

草莓叶面施硒对其重金属镉和铅积累的影响

张海英^{1,2}, 韩涛², 田磊⁴, 王有年^{3,*}

(¹北京林业大学林学院, 北京 100083; ²北京农学院食品科学系, 北京 102206; ³北京农学院植物科学系, 北京 102206; ⁴内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010020)

摘要: 以‘北农3号’草莓为试材, 以清水喷施为对照, 用 0.5、1.0、2.5、5.0、10.0 mg·L⁻¹ 浓度的亚硒酸钠进行叶面喷施, 定期采样进行硒、镉和铅和相关生理指标的动态监测, 研究叶面施硒后重金属镉和铅在草莓机体内的积累情况和草莓生理代谢机制的变化, 探明硒对镉和铅的互作效应。结果表明, 草莓在展叶期和盛花期对硒的吸收能力最强, 且施用 2.5 ~ 5.0 mg·L⁻¹ 适宜浓度硒后, 硒可通过清除膜脂过氧化产物丙二醛 (MDA), 保护细胞膜的完整性, 降低重金属离子的含量, 有效抑制草莓叶片和果实对重金属镉和铅的吸收, 证明叶面施硒不仅是草莓补硒的较好手段, 而且适宜浓度的硒可减少草莓对重金属镉和铅的吸收。

关键词: 草莓; 硒; 富集; 叶片; 果实; 重金属

中图分类号: S 668.4

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2011) 03-0409-08

Effects of Cadmium and Lead Accumulation in Strawberry Growing Period by Spraying Se-fertilizer to Leaves

ZHANG Hai-ying^{1,2}, HAN Tao², TIAN Lei⁴, and WANG You-nian^{3,*}

(¹College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; ²Department of Food Sciences, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; ³Department of Plant Science, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; ⁴Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010020, China)

Abstract: ‘Beinong 3’ strawberry was sprayed Se-fertilizer on leaves in different growing stages at the Na₂SeO₃ concentrations of 0, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0 and 10.0 mg·L⁻¹. The Se, Cd and Pb content and other physiological indexes of leaves were detected after Se-fertilizer was sprayed. Heavy metal cadmium (Cd) and lead (Pb) accumulation affected by spraying Se-fertilizer to strawberry leaves. The changes of metabolic mechanism of strawberries after exogenous selenium being sprayed, and the interactive effects of selenium and heavy metal was investigated. The research results show that the strawberry had the highest absorption capacity of Se in the leaf-expansion period and full opening flower period, and Se can slow down the damage of cell membrane integrity by removing malonaldehyde (MDA) accumulation of membrane lipid peroxidation. Further, the toxic action of heavy metals was reduced, and the deposition of Cd and Pb in the strawberry leaves and fruits was effectively controlled. This research shows

收稿日期: 2010-11-18; 修回日期: 2011-01-31

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30872029); 农产品加工及贮藏工程北京市重点建设学科项目 (PXM2009-014207-078172); 北京市委组织部优秀人才培养项目 (2009D005021000005); 北京市属高校人才强教深化计划项目 (PHR20090516); 植物抗逆的生理生态研究平台项目 (PXM2009-014207-79965)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: wynbua@126.com)

spraying Se-fertilizer to leaves is a sound method for supplementing selenium to the strawberries and suitable amount of selenium can alleviate the toxic action to the strawberry caused by heavy metal.

Key words: strawberry; selenium; accumulation; leaf; fruit; heavy metal

果品生产过程中重金属污染以镉(Cd)和铅(Pb)两种重金属污染最为严重(周建利和陈同斌, 2002)。研究发现, 重金属(如 Cd)可通过影响细胞质膜的透性来影响部分营养元素的吸收和积累, 导致果品中营养元素和成分的改变(柯庆明 等, 2008)。

Clarke 和 Brennan (1989)的研究表明, 随着土壤 Cd 含量的增加, 草莓叶片生长受到显著抑制。张金彪和黄维南(2000)研究发现, Cd 处理使草莓结果数量、果实质量、果实维生素 C 及矿质元素含量减少, 盆栽试验中 $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd 胁迫导致草莓叶肉和根细胞发生质壁分离, 细胞壁断裂变形, 使细胞膜透性和 K^+ 渗漏率增大。

董悦等(2009)研究发现, Pb 对果树的危害表现为叶绿素含量下降, 呼吸及光合作用受阻, 影响正常生长。Munzuroglu 和 Gur (2000)研究发现, Pb 抑制苹果花粉萌发和花粉管伸长。受重金属污染土壤生长的果品与其未受污染的相比, 可能有时候有毒物质含量可达土壤中有害物质含量的 3~6 倍(李想和张勇, 2008)。

Cd 和 Pb 是环境中的有毒物质, 在自然界中往往伴随存在。如何增强果品生产过程中对重金属污染土壤的修复能力, 已成为目前研究和探索的热点。Douchkov 等(2005)和 Delhaize 等(2003)研究分析, 利用转基因技术克隆耐重金属基因, 可提高作物对重金属的抗性与耐性, 利用转基因作物来富集重金属, 或合理选用重金属钝化剂, 增加土壤对重金属的吸附能力, 提高土壤对重金属的缓冲性, 从而可减少植物对重金属吸收。王春涛等(2004)研究发现, 外源钼能减轻重金属镉对苎草的毒害作用。

硒作为人体中一种重要的微量元素, 其对农产品中重金属的缓解机制也开始受到关注, 但主要以小麦、水稻、莴苣等方面研究较多(谭周磁 等, 2000; 吕选忠 等, 2006; 李春喜 等, 2007)。

作者以设施栽培的草莓为试材, 研究不同浓度外源硒对草莓叶和果中 Cd 和 Pb 蓄积量的影响, 以为富硒果品的生产和利用硒对重金属的拮抗作用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为草莓(*Fragaria ananassa*)‘北农3号’。田间试验于2008年8月—2009年2月和2009年8月—2010年2月在北京农学院东大地科研基地温室进行, 正常栽培管理。试验地有机质含量 $19.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效氮、磷、钾含量分别为 $100.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $27.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $150.86 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 土壤 pH 7.11, 镉含量为 $0.153 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 铅含量为 $28.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全硒 $79.67 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 无机硒 $74.84 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 为贫硒土壤。

1.2 叶面喷施亚硒酸钠

供试硒源为亚硒酸钠(Na_2SeO_3 , SIGMA)。设5个浓度(0.5、1.0、2.5、5.0和 $10.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)处理, 喷施等量清水作对照。每个重复小区4行(每行30株), 每处理设置3次重复, 完全随机区组排列。

草莓分别于2008年8月20日、2009年8月17日温室定植，缓苗后、展4 ~ 6片新叶时，即2008年9月28日、2009年9月20日开始进行硒肥叶面喷施，以后每间隔8 d喷施1次，于果实成熟前20 d左右停止。喷施程度以叶正反面均匀布满雾状水滴为度。

1.3 样品的采集与测定

于定植75 d后开始采样（表1），每株草莓均匀采取新叶2 ~ 3片，放入自封袋中，清洗淋干后，进行各项指标检测。

于定植145 d后选取果体饱满。果面3/4转红，大小均匀，无病虫害，无机械伤的成熟期果实采收，用于测定。

表 1 样品采集时间与生长期
Table 1 The sampling time and growing period of plant

采样时间 Sampling time		定植天数/d	生长期
2008	2009	Days of plantation	Growing period
11 - 04	11 - 01	75	展叶期 Leaf-expansion period
11 - 14	11 - 11	85	花前期 Pre-flowering period
11 - 24	11 - 21	95	盛花期 Full opening flower period
12 - 04	12 - 01	105	坐果期 Fruit-set period
12 - 24	12 - 21	125	果实膨大期 Fruit swelling period
01 - 14（下年 Next year）	01 - 01（下年 Next year）	145	果实成熟期 Fruit maturation period

土壤有机质、土壤pH、速效氮、磷、钾参照文献（徐秀华，2007）方法测定；有机硒含量通过差值法计算得出，硒的测定采用酸式消解—原子荧光光谱法（田磊 等，2010）；镉和铅的测定参照国家标准（GB/T5009.15-2003；GB/T5009.12-2003）进行；细胞膜渗出率采用电导法（李合生，1999）测定；丙二醛（MDA）含量采用硫代巴比妥酸法（李合生，1999）测定。

各项生理指标的测定均在农业部都市农业（北方）重点开放实验室和都市农业食品安全实验室完成。

数据为两年重复试验的平均值，应用数理统计分析软件SPSS进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 施用叶面硒肥后草莓叶片中有机硒含量的变化

从图 1 可以看出，喷施清水对照的草莓在生长发育过程中，叶中有机硒含量呈单峰曲线变化趋势，硒的吸收峰值出现在定植后 95 d（盛花期），有机硒含量达 1 617.14 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，与土壤背景值中硒含量（79.67 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）相比，草莓叶片中的硒含量为土壤中硒含量的 4.49 ~ 20.30 倍，说明草莓对硒具有一定的生物富集能力，且在盛花期富集量最高。

叶面喷施硒肥后，草莓叶片内有机硒含量明显增加，说明外源施硒可有效提高草莓叶中硒含量。

不同浓度硒肥表现出明显差异，其中 0.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 1.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理与对照相比叶片中有机硒含量都略有提升，但差异较小，而 2.5、5.0 和 10.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理后的草莓富硒效果表现明显（ $P < 0.01$ ），在整个生长发育期叶片中有机硒含量都较对照高，其中 10.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理效果最为明显。这表明随外源硒浓度的增加草莓叶片对硒的吸收能力也在增强。

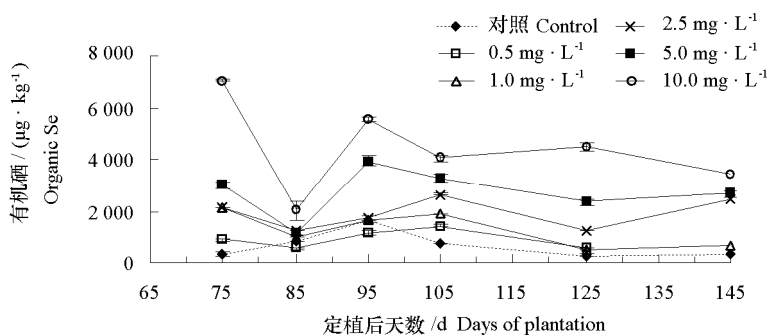


图 1 喷施不同浓度叶面硒肥草莓叶片中硒含量的变化

Fig. 1 Changes of selenium content in leaves of strawberry in different concentration Na_2SeO_3

2.2 施用叶面硒肥后草莓叶片中镉含量的变化

如图 2 所示, 草莓叶中镉含量随生长期的延长呈现逐渐积累的态势; 喷施外源硒肥后, 草莓叶中镉含量明显下降, 说明外源硒可有效减轻草莓叶中镉的蓄积; 不同浓度硒处理也表现出明显差异, 其中 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理抑制效果最为显著 ($P < 0.01$), 不同生长时期镉含量较对照减少了 $10.20\% \sim 94.65\%$ 。而 0.5 、 1.0 和 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理效果表现其次, $10.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理与对照相比, 在生长前期表现抑制效应, 但在生长后期却表现出促进镉积累的趋势。这表明草莓施用外源硒可有效控制镉的积累, $5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理抑制效果最为明显。

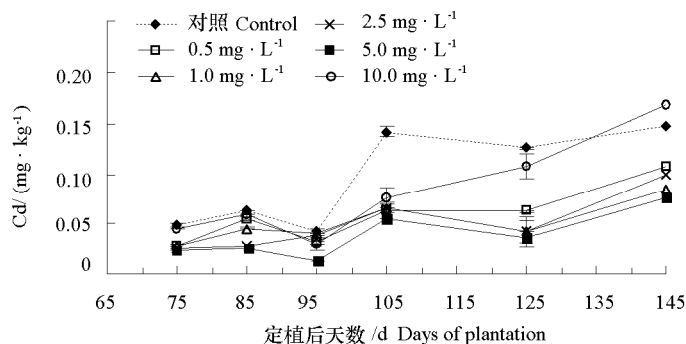


图 2 喷施不同浓度叶面硒肥草莓叶片中镉含量的变化

Fig. 2 Changes of Cd content in leaves of strawberry in different concentration Na_2SeO_3

2.3 施用叶面硒肥后草莓叶片中铅含量的变化

从图 3 可以看出铅含量呈现先增加后下降的变化趋势, 无积累现象; 施硒处理后, 草莓叶中铅含量明显降低, 说明硒有抑制铅吸收的效应; 不同硒浓度处理后抑制效果不同, $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理抑制效果最为显著 ($P < 0.01$), 铅含量在不同生长期较对照降低 $38.86\% \sim 76.80\%$ 。这表明草莓施用外源硒可有效控制铅的吸收, 但硒浓度对抑制效果起到关键作用, 中等浓度即 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理抑制效果最为明显, 其次为 0.5 和 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度, 而较大浓度即 5.0 和 $10.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒处理抑制草莓铅吸收的效果较差。

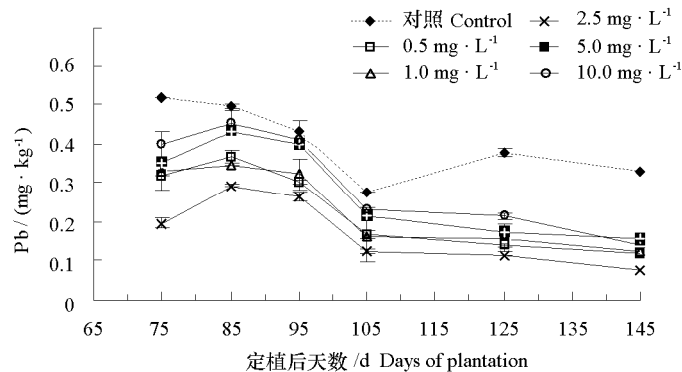


图 3 喷施不同浓度叶面硒肥草莓叶片中铅含量的变化

Fig. 3 Changes of Pb content in leaves of strawberry in different concentration Na_2SeO_3

2.4 施用叶面硒肥后草莓叶片中丙二醛含量的变化

喷施不同浓度硒肥后, 草莓生长中后期开始 MDA 含量表现出比对照减少的趋势; 且不同浓度处理间存在明显差异。中等浓度 $2.5 \sim 5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理抑制 MDA 积累最为明显, 其次为低浓度 $0.5 \sim 1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最后是高浓度 $10.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒处理; $2.5 \sim 5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒处理与对照相比 MDA 含量减少了 $18.48\% \sim 86.76\%$, 差异达极显著 ($P < 0.01$), 而低浓度 $0.5 \sim 1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒处理减少了 $1.95\% \sim 59.36\%$, $10.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒处理减少的幅度仅为 $18.40\% \sim 46.10\%$ (图 4)。表明草莓中 MDA 含量并不是随着硒水平升高而显著降低, 在草莓上抑制 MDA 积累的最佳的硒处理浓度应该是中等硒浓度水平, 即 $2.5 \sim 5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 其次为 $0.5 \sim 1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 水平, 而高浓度硒反而对草莓叶片 MDA 的清除效果不如中、低浓度效果明显。

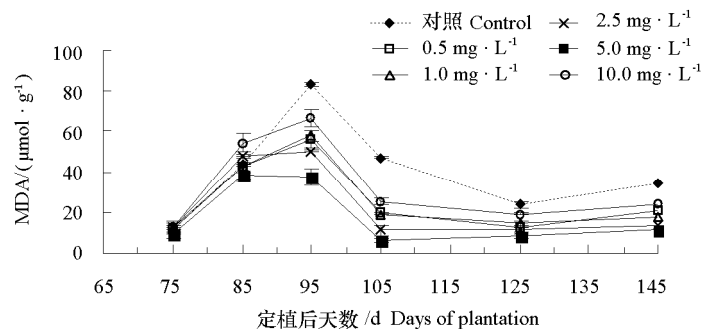


图 4 喷施不同浓度叶面硒肥草莓叶片中丙二醛含量的变化

Fig. 4 Changes of MDA content in leaves of strawberry in different concentration Na_2SeO_3

2.5 施用叶面硒肥后草莓叶片细胞膜渗透率的变化

细胞膜是细胞和环境之间的界面和屏障, 各种不良环境对细胞的影响往往首先作用于生物膜(江行玉和赵可夫, 2001)。电导率反映了电解质外渗的程度, 其值越高, 表明质膜系统受损害的程度越大。试验结果(图 5)表明, 叶面喷施不同浓度的硒肥可降低电解质外渗率; 不同浓度硒降低电解质外渗率效果不同, 经 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理后与对照相比明显降低 ($P < 0.05$), 0.5 、 1.0 和 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理在定植 95 d 后也明显降低, 但不如 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理效果显著, $10.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒浓度处理后, 在定植 95 d 后有降低, 但无显著差异。这说明, 外源硒可有效保持细胞完整性, 防

止细胞质外渗，从而保护细胞膜结构不被破坏。

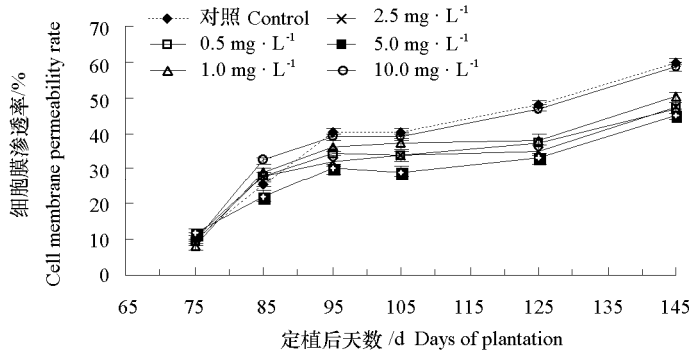


图 5 喷施不同浓度叶面硒肥草莓叶片中细胞膜渗透率的变化
Fig. 5 Changes of cell membrane permeability rate in leaves of strewberry in different concentration Na₂SeO₃

2.6 草莓施用叶面硒肥后果实中有机硒、镉和铅含量的变化

由表 2 可知，叶面施用不同剂量硒肥可使果实有机硒含量增加，各浓度处理效果由高到低为：10.0 mg · L⁻¹ > 5.0 mg · L⁻¹ > 2.5 mg · L⁻¹ > 1.0 mg · L⁻¹ > 0.5 mg · L⁻¹ > 对照，果实中有机硒含量比对照增加了 1.98 ~ 22.30 倍，有机硒最高含量达 136.72 μg · kg⁻¹，除 0.5 mg · L⁻¹ 硒处理与对照无显著差异外，其它处理均与对照差异显著 ($P < 0.01$)。且果实中有机硒积累量与外源硒浓度呈指数正相关（相关指数方程为： $y = 9.937e^{0.278x}$ ， $R^2 = 0.921$ ）。

从表 2 中还可以看出，叶面施硒后可减少果实内重金属镉（Cd）和铅（Pb）积累，各浓度处理抑制镉蓄积效果排序为：5.0 mg · L⁻¹ > 2.5 mg · L⁻¹ > 1.0 mg · L⁻¹ > 0.5 mg · L⁻¹ > 对照 > 10.0 mg · L⁻¹，其中 5.0 mg · L⁻¹ 硒浓度可减少镉 18.33%，而高浓度 10.0 mg · L⁻¹ 硒处理却没有起到减少镉蓄积的作用。各浓度处理抑制铅蓄积效果为：2.5 mg · L⁻¹ > 1.0 mg · L⁻¹ > 0.5 mg · L⁻¹ > 5.0 mg · L⁻¹ > 10.0 mg · L⁻¹ > 对照，其中 2.5 mg · L⁻¹ 浓度硒处理可减少铅 77.71%。说明叶面喷施适宜浓度硒肥可以有效抑制重金属镉和铅在果实内的蓄积。

表 2 不同浓度硒处理后草莓果实中有机硒、镉和铅含量
Table 2 Organic Se, Cd, Pb content in fruits in different concentration Na₂SeO₃ / (μg · kg⁻¹)

Na ₂ SeO ₃ / (mg · L ⁻¹)	有机硒 Organic Se	镉 Cd	铅 Pb
0 (对照 Control)	6.13	1.20	8.66
0.5	12.15	0.92*	2.78*
1.0	13.70*	0.80*	2.43*
2.5	31.40*	0.75*	1.93*
5.0	44.01*	0.50*	3.70*
10.0	136.72*	1.26	4.29*

注：数据为 3 次重复的平均值；*表示经 *t*-test 在 $\alpha = 0.01$ 水平上显著差异。
Note: Data are the mean of three replicates. * Mean separation according to the *t*-test, 1% level.

3 讨论与结论

硒是人和动物必需的微量元素，是一种免疫功能增强剂（朱善良，2004），硒对镉、铅等重金属具有拮抗作用，在一定程度上能够缓解重金属对植物的毒害（郁飞燕 等，2008）。本研究表明，通过叶面喷施适宜浓度硒肥，草莓叶片和果实中的重金属镉和铅的蓄积都得到明显抑制。但不同作物或同一作物在不同时期所需硒的浓度有所差异，硒在最适宜的浓度下才能发挥正向效应，不适宜浓

度下则起抑制作用,即硒在生物体内具有双重性(荀黎红和吴丛雅,2005a,2005b)。作者研究发现,硒缓解镉和铅在草莓植株内的蓄积最适浓度为 $2.5 \sim 5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,其表现是通过清除与细胞膜完整性密切相关的膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)保护膜系统的完整度,从而减少对重金属离子的吸收和积累。这说明施硒对草莓细胞膜有明显的影响,当施适量硒肥时,有利于促进草莓植株和果实细胞膜的稳定性,但较高或过低的硒肥则不利于这种稳定性的维持,其机理可能是当亚硒酸钠质量浓度达到一定限度时,反而对其造成毒害,对细胞膜的结构造成破坏,影响细胞膜的稳定性。

综上所述,得出以下结论:

1. 草莓不同生长发育时期叶片吸收硒的能力不同,展叶期和盛花期对硒的积累量最高,这两个时期也是草莓栽培期间叶面喷施硒肥的关键时期。果实中有机硒含量与叶面施硒的浓度呈指数正相关。

2. 草莓叶面喷施用适宜浓度的硒肥,即 $2.5 \sim 5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硒在提高草莓硒含量的同时,降低 Cd 和 Pb 的含量,说明适宜含量的硒可对重金属 Cd 和 Pb 产生拮抗。

References

- Clarke B B, Brennan E. 1989. Differential cadmium accumulation and phytotoxicity in sixteen cultivars. *Air Waste Management Association*, 39: 1319 - 1322.
- Delhaize E, Kataoka T, Hebb D M, White R G, Ryan P R. 2003. Genes encoding proteins of the cation diffusion facilitator family that confer manganese tolerance. *Plant Cell*, 15: 1131 - 1142.
- Determination of cadmium in foods. GB/T 5009.15-2003. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- 食品中镉的测定. GB/T 5009.15-2003. 北京: 中国标准出版社.
- Determination of lead in foods. GB/T 5009.12-2003. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- 食品中铅的测定. GB/T 5009.12-2003. 北京: 中国标准出版社.
- Dong Yue, Liu Xiao-qun, Li Cui-lan, Yu Dong-hai, Zhang Shi-yong. 2009. The progress of research on heavy metal pollution in soil. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 4: 143 - 145. (in Chinese)
- 董悦, 刘晓群, 李翠兰, 于东海, 张士勇. 2009. 土壤重金属污染研究进展. *现代农业科技*, 4: 143 - 145.
- Douchkov D, Gryczka C, Stephan U W, Hell R, Baumlein H. 2005. Ectopic expression of nicotianamine synthase genes results in improved iron accumulation and increased nickel tolerance in transgenic tobacco. *Plant Cell and Environment*, 28: 365 - 374.
- Jiang Xing-yu, Zhao Ke-fu. 2001. Mechanism of heavy metal injury and resistance of plants. *Chin J Appl Environ Biol*, 7 (1): 92 - 99. (in Chinese)
- 江行玉, 赵可夫. 2001. 植物重金属伤害及其抗性机理. *应用与环境生物学报*, 7 (1): 92 - 99.
- Ke Qing-ming, Zheng Long, Fang Jia-long. 2008. Recent advances and future prospects on heavy metal pollution on vegetables. *Jilin Vegetables*, (3): 79 - 81. (in Chinese)
- 柯庆明, 郑龙, 方加龙. 2008. 蔬菜重金属污染研究现状与展望. *吉林蔬菜*, (3): 79 - 81.
- Li Chun-xi, Hao Bao-zhen, Jiang Li-na, Shao Yun, Hou Fei. 2007. Research advances about the physiological functions and absorption and accumulation of selenium during growth and development of wheat. *Anhui Agri Sci*, 35 (13): 3811 - 3814. (in Chinese)
- 李春喜, 蒿宝珍, 姜丽娜, 邵云, 侯飞. 2007. 小麦生长发育过程中硒的研究进展. *安徽农业科学*, 35 (13): 3811 - 3814.
- Li He-sheng. 1999. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)
- 李合生. 1999. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社.
- Li Xiang, Zhang Yong. 2008. The status and general laws of heavy metal pollution of vegetables and farm soil in China. *Sichuan Environment*, 27 (2): 94 - 97. (in Chinese)
- 李想, 张勇. 2008. 我国蔬菜和蔬菜种植土壤的重金属污染现状与一般规律. *四川环境*, 27 (2): 94 - 97.
- Lü Xuan-zhong, Gong Xiang-lei, Tang Yong. 2006. Antagonistic effect of foliar application of Se or Zn on absorption of Cd in lettuce. *Acta Pedologica Sinica*, 43 (5): 868 - 870. (in Chinese)
- 吕选忠, 宫象雷, 唐勇. 2006. 叶面喷施锌或硒对生菜吸收镉的拮抗作用研究. *土壤学报*, 43 (5): 868 - 870.

- Munzuroglu O, Gur N. 2000. The effects of heavy metals on the pollen germination and pollen tube growth of apples (*Malus sylvestris* Miller cv. Gloden). Turkish J Bio, 24: 667 - 684.
- Tan Zhou-ci, Chen Jia-qin, Xue Hai-xia. 2000. Studies on the pole of selenium (Se) in decreasing Pb, Cd and Cr pollution to rice. Acta Sci Nat Univ Norm Hunan, 23 (3): 80 - 83. (in Chinese)
- 谭周磁, 陈嘉勤, 薛海霞. 2000. 硒 (Se) 对降低水稻重金属 Pb, Cd, Cr 污染的研究. 湖南师范大学自然科学学报, 23 (3): 80 - 83.
- Tian Lei, Li Xiao-yan, Zhang Hai-ying. 2010. Determination of selenium in three fruits by graphite furnace digestion-atomic fluorescence spectrometry. China Fruits, (1): 41 - 44. (in Chinese)
- 田 磊, 李晓燕, 张海英. 2010. 酸式消解—原子荧光光度法测定 3 种水果中的硒含量. 中国果树, (1): 41 - 44.
- Wang Chun-tao, Shi Guo-xin, Xu Qin-song, Wu Xiao-yan, Wang Xue, Hu Jin-chao, Ma Guang-yue. 2004. Toxic effect of Cd^{2+} on *Potamogeton crispus* alleviated by exogenous Nd^{3+} . Journal of the Chinese Rare Earth Society, 22 (6): 821 - 824. (in Chinese)
- 王春涛, 施国新, 徐勤松, 武晓燕, 王 学, 胡金朝, 马广岳. 2004. 外源钕减轻了重金属镉对菹草的毒害作用. 中国稀土学报, 22 (6): 821 - 824.
- Xu Xiu-hua. 2007. Soil and Fertilizer. Beijing: Chinese Agricultural University Press. (in Chinese)
- 徐秀华. 2007. 土壤肥料. 北京: 中国农业大学出版社.
- Xun Li-hong, Wu Cong-ya. 2005a. Deficient selenium could leading to diseases. Foreign Medical Sciences: Section of Medgeography, 26 (1): 4 - 7. (in Chinese)
- 荀黎红, 吴丛雅. 2005a. 低硒与疾病. 国外医学医学地理分册, 26 (1): 4 - 7.
- Xun Li-hong, Wu Cong-ya. 2005b. The advance of relationship between excessiveselen-umanddisease. Foreign Medical Sciences: Section of Medgeography, 26 (3): 106 - 108. (in Chinese)
- 荀黎红, 吴丛雅. 2005b. 高硒与疾病关系的研究进展. 国外医学医学地理分册, 26 (1): 106 - 108.
- Yu Fei-yan, Kou Tai-ji, Zhang Lian-he, Miao Yan-fang. 2008. Effect of selenium on plant physiological function. Journal of Anhui Agri Sci, 36 (26): 11202 - 11204. (in Chinese)
- 郁飞燕, 寇太记, 张联合, 苗艳芳. 2008. 硒对植物生理功能影响的研究进展. 安徽农业科学, 36 (26): 11202 - 11204.
- Zhang Jin-biao, Huang Wei-nan. 2000. Advances on physiological and ecological effects of cadmium on plants. Acta Ecologica Sinica, 20 (3): 514 - 523. (in Chinese)
- 张金彪, 黄维南. 2000. 镉对植物的生理生态效应的研究进展. 生态学报, 20 (3): 514 - 523.
- Zhou Jian-li, Chen Tong-bin. 2002. Situation and prospect of research on heavy metal pollution in vegetables and soils for vegetable cultivation in urban areas of China. Journal of Hubei Agricultural College, 5 (22): 476 - 480. (in Chinese)
- 周建利, 陈同斌. 2002. 我国城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染研究现状与展望. 湖北农学院学报, 5 (22): 476 - 480.
- Zhu Shan-liang. 2004. Research progress on biological roles of selenium. Bulletin of Biology, 39 (6): 6 - 8. (in Chinese)
- 朱善良. 2004. 硒的生物学作用及其研究进展. 生物学通报, 39 (6): 6 - 8.