图 5 显示,品种、处理对硒含量和钙含量具有极

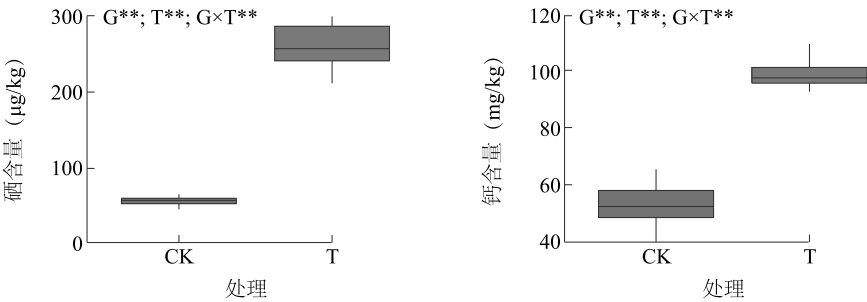
显著影响,硒含量和钙含量还受到品种和处理互作效应的显著影响。

表 5 显示,与对照相比,氨基多糖硒钙水溶肥处理的大米硒含量和钙含量极显著提高。就硒含量而言,6 个供试品种平均增幅为 357.01%,南粳 46 增幅最大(463.88%),徐稻 9 号增幅最小(308.08%);6 个供试品种钙含量平均增幅为 86.82%,南粳 9108 增幅最大(121.52%),南粳 2728 增幅最小(63.14%)。

3 讨论

氨基多糖硒钙水溶肥是一种新型肥料,目前多以叶面喷施为主。叶面肥具有针对性强、营养吸收快、养分利用率高等特点<sup>[27-28]</sup>。作物从叶面吸收养分与从土壤中吸收养分的效果相同<sup>[29]</sup>。陈雪等<sup>[30]</sup>的研究结果表明,通过土壤或叶面施用硒肥对水稻的生物量和产量无显著影响,叶面肥还可解决作物生长后期因根系吸收能力减弱而导致养分吸收不足的问题<sup>[28,31]</sup>。

氨基多糖、硒、钙在调节植物产量方面具有重要作用。刘和众等<sup>[32]</sup>的研究结果表明,甲壳素可显著提高玉米的穗长、穗粗、穗粒数、百粒质量等产量构成因素;杜小凤等<sup>[7]</sup>发现在小麦拔节期、抽穗期和灌浆期喷施氨基多糖水溶肥,可显著提高小麦的千粒质量和产量;园艺作物方面,有学者在研究氨基多糖对西瓜<sup>[33]</sup>、青萝卜<sup>[34]</sup>和花心大白菜<sup>[12]</sup>的影响中发现,氨基多糖可显著提高西瓜产量、青萝卜肉质根茎粗和大白菜母株产量及其种子的千粒质量。叶面喷施硒肥可显著提高小麦产量、每穗粒数和千粒质量等<sup>[35]</sup>。有研究发现,在水稻叶面喷施 10 g/hm<sup>2</sup>或



CK 表示对照;T 表示处理;G 表示品种;G×T 表示品种和处理的交互;\* 表示在 0.05 水平上影响显著;\*\* 表示在 0.01 水平上影响显著。

图 5 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味粳稻大米硒含量和钙含量的影响

Fig.5 Effects of amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer on selenium content and calcium content in high-quality edible japonica rice

表 5 氨基多糖硒钙水溶肥对优质食味粳稻大米硒含量和钙含量的影响

Table 5 Effects of amino polysaccharide selenium-calcium water-soluble fertilizer on selenium content and calcium content in high-quality edible japonica rice

品种	处理	硒		钙	
		含量 (μg/kg)	增幅 (%)	含量 (mg/kg)	增幅 (%)
南梗 9108	CK	57.80±1.54	/	44.60±1.90	/
	T	246.40±2.17 **	326.30	98.80±2.16 **	121.52
南梗 46	CK	47.67±1.46	/	51.10±2.66	/
	T	268.80±3.72 **	463.88	95.60±2.00 **	87.08
南梗 2728	CK	61.60±0.46	/	58.60±2.66	/
	T	295.60±3.00 **	379.87	95.60±1.67 **	63.14
南梗 505	CK	63.80±2.52	/	61.80±4.26	/
	T	288.40±5.09 **	352.04	102.70±2.04 **	66.18
淮稻 5 号	CK	55.50±2.51	/	48.90±1.67	/
	T	228.60±15.41 **	311.89	101.20±6.99 **	106.95
徐稻 9 号	CK	56.90±4.06	/	54.70±4.88	/
	T	232.20±7.67 **	308.08	96.30±4.87 **	76.05

CK 表示对照;T 表示氨基多糖硒钙水溶肥处理。\* 表示同一品种中,与对照相比在 0.05 水平上差异显著;\*\* 表示同一品种中,与对照相比在 0.01 水平上差异显著。

者 21 g/hm<sup>2</sup>的亚硒酸钠,水稻的千粒质量和产量显著提高<sup>[36]</sup>。戴志华<sup>[13]</sup>发现,当处理中硒的质量分数为 5 mg/kg 时,水稻的千粒质量和产量相较于对照组分别提高 3.46% 和 30.42%,而当处理中硒的质量分数大于 5 mg/kg 时,则不利于水稻的生长。孙义祥等<sup>[37]</sup>研究发现,钙肥的施用有助于增加水稻单位面积有效穗数和千粒质量。本研究发现,喷施氨基多糖硒钙水溶肥可显著提高水稻的每穗粒数和产量,6 个水稻品种的每穗粒数和产量平均增加 10.01% 和 7.10%,本研究结果与前人的研究结果具有相似之处。但是氨基多糖硒钙水溶肥处理的结实率、千粒质量与对照相比无显著差异,说明氨基多糖

硒钙水溶肥可能是通过影响每穗粒数来增加产量的。

环境和遗传特性(基因)共同决定了稻米品质,品种是决定稻米品质的首要因素,而栽培管理措施和化学调控技术则是决定稻米品质的关键因素<sup>[38]</sup>。多项研究结果表明,氨基多糖、硒、钙在调节作物品质方面也发挥了重要的作用,氨基多糖水溶肥可显著提高小麦籽粒的蛋白质含量、淀粉含量和直链淀粉含量等<sup>[7]</sup>,还可显著提高西瓜、青萝卜的可溶性糖、维生素 C 含量<sup>[10,33-34]</sup>,但是在调节水稻品质方面的研究却很少。孙亚波<sup>[39]</sup>发现,喷施硒肥处理的稻米垩白粒率和垩白度相较于对照组均存在不同程度

的降低,但粒长、粒宽和长宽比没有显著变化,水稻精米率、整精米率、直链淀粉含量和蛋白质含量则显著提高。王学武<sup>[21]</sup>在水稻钙积累分布规律与调控研究中发现,孕穗期喷施适量钙肥可显著提高稻米的精米率、整精米率、直链淀粉含量,显著降低稻米的垩白粒率和垩白度。在本研究中,与对照相比,喷施氨基多糖硒钙水溶肥后,南粳 2728、南粳 505、淮稻 5 号和徐稻 9 号的粒型(长宽比)得到显著改善,6 个水稻品种的垩白粒率和垩白度平均下降 20.03% 和 18.52%;南粳 46 和南粳 9108 的整精米率显著提高;南粳 505、淮稻 5 号和徐稻 9 号的不完善粒率显著降低;南粳 505 的黄米粒率显著降低;6 个水稻品种的米饭食味值平均提高 6.53%。本研究结果与前人的研究结果<sup>[21,39]</sup>具有一致性,然而不同水稻品种品质性状对处理的响应情况不同,这可能与遗传因素存在一定关系,但是本研究中直链淀粉含量和蛋白质含量并未得到显著提高,具体原因还有待探究。

作物的硒强化途径是人类从天然食物中获得硒的一种有效手段<sup>[40-43]</sup>,叶面喷施适宜质量浓度的硒肥可显著提高水稻籽粒中的硒含量<sup>[17,36,39]</sup>。稻米钙含量的增加可以提高稻米的营养价值,有研究发现,施用钙肥可促进水稻和谷子籽粒对  $\text{Ca}^{2+}$  的吸收积累,当水稻施用  $450 \text{ kg/hm}^2$  和  $600 \text{ kg/hm}^2$  的钙肥时,籽粒的平均钙积累量分别为  $2\,529.39 \text{ mg/kg}$  和  $2\,515.95 \text{ mg/kg}$ ;叶面喷施钙肥可促进谷子中钙含量的增加<sup>[21,44]</sup>。本研究中,喷施氨基多糖硒钙水溶肥后 6 个水稻品种的硒含量和钙含量平均增加 357.01% 和 86.82%,这与前人的研究结果<sup>[17,21,36,39,44]</sup>相似;同时,不同水稻品种的硒、钙含量也有明显区别,这可能是基因型的差异造成的,但造成这种差异的分子机理尚不清楚。

本研究以 6 个优质食味粳稻为研究对象,发现在破口期进行氨基多糖硒钙水溶肥处理可提高水稻产量以及稻米品质、硒含量和钙含量,表明氨基多糖硒钙水溶肥具有提质增产以及硒、钙营养强化的多重功效,具有一定的推广应用价值。但其作用机理、最佳施用方式以及硒、钙在水稻不同部位的分配方式还尚未明了,并且稻米中的硒、钙元素形态、生物可给性及其加工残留率仍需进一步探究。

## 参考文献:

[1] FAGERIA N K. Yield physiology of rice[J]. Journal of Plant Nu-

trition, 2007, 30(6): 843-879.

- [2] 张洪程,胡雅杰,杨建昌,等. 中国特色水稻栽培学发展与展望[J]. 中国农业科学, 2021,54(7): 1301-1321.
- [3] 陈 春,陈卫军,赖上坤. 一种适合机插秧种植的大穗优质水稻品种的选育方法:CN108967184A[P]. 2018-12-11.
- [4] 习 敏,季雅岚,吴文革,等. 水稻食味品质形成影响因素研究与展望[J]. 中国农学通报, 2020,36(12): 159-164.
- [5] HADWIGER L A. Multiple effects of chitosan on plant systems: solid science or hype[J]. Plant Science, 2013, 208: 42-49.
- [6] SUCHADA B, CHAWEEWAN B, RAWEEWON S. Application of chitosan in rice production[J]. Journal of Metals, Materials and Minerals, 2008, 18(2): 47-52.
- [7] 杜小凤,顾大路,仲秀娟,等. 氨基多糖水溶肥对小麦生理特性、产量及籽粒品质的影响[J]. 中国农学通报, 2021,37(6): 16-23.
- [8] ORZALI L, FORNI C, RICCIONI L. Effect of chitosan seed treatment as elicitor of resistance to *Fusarium graminearum* in wheat[J]. Seed Science and Technology, 2014, 42(2): 132-149.
- [9] YOUNAS H S, ABID M, ASHRAF M, et al. Growth, yield and physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.) at two different soil moisture regimes by supplying silicon and chitosan[J]. Silicon, 2021,14(6): 2509-2519.
- [10] 文廷刚,杜小凤,吴传万,等. 不同分子量氨基多糖对西瓜产量和品质的影响[J]. 江西农业学报, 2015,27(3): 36-39.
- [11] 王 玮,吴传万,赵建锋,等. 氨基多糖对水果萝卜叶片光合特性的影响[J]. 江西农业学报, 2019,31(8): 21-26.
- [12] 王 玮,赵建锋,吴传万,等. 氨基多糖水溶肥对花心大白菜母株定植后生长及种子生产的影响[J]. 江西农业学报, 2020, 32(10): 40-46.
- [13] 戴志华. 水稻对硒的吸收转化及调控机理研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2020.
- [14] 梁东丽,彭 琴,崔泽玮,等. 土壤中硒的形态转化及其对有效性的影响研究进展[J]. 生物技术进展, 2017,7(5): 374-380.
- [15] 周鑫斌,施卫明,杨林章. 叶面喷硒对水稻籽粒硒富集及分布的影响[J]. 土壤学报, 2007,44(1): 73-78.
- [16] ZHANG M, PANG Y, YI Q, et al. Comparative effectiveness of Se translocation between low-Se and high-Se rice cultivars under Se fertilization[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, 205: 111372.
- [17] 方 勇. 外源硒在水稻籽粒中的生物强化和化学形态研究[D]. 南京:南京农业大学, 2010.
- [18] HEPLER P K. Calcium: a central regulator of plant growth and development[J]. The Plant Cell, 2005, 17(8): 2142-2155.
- [19] 钱宝云,刘小龙,李 霞. 钙肥对不同内源钙含量水稻品种光合作用的影响[J]. 江苏农业学报, 2014,30(3): 467-473.
- [20] ASSCHE F V, CLIJSTERS H. Effects of metals on enzyme activity in plants[J]. Plant, Cell and Environment, 1990, 13(3): 195-206.
- [21] 王学武. 水稻钙积累分布规律与调控研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2007.



- [22] 杜小凤,吴传万,彭杰,等.一种富硒高钙水稻叶面肥及其制备方法和应用;CN111470897A[P].2020-07-31.
- [23] 龚金龙,胡雅杰,龙厚元,等.不同时期施硅对超级稻产量和硅素吸收、利用效率的影响[J].中国农业科学,2012,45(8):1475-1488.
- [24] 国家质量技术监督局.优质稻谷:GB/T 17891-1999[S].北京:中国标准出版社,1999:1-12.
- [25] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准食品中硒的测定:GB 5009.93-2017[S].北京:中国标准出版社,2017:1-8.
- [26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准食品中钙的测定:GB 5009.92-2016[S].北京:中国标准出版社,2016:1-10.
- [27] 王卫东,赵丹阳,任瑞兰,等.“金太龙”叶面肥对冬小麦产量及干热风抗性的影响[J].麦类作物学报,2017,37(4):554-558.
- [28] 李燕婷,李秀英,肖艳,等.叶面肥的营养机理及应用研究进展[J].中国农业科学,2009,42(1):162-172.
- [29] PEUKE A D, JESCHKE W D, DIETZ K J, et al. Foliar application of nitrate or ammonium as sole nitrogen supply in *Ricinus communis* L. Carbon and nitrogen uptake and inflows[J]. New Phytologist, 1998, 138(4): 675-687.
- [30] 陈雪,沈方科,梁欢婷,等.外源施硒措施对水稻产量品质及植株硒分布的影响[J].南方农业学报,2017,48(1):46-50.
- [31] 庄舜尧,曹志洪.叶面肥的研究与发展[J].土壤,1998(5):230-234.
- [32] 刘和众,刘东辉,刘丰佳,等.甲壳素植物生长调节剂在玉米上的应用[J].天然产物研究与开发,1996,8(4):90-92.
- [33] 王玮,汪国莲,梁双林,等.叶面喷施氨基多糖硒肥对西瓜生长及产量品质的影响[J].江苏农业学报,2019,35(6):1413-1420.
- [34] 王玮,程瑞,吴传万,等.氨基多糖水溶肥对青萝卜生长、品质性状及抗氧化酶活性的影响[J].江苏农业科学,2021,49(9):95-100.
- [35] NAWAZ F, ASHRAF M Y, AHMAD R, et al. Supplemental selenium improves wheat grain yield and quality through alterations in biochemical processes under normal and water deficit conditions[J]. Food Chemistry, 2015, 175: 350-357.
- [36] WANG Y D, WANG X, WONG Y S. Generation of selenium-enriched rice with enhanced grain yield, selenium content and bioavailability through fertilisation with selenite[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 2385-2393.
- [37] 孙义祥,袁漫漫,邬刚.不同土壤肥力水平下钙对水稻专用肥增产效应的影响[J].中国农学通报,2014,30(9):77-81.
- [38] 曹栋栋,吴华平,秦叶波,等.优质稻生产、加工及贮藏技术研究概述[J].浙江农业科学,2019,60(10):1716-1718.
- [39] 孙亚波.外源施硒对水稻硒含量、产量及品质的影响[D].滁州:安徽科技学院,2018.
- [40] 潘丽萍,邢颖,陈锦平,等.不同硒肥施用模式对冬种马铃薯硒含量、产量及品质的影响[J].南方农业学报,2021,52(5):1215-1221.
- [41] 李梦桐,王楠,玛依拉·吐尔地别克,等.羊肚菌栽培及富硒控制技术研究进展[J].江苏农业科学,2021,49(6):20-27.
- [42] 向戌莲,周大寨,冉青,等.羊肚菌液体发酵的集硒特性及生物活性物质研究[J].南方农业学报,2020,51(10):2523-2531.
- [43] MALAHOLI M, SCHIAVON M, DALL'ACQUA S, et al. Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality[J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 280.
- [44] 赵晶.筛选高产优质谷子品种及喷施钙肥对米质影响的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2014.

(责任编辑:王妮)