果 树 学 报 2020,37(5):705-713
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20190439

喷施硒肥对砂田西瓜产量、品质及养分吸收的影响

杜少平[1],马忠明[2*],薛 亮[3]

([1]甘肃省农业科学院蔬菜研究所,兰州 730070;[2]甘肃省农业科学院,兰州 730070;[3]甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所,兰州 730070)

摘 要:【目的】研究叶面喷施硒肥对砂田西瓜产量、品质及养分吸收的影响,为砂田西瓜高品质生产及硒肥的合理施用提供理论依据。**【方法】**本试验选用20年以上砂田为研究对象,西瓜品种为'西沙瑞宝',采用不同质量浓度(0、20、40、60、80 、100 mg·L^{-1})亚硒酸钠硒肥分别在西瓜伸蔓期、坐果期和果实膨大期进行叶面喷施,每个生育时期喷施一次,研究不同浓度硒肥对砂田西瓜产量、品质及大、中、微量养分元素吸收的影响。**【结果】**随着硒肥浓度的升高,西瓜产量、品质及果实氮、钙和镁元素的吸收均表现出先增加后降低的变化趋势,而对钾、锌、铁和硒等元素的吸收均表现出持续增加的趋势。当硒肥质量浓度为60 mg·L^{-1}时,较对照西瓜增产12.60%,果实边缘可溶性固形物含量提高了8.03%,糖分梯度降低了23.79%,维生素C含量提高了10.51%;果实氮、磷、钾大量元素含量分别提高了14.73%、4.5%和120.09%,钙、镁中量元素含量分别提高了48.29%和19.49%,硒、锌、铁等微量元素含量分别提高了209.45%、101.75%和65.20%。**【结论】**综合考虑西瓜产量、品质及果实养分含量等因素,得出砂田西瓜适宜的硒肥喷施质量浓度为60 mg·L^{-1}。

关键词:西瓜;硒;砂田;产量;品质;养分吸收

中图分类号:S651 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2020)05-0705-09

Effect of spraying with selenium fertilizer on yield, quality and nutrient absorption of watermelon in gravel-mulched field

DU Shaoping[1], MA Zhongming[2*], XUE Liang[3]

(*[1]Institute of Vegetables, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China; [2]Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China; [3]Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China*)

Abstract:【Objective**】**The selenium content of watermelon is higher in gravel-mulched field than in other types of fields because selenium is rich in the watermelon, also called "selenium-melon". In recent years, selenium-melon has become one of main commercial crops in Ningxia Hui Autonomous Region and Gansu province of China. According to the study, the selenium content of gravel layer decreased with the increase of cultivation time, which also affected the selenium uptake by watermelon. This study examined the effect of suitable exogenous selenium application on the yield, quality and nutrient uptake by watermelon fruit, which would lay a theoretical basis for high quality cultivation and reasonable application of selenium fertilizer for watermelons in middle and old gravel-mulched fields.**【**Methods**】** The experiment was carried out at Gaolan County, Gansu province, China, where there has been a long history in watermelon cultivation in gravel-mulched fields. A late-mature watermelon cultivar 'Xisharuibao' served as materials and Na_2SeO_3 as selenium source, six concentrations of Na_2SeO_3 (0, 20, 40, 60, 80, 100 mg·L^{-1}) were set to spray the watermelon leaves for three times (vine-extending stage, flowering stage and fruit-setting stage). The treatments were arranged in a randomized manner with three replicates, and the area of trial plot was 32 m^2. The effects of selenium nutrient solution on the fruit yield, quality and nu-

收稿日期:2019-10-08 接受日期:2020-02-18

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0201300);国家西甜瓜产业技术体系项目(CARS-26-20)

作者简介:杜少平,男,硕士,副研究员,主要从事西甜瓜肥水高效利用技术研究。Tel:0931-7614722,E-mail:dushaoping2007@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:0931-7617566,E-mail:mazhming163.com

trient absorption by watermelons in gravel-mulched field were studied.【Results】The yield, quality and a part of nutrient elements of watermelon fruit were promoted at lower selenium concentrations, while they were inhibited at higher selenium concentrations, with the highest happening when the concentration of selenium was 60 mg·L^{-1}. The yield as well as soluble solids and vitamin C contents increased by 12.60%, 8.03% and 10.51%, respectively than the control, and sugar gradient between fruit core and edge was the lowest. Nitrogen content in fruit showed firstly increased and then decreased with the increasing of the selenium concentrations , the N content of the treatments with 40 mg·L^{-1}, 60 mg·L^{-1} and 80 mg·L^{-1} increased by 13.95%, 14.73% and 12.40%, respectively than the control. No obvious influence was found on phosphorus content in fruit at low selenium concentrations, but it decreased significantly at high selenium concentrations. The potassium content in fruit increased with the increasing of the concentration of selenium, the potassium content of the treatments with 60 mg·L^{-1}, 80 mg·L^{-1} and 100 mg·L^{-1} increased by 120.09%, 127.38% and 229.70%, respectively than the control, and facilitation for the absorption of three elements was in the order of K＞N＞P. The calcium and magnesium contents in fruit firstly increased and then decreased with the increasing of the selenium concentrations , which was also the highest at the selenium concentration of 60 mg·L^{-1} and increased by 48.29% and 19.49%, respectively than the control, and facilitation for the absorption of two elements was in the order of Ca＞Mg. The contents of selenium, zinc and iron in fruit increased with the increasing of the selenium concentrations , the zinc, iron and selenium contents in fruit increased by 94.74%-230.70%, 65.20%-126.01% and 209.45%-252.08%, respectively than the control when the concentration of selenium fertilizer was 60-80 mg·L^{-1}, and facilitation for the absorption of three elements was in the order of Se＞Zn＞Fe. For selenium content in fruit, it increased more quickly when the concentration of selenium fertilizer ranged from zero to 60 mg·L^{-1} and then went stabilized. Correlation analysis showed that the concentration of selenium fertilizer was highly positively correlated with the contents of other nutrient elements except phosphorus when concentration was less than or equal to 60 mg·L^{-1}, but it was significantly positively correlated only with K, Zn, Fe and Se, and negatively correlated with N, P, Ca and Mg when concentration was greater than 60 mg·L^{-1}.【Conclusion】The results showed that suitable concentrations of selenium fertilizer could improve yield, quality and nutrient absorption by watermelon in gravel-mulched field. The selenium content in fruit was between 0.016-0.032 mg·kg^{-1} under the condition of spraying with selenium fertilizer，which reached the national standard for selenium-rich food. Therefore, selenium-enriched watermelon could be produced by foliage spray method, and the effect of selenium concentration on yield, quality and nutrient absorption by watermelon was considerable, so we suggest that the optimum concentration of Na_2SeO_3 for application was 60 mg·L^{-1} in gravel-mulched field.

Key words: Watermelon; Selenium; Gravel-mulched field; Yield; Quality; Nutrient absorption

硒是重要的生命元素之一，长期缺硒会导致人体多种疾病发生[1-2]，硒在人体内既不能合成又不能储存，因此，人体主要是从水果、蔬菜等食物中直接获取所需的硒[3]，食用富硒食品是公认的最安全、最有效的补硒方法。对于农业生产而言，土壤是硒的重要来源，而我国72%的国土都属贫硒或缺硒土壤，其中近1/3为严重缺硒地区，造成一般农产品含硒量较低[4]，仅靠天然食物中的现有硒含量一般不足以满足人体的正常需要。因此，通过叶面喷硒、土壤施硒和硒液浸种等方式施用外源硒肥发展富硒农产品已受到人们的广泛关注[5]。已有研究表明，施用外源硒肥不仅增加了作物硒含量，还提高了作物产量、品质及养分吸收量。西瓜叶面喷施15~30 mg·L^{-1}的外源硒肥，较对照增产14.2%~17.3%，果实可溶性固形物含量提高1.50~1.64个百分点，总硒含量增加18~20倍[6]；甜瓜叶面喷施30 mg·L^{-1}的蛋氨酸硒果实总硒含量增加4~21倍，可溶性糖、可溶性蛋白和游离氨基酸含量分别比对照提高了9.14%、31.72%和

33.90%[7]；随基施硒肥量的增加，紫花苜蓿N、P、K吸收量均呈先升高后降低趋势，基施硒肥0.45 kg·hm^{-2}时效果最好，氮、磷、钾吸收量较对照分别提高63.55%、18.91%和52.36%[8]。

砂田由于其砂砾中含有大量硒元素，西瓜因富含硒，也称“硒砂瓜”[9]。近年来，“硒砂瓜”因品质优良、营养全面且绿色无公害而享誉国内外，种植面积不断扩大，已成为促进当地经济发展的一项特色产业[10]。据相关调查表明，随着砂田的老化和西瓜种植年限的延长，覆盖层砂土硒含量也呈降低趋势，这势必影响到西瓜对硒的吸收。另外，以往研究主要针对硒肥对西甜瓜产量和品质的影响[6-7]，而对其他养分吸收的影响研究较少。因此，本试验以20 a（年）以上砂田为研究对象，探讨叶面喷施不同浓度的亚硒酸钠溶液对西瓜产量、品质及大、中、微量元素吸收的影响，以期为西北砂田西瓜高品质生产及合理施肥提供理论依据。

1　材料和方法

1.1　试验区概况

本试验于2016年在甘肃省农业科学院皋兰试验站进行，试验地位于皋兰县九合镇三坪村（36°13′N，103°42′E），平均海拔1 830 m，属温带半干旱气候区，降水少且变率大，季节分配不均，多年平均降水量260 mm，多集中在7—9月，占全年降水的60%以上，年平均气温7.0 ℃，≥10℃的活动积温为2 798 ℃，无霜期142 d。本试验选择22 a砂田地，土壤质地为砂土，播前土壤（0~20 cm）基础养分含量（*w*，后同）为：有机质4.23 g · kg^{-1}、全氮0.21 g · kg^{-1}、碱解氮21.63 mg · kg^{-1}、速效磷26.38 mg · kg^{-1}、速效钾82.01 mg · kg^{-1}，砂土层全硒含量0.48 mg · kg^{-1}、土壤全硒含量0.22 mg · kg^{-1}、pH 8.48。

1.2　材料与设计

供试西瓜品种为‘西沙瑞宝’，氮肥为尿素（N 46%）、磷肥为普过磷酸钙（P_2O_5 12%）、钾肥为硫酸钾（K_2O 50%）、硒肥为亚硒酸钠（$Na_2SeO_3 \cdot 5H_2O$）分析纯试剂（AR）。

本试验根据硒肥喷施浓度设6个处理，硒肥质量浓度分别为0、20、40、60、80、100 mg · L^{-1}，以Se_0、Se_{20}、Se_{40}、Se_{60}、Se_{80}、Se_{100}表示，每处理3次重复，小区面积31.5 m^2。各处理的全氮、全磷、全钾养分为砂田西瓜优化推荐施用量，均为N 200 kg·hm^{-2}、P_2O_5 170 kg · hm^{-2}、K_2O 260 kg · hm^{-2}，其中30%氮肥、100%磷肥和50%钾肥作为基肥于西瓜播前在种植行条施，30%氮肥和20%钾肥于西瓜伸蔓期穴施，剩余40%氮肥和30%钾肥于西瓜膨果初期穴施，硒肥按照不同浓度分别在西瓜伸蔓期、开花坐果期、果实膨大期叶面喷施，对照喷施清水，喷施时间为上午9时前，喷施程度以叶面均匀布满雾状水滴为宜，按照施用农药操作规程作业。采用宽窄行“品”字形栽培模式，窄行0.6 m，宽行0.9 m，株距55 cm，种植密度13 200株•hm^{-2}。其他田间管理措施同当地。

1.3　测试项目与方法

1.3.1　*产量与品质*　西瓜成熟期，每小区随机选10个具有代表性、长势一致的西瓜测定单瓜重，并统计坐果率计算产量。采用手持式折光仪测定可溶性固形物含量，比色法测定维生素C含量[11]，紫外分光光度法测定硝酸盐含量[11]。

1.3.2　*果实养分含量*　西瓜果实中大、中、微量元素的测定参照鲁如坤《土壤农业化学分析法》进行[12]，Se采用2，3-二氨基萘荧光法测定；N采用凯氏定氮仪测定；P用钒钼黄比色法；K、Ca、Mg用火焰光度计法；Fe、Zn、B、Mn用火焰原子吸收分光光度法测定。

1.3.3　*数据处理*　采用Excel 2003和SPSS 18.0软件对数据进行统计分析。采用单因素（one-way ANOVA）和Duncan法进行方差分析和多重比较（α=0.05），

2　结果与分析

2.1　不同浓度硒肥处理对西瓜产量和品质的影响

不同浓度硒肥处理对西瓜产量和品质影响显著（表1）。Se_{40}、Se_{60}、Se_{80}、Se_{100}处理较Se_0西瓜显著增产6.41%、12.60%、7.01%和5.91%，其中Se_{60}处理的西瓜产量显著高于其他处理。西瓜可溶性固形物随施用硒肥浓度的增加表现出先增加后降低的变化趋势，Se_{60}处理的西瓜边缘可溶性固形物含量最高，较Se_0显著提高了8.03%，且糖分梯度最低，较Se_0显著降低了23.79%。Se_{60}和Se_{80}处理的西瓜维生素C含量最高，较Se_0分别显著提高了10.51%和15.74%。硒肥处理虽提高了西瓜果实的硝酸盐含量，但均符合我国制定的小于600 mg · kg^{-1}的无公害水果要求（GB18406.1—2001），且在一定范围内也表现出与其他品质指标相似的变化规律。

表1 不同浓度硒肥处理对西瓜产量与品质的影响

Table 1 Effect of different concentrations of selenium fertilizer on yield and quality of watermelon

处理 Treatment	产量 Yield/(kg·hm^{-2})	w(可溶性固形物)Soluble solid content/%			w(维生素C) Vitamin C content/(mg·kg^{-1})	w(硝酸盐) Nitrate content/(mg·kg^{-1})
		中心 Center	边缘 Edge	糖分梯度 Sugar gradient		
Se_0	45 058.13 d	11.11 a	8.84 c	2.27 a	56.40 b	47.53 a
Se_{20}	45 806.25 cd	11.25 a	9.28 abc	1.98 ab	58.21 b	51.43 a
Se_{40}	47 945.63 b	11.33 a	9.38 ab	1.94 ab	55.77 b	51.68 a
Se_{60}	50 736.88 a	11.28 a	9.55 a	1.73 b	62.33 a	57.14 a
Se_{80}	48 216.87 b	11.12 a	8.97 bc	2.14 ab	65.28 a	54.73 a
Se_{100}	47 722.50 bc	11.01 a	8.98 bc	2.03 ab	56.23 b	49.81 a

注:同列不同字母表示 $p < 0.05$ 差异显著水平。下同。

Note: Different small letters following means within the same column indicate significant difference at $p < 0.05$. The same below.

2.2 不同浓度硒肥处理对西瓜大量元素吸收的影响

由图1可知,不同浓度硒肥处理均对西瓜果实氮、磷、钾大量元素的吸收产生了显著影响。硒肥处理不同程度的提高了西瓜果实氮素吸收,且随着硒肥浓度的增大表现出先增加后降低的变化趋势,其中以Se_{40}、Se_{60}、Se_{80}处理的西瓜氮素含量最高,较Se_0处理分别显著提高了13.95%、14.73%和12.40%。当硒肥质量浓度小于80 mg·L^{-1}时,对西瓜磷素含量影响不显著,大于80 mg·L^{-1}时,西瓜磷素含量显著降低,Se_{100}较Se_0处理西瓜磷素含量降低了27.27%。西瓜钾素含量则随着硒肥浓度的增加而增加,Se_{60}、Se_{80}、Se_{100}处理较Se_0西瓜钾素含量分别显著提高了120.09%、127.38%和229.70%。从以上分析可知,硒肥对西瓜大量养分元素吸收的影响为K>N>P,且对氮和钾吸收的正效应比较显著,而对磷吸收的负效应显著,硒肥浓度过大会对西瓜磷素吸收产生抑制作用。

2.3 不同浓度硒肥处理对西瓜中量元素吸收的影响

西瓜果实中镁的含量约是钙的1.7倍,硒肥对西瓜钙、镁中量元素吸收的影响结果基本相似,两者均随着硒肥浓度的增加表现出先增加后降低的变化趋势。硒肥质量浓度在20~60 mg·L^{-1}时,能够促进西瓜对钙、镁养分的吸收,当施用质量浓度大于60 mg·L^{-1}时则会抑制钙、镁养分的吸收。Se_{20}、Se_{40}、Se_{60}处理的西瓜钙含量较Se_0分别显著提高了33.72%、35.16%和48.29%,镁含量较Se_0分别显著提高了10.54%、10.30%和19.49%(图2)。由此可见,硒对西瓜钙吸收的影响大于镁。

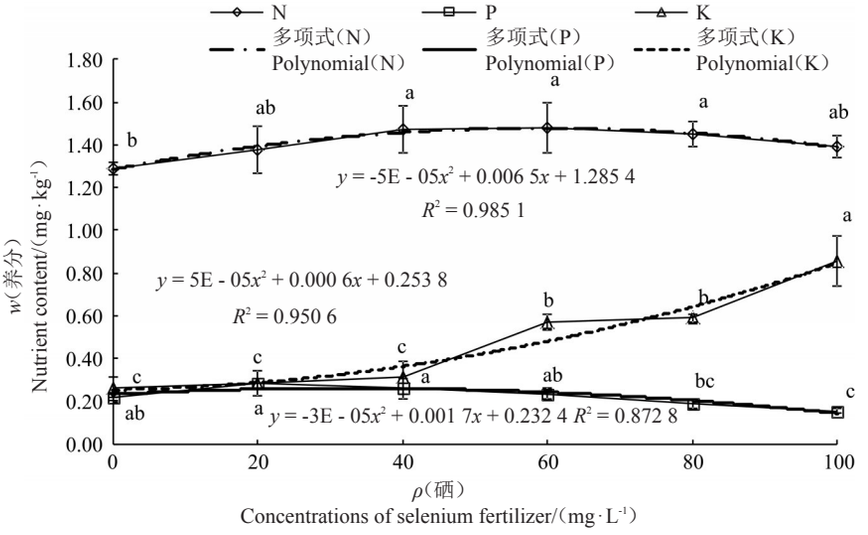

图1 不同浓度硒肥处理对西瓜氮磷钾元素吸收的影响

Fig. 1 Effect of different concentrations of selenium fertilizer on the absorption of N, P and K of watermelon

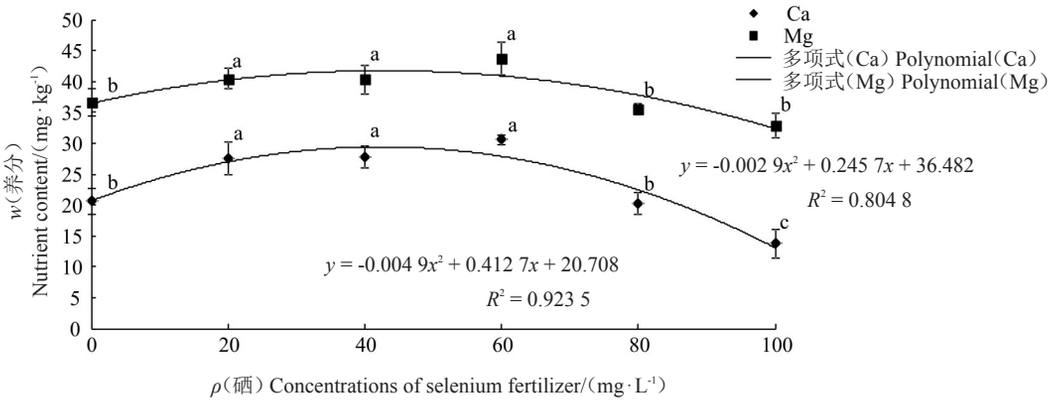

图2　不同硒肥处理吃对西瓜钙、镁中量元素吸收的影响

Fig. 2　Effect of different concentrations of selenium fertilizer on the absorption of Ca and Mg of watermelon

2.4　不同浓度硒肥处理对西瓜微量元素吸收的影响

施用硒肥能显著提高西瓜果实中硒元素含量，且随着硒肥浓度的增加而提高，Se_{20}、Se_{40}、Se_{60}、Se_{80}和Se_{100}处理的西瓜果实硒含量较Se0分别显著提高了77.88%、113.16%、209.45%、224.88%和252.08%，当硒肥质量浓度达到60 mg·L^{-1}以上时，硒的含量达到最高且趋于平缓（图3）。硒肥对西瓜果实锌、铁元素的吸收促进作用明显，西瓜果实中锌、铁含量均随着硒肥浓度的增加而提高，且当硒肥质量浓度达到60 mg·L^{-1}及以上时增幅显著，Se_{60}、Se_{80}和Se_{100}处理的西瓜果实锌含量较Se_0分别提高了101.75%、94.74%和230.70%，西瓜铁含量较Se0分别提高了65.20%、72.16%和126.01%（图4）。由此可见，西瓜果实中微量元素含量为Fe＞Zn＞Se，而硒肥对西瓜果实微量元素吸收的促进作用为Se＞Zn＞Fe。

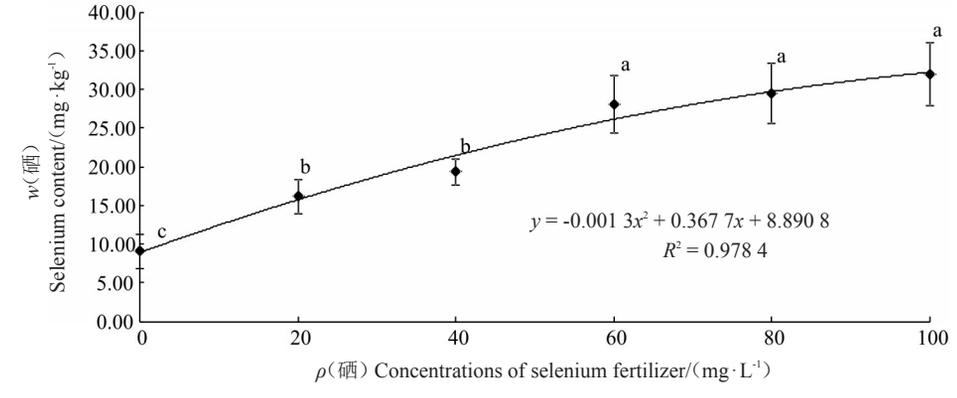

图3　不同浓度硒肥处理对西瓜硒元素吸收的影响

Fig. 3　Effect of different concentrations of selenium fertilizer on the absorption of Se of watermelon

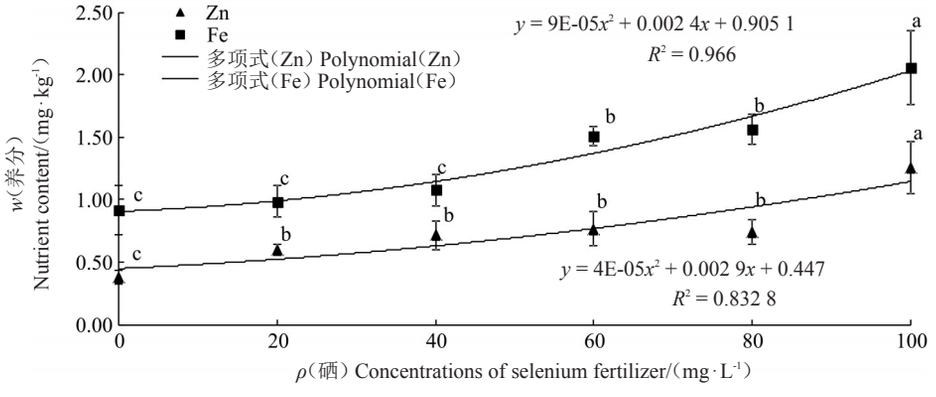

图4　不同硒肥处理对西瓜锌、铁元素吸收的影响

Fig. 4　Effect of different concentrations of selenium fertilizer on the absorption of Zn and Fe of watermelon

2.5 西瓜果实养分吸收间的相关性分析

西瓜果实养分吸收的相关性分析表明(表2),钙与磷、镁,钾与锌、铁、硒,铁与锌、硒之间均呈显著性正相关,而磷与钾、铁之间呈显著性负相关,表明中量元素钙与镁,微量元素硒、铁、锌之间具有相互促进吸收的作用。另外,施用硒肥能够显著提高西瓜果实硒含量,而硒的吸收又能够促进西瓜对钾、锌和铁元素的吸收。

从不同硒肥浓度与西瓜营养元素吸收之间的相关性可以看出(表3),当硒肥质量浓度小于等于60 mg·L^{-1}时,除磷素外,硒肥浓度与其他大、中、微量元素的吸收均呈显著性正相关,而当硒肥质量浓度大于60 mg·L^{-1}时,与氮、磷、钙、镁元素之间的吸收呈显著性负相关。硒肥质量浓度在0~100 mg·L^{-1},西瓜对钾、锌、铁、硒等元素的吸收始终与硒肥浓度呈显著性正相关。

表2 西瓜果实大、中、微量元素吸收之间的相关性

Table 2 Correlation analysis between large, medium and trace elements of watermelon

	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Fe	Se
N	1	0.082	0.297	0.460	0.458	0.358	0.332	0.652
P		1	-0.839*	0.842*	0.770	-0.633	-0.824*	-0.621
K			1	-0.580	-0.479	0.907*	0.998**	0.906*
Ca				1	0.983**	-0.493	-0.571	-0.271
Mg					1	-0.412	-0.477	-0.204
Zn						1	0.923**	0.840*
Fe							1	0.920**
Se								1

注:*和**分别表示相关性显著和极显著。下同。

Note: * and ** means significant difference at $p < 0.05$ and $p < 0.01$. The same below.

表3 硒肥浓度与西瓜大、中、微量元素吸收的相关性

Table 3 Correlation analysis between concentrations of selenium fertilizer and large, medium, trace elements of watermelon

ρ(硒肥) Concentrations of selenium/(mg·L^{-1})	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Fe	Se
≤60	0.959*	0.047	0.856*	0.917*	0.943*	0.962*	0.914*	0.986*
>60	-1.000**	-1.000**	1.000**	-1.000**	-1.000**	1.000**	1.000**	1.000**

3 讨 论

本研究结果表明,适量施用外源硒肥可促进西瓜对大、中、微量元素的吸收,进而提高西瓜产量和品质,其主要原因可能与硒对植物叶片的生理调控有关。王裔娜[13]对施硒前后桃叶片进行了蛋白质组学探索,通过对富硒叶片检测出的特异蛋白质点的生物信息学分析,发现硒元素处理可使功能位点在叶绿体中和属于光系统Ⅱ放氧复合体的蛋白上调表达,对植物光合作用和抗逆性起到了促进作用。张杨杨等[7]研究表明,喷施蛋氨酸硒可使厚皮甜瓜叶片叶绿素含量和光合速率显著提高。而光合作用是作物物质生产和产量形成的基础。

由于受环境条件、栽培模式、作物品种、硒肥种类及施用方式等因素的影响,适宜的硒肥施用量也存在差异。本试验中,西瓜产量与品质均随着喷施硒肥浓度的增加表现出先增加后降低的变化趋势,当亚硒酸钠质量浓度为60 mg·L^{-1}时,西瓜产量最高,品质较优。而以往研究表明,西瓜和厚皮甜瓜适宜的有机硒肥喷施质量浓度为15~30 mg·L^{-1} [6-7];薄皮甜瓜喷施有机硒质量浓度为12~18 mg·L^{-1}时,果实特征香气成分含量相对较高,有机硒质量浓度为18~24 mg·L^{-1}时,有助于果实可溶性固形物等营养物质含量的提高[14]。这主要是由于所施用硒肥的形态不同从而导致其吸收速率也存在差异。Kikkert等[15]在小麦和油菜上的研究表明,植物吸收有机态硒较无机态硒速率高出20~100倍;殷金岩等[16]的研究也表明有机硒肥对马铃薯的增产效果优于硒酸钠和亚硒酸钠等无机硒肥。另外,本研究与以往研究均表明喷施硒肥提高了果实硝酸盐含量,其主要原因是施用硒肥增加了果实硒代蛋氨酸含量,导致硝酸还原酶活性降低或失活,致使进入果肉原生质中的硝酸盐不能及时转化为亚硝酸盐,造成了硝酸盐在果肉液泡中的积累[7]。

硒与各营养元素之间的关系比较复杂,既有拮抗作用,又有协助关系,其效应与硒的施用量、作物种类、元素的种类等密切相关[17]。本研究结果表明,硒肥对西瓜大量养分元素吸收的影响为K>N>P,且对氮和钾的吸收表现为正相关性,而对磷的吸收表现为负相关性。西瓜果实氮素含量随硒肥浓度的增加表现出先增加后降低的变化趋势,已有研究

表明，合理施硒能显著提高水稻和苦荞籽粒中氮含量[18-19]，低硒处理可促进烟草氮代谢，而高硒处理则抑制氮代谢[20]。硒与磷吸收之间的负相关性主要是由于作物对磷酸盐的选择性吸收作用要强于亚硒酸盐，并且硒由地下部向地上部的转运能被高浓度的磷所抑制[21-22]。西瓜果实钾素含量随硒肥浓度的升高而增加，肖利杰等[18]研究表明水稻不同器官钾含量也随着硒浓度的增加而增加。

随着硒肥浓度的增加，西瓜果实对中量元素Ca和Mg的吸收均表现出先增加后降低的变化趋势，这与前人研究结果相似，如王晋民等[23]研究表明，叶面喷施一定浓度的硒，可促进青花菜对Ca和Mg元素的吸收；刘勤[24]通过施用硒肥对稻米矿质养分积累的影响研究表明，适量施硒，对水稻生长有促进作用，促进了钙、镁的吸收积累，高硒供给，则对水稻产生毒害，钙、镁营养积累很低。西瓜果实微量元素Zn和Fe含量均随硒肥浓度的升高而增加，郭孝等[25]也研究表明，施用硒肥能显著提高莜麦果实中的Zn和Fe含量。而也有部分研究结果却不尽相同，如Arvy等[26]证实，在植物体内，Se和Mn、Zn、P、Mo等元素的浓度呈正相关，而和Fe、Al、As等元素呈负相关；尚庆茂等[27]报道，增加营养液中的硒素水平，促进了生菜对P的吸收，抑制了对K、Na、Ca、Mg等元素的吸收；李登超等[28]研究表明，与对照相比，加硒后增加了小白菜地上部N、Ca、Mg、Mn、Zn元素的含量，降低了P、K、S等元素的含量；对小白菜地下部而言，加硒后增加了N、S元素的含量，降低了P、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn元素的含量。由此可见，施用外源硒对植物体内营养元素吸收的影响程度因植物种类、品种、不同部位而异。因此，硒与植物矿物元素间的关系研究还需要更进一步地深入。

中国富硒食品硒含量分类标准（HB001/T—2013）中规定富硒鲜蔬菜的硒含量为0.01~0.90 mg·kg^{-1}，而瓜果类蔬菜的天然硒含量为0.000 1~0.004 0 mg·kg^{-1}[29]，含量太低。关于施用外源硒肥对提高作物硒含量，及其在发展富硒农产品中的作用已得到了普遍认可。研究表明，农作物叶面喷施硒肥后，粮食作物含硒量较对照增加3~32倍，水果含硒量增加2~4倍，蔬菜增加7~60倍[30]。赵芳等[9]测定了宁夏中卫市香山地区砂田西瓜果实样品的硒含量为0.003 mg·kg^{-1}，本研究测定甘肃皋兰地区对照处理砂田西瓜果实硒含量为0.009 mg·kg^{-1}，而喷硒处理的西瓜果实硒含量可达到0.016~0.041 mg·kg^{-1}，符合富硒食品标准。因此，合理施用外源硒肥对助力“硒砂瓜”产业的健康发展具有重要意义。

4　结　论

本试验通过不同硒肥浓度对旱砂田西瓜产量、品质及营养元素吸收的影响研究表明，喷施适宜浓度硒肥对西瓜增产提质及养分元素的吸收均具有促进作用，但浓度过大则会产生负效应。当硒肥质量浓度小于等于60 mg·L^{-1}时，西瓜产量和品质均随着硒肥浓度的增加而提高，且对果实氮、钙和镁元素的吸收具有促进作用；而当硒肥质量浓度大于60 mg·L^{-1}时，则表现出相反趋势。西瓜果实对钾、锌、铁和硒元素的吸收均随着硒肥浓度的升高而增加。综合考虑西瓜产量、品质及果实养分含量等因素，得出旱砂田西瓜适宜的亚硒酸钠喷施浓度为60 mg·L^{-1}。

参考文献 References：

[1] MARTIN A L. Toxicity of selenium to plants and animals [J]. American Journal Botany，1936，23(7)：471-483.

[2] 李继云，任尚学，陈代中 . 陕西省环境中的硒与大骨节病关系的研究[J]. 环境科学学报，1982，2(2)：91-101.
LI Jiyun，REN Shangxue，CHEN Daizhong. A study of kaschi-beck disease associated with environmental selenium in Shaanxi area [J]. Acta Scientiae Circumstantiae，1982，2(2)：91-101.

[3] 余琼，张翔，司贤宗，索炎炎，李亮，毛家伟 . 硒在农作物方面的研究进展[J]. 山西农业科学，2018，46(12)：2122-2126.
YU Qiong，ZHANG Xiang，SI Xianzong，SUO Yanyan，LI Liang，MAO Jiawei. Research progress of selenium in crops [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences，2018，46(12)：2122-2126.

[4] 郭英华 . 松原罗布麻硒分布特性及外源硒肥对其产量、品质的影响[D]. 长春：东北师范大学，2019.
GUO Yinghua. Distribution characteristics of selenium in *Apocynum venetum* L.‘Songyuan’and effects of exogenous selenium fertilizer on its yield and quality [D]. Changchun：Northeast Normal University，2019.

[5] 陈火云，谢义梅，周灵，杜斌，陈卉，邢丹英 . 施硒方式对油菜生长和籽粒硒、镉、铅含量的影响[J]. 河南农业科学，2019，48(3)：49-54.
CHEN Huoyun，XIE Yimei，ZHOU Ling，DU Bin，CHEN Hui，XIN Danying. Effects of selenium application methods on the growth and the seed selenium，cadmium and lead contents in rape [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences，2019，48(3)：49-54.

[6] 肖真真，李化银，焦自高，肖守华 . 叶面喷施外源硒肥对西瓜产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜，2019，32(5)：38-41
XIAO Zhenzhen，LI Huayin，JIAO Zigao，XIAO Shouhua. Effects of different concentrations of selenium fertilizer on the watermelon fruit yield and quality by foliage spray [J]. China Cucurbits and Vegetables，2019，32(5)：38-41.

[7] 张杨杨，焦自高，艾希珍，肖守华，王崇启，董玉梅，马荣金 . 蛋氨酸硒对厚皮甜瓜生理特性和品质的影响[J]. 园艺学报，2015，42（1）：157-166.
ZHANG Yangyang，JIAO Zigao，AI Xizhen，XIAO Shouhua，WANG Chongqi，DONG Yumei，MA Rongjin. Effects of methionine-selenium on physiological characteristics and quality of muskmelon [J]. Acta Horticulturae Sinica，2015，42(1)：157-166.

[8] 刘巍，赵京，介晓磊，刘世亮，刘芳，化党领，胡华锋 . 不同硒肥基施用量对紫花苜蓿产量、品质及养分吸收的影响[J]. 土壤通报，2013，44(2)：432-436.
LIU Yan，ZHAO Jing，JIE Xiaolei，LIU Shiliang，LIU Fang，HUA Dangling，HU Huafeng. Effect of different amounts of selenium fertilizer as basal dressing on purple alfalfa yield，quality and nutrient absorption [J]. Chinese Journal of Soil Science，2013，44(2)：432-436.

[9] 赵芳，杨欢春，杨天林，张超 . 硒砂瓜中微量元素含量测定[J]. 广东微量元素科学，2009，16(9)：55-57.
ZHAO Fang，YANG Huanchun，YANG Tianlin，ZHANG Chao. Determination of trace elements in selenium contained watermelon [J]. Guangdong Trace Elements Science，2009，16(9)：55-57.

[10] 陈年来，刘东顺，王晓巍，张建农，任晓艳，张玉鑫 . 甘肃砂田的研究与发展[J]. 中国瓜菜，2008，21(2)：29-31.
CHEN Nianlai，LIU Dongshun，WANG Xiaowei，ZHANG Jiannong，REN Xiaoyan，ZHANG Yuxin. Research and development of gravel mulch production in Gansu province [J]. China Cucurbits and Vegetables，2008，21(2)：29-31.

[11] 郝建军 . 植物生理学实验技术[M]. 沈阳：辽宁科学技术出版社，2001：89-92.
HAO Jianjun. Experimental technique in plant physiology [M]. Shenyang：Liaoning Science and Technology Press，2001：89-92.

[12] 鲁如坤 . 土壤农业化学分析法[M]. 北京：中国农业科学技术出版社，2000.
LU Rukun. Analytic method of agricultural chemistry on soil [M]. Beijing：China Agricultural Science and Technology Press，2000.

[13] 王裔娜 . 亚硒酸钠对桃树、葡萄生理影响及桃叶片差异蛋白组学研究[D]. 郑州：河南农业大学，2015.
WANG Yinan. Effects of foliar feeding of selenium on peach and grape of physiological indexes and proteomics research of leaves in peach [D]. Zhengzhou：Henan Agricultural University，2015.

[14] 夏美玲，鲁秀梅，任琴琴，柯思佳，钱春桃，陈劲枫 . 有机硒肥对薄皮甜瓜香气成分和营养品质的影响[J]. 中国瓜菜，2018，31(7)：7-12.
XIA Meiling，LU Xiumei，REN Qinqin，KE Sijia，QIAN Chuntao，CHEN Jinfeng. Effect of organic selenium fertilizer on aromatic compounds and nutritional quality of oriental sweet melon [J]. China Cucurbits and Vegetables，2018，31(7)：7-12.

[15] KIKKERT J，EDWARD B. Plant uptake and translocation of inorganic and organic forms of selenium [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology，2013，65(3)：458-465.

[16] 殷金岩，耿增超，孟令军，王海涛，张雯，陈心想 . 不同硒肥对马铃薯产量、硒含量及品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报（自然科学版），2012，40(9)：122-127.
YIN Jinyan，GENG Zengchao，MENG Lingjun，WANG Haitao，ZHANG Wen，CHEN Xinxiang. Effect of different selenium fertilizers on the yield，selenium contents and qualities of potatoes [J]. Journal of Northwest A & F University（Natural Science Edition），2012，40(9)：122-127.

[17] 陈铭，刘更另 . 高等植物的硒营养及在食物链中的作用[J]. 土壤通报，1996，27(4)：185-188.
CHEN Ming，LIU Gengling. Selenium nutrition and its effect in food cycle of higher plant [J]. Chinese Journal of Soil Science，1996，27(4)：185-188.

[18] 肖利杰，刘春梅，李梅，尚海波，马建辉，高亚军 . 施硒对水稻硒、氮、磷、钾含量及产量的影响[J]. 安徽农业科学，2015，43(34)：59-61.
XIAO Lijie，LIU Chunmei，LI Mei，SHANG Haibo，MA Jianhui，GAO Yajun. Effects of applying Se on the contents of Se，N，P，K in rice and its yield [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences，2015，43(34)：59-61.

[19] 田秀英，李会合，王正银 . 施硒对苦荞 N，P，K 营养元素和土壤有效养分含量的影响[J]. 水土保持学报，2009，23(3)：112-115.
TIAN Xiuying，LI Huihe ，WANG Zhengyin. Effect of Se application on contents of nitrogen ， phosphorus and potassium in tartary buckwheat and content of available nutrients in soil [J]. Journal of Soil and Water Conservation，2009，23(3)：112-115.

[20] 杨兰芳 . 烤烟化学品质与土壤施硒的研究[J]. 湖北民族学院学报（自然科学版），2001，19(1)：13-16.
YANG Lanfang. The chemical quality of flue - cured tobacco and application of Se in soil [J]. Journal of Hubei Minzu University（Natural Science Edition），2001，19(1)：13-16.

[21] 马友华，丁瑞兴，张继榛，竺伟民 . 硒和硫相互作用对烟草氮吸收和积累的影响[J]. 安徽农业大学学报，1999，26(1)：95-100.
MA Youhua，DING Ruixing，ZHANG Jizhen，ZHU Weimin. Effect of interaction of selenium and sulfur on uptake and accumulation of N in tobacco [J]. Journal of Anhui Agricultural University，1999，26(1)：95-100.

[22] 赵文龙，胡斌，王嘉薇，肖然，梁东丽 . 磷与四价硒的共存对小

白菜磷、硒吸收及转运的影响[J]. 环境科学学报，2013，33（7）：2020-2026.
ZHAO Wenlong，HU Bin，WANG Jiawei，XIAO Ran，LIANG Dongli. Combined effects of phosphate and selenite on the uptake and translocation of phosphorus and selenium in pakchoi [J]. Acta Scientiae Circumstantiae，2013，33（7）：2020-2026.

[23] 王晋民，赵之重，沈增基 . 叶面施硒对青花菜含硒量及产量与品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报（自然科学版），2006，34(3)：127-130.
WANG Jinmin，ZHAO Zhizhong，SHEN Zengji. Effect of selenium on content of selenium，yield and quality of broccoli [J]. Journal of Northwest A&F University（Natural Science Edition），2006，34(3)：127-130.

[24] 刘勤 . 磷肥和硒施用对稻米硒、钙、锌等营养累积的影响[J]. 广东微量元素科学，2003，10(6)：20-24.
LIU Qin. Influences application of phosphate fertilizer and selenium in paddy soil on absorption of selenium，calcium，zinc and sulphur in rice [J]. Guangdong Trace Elements Science，2003，10(6)：20-24.

[25] 郭孝，李明，介晓磊，李建平，黄安群，石志芳，肖曙光 . 基施硒肥对莜麦产量和微量元素含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2012，18(5)：1235-1242.
GUO Xiao，LI Ming，JIE Xiaolei，LI Jianping，HUANG Anqun，SHI Zhifang，XIAO Shuguang. Effects of basal Se fertilizers on yield and contents of trace elements of naked oat [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science，2012，18(5)：1235-1242.

[26] ARVY M P，THIERSAULT M，DOIREAU P. Relationships between selenium，micronutrients，carbohydrates and alkaloid accumulation in *Catharanthus roseus* cells[J]. Journal Plant Nutrition，1995，18(8)：1535-1546.

[27] 尚庆茂，高丽红，李式军 . 硒素营养对水培生菜品质的影响[J]. 中国农业大学学报，1998，3(3)：67-71.
SHANG Qingmao，GAO Lihong，LI Shijun. Effect of selenium on quality of hydroponics lettuce [J]. Journal of China Agricultural University，1998，3(3)：67-71.

[28] 李登超，朱祝军，徐志豪，钱琼秋 . 硒对小白菜生长和养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2003，9(3)：353-358.
LI Dengchao，ZHU Zhujun，XU Zhihao，QIAN Qiongqiu. Effects of selenium on the growth and nutrient absorption of pakchoi [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science，2003，9(3)：353-358.

[29] 陈剑侠，杨伯忠，范丽华，赖呈纯，郑京平 . 富硒葡萄中硒限量标准的研究[J]. 福建分析测试，2013，22(4)：31-33.
CHEN Jianxia，YANG Bozhong，FAN Lihua，LAI Chengchun，ZHENG Jingping. A research on the selenium limit in the selenium-rich grape [J]. Fujian Analysis & Testing，2013，22(4)：31-33.

[30] 甄燕红 . 中国部分市售稻米 Cd，Zn，Se 含量及其食用安全评价[D]. 南京：南京农业大学，2008.
ZHEN Yanhong. Cadmium zinc and selenium contents of the polished rice samples from some chinese open markets and their relevance to food safety [D]. Nanjing：Nanjing Agricultural University，2008.