

doi: 10.19928/j.cnki.1000-6346.2021.1002

# 不同施硒方式对叶用莴苣产量、含硒量和硒转化率的影响

袁伟玲<sup>1, 2</sup> 刘志雄<sup>1</sup> 吴金平<sup>1</sup> 殷红清<sup>3</sup> 陈磊夫<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>湖北省农业科学院经济作物研究所, 湖北武汉 430064; <sup>2</sup>武汉中农南方科技有限公司, 湖北武汉 430000; <sup>3</sup>恩施土家族苗族自治州农业科学院, 湖北恩施 445000)

**摘要:** 以土壤施硒  $0.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  添加外源硒, 4 个叶用莴苣品种含硒量为: 芳妮 > 罗莎绿 > 奶油红 > 橡叶红。以芳妮为研究对象, 以土壤施硒 (0、0.02、0.2、2、20  $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )、叶面施硒 (0、50、100、200  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 和硒浸种 (0、50、100  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 3 种方式添加外源硒, 研究不同施硒方式对叶用莴苣产量、品质、含硒量和硒转化率的影响。结果表明, 随着外源硒浓度的增加, 叶用莴苣的产量先升后降, 总硒含量则显著增加, 硒转化率也表现为先升后降, 但均在 80% 以上; 综合比较土壤施硒、叶面施硒和硒浸种对叶用莴苣产量、含硒量和硒转化率的影响, 推荐叶面喷施硒  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  为叶用莴苣最佳的添加外源硒方式和施硒量。

**关键词:** 叶用莴苣; 含硒量; 产量; 硒转化率

硒是人体不可缺少的微量元素, 对人体健康至关重要 (汤超华 等, 2019)。据统计, 全球有近 10 亿人缺硒, 我国约 72% 的土壤存在缺硒或低硒, 其中 30% 严重缺硒 (Chen et al., 2010)。由于无机硒不易被人体吸收, 易对人体造成毒害, 因此通常在植物生长过程中添加外源无机硒, 无机硒经植物吸收代谢转化为有机硒积累至可食部分, 通过食物链供人体吸收利用 (彭琴 等, 2017)。蔬菜可以将无机硒转化为有机硒, 长期食用富硒蔬菜可以满足人体对硒的需求, 达到预防和治病的目的 (Emese et al., 2009; 殷金岩 等, 2015; 黄雪梅 等, 2018)。

一般来说, 添加外源硒的方式有土壤施硒、叶面施硒和硒浸种 3 种方式, 这些方式均能有效提高蔬菜硒含量 (史衍玺 等, 1998; 王永勤 等, 2001; 张雯和耿增超, 2012), 但这 3 种方式施硒后, 因

蔬菜对硒吸收转运途径不同, 其转化效率是否存在差异, 哪一种途径转化效率更高尚不清楚, 制约了人们选择合适手段提高蔬菜硒含量。叶用莴苣又名生菜, 属菊科莴苣属作物, 生长快、周期短、食用方便, 在我国广泛种植, 深受大众喜爱。本试验拟通过土壤施硒, 筛选出富硒能力较强的叶用莴苣品种; 同时比较土壤施硒、叶面施硒和硒浸种 3 种施硒方式对叶用莴苣产量、品质、含硒量和硒转化率的影响, 明确叶用莴苣最佳施硒方式和施硒量, 为富硒蔬菜开发利用提供理论依据和技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试叶用莴苣品种为芳妮、罗莎绿、奶油红、橡叶红, 由北京鼎丰现代农业发展有限公司提供。外源硒供体为亚硒酸钠 ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ )。

### 1.2 试验设计

试验于 2019 年春季和秋季在湖北省农业科学院蔬菜试验基地进行。试验地土壤为红壤, 土壤理化特性为: 有机质  $25.41 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全氮  $1.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效氮  $139.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效磷  $62 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效钾  $136 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 土壤总硒含量为  $0.116 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

袁伟玲, 博士, 副研究员, 专业方向: 蔬菜营养富集栽培研究, E-mail: ywling2012@126.com

\* 通信作者 (Corresponding author): 陈磊夫, 博士, 副研究员, 专业方向: 蔬菜健康栽培研究, E-mail: 40286477@qq.com

收稿日期: 2020-05-13; 接受日期: 2020-07-08

基金项目: 湖北省科技创新专项重大项目 (2019ABA111), 湖北省创新中心项目 (2019-620-000-001-07), 武汉市第五批黄鹤英才计划项目

kg<sup>-1</sup>, 有效硒含量 0.012 mg · kg<sup>-1</sup>, pH 5.7。试验地前茬作物为萝卜, 基肥施用 750 kg · hm<sup>-2</sup> 复合肥 (N-P-K 为 15-15-15) 和 3 000 kg · hm<sup>-2</sup> 商品有机肥。2019 年春季 2 月中下旬播种, 4 月上旬收获; 秋季 9 月中下旬播种, 11 月上旬收获, 按常规管理。

不同叶用莴苣品种吸硒特性研究: 以芳妮、罗莎绿、橡叶红、奶油红为供试材料, 设置 2 个土壤施硒浓度处理: 0、0.2 g · m<sup>-2</sup>, 小区面积 20 m<sup>2</sup>, 3 次重复。在叶用莴苣移栽前, 将 Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 溶于水, 喷施在定植穴土壤周围。

施硒方式研究: 2019 年春季和秋季以芳妮为供试材料, 采用土壤施硒、叶面施硒和硒浸种 3 种方式添加外源硒。土壤施硒设置 5 个硒处理, 0、0.02、0.2、2、20 g · m<sup>-2</sup>; 叶面施硒设置 4 个硒处理, 0、50、100、200 mg · kg<sup>-1</sup>; 硒浸种设置 3 个硒处理, 0、50、100 mg · kg<sup>-1</sup>。小区面积 12 m<sup>2</sup>, 3 次重复。土壤施硒是在定植前, 将硒溶于水喷施在定植穴土壤周围。叶面施硒于采收前 1 个月叶面喷施。硒浸种处理于播种前浸种 12 h。3 种方式均以清水为

对照。

### 1.3 小区测产

叶用莴苣采收期, 每小区按 8 m<sup>2</sup> 进行采样测产。

### 1.4 植株样品含硒量的测定

叶用莴苣采收期, 土壤施硒、叶面施硒、硒浸种 3 种方式, 每个处理采样 10 株, 依次用自来水、蒸馏水洗涤干净, 吸水纸吸干水分, 70 °C 烘至恒重, 按照万亚男等 (2017) 的方法测定干样品总硒含量。

有机硒含量 = 总硒含量 - 无机硒含量

硒转化率 = 有机硒含量 / 总硒含量 × 100%

## 2 结果与分析

### 2.1 不同叶用莴苣品种的硒吸收特性

由表 1 可以看出, 对照的 4 个叶用莴苣品种含硒量差异不显著; 土壤添加 0.2 g · m<sup>-2</sup> 的硒后, 4 个叶用莴苣品种含硒量为: 芳妮 > 罗莎绿 > 奶油红 > 橡叶红, 奶油红和橡叶红含硒量无显著差异。与对照相比, 施硒处理后芳妮的含硒量增加了

表 1 不同叶用莴苣品种的含硒量

mg · kg<sup>-1</sup>

Se/g · m <sup>-2</sup>	芳妮	罗莎绿	奶油红	橡叶红
0 (CK)	0.069 ± 0.002 a	0.065 ± 0.002 a	0.064 ± 0.002 a	0.064 ± 0.002 a
0.2	8.054 ± 0.045 a	7.199 ± 0.176 b	6.835 ± 0.002 c	6.832 ± 0.002 c

注: 表中同行数据后相同小写字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

115.7 倍, 罗莎绿增加 109.8 倍, 奶油红增加 105.8 倍, 橡叶红增加 105.8 倍。

### 2.2 施硒对叶用莴苣产量的影响

土壤施硒、叶面施硒和硒浸种 3 种方式添加

外源硒对叶用莴苣产量均表现出较显著的影响 (表 2)。硒对叶用莴苣的产量影响存在剂量效应, 适量硒浓度可以增加叶用莴苣产量, 但过量硒对叶用莴苣产量产生一定的抑制作用。表 2 结果表明, 叶

表 2 施硒对叶用莴苣产量和总硒含量的影响

处理		产量/kg · 株 <sup>-1</sup>			总硒/mg · kg <sup>-1</sup>		
		2019 年春	2019 年秋	平均	2019 年春	2019 年秋	平均
叶面施硒 /mg · kg <sup>-1</sup>	0 (CK)	1.24 b	1.71 b	1.48	0.077 d	0.076 d	0.077
	50	1.39 a	1.86 a	1.63	6.875 c	7.748 c	7.312
	100	1.30 b	1.70 b	1.50	16.678 b	13.574 b	15.126
	200	1.18 c	1.45 c	1.32	22.231 a	25.038 a	23.635
硒浸种 /mg · kg <sup>-1</sup>	0 (CK)	1.17 b	1.19 b	1.18	0.074 c	0.075 c	0.075
	50	1.31 a	1.39 a	1.35	0.549 b	0.484 b	0.517
	100	1.03 c	1.03 c	1.03	3.240 a	3.425 a	3.333
土壤施硒 /g · m <sup>-2</sup>	0 (CK)	1.19 b	1.47 c	1.33	0.076 e	0.076 e	0.076
	0.02	1.34 a	1.81 a	1.58	6.921 d	7.237 d	7.079
	0.2	1.11 b	1.60 b	1.36	68.000 c	73.030 c	70.515
	2	0.96 c	1.33 d	1.15	98.754 b	102.248 b	100.501
	20	0.91 c	1.11 e	1.01	138.816 a	145.461 a	142.139

注: 表中同列数据后相同小写字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 下表同。

面喷施 50 mg · kg<sup>-1</sup> 硒时叶用莴苣产量显著高于对照和其他处理, 200 mg · kg<sup>-1</sup> 硒喷施处理的叶用莴苣产量显著低于对照; 叶面施硒不同季节间产量表现出差异, 可能是由于气候因素的影响。100 mg · kg<sup>-1</sup> 硒浸种处理, 叶用莴苣产量显著低于对照, 可能是因为硒浓度过高, 对叶用莴苣根芽产生毒害, 影响叶用莴苣后期生长。土壤施硒处理中, 当硒浓度为 2、20 g · m<sup>-2</sup> 时, 叶用莴苣产量显著低于对照。

### 2.3 施硒对叶用莴苣总硒含量的影响

从表 2 可以看出, 土壤施硒、叶面施硒和硒浸种 3 种方式添加外源硒, 随着施硒浓度的增加, 叶用莴苣总硒含量均显著增加。与对照相比, 叶面喷施 50、100、200 mg · kg<sup>-1</sup> 后, 叶用莴苣总硒含量分别提高 93.96、195.44 倍和 305.95 倍。与对照相比, 50、100 mg · kg<sup>-1</sup> 硒浸种处理的叶用莴苣总硒

含量分别提高 5.89 倍和 43.44 倍。0.02、0.2、2、20 g · m<sup>-2</sup> 土壤施硒处理的叶用莴苣总硒含量分别比对照提高 92.14、926.82、1 321.38、1 869.25 倍。

### 2.4 施硒对叶用莴苣硒转化率的影响

叶用莴苣吸收硒的形态以有机硒为主。随着外源硒施用浓度的提高, 叶用莴苣有机硒含量均显著增加, 但有机硒转化率表现出先升高后下降的趋势, 各处理有机硒转化率均在 80% 以上 (表 3)。由表 2 和表 3 可以看出, 叶面施硒和土壤施硒方式下, 添加适宜的硒可促进叶用莴苣生长, 提高产量, 但当添加的外源硒超过一定量后, 产量降低, 硒转化率降低, 这可能是添加硒的量过大引起中毒造成的。硒浸种处理, 当硒浓度为 100 mg · kg<sup>-1</sup> 时叶用莴苣产量下降, 但有机硒转化率下降不显著, 其原因可能是 100 mg · kg<sup>-1</sup> 已达到叶用莴苣中毒剂量,

表 3 叶用莴苣中硒的形态分析

处理		总硒/mg · kg <sup>-1</sup>	有机硒/mg · kg <sup>-1</sup>	无机硒/mg · kg <sup>-1</sup>	硒转化率/%
叶面施硒/mg · kg <sup>-1</sup>	0 (CK)	0.077 d	0.075 d	0.002 d	96.77 b
	50	7.312 c	7.166 c	0.146 c	98.00 a
	100	15.126 b	14.261 b	0.865 b	94.28 c
	200	23.635 a	19.615 a	4.020 a	82.99 d
硒浸种/mg · kg <sup>-1</sup>	0 (CK)	0.075 c	0.074 c	0.001 c	98.25 a
	50	0.517 b	0.512 b	0.005 b	99.06 a
	100	3.333 a	3.276 a	0.057 a	98.29 a
土壤施硒/g · m <sup>-2</sup>	0 (CK)	0.076 e	0.073 e	0.003 e	96.61 b
	0.02	7.079 d	6.937 d	0.142 d	98.00 a
	0.2	70.515 c	66.284 c	4.231 c	94.00 c
	2	100.501 b	86.451 b	14.050 b	86.02 d
	20	142.139 a	115.445 a	26.694 a	81.22 e

抑制了叶用莴苣苗期新陈代谢和对养分的吸收, 从而给产量造成一定影响, 但随着叶用莴苣后期生长, 其生物量的增加, 硒浓度在植株中逐渐稀释, 中毒状况在一定程度上得到缓解。

## 3 讨论

对于缺硒和低硒土壤栽培作物, 土壤增施硒肥、叶面喷硒、浸 (拌) 种等人为添加外源硒的方式可以为人类提供安全、有效的植物性硒源 (史衍玺等, 1998; 王永勤等, 2001; 张城铭和周鑫斌, 2019)。大量研究表明, 在适宜的硒浓度范围内, 硒的吸收随外源硒浓度的提高而增加 (张雯和耿增超, 2012; 郑甲成和刘婷, 2014; 刘庆等, 2016)。王永勤等 (2001) 研究表明, 硒浸种大蒜

后, 大蒜有机硒含量随着硒浓度的提高而提高。王晋民等 (2007) 发现, 叶面施硒后, 青花菜、胡萝卜和大蒜有机硒转化率随施硒浓度的增加而增加, 植株全硒、有机硒和无机硒的含量显著提高。万亚男等 (2017) 研究了不同形态硒对韭菜吸收富集的影响, 结果表明, 向土壤中施加亚硒酸钠可显著提高韭菜可食部位的硒含量, 硒施用量越大, 韭菜中硒含量越高。本试验结果表明, 以土壤施硒、叶面施硒和硒浸种 3 种方式分别添加外源硒, 叶用莴苣总硒含量随着添加外源硒浓度的增加而增加。添加硒后叶用莴苣有机硒转化率均在 80% 以上, 说明叶用莴苣具有较强的将无机硒转化为有机硒的能力, 从而达到人体补硒的目的。本试验以亚硒酸钠作为硒源, 是因为其溶于水, 易被植物吸收利用,

是植物吸收无机硒的主要形态。与叶面施硒和土壤施硒相比, 硒浸种可以避免因添加外源硒造成的土壤与水源的硒污染, 且施硒技术容易把握, 但当硒浓度为  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时叶用莴苣产量降低, 总硒含量升高, 硒转化率下降不显著。一般而言, 适量浓度的外源硒可促进蔬菜植株的生长, 增强根系还原能力, 增加生物量, 提高产量; 而过量的外源硒会抑制植株的生长, 甚至产生一定的毒害作用(张雯和耿增超, 2012; 穆婷婷等, 2017)。外源硒对蔬菜产量的影响途径可能有两方面。一方面, 施入外源硒后, 直接作用于植物体内的某些生化过程, 进而影响蔬菜的生物量和产量。吴雄平等(2009)研究表明, 低浓度的硒能够促进普通白菜的生长, 使其根变粗, 并诱导脯氨酸的产生, 阻止丙二醛的合成, 增强普通白菜的抗逆性, 使其生物量明显提高; 高浓度的硒之所以会抑制普通白菜的生长, 是因为过量的硒导致了植株脯氨酸合成下降、丙二醛合成增加, 叶及根系生长受到抑制, 地上部和地下部质量显著急速下降。另一方面, 外源硒可能会影响土壤中某些微生物的种类、数量或酶的活性(郭开秀等, 2010), 进而影响蔬菜生长的养分环境, 通过影响植物对养分的吸收, 最终对蔬菜产量产生作用。本试验结果表明, 土壤施硒、叶面施硒和硒浸种 3 种方式添加外源硒对叶用莴苣的产量影响存在剂量效应, 适量硒浓度可以促进叶用莴苣植株生长, 增加产量, 但过量硒对植株有毒害作用, 产生一定的抑制作用, 叶用莴苣的产量反而随着外源硒含量的增加而显著降低, 这与段曼莉等(2011)的研究结论一致。不同品种叶用莴苣在喷施相同浓度硒条件下, 硒含量表现出的差异可能与不同基因型品种的硒结合蛋白的合成及数量有关。

土壤施硒、叶面施硒和硒浸种 3 种方式均能提高叶用莴苣叶片总硒含量, 但吸收转运途径不同。土壤施硒时硒一般先被叶用莴苣根系吸收, 再转运至地上部; 叶面施硒则由叶片直接吸收转运硒; 硒浸种是由种子吸收硒参与代谢, 再转运至叶片中。张城铭和周鑫斌(2019)研究表明, 叶面喷施亚硒酸钠时硒能够较快地被叶片吸收转运, 而土壤添加的亚硒酸盐容易被土壤固定, 从而降低其生物有效性。本试验中, 叶面施硒、土壤施硒和硒浸种的硒转化率差异不大, 可能是由于叶面喷施硒溶液发生

蒸腾损失, 也可能是部分硒在叶片中同化为有机硒挥发, 进而导致叶面硒转化率稍低; 而硒浸种和土壤施硒 2 种方式, 外源硒与叶用莴苣种子和根系接触时间长, 吸收更加充分。综合比较土壤施硒、叶面施硒和硒浸种对叶用莴苣产量、总硒含量和硒转化率的影响, 推荐叶面喷施硒  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  为叶用莴苣最佳的添加外源硒方式和施硒量。

食物中的硒含量在一定程度上决定了人体对硒的摄入量。世界卫生组织在 1996 年的建议认为, 每天  $40 \mu\text{g}$  的硒摄入量能够满足大部分成人的需求。依据中国营养学会提出的中国居民平衡膳食宝塔推荐, 在中等能量膳食结构中蔬菜的摄入量为  $450 \text{ g}$  左右, 以蔬菜含水量为 95% 推算, 每天摄入蔬菜的干质量约为  $22.5 \text{ g}$ , 由此推算出每日通过单纯摄入叶菜类获得的硒的含量为  $1.35 \mu\text{g}$ , 仅占建议日摄入量  $40 \mu\text{g}$  的 3.3%。可见, 通过蔬菜摄入的硒的含量仅占人体日建议摄入量的极少部分。

目前, 蔬菜生产上主要通过施用外源硒提高蔬菜硒含量, 虽然取得一些效果, 但施用外源硒后不仅增加了投入成本, 长期施用还可能给环境带来一定的风险, 过量施用外源硒, 也会对蔬菜生产产生一定危害作用。同时, 由于蔬菜富硒的必需剂量、缺乏剂量及毒害剂量间的差异非常小, 因此, 硒的合理施用方式和适宜的施用量还需进一步的研究和探讨。同时应加强蔬菜硒吸收、转化和累积机制研究, 促进外源硒向蔬菜可食部分的迁移, 并筛选富硒蔬菜新优品种, 提高蔬菜富集硒的含量, 改善蔬菜品质, 在此基础上, 形成一系列富硒蔬菜标准化生产技术规程, 进行富硒蔬菜食品开发和利用, 对于缓解我国人体硒缺乏症状、促进人体健康将具有重要现实意义。

## 4 结论

土壤施硒  $0.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 4 个叶用莴苣品种含硒量为: 芳妮 > 罗莎绿 > 奶油红 > 橡叶红。以土壤施硒、叶面施硒和硒浸种 3 种方式添加外源硒, 随着外源硒浓度的增加, 叶用莴苣的产量先升后降, 总硒含量则显著增加, 硒转化率也表现为先升后降, 但均在 80% 以上; 综合比较土壤施硒、叶面施硒和硒浸种对叶用莴苣产量、含硒量和硒转化率的影响, 推荐叶面喷施硒  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  为叶用莴苣最佳

的添加外源硒方式和施硒量。

#### 参考文献

- 段曼莉, 胡斌, 梁东丽, 赵文龙, 付冬冬, 毕文扬. 2011. 4种蔬菜对硒酸盐的吸收、富集与转运特征的研究. 农业环境科学学报, 30 (3): 422-428.
- 郭开秀, 姚春霞, 周守标, 王继明. 2010. 施用硒肥对鸡毛菜产量、品质及生理特性的影响. 水土保持学报, 24 (5): 195-198, 203.
- 黄雪梅, 岳顺念, 王琦瑞. 2018. 不同浓度亚硒酸钠对水培生菜富硒品质的影响. 广东农业科学, 45 (1): 29-33.
- 刘庆, 田侠, 史衍玺. 2016. 外源硒矿粉对玉米硒累积及矿质元素吸收的影响. 植物营养与肥料学报, 22 (2): 403-409.
- 穆婷婷, 杜慧玲, 张福耀, 景小兰, 郭琦, 李志华, 刘璋, 田岗. 2017. 外源硒对谷子生理特性、硒含量及其产量和品质的影响. 中国农业科学, 50 (1): 51-63.
- 彭琴, 李哲, 梁东丽, 王梦柯, 郭璐. 2017. 不同作物对外源硒动态吸收、转运的差异及其机制. 环境科学, 38 (4): 1667-1674.
- 史衍玺, 杜振宇, 马丽, 周清. 1998. 不同施硒方式下小白菜对硒的吸收与累积特征. 土壤通报, 29 (5): 229-231.
- 汤超华, 赵青余, 张凯, 李爽, 秦玉昌, 张军民. 2019. 富硒农产品研究开发助力我国营养型农业发展. 中国农业科学, 52(18): 3122-3133.
- 万亚男, 王晓芳, 罗章, 余垚, 王琪, 郭岩彬, 李花粉. 2017. 不同形态硒对韭菜吸收富集及土壤累积硒的影响. 园艺学报, 44 (4): 703-711.
- 王晋民, 赵之重, 段冰. 2007. 叶面施硒对不同蔬菜硒富集和产量的影响. 西北农林科技大学学报, 35 (7): 103-106.
- 王永勤, 曹家树, 李建华, 赵猛, 赵桂芳. 2001. 施硒对大蒜产量和含硒量的影响. 园艺学报, 28 (5): 425-429.
- 吴雄平, 梁东丽, 鲍俊丹, 薛瑞玲. 2009. Se (IV) 和 Se (VI) 对小白菜生长及生理效应的影响. 环境科学学报, 29 (10): 2163-2171.
- 殷金岩, 耿增超, 李致颖, 李慧娟. 2015. 硒肥对马铃薯硒素吸收、转化及产量、品质的影响. 生态学报, 35 (3): 823-829.
- 张城铭, 周鑫斌. 2019. 不同施硒方式对水稻硒利用效率的影响. 土壤学报, 56 (1): 186-194.
- 张雯, 耿增超. 2012. 外源硒对蔬菜硒积累和产量品质影响的研究现状. 园艺学报, 39 (9): 1749-1756.
- 郑甲成, 刘婷. 2014. 不同浓度硒肥对水稻硒含量和产量的影响. 土壤, 46 (1): 88-93.
- Chen Q X, Shi W M, Wang X C. 2010. Selenium speciation and distribution characteristics in the rhizosphere soil of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41 (12): 1411-1425.
- Emese K, Peter R H, Kristian H L, Soren H, Erik H L. 2009. Effect of foliar application of selenium on its uptake and speciation in carrot. Food Chemistry, 115: 1357-1363.

## Effects of Different Selenium Application Methods on Lettuce Yield, Selenium Content and Selenium Conversion Rate

YUAN Weiling<sup>1, 2</sup>, LIU Zhixiong<sup>1</sup>, WU Jinping<sup>1</sup>, YIN Hongqing<sup>3</sup>, CHEN Leifu<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Cash Crops, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, Hubei, China; <sup>2</sup>Wuhan Zhongnong South Science and Technology Co., Ltd., Wuhan 430000, Hubei, China; <sup>3</sup>Enshi Academy of Agricultural Sciences, Tujia Miao Nationalities Autonomous Prefecture, Enshi 445000, Hubei, China)

**Abstract:** The Selenium (Se) absorption characteristics of 4 lettuce varieties were studied by applying Se ( $0.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) in soil as exogenous selenium. The results showed that the selenium contents of 4 lettuce varieties were ‘Fangni’ > ‘Luoshalyu’ > ‘Naiyouhong’ > ‘Xiangyehong’. Taking ‘Fangni’ as research object, this experiment adopted 3 exogenous selenium adding methods, including applying selenium to soil ( $0, 0.02, 0.2, 2, 20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ), conducting foliar application ( $0, 50, 100, 200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) and soaking seed with selenium ( $0, 50, 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); and studied the effects of different applying methods on yield, quality, selenium content and selenium conversion rate of lettuce. The results showed that with the increase of exogenous selenium concentration, the lettuce yield increased first then decreased. While, the total selenium content of lettuce increased significantly. Selenium conversion rate first increased, then decreased, but was always over 80%. After comprehensively comparing the effects of soil application of selenium, foliar spraying and seed soaking with selenium on yield, selenium content and selenium conversion rate of lettuce, we recommended that foliar application of selenium at the rate of  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  was the best way and appropriate amount for adding exogenous selenium to lettuce.

**Keywords:** lettuce; selenium content; yield; selenium conversion rate