

高 虎,穆晓国,安 磊,等. 蛋氨酸硒不同增施方式对南瓜品质、产量及土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(11):153–159.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2023.11.022

蛋氨酸硒不同增施方式对南瓜品质、产量及土壤酶活性的影响

高 虎¹,穆晓国¹,安 磊²,王玉娟³,周 筠⁴,王翰霖⁵,李建设¹,叶 林¹

(1. 宁夏大学农学院,宁夏银川 750021; 2. 宁夏职业技术学院,宁夏银川 750021;

3. 宁夏平罗县农业综合执法大队,宁夏平罗 753400; 4. 宁夏银川生产力促进中心,宁夏银川 750021;

5. 银川市农业技术推广服务中心,宁夏银川 750021)

摘要:为了探究蛋氨酸硒的不同施入方式对南瓜生长、光合特性、果实品质、产量及土壤酶活性的影响,并为大田南瓜的富硒栽培提供理论依据,以蛋氨酸硒为外源硒处理南瓜,分别采用不施硒(CK)、土壤施硒(T1)、叶面施硒(T2)以及土壤与叶面结合施硒(T3)的施硒方法,研究不同处理对南瓜生长、光合、品质、产量及土壤酶活性的影响。结果表明,T1、T2、T3 处理下的南瓜主蔓长、最大叶长、叶片数均显著高于 CK,根系生物量均显著增加,T1、T2、T3 南瓜根系活力分别较 CK 提高 97.30%、78.38%、145.95%,T2 处理南瓜叶片的 SPAD 值开花期、果实膨大期、结果期分别较 CK 提高 35.73%、26.08%、19.44%,不同施硒处理均可以提高南瓜叶片的净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度,其中 T2、T3 处理下南瓜叶片的净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度均显著高于 CK。不同施硒处理可以增加土壤酶活性,T1、T2、T3 处理下的脲酶活性均分别较 CK 提高 34.65%、24.75%、28.71%。土壤纤维素酶活性 T1 处理和 T3 处理较 CK 提高 23.65%、11.62%;土壤过氧化氢酶活性 T1 处理和 T3 处理较 CK 提高 21.53% 和 17.70%。不同施硒处理均能提高南瓜果实中的维生素 C 含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量,而对南瓜可溶性固形物和淀粉含量没有显著影响。T1、T2、T3 处理南瓜单果质量和产量均显著高于 CK。T2 处理较 CK 单果质量提高 24.32%,T1、T2、T3 硒含量较 CK 提高 440.07%、659.625%、557.04%,均极显著高于 CK,对于硒的积累效果显著,综上可知,土壤施硒(T1)、叶面施硒(T2)以及土壤与叶面结合施硒(T3)3 种施硒方式均能提高南瓜品质和产量,叶面施硒(T2)对南瓜光合特性、硒含量和产量的提升效果最佳,确定以叶片施硒(T2)为最优处理,同时有机硒可以替代无机硒为外源硒,为南瓜富硒生产栽培提供理论依据。

关键词:蛋氨酸硒;施硒方式;南瓜;品质;产量;硒含量;土壤酶活性

中图分类号:S642.106 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2023)11–0153–07

硒是植物生长所需的一种有益元素,适宜浓度的硒能促进植物生长发育,提高果实品质及产量^[1]。此外,硒是一种人体无法自身合成的微量元素,人体长期缺硒会引起一系列疾病,如克山病、大骨节病等^[2],因此摄入适量的硒可以保持健康的身体。许多地区硒含量极低,导致新鲜瓜果蔬菜的天然硒含量太低。富硒蔬菜是目前研究的热点,当今

市场上也出现各种的富硒农产品,例如富硒蔬菜、富硒水果这些产品市场销路也都很好,消费者十分欢迎,现在市面上多是以亚硒酸钠为外援硒,而有机硒的毒害比无机硒低,可以降低对环境的污染。

目前,对于硒在蔬菜上的应用前人已经做了大量研究,在番茄^[3]、莴苣^[4]、辣椒^[5]、油菜^[6]等蔬菜上已证明一定适宜浓度的外源硒可以促进其生长,提高果实品质,但外源硒浓度过高会对蔬菜有毒害作用,不利于蔬菜生长。想要生产富硒作物大都通过外源施硒的方式添加,主要有土壤施硒、叶片施硒、浸种拌种以及土壤与叶面结合施硒,这些施硒方式均能提高植物体内硒含量^[7–9]。程丹等通过对杭白菊进行土壤施硒、叶面喷施硒肥、土壤与叶面相结合施硒肥 3 种施硒方式均显著提高了杭白菊黄酮含量和绿原酸含量以及开花量和产量^[10]。陈火云等的研究结果显示,土壤施硒、叶面喷施硒肥、土

收稿日期:2022–08–17

基金项目:国家重点研发计划(编号:2021YFD1600302);宁夏回族自治区重点研发计划引才专项(编号:2021BEB04064);宁夏回族自治区重点研发计划(编号:2021BBF02019);宁夏高等学校一流学科建设项目(编号:XYLXK2017B03)。

作者简介:高 虎(1997—),男,陕西榆林人,硕士研究生,从事设施园艺与蔬菜逆境生理生态研究。E-mail:1085202806@qq.com。

通信作者:叶 林,副教授,博士,硕士生导师,从事设施园艺与蔬菜逆境生理生态研究。E-mail:yelin.3993@163.com。

壤与叶面相结合施硒肥 3 种施硒方式均显著提高了油菜籽粒中的硒含量^[11]。

南瓜作为一类重要的果菜类蔬菜,栽培技术简单、生长周期短、经济效益好,同时也是一种高效经济的蔬菜作物。栽培南瓜可优化农业种植结构,增加农民收入,在脱贫致富中发挥了巨大的作用,人们对它的重视度越来越高。目前,在南瓜的栽培中有关施有机硒对南瓜影响以及富硒南瓜的施硒方式选择尚未见报道。因此,本试验通过对南瓜不同施蛋氨酸硒的方式,研究不同喷硒处理对南瓜生长、光合、果实品质产量及土壤酶活性的影响,旨在为大田生产和种植富硒南瓜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

本试验于宁夏回族自治区吴忠市红寺堡区宏德村进行。试验地处于宁夏中部干旱带核心区,常年干旱少雨,昼夜温差大。

1.2 试验材料

供试硒源:蛋氨酸硒,其中硒元素的主要成分为硒代蛋氨酸,蛋氨酸含量≥10%,与赋形剂构成类白色粉末,易溶于水。

供试南瓜:品种为印度香栗南瓜,来源于富阳公司,在本地常年栽培,适应性强,生长较好,具有较好的经济效益。

1.3 试验方法

于 2021 年 5 月 23 日覆盖地膜,5 月 28 日进行田间定植,垄宽 1.6 m,沟深 0.25 m,沟宽 0.3 m,单行种植,行距 1 m,株距均 0.75 m,3 次重复。通过水肥一体化膜下滴灌的方式进行灌溉和施肥,其余与大田南瓜进行相同的管理(如除草等),9 月 29 日采集样本,待测。本试验设置以下 4 个处理:(1)清水对照(CK),不施硒。(2)处理 T1(土壤施硒),在南瓜抽蔓期和开花期土施蛋氨酸硒,每期各施 2 g/667 m²。(3)处理 T2(叶面施硒),在南瓜抽蔓期和开花期叶面喷施蛋氨酸硒,每期各施 2 g/667 m²。(4)处理 T3(土壤与叶面结合施硒),在南瓜抽蔓期和开花期土施蛋氨酸硒和叶片施蛋氨酸硒结合,每期总施用量为 2 g/667 m²,即每期土施 1 g/667 m²、叶面喷施 1 g/667 m²。

土壤施硒将蛋氨酸硒溶入水中,通过滴灌施入,叶面喷施采用 3WBD-220 型背负式电动喷雾器(容量为 20 L,厂家为山东省临沂市鲁农喷雾公

表 1 试验方案

处理	施硒方式	施硒时期	施硒量 (g/667 m ²)
CK	不施硒	—	0
T1	土施	抽蔓期+开花期	2+2
T2	叶面喷施	抽蔓期+开花期	2+2
T3	土施+叶面喷施	抽蔓期+开花期	2(土施和叶面喷施 各 1 g/667 m ²)+2

司)。蛋氨酸硒配比浓度为 0.01 g/L,T1 处理土施、T2 处理叶面喷施每期兑水 200 L/667 m²,T3 处理土施、叶面喷施每期分别兑水 100 L/667 m²。连续 3 d 天气晴朗的情况下选取中间那一天即 7 月 3 日(抽蔓期)和 8 月 10 日(开花期)19:00—20:00 太阳落山之后进行施肥处理。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 南瓜生长指标的测定 用卷尺对南瓜主蔓长、最大叶长、最大叶宽进行测量,用电子游标卡尺对南瓜主蔓粗进行测量,用电子天平称量南瓜根鲜质量,使用烘箱烘 24 h 后称量干质量。用 TTC 法测南瓜根系活力,每个处理 3 次重复(下同)。

1.4.2 南瓜光合特性的测定 选取主蔓上生长 15~18 张的完整叶片,使用 Li-6400 光合仪对南瓜叶片净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度和蒸腾速率进行测定。使用便携式叶绿素仪对南瓜叶片 SPAD 值进行测定。

1.4.3 土壤酶活性的测定 用铲子将南瓜根部周围 0~20 cm 深度的土壤混合,取 2 kg,带回实验室,在自然风干之后,去除里面杂物,过 0.15 mm 筛。土壤蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定;土壤脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定;土壤碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;土壤纤维素酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[12]测定。

1.4.4 南瓜品质及产量的测定 南瓜样品的采集:2021 年 9 月 29 日随机采集各处理南瓜 9 个,带回实验室测定。南瓜维生素 C 含量采用钼蓝比色法测定;可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定;可溶性固形物含量采用手持式糖度计测定;淀粉含量采用蒽酮法^[13]测定;用直尺对南瓜纵横径及果肉厚度测量,南瓜单果重采用电子天平测量。

1.4.5 南瓜硒含量的测定 根据 GB 5009.93—

2017《食品安全国家标准食品中硒的测定》测定南瓜硒含量。

1.5 数据统计分析

试验数据采用 Excel 2019 整理,利用 SPSS 软件进行分析,用 Origin 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同施硒方式对南瓜生长的影响

由表 2 可知,T1、T2、T3 处理下的南瓜主蔓长、最大叶长、叶片数均明显高于 CK,其中 T3 处理的收

表 2 不同施硒方式对南瓜植株生长的影响

生育期	处理	主蔓长 (cm)	主蔓粗 (cm)	叶片数 (张)	最大叶宽 (cm)	最大叶长 (cm)
幼苗期	CK	4.74 ± 0.30a	0.47 ± 0.03a	6.67 ± 0.33a	6.57 ± 0.12a	8.87 ± 0.20a
	T1	5.17 ± 0.92a	0.45 ± 0.04a	6.67 ± 0.33a	5.10 ± 0.59a	6.83 ± 0.94a
	T2	4.63 ± 1.09a	0.47 ± 0.06a	5.67 ± 0.67a	4.90 ± 0.55a	6.27 ± 1.13a
	T3	7.03 ± 0.74a	0.50 ± 0.02a	6.67 ± 0.33a	6.17 ± 0.32a	8.37 ± 0.65a
抽蔓期	CK	72.00 ± 7.86a	0.91 ± 0.06a	21.00 ± 0.58a	13.67 ± 1.22b	21.50 ± 1.36a
	T1	70.37 ± 10.64a	1.02 ± 0.08a	22.67 ± 1.67a	17.93 ± 1.52a	23.63 ± 2.58a
	T2	72.20 ± 1.27a	0.96 ± 0.07a	20.33 ± 0.33a	16.47 ± 0.43ab	26.63 ± 1.52a
	T3	71.70 ± 9.41a	1.03 ± 0.01a	21.00 ± 1.15a	14.93 ± 0.76ab	21.50 ± 0.86a
开花期	CK	190.10 ± 4.95a	1.25 ± 0.05b	47.33 ± 0.67b	20.67 ± 0.88c	25.10 ± 0.29b
	T1	214.57 ± 10.15a	1.51 ± 0.03ab	58.33 ± 1.2ab	21.80 ± 1.01bc	30.87 ± 1.52a
	T2	212.80 ± 2.43a	1.67 ± 0.10a	53.67 ± 3.18ab	26.53 ± 0.71a	24.67 ± 0.88b
	T3	240.47 ± 1.9a	1.57 ± 0.04ab	65.00 ± 6.03a	25.60 ± 0.4ab	27.23 ± 0.56ab
果实膨大期	CK	251.70 ± 5.13b	1.47 ± 0.03a	64.33 ± 1.86b	24.00 ± 0.58a	25.00 ± 0.58a
	T1	323.27 ± 22.29a	1.67 ± 0.04a	85.00 ± 6.35a	27.33 ± 0.88a	29.67 ± 0.88a
	T2	314.43 ± 13.93a	1.74 ± 0.06a	85.67 ± 0.88a	27.67 ± 0.88a	28.00 ± 0.58a
	T3	339.03 ± 16.15a	1.69 ± 0.01a	89.33 ± 3.38a	28.00 ± 0.58a	25.67 ± 0.88a
收获期	CK	341.20 ± 11.05b	1.83 ± 0.07b	92.00 ± 1.73b	28.53 ± 0.87b	26.67 ± 0.88a
	T1	443.20 ± 16.43a	2.10 ± 0.11ab	102.33 ± 4.37b	32.00 ± 0.58ab	31.00 ± 0.58a
	T2	443.77 ± 9.09a	2.35 ± 0.12a	98.67 ± 1.86b	29.00 ± 0.58ab	29.00 ± 0.00a
	T3	489.23 ± 9.75a	2.27 ± 0.14a	121.67 ± 4.06a	32.67 ± 0.33a	30.67 ± 0.67a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下同。

获期主蔓长达到 489.23 cm,生长最好。表明施硒处理可以促进南瓜植株的生长。

不同施硒处理对南瓜根系的影响如表 3 所示,在南瓜幼苗期,各处理的南瓜根鲜质量和根干质量均没有显著差异。在南瓜结果期,T1、T2、T3 处理的

南瓜根鲜质量和根干质量均显著高于 CK,T1、T2、T3 处理南瓜的根系活力均显著高于 CK,分别较 CK 提高 97.30%、78.38%、145.95%,表明施硒处理可以显著提高南瓜根系生物量以及南瓜根系活力,T3 处理效果最为明显。

表 3 不同施硒处理对南瓜根系的影响

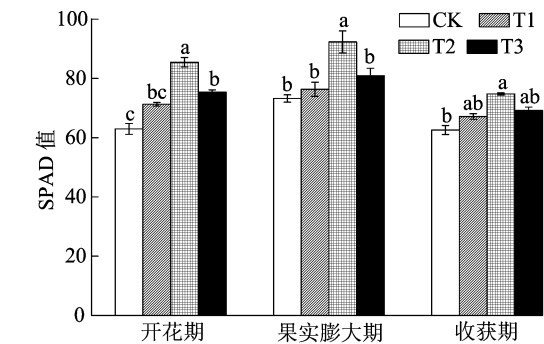
处理	幼苗期		成熟期		根系活力 [mg/(g·h)]
	根鲜质量(g)	根干质量(g)	根鲜质量(g)	根干质量(g)	
CK	1.12 ± 0.14a	0.17 ± 0.03a	12.24 ± 0.44b	0.98 ± 0.18b	0.37 ± 0.02c
T1	1.05 ± 0.10a	0.17 ± 0.02a	19.88 ± 0.29a	1.79 ± 0.09a	0.73 ± 0.08ab
T2	1.01 ± 0.15a	0.18 ± 0.02a	18.72 ± 1.52a	1.78 ± 0.05a	0.66 ± 0.13b
T3	0.96 ± 0.16a	0.16 ± 0.01a	19.15 ± 2.34a	1.84 ± 0.05a	0.91 ± 0.19a

2.2 不同施硒处理对南瓜光合特性的影响

由图 1 可知,T1、T2、T3 处理的 SPAD 值在开花期、结果期、收获期均高于 CK,T2 处理在开花期和果实膨大期显著高于 CK、T1 和 T3 处理,T2 处理下南瓜叶片的 SPAD 值在开花期、果实膨大期、结果期

均显著较 CK 提高 35.73%、26.08%、19.44%。表明施硒可以提高南瓜叶片叶绿素含量,其中 T2 处理效果最好。

不同施硒处理对南瓜光合参数的影响由表 4 可知,不同施硒处理均可以提高南瓜叶片的净光合速



图中不同小写字母表示差异显著(P<0.05), 不同大写字母表示极显著差异(P<0.01)。下同

图1 不同施硒处理对南瓜不同时期的 SPAD 值的影响

率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度,其中 T2、T3 处理南瓜叶片的净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度均与 CK 产生显著性差异。T2 处理下南瓜叶片的净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度均最高。不同施硒

处理下的南瓜叶片蒸腾速率与 CK 无显著差异。表明不同施蛋氨酸硒处理均能提高南瓜叶片的光合能力。

2.3 不同施硒处理对土壤酶活性的影响

如表 5 所示,施硒处理的土壤酶活性较 CK 均有不同程度的提高。T1、T2、T3 处理下的脲酶活性均显著高于 CK,分别较 CK 提高 34. 65%、24. 75%、28. 71%。T1 处理和 T3 处理下的土壤纤维素酶活性和土壤过氧化氢酶活性均明显高于 CK,其中 T1 和 T3 处理土壤纤维素酶活性较 CK 提高 23. 25% 和 11. 62%;T1 和 T3 处理土壤过氧化氢酶活性较 CK 提高 21. 53% 和 17. 70%。T1 处理土壤纤维素酶活性显著高于 CK 和 T2 处理。表明不同施硒处理均可提高土壤酶活性,T1 处理对土壤酶活性的激发效果最为明显。

表 4 不同施硒处理对南瓜光合参数的影响

时期	处理	净光合速率 [μmol/(m ² · s)]	气孔导度 [mmol/(m ² · s)]	胞间 CO ₂ 浓度 (μmol/mol)	蒸腾速率 [mmol/(m ² · s)]
开花期	CK	3. 78 ± 0. 90b	110. 98 ± 1. 91a	350. 23 ± 4. 88b	2. 88 ± 0. 29a
	T1	7. 68 ± 0. 53a	134. 23 ± 7. 47a	359. 06 ± 5. 49b	3. 82 ± 0. 65a
	T2	6. 83 ± 1. 17ab	115. 90 ± 6. 54a	399. 72 ± 9. 11ab	3. 22 ± 0. 20a
	T3	7. 80 ± 1. 02a	133. 42 ± 20. 06a	420. 52 ± 31. 64a	2. 62 ± 0. 31a
结果期	CK	4. 68 ± 0. 94b	105. 18 ± 15. 67b	264. 57 ± 29. 06b	3. 05 ± 0. 37a
	T1	8. 17 ± 1. 68ab	144. 54 ± 5. 69a	285. 98 ± 37. 16b	1. 91 ± 0. 48a
	T2	7. 05 ± 0. 67ab	142. 20 ± 9. 52a	295. 68 ± 4. 79b	2. 27 ± 0. 42a
	T3	10. 13 ± 1. 60a	150. 64 ± 5. 85a	388. 72 ± 27. 95a	2. 41 ± 0. 26a
果实膨大期	CK	7. 22 ± 0. 73b	140. 30 ± 15. 76a	224. 22 ± 4. 23c	2. 39 ± 1. 20a
	T1	11. 75 ± 0. 59a	168. 30 ± 8. 68a	223. 78 ± 4. 63c	2. 94 ± 0. 38a
	T2	11. 18 ± 0. 83a	164. 16 ± 6. 28a	242. 28 ± 4. 99b	2. 81 ± 1. 05a
	T3	11. 57 ± 0. 71a	177. 69 ± 12. 61a	259. 93 ± 6. 61a	2. 32 ± 0. 80a

表 5 不同施硒处理对土壤酶活性的影响

处理	过氧化氢酶活性 (mg/g)	脲酶活性 (mg/g)	纤维素酶活性 (mg/g)	蔗糖酶活性 (mg/g)	碱性磷酸酶活性 (mg/g)
CK	2. 09 ± 0. 09c	1. 01 ± 0. 05b	0. 43 ± 0. 01b	1. 81 ± 0. 07c	1. 87 ± 0. 20a
T1	2. 54 ± 0. 01a	1. 36 ± 0. 03a	0. 53 ± 0. 03a	3. 33 ± 0. 32a	1. 97 ± 0. 13a
T2	2. 30 ± 0. 01bc	1. 26 ± 0. 05a	0. 44 ± 0. 03b	2. 28 ± 0. 09bc	1. 67 ± 0. 03a
T3	2. 46 ± 0. 03ab	1. 30 ± 0. 04a	0. 48 ± 0. 02ab	2. 64 ± 0. 10ab	1. 82 ± 0. 06a

注:过氧化氢酶活性以 20 min 内 1 g 土壤分解的过氧化氢的质量(mg)表示;脲酶活性以 24 h 后 1 g 土壤中铵态氮(NH₃⁻ - N)的质量(mg)表示;磷酸酶活性以 24 h 后 1 g 土壤中释放出的酚的质量(mg)表示;蔗糖酶活性以 24 h 后 1 g 干土生成葡萄糖质量(mg)表示;纤维素酶活性以 72 h 后 1 g 干土生成葡萄糖质量(mg)表示。

2.4 不同硒处理对南瓜品质及产量的影响

由表 6 可知,不同施硒处理南瓜维生素 C 含量较 CK 均有不同程度的提高,T2 和 T3 处理的维生素 C 含量显著高于 CK,T1、T2、T3 处理分别较 CK

提高 30. 00%、50. 87%、54. 07%。所有施硒处理可溶性糖含量均高于 CK,且 T2、T3 处理显著提高,T1、T2、T3 处理分别较 CK 提高 28. 74%、41. 30%、60. 79%,T3 处理的含量最高,为 14. 60%。可溶性

蛋白含量均显著高于 CK,T1、T2、T3 处理分别较 CK 增加 72.41%、34.27%、65.09%。不同施硒处理与 CK 的南瓜可溶性固形物含量和淀粉含量未产生显著性差异。表明不同施硒处理均能提高南瓜果实中的维生素 C 含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量,而对南瓜可溶性固形物和淀粉含量没有显著影响。

表 6 不同施硒处理对南瓜果实品质的影响

处理	维生素 C 含量 (mg/100 g)	可溶性糖含量 (%)	可溶性蛋白含量 (mg/g)	可溶性固形物含量 (%)	淀粉含量 (g/100 g)
CK	20.03 ± 2.55b	9.08 ± 0.47c	4.64 ± 0.25c	13.13 ± 1.13a	4.86 ± 0.44a
T1	26.04 ± 0.84ab	11.69 ± 0.30bc	8.00 ± 0.40a	12.72 ± 0.46a	5.04 ± 0.34a
T2	30.22 ± 3.01a	12.83 ± 0.72ab	6.23 ± 0.05b	14.73 ± 0.91a	4.70 ± 0.01a
T3	30.86 ± 1.27a	14.60 ± 0.84a	7.66 ± 0.27a	15.23 ± 0.23a	4.88 ± 0.41a

由表 7 可知,不同施硒处理的南瓜果实横径均显著高于 CK,T2 处理南瓜单果质量和产量均显著高于其他处理,单果质量较 CK 提高 24.32%,T1、T2、T3 处理的南瓜单果质量和产量均显著高于 CK,表明不同施硒处理均可以提高南瓜产量,其中 T2 处理的效果最好。

表 7 不同施硒处理对南瓜产量的影响

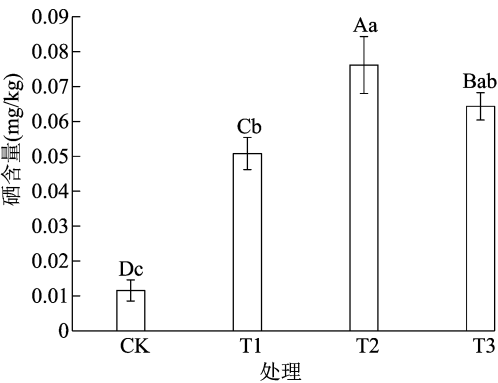
处理	南瓜纵径 (cm)	南瓜横径 (cm)	果肉厚度 (cm)	单果质量 (kg)	产量 (kg/667 m ²)
CK	11.78 ± 0.35a	14.33 ± 0.17b	2.56 ± 0.28a	1.11 ± 0.03c	1 887.00 ± 54.65c
T1	12.65 ± 0.31a	15.53 ± 0.29a	2.75 ± 0.23a	1.24 ± 0.01b	2 113.67 ± 20.43b
T2	12.72 ± 0.33a	16.30 ± 0.30a	2.78 ± 0.32a	1.38 ± 0.02a	2 346.00 ± 35.39a
T3	12.63 ± 0.26a	15.58 ± 0.11a	2.71 ± 0.36a	1.24 ± 0.01b	2 108.00 ± 9.81b

2.5 不同施硒处理对南瓜硒积累的影响

由图 2 可知,不同施硒处理中南瓜硒含量在 0.01~0.08 mg/kg 范围内,T1、T2、T3 处理的硒含量均极显著高于 CK,分别较 CK 提高 440.07%、659.625%、557.04%,T1、T2、T3 处理之间存在显著差异,其中 T2 处理显著高于 T1、T3 处理,硒含量表现为 T2>T3>T1>CK。表明施硒处理可以显著提高南瓜果实中的硒含量,T2 处理较 T1、T3 处理更能有效提高南瓜果实中硒的累积。

3 讨论

大量研究结果表明,一定量的硒会对植物生长发育起到促进作用^[14],本研究结果发现,施蛋氨酸硒可以促进南瓜蔓长、叶片面积以及叶片数,同时提高南瓜根系生物量和根系活力。田应兵等的土培试验证明,施一定量的硒可以促进黑麦草的生物量,同时可以提高根系活力^[15],与本试验结果相符。冯涛等通过施用外源硒提高了梨树的气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率和净光合速率^[16]。王瑞等发现,施适量的硒烤烟叶片的净光合速率和叶绿素含量均有提高^[17]。本研究发现,不同施硒代蛋氨酸处理均提高了南瓜叶片的 SPAD 值、净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度,其中叶片施硒的效果最好。李亚敏等在试验中发现,对猕猴桃施加适量的 Na₂SeO₃ 溶液,可以增加猕猴桃的气孔导度,从而提高光合作用的净光合速率和蒸腾速率^[18]。肖艳辉等通过溶液培养试验,研究了不同硒浓度对落葵光合作用及可溶性糖的影响,结果表明,随着硒浓度的增加,落葵的净光合速率呈现出先增加再降低的趋势,胞间 CO₂ 浓度呈逐渐增加的趋势^[19]。硒对光合作用



柱上不同小写、大写字母分别表示差异显著($P<0.05$)、极显著($P<0.01$)

图2 不同施硒处理对南瓜硒含量的影响

的促进可能是植物在吸收有机硒后会影影响多种酶活性,增加叶片叶绿素含量,从而提高光合作用。同时,硒代蛋氨酸会通过提高细胞膜的完整性对叶绿体有保护作用,增加植株叶片光合色素。现在硒对植物的生理规律都处于描述阶段,适宜浓度的硒对作物光合有促进作用,但对于硒如何增强气孔导度的机制以硒对光合作用的调控分子机制仍待深入研究。

土壤是植物生长的基石,土壤的品质可以间接决定作物生长的品质及产量。土壤中的酶活性可作为土壤肥力的指标之一,而且能够直接表征土壤的生物活性。土壤酶的来源有多种途径,包括微生物分泌、动植物残体释放、植物根系分泌等^[20]。所以,蛋氨酸硒对土壤酶活性产生影响可能是通过改变微生物的数量、有机质的分解、植物根系分泌以及硒在植物内体的代谢等途径来实现的。樊俊等的研究表明,硒酸钠、亚硒酸钠对土壤蔗糖酶活性均有抑制效应^[21];张杨杨等的研究表明,土壤中施入硒代蛋氨酸对土壤脲酶有激活效应^[22];史雅静等研究表明,不同形态外援硒对土壤酶活性的影响有区别,有机硒比无机硒对土壤酶活性的激发效应更强,更能提高土壤微生物的数量^[23]。本研究中施蛋氨酸硒处理均提高了蔗糖酶活性、土壤脲酶活性、过氧化氢酶活性以及纤维素酶活性。本研究蔗糖酶活性变化与樊俊等的研究结果^[21]不同,可能是因为不同硒源类型对土壤酶活性的影响效果存在差异。土壤脲酶活性变化与张杨杨等的研究结果^[22]一致。本研究造成土壤酶活性提高的原因有:一是低浓度的有机硒以原料的形式参与土壤酶中蛋白的合成。二是硒代蛋氨酸为土壤微生物提供了原料,提高了土壤微生物数量,从而增加了土壤中酶的合成与分泌,使土壤酶活性为激活状态。三是提高根系活力,从而促进了根系分泌物的增加,提高了微生物数量。程勤等的研究表明,施硒有助于油菜根际土壤富集有益微生物^[24]。3 种施硒方式相比,叶面喷施有机硒的土壤酶活性低于土壤施有机硒和土壤与叶片结合施有机硒,可能是直接施入土壤的有机硒更加容易与土壤微生物以及植物根系发生作用,从而影响土壤酶活性。叶面施有机硒处理土壤酶活性高于不施硒处理,可能是在喷施硒肥过程中,有少部分撒落到地面上被土壤吸收;也可能是叶面喷施硒肥,有机硒被叶片吸收后,通过植株内部转运到植物根系,从而影响植物根系分泌改变土壤酶活性。

果实品质直接影响着果实的风味口感以及营

养价值,决定果实商品价值。硒对作物品质的影响的途径主要有以下 2 点:一是有机硒在植物体内形成硒代半胱氨酸、硒代甲硫氨酸等含硒有机化合物,二是外援硒可以促进植物对一些矿质元素的吸收。直接施用有机硒更有利于作物吸收,适当浓度的硒可以改善作物品质。薛原等研究发现,0.3 mg/kg 硒肥可以增加油麦菜的产量,提升维生素 C、可溶性糖以及蛋白质含量^[25]。张杨杨等以硒代蛋氨酸和厚皮甜瓜为材料,研究发现 10 mg/kg 硒处理下果肉中的可溶性糖含量提升 14.82%,可溶性蛋白含量提升 49.88%,游离氨基酸含量提升 23.42%,维生素 C 含量提升 25.03%^[26]。本研究发现,土壤施硒、叶面施硒以及土壤和叶片结合施硒均可以提高南瓜果实维生素 C、可溶性蛋白以及可溶性糖含量,其中维生素 C 含量最高提高了 54.07%,可溶性蛋白含量最高提高了 72.21%,可溶性糖含量最高提高了 60.86%;而对淀粉含量和可溶性固形物含量没有显著影响,且不同施硒处理之间无显著差异,与薛原等的研究结果^[25-26]一致。邵旭日等研究发现,随着硒浓度的增加,番茄维生素 C 含量呈现先上升后下降的趋势^[27]。耶兴元研究发现,当施硒浓度在 1~2 mg/L 时,可以提高猕猴桃果实的可溶性糖、维生素 C 和可溶性蛋白的含量^[28],2~3 mg/L 时其含量逐渐降低。说明不同硒浓度对果实品质的影响存在差异,即低浓度激活、高浓度抑制。目前对硒如何影响维生素 C、可溶性蛋白和可溶性糖含量的机理还没有明确的定论,可能与糖转运蛋白的表达和调控有关。

关于施硒可以促进作物果实硒含量,在大量作物小麦^[29]、玉米^[30]和生菜^[31]等上均已被证实。本研究发现,不同的施硒处理均能极显著地提高南瓜果实的硒含量,硒代蛋氨酸可以作为硒源被南瓜吸收,其中叶片施硒处理南瓜硒含量最高,富集效果最好。适宜浓度的硒可以促进植物生长发育,从而增加南瓜产量,张杨杨等发现,施硒可以促进产量提高^[26,29],本研究发现,不同施硒处理均可以提高南瓜产量,其中叶片施硒对产量的提升效果显著高于其他处理。关于施硒对产量的提高,可能是通过提高作物生长发育及光合参数等,最终汇聚于产量的提高,本研究发现施有机硒对 SPAD 值及净光合速率均有提高。周勋波等研究证明,大豆叶面喷施适当浓度的硒肥能促进其生长发育和改善生理生态指标,对促进产量提高具有重要作用^[32]。

在产量和富硒效果上,叶片施硒的效果比土壤施硒和土壤与叶片结合施硒效果要好,可能是施入土壤的硒被土壤胶体有机质等吸附,从而作物的吸收减少。另外可能是通过根系运输比叶片直接转化过程更加复杂,在长距离的运输中损失更大。叶片施硒处理提高南瓜叶片叶绿素含量和净光合速率,从而促进光能利用率,提高果实产量。

4 结论

以硒代蛋氨酸为外源硒处理南瓜,结果显示,(1)不同施硒处理促进了南瓜主蔓长、叶面积、叶片数的生长,提高了南瓜叶片 SPAD 值及净光合速率、气孔导度及胞间 CO_2 浓度。对蒸腾速率无显著影响。(2)不同施硒处理促进了土壤过氧化氢酶活性、土壤脲酶活性、土壤纤维素酶活性、土壤蔗糖酶活性的提高,对土壤碱性磷酸酶活性无显著影响。(3)不同施硒处理提高了南瓜果实维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白含量,对可溶性固形物及淀粉含量无显著提高,均提高了南瓜单果质量和产量,且均极显著增加了南瓜果实的硒含量。

3 种施硒方式中叶面施硒下南瓜的叶片光合能力强、产量最高、富硒的效果最佳。综上所述,有机硒可以作为外源硒在作物上使用,在南瓜的富硒生产中使用叶面喷施蛋氨酸硒的方式效果最佳,因此建议使用。

参考文献:

- [1] 宋会明,贺敬芝,梁 军,等. 叶面喷施纳米硒肥对金丝小枣产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(4):203-207.
- [2] 王易龙,杨陟华,朱茂祥. 硒抗病毒作用研究进展[J]. 中国公共卫生,2021,37(10):1580-1584.
- [3] 梁 乐,刘 娟,李晓梅,等. 三种基因型樱桃番茄混种对果实品质和硒含量的影响[J]. 浙江农业学报,2021,33(10):1870-1878.
- [4] 袁伟玲,刘志雄,吴金平,等. 不同施硒方式对叶用莴苣产量、含硒量和硒转化率的影响[J]. 中国蔬菜,2021(2):80-84.
- [5] 余小兰,张 静,邹雨坤,等. 不同施硒量对辣椒硒、磷、钾含量及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(24):146-149.
- [6] 王 凯,包 立,栗 丽,等. 土壤外源补硒对油菜硒吸收转运累积的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(13):79-84.
- [7] 李 韬,孙发宇,龚 盼,等. 施纳米硒对小麦籽粒硒含量及其品质性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(2):427-433.
- [8] 李 飞,黄明丽,李玲玉,等. 富硒肥对茶树的影响及新型硒肥研究进展[J]. 河南农业科学,2019,48(3):1-7.
- [9] 刘嘉兴,李旭芬,石 玉,等. 叶面喷施生态纳米硒对生菜品质的影响[J]. 浙江农业科学,2019,60(5):803-806.
- [10] 程 丹,张 红,郭子雨,等. 硒处理对土壤理化性质及杭白菊品质的影响[J]. 土壤学报,2020,57(6):1449-1457.
- [11] 陈火云,谢义梅,周 灵,等. 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.
- [12] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [13] 蔡庆生. 植物生理学实验[M]. 北京:中国农业大学出版社,2013.
- [14] 蒋曦龙,乔月彤,李晓靖,等. 叶面过量施硒对玉米产量、硒和矿物质营养元素含量的影响[J]. 核农学报,2021,35(12):2841-2849.
- [15] 田应兵,雷明江,杨玉华,等. 沼泽土施硒对黑麦草生长、品质及生理活性的影响[J]. 土壤通报,2006,37(4):741-743.
- [16] 冯 涛,周国华,卢立波. 施硒肥对梨树生理、光合作用和果实品质的影响[J]. 北方园艺,2020(11):37-41.
- [17] 王 瑞,黄树立,陈明辉,等. 土壤施硒对烤烟光合特性及其同化物积累的影响[J]. 中国烟草科学,2011,32(1):22-26.
- [18] 李亚敏,刘建中,张 峰,等. 硒对猕猴桃叶片光合生理和果实品质的影响[J]. 西部林业科学,2012,41(2):38-42.
- [19] 肖艳辉,何金明,吴丽芳,等. 硒对落葵植株生长、光合特性及可溶性糖含量的影响[J]. 韶关学院学报,2008,29(6):79-83.
- [20] 朱 婧,李倩磊,郭等等,等. 不同施肥处理对纽荷兰脐橙根系生长及土壤生物学性质的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(10):96-102.
- [21] 樊 俊,王 瑞,胡红青,等. 不同价态外源硒对土壤硒形态及酶活性、微生物数量的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(5):137-141,171.
- [22] 张杨杨,焦自高,艾希珍,等. 土壤增施蛋氨酸硒对厚皮甜瓜生理特性和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(2):476-485.
- [23] 史雅静,史雅娟,王玉荣,等. 土壤酶对外源有机硒和无机硒的动态响应[J]. 环境科学学报,2018,38(3):1189-1196.
- [24] 程 勤,胡承孝,明佳佳,等. 硒对油菜根际土壤微生物的影响[J]. 农业资源与环境学报,2021,38(1):104-110.
- [25] 薛 原,刘曙光,宋 娇,等. 硒肥对油麦菜产量和品质的影响[J]. 山西农业科学,2019,47(9):1588-1591.
- [26] 张杨杨,焦自高,艾希珍,等. 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.
- [27] 邵旭日,韩莹琰,齐长红,等. 叶面施用不同浓度的硒肥对番茄果实品质的影响[J]. 蔬菜,2017(8):25-28.
- [28] 耶兴元. 硒对猕猴桃光合参数及产量和品质的影响研究[J]. 安徽农学通报,2015,21(24):70,98.
- [29] 高国英,张 睿,汪娟梅,等. 富硒营养素对关中灌区小麦籽粒硒含量和产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2022,40(1):230-237.
- [30] 侯青光,韦林汕,卢亚妮,等. 硒肥不同喷施时期和种类对玉米产量、品质及硒和重金属含量的影响[J]. 西南农业学报,2021,34(9):1900-1906.
- [31] 孙崇庆,马晓春,高艳明,等. 硒肥对植物工厂水培生菜生长及品质的影响[J]. 中国瓜菜,2020,33(6):24-29.
- [32] 周勋波,吴海燕,张惠君,等. 喷施硒肥对大豆生长发育和生理生态参数的影响[J]. 华北农学报,2004,19(4):77-80.