

孙艳军, 史珑燕, 徐 刚, 等. 锌肥施用量对大蒜产量、品质及矿质元素含量的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(4): 891-897.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.04.028

锌肥施用量对大蒜产量、品质及矿质元素含量的影响

孙艳军, 史珑燕, 徐 刚, 高文瑞, 韩 冰, 李德翠

(江苏省农业科学院蔬菜研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏 南京 210014)

摘要: Zn 是植物生长必需的微量元素, 土壤中 Zn 含量多少影响作物的生长、产量及品质。本研究通过田间试验和室内测定, 分析锌肥($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)不同施用量对大蒜产量及 V_c 和蛋白质含量的影响, 并对大蒜中 18 种矿质元素含量进行测定分析, 探讨锌肥的最佳施用量。结果表明, 适量施用锌肥, 能提高大蒜产量, 增加大蒜中 V_c 和蛋白质的含量; 大蒜中 Zn 含量随锌肥施用量的加大而增加; 大蒜中 Zn 含量与 K、P 及 Cd 含量呈显著相关; 过量施用锌肥抑制大蒜产量形成, 并引起大蒜中有害重金属镉的积累。从大蒜产量、品质、矿质元素含量等方面综合考虑, 本试验土壤中大蒜最佳锌肥($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)施用量为 10.0 kg/hm^2 。

关键词: 大蒜; 锌肥; 产量; 品质; 矿质元素

中图分类号: S 633.406⁺.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2016)04-0891-07

Yield, quality and mineral element content of garlic in response to zinc fertilization

SUN Yan-jun, SHI Long-yan, XU Gang, GAO Wen-rui, HAN Bin, LI De-cui

(Institute of Vegetable Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

Abstract: Zinc is an essential trace element of plant, and the its zinc content in soil affects crop growth, yield and quality. In this study, the effect of different application rates of zinc fertilizer on the yield, the contents of V_c , protein, and mineral elements in garlic bulbs was analyzed, and as a result, the appropriate amount of zinc was presented. Zinc fertilization improved the yield, protein and vitamin C contents in garlic. The content of zinc was positively correlated with K, P, and Cd. Over application of zinc fertilizer reduced garlic yield and resulted in the accumulation of toxic heavy metal elements (e.g. Cd). Considering the yield, quality and element content, the optimal application amount of zinc fertilizer($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) was recommended to be 10 kg/hm^2 .

Key words: garlic; zinc fertilizer; yield; quality; mineral element

锌(Zn)是植物生长必需的微量元素, 植物体内的锌含量很低, 但锌元素对植物体内 200 多种酶起调节、稳定和催化等重要作用^[1-3]。在高等植物体

内的酶促反应中, 锌元素既可作为酶的金属组分, 也可作为酶在结构功能及调节方面的辅助因子, 是植物体内蛋白质合成、核酸合成、激素代谢、光合作用和呼吸作用所必需的。在叶绿体中, 含锌金属酶对碳水化合物的合成有重要作用^[4]。

植物主要通过根系从土壤溶液中吸收 Zn^{2+} , 依靠蒸腾拉力经木质部运送至植物的地上部分, 在不经叶面喷施锌肥的情况下, 土壤中 Zn^{2+} 含量直接影响植物体内锌元素的含量。中国土壤中的锌含量为

收稿日期: 2015-09-25

基金项目: 江苏省科技支撑项目(BE2014387)

作者简介: 孙艳军(1975-), 男, 江苏新沂人, 硕士, 助理研究员, 主要从事蔬菜设施栽培、栽培生理等研究。(Tel) 02584390573; (E-mail) syj4073586@163.com

通讯作者: 徐 刚(Tel) 02584390143; (E-mail) xugang90@163.com

3~790 mg/kg,平均含量为 100 mg/kg,但有效态锌含量很低,黄土区土壤和华北、淮北平原的黄潮土 195 个表土样品中 82.6%的样品有效锌含量低于缺锌临界含量(0.5 mg/kg)^[5];第二次全国土壤普查结果表明,中国有 4.9×10^7 hm²耕地有效锌缺乏,占全国耕地面积的 51.1%^[6]。土地利用、耕作和施肥等均可改变土壤中锌含量从而影响植物对锌元素的吸收^[7-9]。研究结果表明锌肥对一些植物均有不同程度的增产作用,番茄、黄瓜、白菜、甜椒施锌肥与不施锌肥的产量达极显著差异;锌对小白菜 V_c 含量的提高具有明显的促进作用;施锌肥能提高西芹、番茄等体内 V_c 含量和糖分^[10];苹果施锌后明显提高了其产量和果实锌含量^[11],但锌肥对大蒜产量和质量的影响报道较少。

大蒜属于百合科葱属两年生作物,在中国有 2 000 多年栽培历史,其产品营养丰富,味道鲜美,能增进食欲,并有杀菌作用,是深得大众喜爱的蔬菜。大蒜还具有预防高血压、动脉粥样硬化等保健功能,是被广泛研究的食药两用作物。中国大蒜(*Allium sativum* L.)种植面积占全球总面积的 60%。但关于锌肥施用对大蒜影响的研究较少,杨凤娟等通过盆栽试验研究了锌对大蒜生理生化指标及营养品质的影响,结果表明当锌处理水平为每 15 kg 土壤添加 0.3 g $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$,大蒜叶片硝酸还原酶、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)活性以及可溶性蛋白质含量、光合色素含量、光合参数均达最高,而每 15 kg 土壤添加 0.2 g $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 的处理极有利于大蒜素和蒜薹中 V_c 的形成。该研究结果明确了锌肥对大蒜质量(如 V_c 含量)的影响,但对大蒜产量和其他矿物元素的积累没有系统研究^[12]。目前,大田栽培下,合理施用锌肥提高大蒜产量、品质的效果及如何合理施用锌肥等问题尚不明确。因此,本研究拟通过大田试验和室内测定,分析施用锌肥对大蒜产量及大蒜中 V_c 、蛋白质和 18 种矿质元素含量的影响,为指导大蒜生产中合理施用锌肥,提高大蒜产量并改善品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

田间试验在江苏省邳州市八义集镇闫集村进行。试验地土壤类型为壤土,耕作层(0~20 cm)土

壤 pH 值 6.8,全氮为 18.1 g/kg,有机质为 32.5 g/kg,速效磷为 20.5 mg/kg,有效钾为 62.5 mg/kg,有效锌含量为 13.1 mg/kg。

试验设 6 个处理。基施锌肥($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)分别为 0 kg/hm²、5.0 kg/hm²、10.0 kg/hm²、20.0 kg/hm²、40.0 kg/hm²、80.0 kg/hm²,分别用 CK、Zn1、Zn2、Zn3、Zn4、Zn5 表示。3 次重复,小区面积 2 m×2 m,小区之间有深 20 cm、宽 20 cm 的沟隔开,各处理随机排列。

大蒜品种为徐州红皮蒜,2014 年 10 月初播种,播种密度为 1 hm² 300 000 株,播种时施用大蒜专用复合肥(N-P₂O₅-K₂O:12-19-19)750 kg/hm²做基肥。2015 年 5 月下旬采收大蒜,经自然晾晒后待处理分析。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 V_c 采用 2,6-二氯酚比色法^[13]测定 V_c 含量。大蒜剥去外皮,取 50 g 左右用去离子水洗净,滤纸吸干,匀浆机粉碎。称取 1.00 g 粉碎样品至研钵中,加 3 ml 2%草酸研磨成匀浆,然后将匀浆倒入 25 ml 容量瓶中,残留再用 1%草酸冲洗,洗液一并倒至容量瓶中,然后加入 1 ml 30%硫酸锌,并摇动容量瓶,再加入 1 ml 15%亚铁氰化钾,以除去脂溶性色素,最后再用 1%草酸定容至刻度,摇匀后过滤到干净小烧杯中。取上述提取液 4 ml(若抗坏血酸含量高,可适当减少吸取量,不足 4 ml 的可用 1%草酸补足至 4 ml)到具塞大试管中,依次加入染料 2 ml,二甲苯 5 ml,在 500 nm 波长下测定吸光度。

1.2.2 蛋白质 采用自动凯氏定氮仪法测定蛋白质含量。大蒜剥去外皮,取 50 g 左右用去离子水洗净,滤纸吸干,匀浆机粉碎。称取 1 g 粉碎样品,转移至消化管,用 10 ml 移液管加入 10 ml 浓硫酸和硫酸铜、硫酸钾,放入温度 420 ℃的消化炉消化。消化完毕冷却后,将消化管放置入全自动凯氏定氮仪测定。

1.2.3 矿质元素

1.2.3.1 仪器与试剂 PE800 原子吸收光谱仪和 NexIONTM300X 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Perkin Elmer 公司产品)、MARSSpress 微波消解系统(美国 CEM 公司产品)。优级纯硝酸、高氯酸、Milli-Q 高纯水,Zn、Cu、Fe、Mn、K、Na、Ca、Mg、P、Cr、Pb、Cd、As、Co、Cs、Sn、Se、B 等 18 种元素的标准溶液(浓度均为 1 000 μg/ml)由国家有色金属及电子

材料分析测试中心提供。

1.2.3.2 样品处理 大蒜剥去外皮,取 50 g 左右用去离子水洗净,滤纸吸干,匀浆机粉碎。称取 1 g 粉碎样品于微波消解罐中,加入浓硝酸 5 ml、双氧水 2 ml,加盖冷消化 1 h 后置于微波消解仪中消解。消解后冷却至室温,过滤转移至 25 ml 容量瓶中,去离子水定容,测定时根据元素线性范围进行相应稀释。

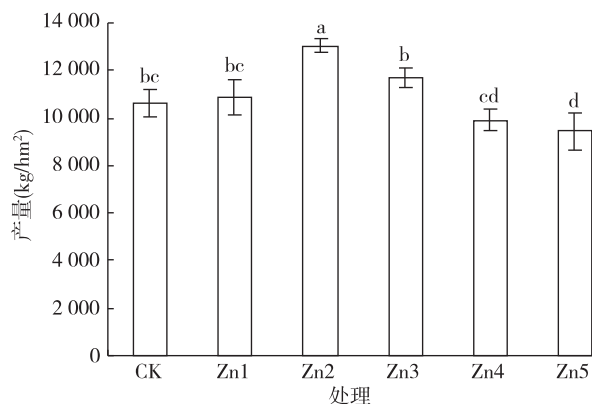
1.2.3.3 测定方法 选择火焰原子吸收法 (FAAS) 测定 Zn、Cu、Fe、Mn,选择火焰原子发射法 (FA-Emission) 测定 K、Na、Ca、Mg,选择电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 测定其他元素。质量数选择为 P: 31、Cr: 52、Pb: 208、Cd: 111、As: 75、Co: 59、Cs: 133、Sn: 118、Se: 82、B: 11,等离子体射频功率为 1.2 kW,等离子体气体流速为 15.0 L/min,辅助气体流速为 1.5 L/min,信号采集为标准模式 (As 为 KED 模式)。

试验数据采用 Excel 2007 软件和 DPS2.0 软件进行统计分析和作图, Duncan's 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 锌肥不同施用量对大蒜产量的影响

大蒜产量结果 (图 1) 表明,随着锌肥施用量的增加,大蒜产量呈现先增加后降低的趋势。施锌肥 10.0 kg/hm² (Zn2) 处理大蒜产量最高,较 CK、Zn1、Zn3、Zn4、Zn5 处理分别显著增加 22.8%、20.2%、11.5%、31.5%、38.1% ($P < 0.05$); 施锌肥 80.0 kg/hm² (Zn5) 处理大蒜产量最低,较 CK、Zn1、Zn2、



CK、Zn1、Zn2、Zn3、Zn4、Zn5 分别表示施锌肥 ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0 kg/hm²、5.0 kg/hm²、10.0 kg/hm²、20.0 kg/hm²、40.0 kg/hm²、80.0 kg/hm²。不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

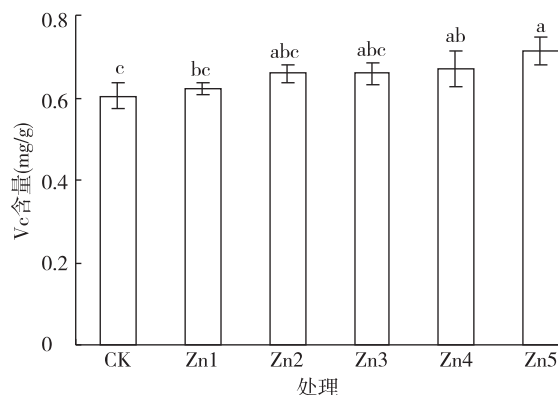
图 1 锌肥不同施用量对大蒜产量的影响

Fig.1 Garlic yield in response to zinc application rates

Zn3 处理分别显著降低 11.0%、13.0%、27.6%、19.3% ($P < 0.05$)。表明适当增施锌肥能提高大蒜产量,过量施用锌肥反而会降低大蒜产量。

2.2 锌肥不同施用量对大蒜中 V_C 和蛋白质含量的影响

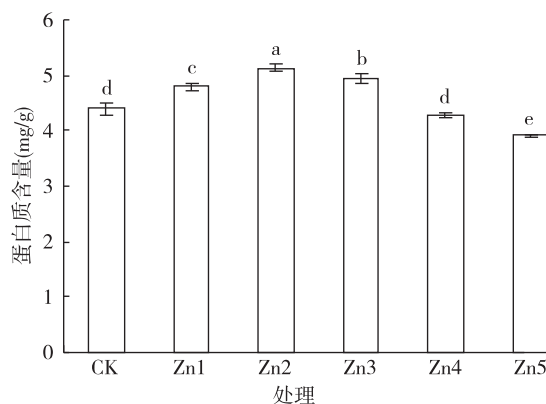
锌肥不同施用量对大蒜中 V_C 含量影响结果 (图 2) 表明,随着锌肥施用量的增加,大蒜中 V_C 含量呈现增加的趋势,以施用锌肥 80.0 kg/hm² (Zn5) 处理的大蒜中 V_C 含量最高,较 CK 和 Zn1 处理显著增加 16.4% 和 14.7% ($P < 0.05$),较 Zn2、Zn3、Zn4 处理分别增加 12.1%、13.5%、12.1% ($P > 0.05$)。表明增施锌肥,能提高大蒜中 V_C 含量。



CK、Zn1、Zn2、Zn3、Zn4、Zn5 见图 1 注。不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

图 2 锌肥不同施用量对大蒜中 V_C 含量的影响

Fig.2 V_C content in garlic in response to zinc application rates



CK、Zn1、Zn2、Zn3、Zn4、Zn5 见图 1 注。不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

图 3 锌肥不同施用量对大蒜中蛋白质含量的影响

Fig.3 The protein content in garlic in response to zinc application rates

锌肥不同施用量对大蒜中蛋白质含量影响结果(图3)表明,随着锌肥施用量的增加,大蒜中蛋白质含量呈现先增加后降低的趋势。施锌肥 10.0 kg/hm²(Zn2)处理的大蒜蛋白质含量最高,较 CK、Zn1、Zn3、Zn4、Zn5 处理分别显著增加 16.6%、6.9%、3.6%、20.1%、31.2%($P<0.05$);施锌肥 80.0 kg/hm²(Zn5)处理的大蒜蛋白质含量最低,较 CK、Zn1、Zn2、Zn3、Zn4 处理分别显著降低 12.5%、22.7%、31.2%、26.7%、9.3%($P<0.05$)。表明适当增施锌肥能提高大蒜中蛋白质含量,过量施用锌肥反而会降低大蒜中蛋白质含量。

2.3 锌肥不同施用量对大蒜中矿质元素含量的影响

2.3.1 锌肥不同施用量对大蒜中 Zn、K 和 Se 等元素含量的影响 锌肥不同施用量对大蒜中 Zn 含量影响结果(表1)表明,随着锌肥施用量的增加,大蒜中 Zn 含量逐步增加,除施锌肥 5.0 kg/hm²(Zn1)与对照相

比差异不显著外,施锌肥 10.0~80.0 kg/hm²(Zn2~Zn5)的4个处理大蒜中 Zn 含量均显著高于不施锌肥对照。施锌肥 80.0 kg/hm²(Zn5)处理大蒜中 Zn 含量最高,较 CK、Zn1、Zn2、Zn3、Zn4 分别显著增加 116.1%、95.8%、52.0%、43.6%、34.5%($P<0.05$)。

大蒜中 K 含量以施锌肥 40.0 kg/hm²(Zn4)处理最高,施锌肥 80.0 kg/hm²(Zn5)处理次之,施锌肥 5.0 kg/hm²(Zn1)处理最低,Zn4 处理大蒜中 K 含量较 CK、Zn1 和 Zn2 处理分别显著增加 35.7%、62.1%和 36.9%($P<0.05$)(表1)。相关分析结果(表2)表明,大蒜中 Zn 含量与 K 含量呈显著正相关($r=0.599, P<0.05$)。

大蒜中 Se 含量以施锌肥 5.0 kg/hm²(Zn1)处理最低,施锌肥 10.0 kg/hm²(Zn2)处理最高。Zn2 处理大蒜 Se 含量较 CK、Zn1、Zn3 和 Zn5 处理分别显著增加 33.4%、88.9%、30.2% 和 38.2%($P<0.05$)(表1)。

表1 锌肥不同施用量下大蒜中 18 种元素的含量

Table 1 Eighteen elements contents in garlic in response to zinc application rates

矿质元素	CK	Zn1	Zn2	Zn3	Zn4	Zn5
Zn (mg/kg)	5.34 ± 0.13c	5.89 ± 0.20c	7.58 ± 0.89b	8.04 ± 0.50b	8.57 ± 0.86b	11.50 ± 1.00a
Cu (mg/kg)	1.81 ± 0.50a	2.04 ± 0.78a	1.88 ± 1.04a	2.01 ± 0.57a	1.96 ± 0.35a	1.55 ± 0.24a
Fe (mg/kg)	9.61 ± 1.10a	9.97 ± 1.05a	9.48 ± 2.21a	11.9 ± 0.89a	9.66 ± 0.70a	12.30 ± 2.76a
Mn (mg/kg)	2.22 ± 0.08ab	2.15 ± 0.11ab	2.39 ± 0.25a	2.19 ± 0.07ab	2.15 ± 0.05b	2.18 ± 0.18ab
K (g/kg)	2.76 ± 0.43bc	2.31 ± 0.06c	2.74 ± 0.20bc	3.17 ± 0.16ab	3.75 ± 0.61a	3.30 ± 0.34ab
P (g/kg)	1.79 ± 0.32b	1.58 ± 0.10b	1.73 ± 0.08b	1.78 ± 0.03b	1.89 ± 0.13ab	2.14 ± 0.17a
Na (mg/kg)	106.67 ± 16.26ab	116.67 ± 9.87ab	127.33 ± 10.51a	90.67 ± 12.50bc	118.67 ± 15.31a	68.00 ± 13.53c
Ca (mg/kg)	74.33 ± 28.75c	96.67 ± 24.95ab	106.67 ± 8.02a	79.00 ± 20.66bc	82.33 ± 18.15bc	77.33 ± 15.31bc
Mg (mg/kg)	175.33 ± 24.58a	156.00 ± 7.55a	161.67 ± 1.15a	171.00 ± 3.00a	177.67 ± 11.59a	166.00 ± 23.52a
Cr (mg/kg)	0.44 ± 0.06a	0.48 ± 0.09a	0.27 ± 0.08b	0.49 ± 0.08a	0.20 ± 0.07b	0.50 ± 0.07a
Pb (μg/kg)	28.53 ± 7.60b	43.19 ± 3.59b	37.61 ± 9.84b	66.90 ± 16.25a	65.49 ± 10.89a	30.87 ± 5.15b
Cd (μg/kg)	30.20 ± 7.40b	28.10 ± 0.80b	43.90 ± 15.50ab	33.70 ± 1.90ab	51.50 ± 11.80a	46.80 ± 9.20ab
As (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Co (μg/kg)	39.30 ± 9.70b	44.30 ± 10.10b	56.70 ± 12.90a	42.30 ± 10.00b	40.00 ± 5.00b	40.70 ± 7.20b
Cs (μg/kg)	5.90 ± 2.20b	6.00 ± 1.20b	10.90 ± 1.20a	5.70 ± 0.50b	6.50 ± 2.30b	4.60 ± 1.80b
Sn (μg/kg)	15.74 ± 1.58c	28.47 ± 5.49a	16.94 ± 0.69bc	27.33 ± 9.55ab	23.19 ± 8.25abc	13.54 ± 4.10c
Se (μg/kg)	76.76 ± 6.39bc	54.21 ± 13.79d	102.41 ± 2.15a	78.65 ± 14.24bc	94.99 ± 8.40ab	74.08 ± 6.07c
B (mg/kg)	2.61 ± 0.13ab	2.12 ± 0.23c	2.80 ± 0.38a	2.03 ± 0.06c	2.52 ± 0.04ab	2.37 ± 0.03bc

CK、Zn1、Zn2、Zn3、Zn4、Zn5 见图1注。同一行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。ND 代表未检出。

2.3.2 锌肥不同施用量对大蒜中 Cu、Pb、Cd、Cr、As 等元素含量的影响 大蒜中 Cu 含量以施锌肥 80.0 kg/hm²(Zn5)处理最低,施锌肥 5.0 kg/hm²(Zn1)处

理最高,但各处理间差异不显著($P>0.05$)(表1)。

大蒜中 Pb 含量以 CK 处理最低,施锌肥 20.0 kg/hm²(Zn3)处理最高。施锌肥 20.0 kg/hm²(Zn3)

表 2 大蒜中锌含量与其他元素含量的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between zinc concentration and other elements concentrations in garlic

	Zn	Cu	Fe	Mn	K	Na	Ca	Mg	P	Cr	Pb	Cd	Co	Cs	Sn	Se	B
Zn	1.000																
Cu	-0.253	1.000															
Fe	0.384	0.149	1.000														
Mn	-0.095	-0.158	-0.394	1.000													
K	0.559*	0.034	0.099	-0.224	1.000												
Na	-0.393	0.172	-0.527*	0.207	-0.125	1.000											
Ca	-0.061	0.542*	-0.086	0.021	-0.355	0.375	1.000										
Mg	0.099	-0.065	-0.052	-0.062	0.359	0.028	-0.130	1.000									
P	0.693**	0.334	0.331	-0.070	0.632**	0.366	-0.412	0.520*	1.000								
Cr	0.055	-0.129	0.427	-0.342	-0.286	-0.626**	0.252	-0.162	0.137	1.000							
Pb	0.089	0.276	0.073	-0.300	0.305	0.092	0.176	0.118	-0.170	-0.442	1.000						
Cd	0.609**	0.261	-0.260	0.256	0.503*	0.212	0.069	0.042	0.299	-0.475*	0.083	1.000					
Co	0.010	0.101	-0.167	0.202	-0.410	0.300	0.817**	0.116	-0.320	-0.265	0.138	0.250	1.000				
Cs	-0.214	0.136	-0.239	0.637**	0.409	0.542*	0.486*	-0.104	-0.410	-0.558*	-0.070	0.195	0.585*	1.000			
Sn	-0.317	0.366	0.046	-0.231	-0.237	0.064	0.234	0.082	-0.370	-0.197	0.515*	-0.279	0.142	0.010	1.000		
Se	0.153	0.177	-0.075	0.185	0.337	0.110	0.241	0.066	0.096	-0.608**	0.294	0.389	0.390	0.471*	-0.129	1.000	
B	-0.064	-0.110	-0.494*	0.536*	0.027	0.378	0.141	0.199	0.077	-0.358	-0.360	0.421	0.345	0.535*	-0.389	0.561*	1.000

*、** 分别表示相关系数达 0.05 和 0.01 显著水平。

和 40.0 kg/hm² (Zn4) 处理大蒜中 Pb 含量显著高于其他处理 ($P<0.05$) (表 1)。

大蒜中 Cd 含量以施锌肥 5.0 kg/hm² (Zn1) 最低, 施锌肥 40.0 kg/hm² (Zn4) 处理最高。Zn4 处理大蒜中 Cd 含量较 CK 和 Zn1 处理显著增加 70.1% 和 83.0% ($P<0.05$) (表 1)。相关分析结果 (表 2) 表明, 大蒜中 Zn 与 Cd 呈显著正相关 ($r=0.609$, $P<0.05$) (表 1)。

大蒜中 Cr 含量以施锌肥 40.0 kg/hm² (Zn4) 处理最低, 施锌肥 80.0 kg/hm² (Zn5) 处理最高。Zn4 和 Zn2 处理大蒜中 Cr 含量较 CK、Zn1、Zn3、Zn5 处理显著降低 ($P<0.05$)。

2.3.3 锌肥不同施用量对大蒜中其他元素含量的影响 大蒜中 P 含量以施锌肥 5.0 kg/hm² (Zn1) 处理最低, 施锌肥 80.0 kg/hm² (Zn5) 处理最高。Zn5 处理大蒜中 P 含量较 CK、Zn1、Zn2 和 Zn3 处理分别显著增加 19.9%、35.4%、23.7% 和 20.2% ($P<0.05$) (表 1)。相关分析结果 (表 2) 表明, 大蒜中 Zn 与 P 含量呈显著正相关 ($r=0.693$, $P<0.01$)。

大蒜中 Ca 含量以施锌肥 10.0 kg/hm² (Zn2) 处理最高, Zn2 处理大蒜中 Ca 含量较 CK、Zn3、Zn4 和 Zn5 处理分别显著增加 43.5%、35.0%、29.6% 和

37.9% ($P<0.05$); 大蒜中 Na 含量以施锌肥 80.0 kg/hm² (Zn5) 处理最低, 显著低于 CK、Zn1、Zn2 和 Zn4 处理。大蒜中 Fe、Mn 和 Mg 含量, 各施锌肥处理与对照差异不显著 ($P>0.05$) (表 1)。

施锌肥 10.0 kg/hm² (Zn2) 处理大蒜中 B、Cs、Co 含量最高, 施锌肥 80.0 kg/hm² (Zn5) 处理大蒜中 Sn、Cs 含量最低; 施锌肥 20.0 kg/hm² (Zn3) 处理大蒜中 B 含量最低, CK 处理大蒜中 Co 含量最低 (表 1)。

3 讨论

Zn 作为植物必需的微量营养元素之一, 是植物体内多种酶的活性组分和激活剂, 参与植物生长素 (吲哚乙酸) 的合成, 在叶绿素合成、光合作用、呼吸作用、蛋白质合成及转运等过程中发挥重要作用, 还能促进植物生殖器官发育, 提高植物抗逆性^[14-15]。已有研究结果表明, 施用锌肥能提高作物光合特性, 增加产量^[16-19], 但锌肥施用过量也会造成减产^[16, 18, 20]。对于锌毒害敏感作物, 其土壤中锌毒害临界值为 27.2 mg/kg^[21]。本研究结果表明, 随着锌肥施用量的增加, 大蒜产量呈现先增加后降低的趋势, 施锌肥 10.0 kg/hm² (Zn2) 大蒜产量最高, 施

锌肥 80.0 kg/hm² (Zn5) 大蒜产量最低, 较不施锌肥对照 (CK) 降低 11%, 表明适量施锌肥能提高大蒜产量, 过量施用锌肥反而会降低大蒜产量。本试验土壤有效锌含量为 13.1 mg/kg, 为富锌土壤, 增施一定量的锌肥仍能提高大蒜产量, 这可能由于大蒜为耐锌较强的作物, 土壤中的有效锌含量没有达到产生毒害的临界值^[22]。

V_c 又名抗坏血酸, 是植物体内主要的抗氧化物质。它能提高人体内 SOD 酶的活性, 从而提高机体的免疫力, 对防癌和抗衰老具有重要的作用。蔬菜是人们日常获得 V_c 的主要来源, 增施锌肥能提高蔬菜的 V_c 含量^[23-24]。本研究结果也表明随着锌肥施用量的增加, 大蒜中 V_c 含量呈现增加的趋势, 说明增施锌肥, 能提高大蒜中 V_c 含量。

锌是多种酶的组分和活化剂, 是影响蛋白质合成最突出的微量元素。Kitagishi 等^[25]的研究发现, 缺锌将降低蛋白质合成, 其原因是由于缺锌降低了 RNA 和核糖体水平以及引起核糖体的变形, 合理的锌肥施用可以提高作物蛋白质含量。本研究结果表明, 施用适量锌肥能提高大蒜中蛋白质含量, 这同前人在大蒜上的研究结果^[11]基本一致。

增施锌肥可以显著提高作物体内锌含量^[26-28]。已有研究表明薤菜、小白菜体内锌含量与施锌量呈正相关, 随施锌量的增加, 在作物体内的锌呈极显著增加^[24, 28-30]。本研究结果也表明, 随着锌肥施用量的增加, 大蒜中 Zn 含量逐步增加, 且施锌肥 80.0 kg/hm² (Zn5) 处理大蒜中 Zn 含量显著高于其他施锌肥处理。

已有研究表明, 土壤中 Ca、Mg、Na 等交换性阳离子含量主要受土壤发生学影响, 只有长期施肥等人为干扰才能对土壤交换性能产生显著影响, 从而影响吸收作用^[31], 本研究结果表明, 不同锌肥施用量对大蒜中 Mg 含量无显著影响, 施锌肥 10.0 kg/hm² (Zn2) 处理大蒜中 Ca、Na 含量最高。

有研究结果表明高磷土壤施用锌肥能提高玉米各生育期植株和籽粒中 K 的含量, P 的含量则呈降低的趋势^[32]; 适量施锌肥能促进小麦对 K、P 的吸收, 施锌肥过多会抑制 K、P 的吸收^[33]; 也有研究结果表明基施不同水平的锌肥对玉米籽粒的 P、K 含量均无显著影响^[34]。说明锌肥对植物吸收 P、K 的影响可能与土壤肥力、作物种类及品种有关。本研究结果表明大蒜中 Zn 含量与 K、P 含量呈显著或极

显著正相关, 施用锌肥能促进大蒜对 K、P 的吸收。在正常情况下, 增施磷肥能提高多种作物体内锌的含量, 但当供磷水平超出作物需要时, 作物体内的锌含量将下降^[35], 磷锌拮抗作用只有在双方尤其是磷素营养不协调的情况下发生^[36]。本供试土壤磷含量中等偏低, 磷与锌表现为协同作用。增施钾肥对大蒜具有显著的增产效果^[37], 本供试土壤 K 含量偏低, 施锌肥促进了 K 的吸收。因此, 在锌肥施用的同时要注意磷、钾肥的配合施用, 以保证大蒜生长所需养分的平衡供应。

Zn 和 Cd 均位于元素周期表中同一主族, 二者具有相似的生物地球化学特征。二者在土壤-植物系统中有复杂的交互作用, 可以表现为拮抗、协同或独立。在番茄^[38]、生菜^[39]、小麦^[40]、油菜^[41]等作物上研究结果表明, 在 Cd 污染土壤中 Zn 与 Cd 表现拮抗作用, 施用 Zn 抑制作物对 Cd 的吸收。本研究中除施锌肥 5.0 kg/hm² (Zn1) 处理外其他施锌肥处理大蒜中 Cd 含量均高于对照, 施锌肥 40.0 kg/hm² (Zn4) 处理大蒜中 Cd 的含量显著高于对照, 且大蒜中 Zn 含量与 Cd 含量呈显著正相关, 表明施锌肥能促进大蒜对 Cd 的吸收, Zn 与 Cd 表现协同作用。因此, 在施用锌肥的同时, 还应考虑到重金属 Cd 的危害问题, 关注大蒜中 Cd 的积累。

总之, 适量施用锌肥, 能提高大蒜产量, 增加大蒜中 V_c 和蛋白质含量; 大蒜中 Zn 含量随锌肥施用量的加大而增加; 大蒜中 Zn 含量与 K、P 及 Cd 含量呈显著相关, 施锌肥可促进大蒜对 K、P 及 Cd 的吸收。从大蒜产量、品质、矿质元素含量等方面综合考虑, 本试验中以施锌肥 10.0 kg/hm² 为大蒜适宜的锌肥施用量。

参考文献:

- [1] MARSCHNER P, RENGEL Z. Nutrient cycling in terrestrial ecosystems[M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2007: 93-121.
- [2] ROBERT H, RALFR M. Physiological functions of mineral micro-nutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl) [J]. Plant Biology, 2009, 12 (3): 259-266.
- [3] LIN C W, CHANG H B, HUANG H J. Zinc induces mitogen-activated protein kinase activation mediated by reactive oxygen species in rice roots [J]. Plant Physiol Biochem, 2005, 43 (10): 963-968.
- [4] MARSCHNER P. Mineral nutrition of higher plants [M]. 3rd ed. London: Academic Press, 2012: 212-213.
- [5] 刘 铮. 我国土壤中锌含量的分布规律 [J]. 中国农业科学, 1994, 27(1): 30-37.

- [6] 唐近春. 全国土地资源保护和利用的概况与对策[C] // 中国土壤学会. 中国土壤学在前进. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [7] JIANG Y, LIANG W J, WEN D Z, et al. Spatial heterogeneity of DTPA-extractable zinc in cultivated soils induced by city pollution and land use[J]. *Science in China Series C: Life Sciences*, 2005, 48(1): 82-91.
- [8] JIANG Y, ZHANG Y G, ZHOU D, et al. Profile distribution of micronutrients in an aquic brown soil as affected by land use[J]. *Plant Soil and Environment*, 2009, 55(11): 468-476.
- [9] LI B Y, HUANG S M, WEI M B, et al. Dynamics of soil and grain micronutrients as affected by long-term fertilization in an aquic inceptisol[J]. *Pedosphere*, 2010, 20(6): 725-735.
- [10] 路 喆. 根外追施锌、硼、锰肥对兰州百合植株生长特性和鳞茎品质的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008.
- [11] 贾永华, 李晓龙, 牛锐敏, 等. 叶面喷锌对苹果叶片生长及产量品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(12): 218-220.
- [12] 杨凤娟, 刘世琦, 王秀峰, 等. 锌对大蒜生理生化指标及营养品质的影响[J]. *土壤肥料*, 2005(1): 35-38.
- [13] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [14] WU C Y, LU L L, YANG X E, et al. Uptake, translocation, and remobilization of zinc absorbed at different growth stages by rice genotypes of different Zn densities[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2010, 58(11): 6767-6773.
- [15] 肖焱波. 作物营养诊断与合理施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [16] 黄锦霞, 肖 迪, 段美洋, 等. 不同锌肥施用量对香稻产量和糙米香气含量的影响[J]. *华北农学报*, 2008, 23(增刊): 290-292.
- [17] 孙建华, 李志洪, 李 辛, 等. 高量施锌肥对玉米 Zn 吸收和积累及产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(4): 212-215.
- [18] 孙小龙, 王延明, 张春红, 等. 不同锌肥对旱作马铃薯植株锌的吸收、积累与分配的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(3): 72-78.
- [19] 孙君艳, 张 淮, 全胜利. 自然干旱条件下叶面喷施锌、铜肥对玉米叶绿素含量及光合特性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(9): 115-117.
- [20] 韩金玲, 杨 晴, 周印富, 等. 旱地施用锌肥对冬小麦干物质积累和产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2010, 30(2): 358-361.
- [21] 陈玉真, 王 果. 土壤锌对黄瓜幼苗的毒害效应及临界值研究[J]. *热带作物学报*, 2012, 33(11): 1960-1965.
- [22] 吴金桂, 宁运旺, 刘文龙, 等. 利用蔬菜奢侈吸收锌提高其营养价值的研究[J]. *江苏农业学报*, 1995, 11(1): 49-53.
- [23] 王 艳, 王景华, 许福明. 锌肥对日光温室西芹硝酸盐及营养品质研究[J]. *生态学报*, 2001, 21(4): 681-683.
- [24] 王彩霞, 张 文, 卢丽兰, 等. 不同浓度锌对蔬菜产量和品质的影响[J]. *热带作物学报*, 2014, 35(6): 1071-1075.
- [25] KITAGISHI K, OBATA H, KONDO T. Effect of zinc deficiency on 80S ribosome content of meristematic tissues of rice plant[J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 1987, 33(3): 423-429.
- [26] 郝明德, 魏孝荣, 党廷辉. 旱地长期施用锌肥对小麦吸锌及产量的影响[J]. *生态环境*, 2003, 12(1): 46-48.
- [27] CAKMAK I. Enrichment of fertilizers with zinc: an excellent investment for humanity and crop production in India[J]. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2009, 23(4): 281-289.
- [28] 曹玉贤, 田霄鸿, 杨习文, 等. 土施和喷施锌肥对冬小麦子粒锌含量及生物有效性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(6): 1394-1401.
- [29] 陆 艳, 陆申年, 顾明华. 施用锌肥对蔬菜含锌量及产量的影响[J]. *广西农业生物科学*, 2004, 23(4): 296-298.
- [30] 杜新民. 锌对小白菜产量和品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(11): 271-274.
- [31] JIANG Y, ZHANG Y G, LIANG W J, et al. Pedogenic and anthropogenic influence on calcium and magnesium behaviors in stagnic anthrosols[J]. *Pedosphere*, 2005, 15(3): 341-346.
- [32] 孙建华, 李志洪, 李 辛, 等. 高磷土壤施用锌肥对玉米氮磷钾吸收和积累的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2013(2): 80-84.
- [33] 韩金玲, 李雁鸣, 马春英, 等. 施锌对小麦开花后氮、磷、钾、锌积累和运转的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(3): 313-320.
- [34] 王健伟. 硒对旱地主要作物产量及矿质营养的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [35] 杨志敏, 郑绍建, 胡霭堂. 植物体内磷与重金属元素锌、镉交互作用的研究进展[J]. *植物营养与肥料学报*, 1999, 5(4): 366-376.
- [36] 买文选, 田霄鸿, 陆欣春, 等. 磷钾肥配施对冬小麦籽粒锌生物有效性的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(6): 1243-1249.
- [37] 李录久, 郭熙盛, 张青松, 等. 江淮丘陵区大蒜钾氮配施增产效应研究[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(2): 294-297.
- [38] 周 坤, 刘 俊, 徐卫红, 等. 外源锌对不同番茄品种抗氧化酶活性、镉积累及化学形态的影响[J]. *环境科学学报*, 2014, 34(6): 1592-1599.
- [39] 吕选忠, 宫象雷, 唐 勇. 叶面喷施锌或硒对生菜吸收镉的拮抗作用研究[J]. *土壤学报*, 2006, 43(5): 868-870.
- [40] HART J J, WELCH R M, NORVELL W A, et al. Zinc effects on cadmium accumulation and partitioning in near-isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium concentration[J]. *New Phytologist*, 2005, 167(2): 391-401.
- [41] 董如茵, 徐应明, 王 林, 等. 土施和喷施锌肥对镉低积累油菜吸收镉的影响[J]. *环境科学学报*, 2015, 35(8): 2589-2596.

(责任编辑: 王 妮)