

DOI: 10.5846/stxb201304130697

殷金岩, 耿增超, 李致颖, 李慧娟. 硒肥对马铃薯硒素吸收、转化及产量、品质的影响. 生态学报, 2015, 35(3): 823-829.

Yin J Y, Geng Z C, Li Z Y, Li H J. Effects of three fertilizers on uptake, transformation, yield and quality of potatoes. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 823-829.

## 硒肥对马铃薯硒素吸收、转化及产量、品质的影响

殷金岩, 耿增超\*, 李致颖, 李慧娟

西北农林科技大学资源环境学院 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 杨凌 712100

**摘要:**通过设对照(CK)、保水缓释硒肥(W)、生物炭基硒肥(C)、硒酸钠硒肥(S)4个处理来研究不同硒肥对马铃薯(品种为早大白)硒素吸收、转化及产量、品质的影响。结果表明:各处理马铃薯各器官硒含量在生育期内总体上呈下降趋势,马铃薯各器官的硒含量呈现:苗期根>茎>叶片;成熟期叶片>茎>块茎的特点;随着硒肥用量的增加,W处理下的总硒、无机硒、有机硒含量呈增大趋势,产量、有机硒转化率、粗蛋白、还原糖和Vc呈先升高后降低的趋势;C处理和S处理下,马铃薯以上各指标均呈先升高后降低的趋势,在低施硒量(0.126 kg/hm<sup>2</sup>)时,3种硒肥显著降低了马铃薯块茎淀粉含量,之后随着施硒量的增加淀粉含量变化不显著;与对照相比,3种硒肥在适宜施硒量(0.379 kg/hm<sup>2</sup>)时,马铃薯产量提高了4.87%—5.44%,粗蛋白含量增加了12.18%—20.03%,还原糖提高了6.45%—12.90%,Vc含量提高-0.54%—3.11%,有机硒转化率增加13.00%—15.10%,淀粉含量增加了-0.73%—1.12%;综合考虑3种硒肥对马铃薯含硒量、产量、品质的影响,W处理最佳,C处理次之,S处理最差。

**关键词:**马铃薯;缓释硒肥;吸收转化;产量;品质

## Effects of three fertilizers on uptake, transformation, yield and quality of potatoes

YIN Jinyan, GENG Zengchao\*, LI Zhiying, LI Huijuan

Key Laboratory of Plant Nutrition and Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

**Abstract:** A field experiment was conducted to study the uptake and transformation of different selenium fertilizers by potato (cv. Zao Dabai) and the effects of these fertilizers on potato yield and quality. The experiment included four fertilizer treatments: sodium selenate fertilizer (S), biological carbon selenium fertilizer (C), slow-release, water absorbent selenium fertilizer (W) and an unfertilized control (CK). Results indicated that plant selenium concentrations gradually decreased as potato plants matured. Selenium concentrations in different potato organs generally decreased in the order roots > stems > leaves. However, by maturity, selenium concentrations decreased in the order leaves > stems > tubers. W treatments initially increased selenium contents, inorganic Se and organic Se of potatoes, however, yield, the organic Se transformation rate, crude protein, the reducing sugar and Vc of potatoes initially increased and then decreased as soil selenium concentrations increased. These three kinds of selenium fertilizers decreased starch contents of potatoes at the low selenium concentration (0.126 kg/hm<sup>2</sup>), then it could not influence starch contents of potatoes. Compared with CK, When applied in proper amounts (0.379 kg/hm<sup>2</sup>), all three selenium fertilizers increased yield by 4.87%—5.44%, tuber crude protein by 12.18%—20.03%, the reducing sugar by 6.45%—12.90%, vitamin C by -0.54%—3.11%, organic Se transformation rate by 13.00%—15.10% and starch content by -0.73%—1.12% of potatoes. Considering selenium

**基金项目:**农业部“948”项目(2010-Z19);林业局“948”项目(2009-4-64);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2010JM5004);陕西省攻关项目(2010K02-12-1)

**收稿日期:**2013-04-13; **网络出版日期:**2014-04-03

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gengzengchao@126.com

contents, the yield and qualities of potatoes, the effects of W treatments were better than B treatments and effects of S treatments were the worst.

**Key Words:** potatoes; slow-release selenium fertilizers; uptake and transformation; yield; quality

硒是人和动物所必需的微量元素之一,人体的很多疾病(如克山病、大骨节病等)与体内硒素缺乏有关<sup>[1-3]</sup>。据统计,我国约有 72% 的县(市)不同程度缺硒,其中 1/3 严重缺硒,硒摄取不足的人口达 3 亿以上,严重影响着人们的生活与健康<sup>[4]</sup>。宋家永<sup>[5]</sup>研究表明:农作物施硒肥后,粮食作物硒含量增加 3—32 倍,水果增加 2—4 倍,蔬菜增加 7—60 倍,因此通过作物施硒,使无机硒转化为有机硒,提高人或动物体内硒含量是公认的一条安全、有效的补硒途径,对防治人体硒缺乏具有重要的现实意义<sup>[6-9]</sup>。

缓释肥料克服了常规肥料水溶性高,养分释放快,释放期短的缺点,已成为我国未来发展新型肥料的方向之一<sup>[10]</sup>。目前,国内外很多学者对控释材料的研究多集中在生物炭<sup>[11-15]</sup>和保水剂<sup>[16-20]</sup>领域,而对硒肥的研究多集中在常规硒肥<sup>[5, 21]</sup>。本文以保水缓释硒肥、生物炭基硒肥与硒酸钠硒肥作为试验用硒肥,马铃薯(*Solanum tuberosum*)为供试材料,通过大田试验研究了马铃薯体内硒含量的变化,以及不同硒肥对马铃薯产量和品质的影响,以期富硒食品的生产 and 人体补硒提供理论依据和实践指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验在西北农林科技大学试验田进行,供试土壤为红油土,其基本理化性状为:有机质 18.71 g/kg,速效氮 10.98 mg/kg,速效钾 101.20 mg/kg,速效磷 19.08 mg/kg, pH 8.17,全硒 0.158 mg/kg。供试马铃薯品种为“早大白”。保水缓释硒肥是将一定浓度的硒酸钠溶液均匀喷洒在保水剂上而制得,保水剂与硒的配比为 60:1。其中,保水剂材料由东莞市安信保水剂有限公司生产,为白色粒状干剂。生物炭基硒肥是由硒酸钠与生物炭在实验室通过吸附反应制备而成,生物炭与硒的配比为 176:1。其中,生物炭由间歇式热裂解中试设备生产并过 1 mm 筛孔。硒酸钠硒肥是将一定浓度的硒酸钠溶液与一定量的水混合制得,硒源为分析纯  $\text{Na}_2\text{SeO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 。

### 1.2 试验设计

采用裂区设计,小区面积 594 m<sup>2</sup>,每小区 30 株,重复 3 次,行株距为 60 cm×33 cm。试验共设置 4 个处理,分别为:对照(CK)、保水缓释硒肥(W)、生物炭基硒肥(C)、硒酸钠硒肥(S)。除对照外,每个处理 4 个 Se 浓度水平 0.126, 0.379, 0.758, 1.136 kg/hm<sup>2</sup>。其中,保水缓释硒肥和生物炭基硒肥是将其与小区内的土壤混合均匀;硒酸钠硒肥是将其均匀喷洒在小区土壤中。播种前各小区均按 750 kg/hm<sup>2</sup> 复合肥和 1350 kg/hm<sup>2</sup> 有机肥施入作基肥,于 2012 年 2 月 27 日至 2012 年 6 月 10 日进行试验,田间管理同大田。在生育期内,分别在苗期(4 月 15 日)、块茎形成及增长期(5 月 1 日)、淀粉积累期(5 月 15 日)、收获期(6 月 10 日)在 Se 浓度水平为 0.379 kg/hm<sup>2</sup> 的小区选取有代表性 5 株样品,分别把根、茎、叶烘干,磨碎,过 60 目筛后备用。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 植物含硒量的测定

硒含量测定采用尚庆茂等<sup>[22]</sup>的方法进行。取 1 g 干样加 20 mL 4 mol/L 的 HCl,在 170℃ 下回流反应 20 min,冷却后取上清液,测定样品中无机硒含量。取 0.5 g 干样,加入 7 mL 混合消化液(4 mL HNO<sub>3</sub> + 1 mL HClO<sub>4</sub>),180—200℃ 消化 2 h,冷却后再加 10 mL 4 mol/L 的 HCl 还原 10 min,蒸馏水定容,用氢化物发生-原子荧光光谱法测定总硒含量:

$$\text{有机硒含量} = \text{总硒含量} - \text{无机硒含量}$$

#### 1.3.2 植物品质项目的测定

蛋白质(干样)含量按凯氏定氮法消化、蒸馏、滴定,以含氮量乘 6.25 计算(%);淀粉(干样)含量采用酸

水解法(%) ; 还原糖(鲜样)含量采用 3,5-二硝基水杨酸比色法(%) ; 维生素 C(鲜样)含量采用 2,4-二硝基苯肼比色法(mg/100 g)。

#### 1.4 数据处理

数据采用 Excel 2003 作图; DPS v7.05 版统计分析软件进行数据分析, 并用 LSD 法进行差异显著性检验, 显著性水平设定为  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同硒肥对马铃薯产量的影响

S 处理、C 处理和 W 处理平均单株产量呈先增加后降低趋势(表 1)。S 处理、C 处理平均单株产量峰值分别为 24.10、24.19 t/hm<sup>2</sup>, 均在施硒量为 0.379 kg/hm<sup>2</sup>下达到, W 处理产量最大值(24.70 t/hm<sup>2</sup>) 在施硒量 0.126 kg/hm<sup>2</sup>浓度下达到, 3 种处理分别比对照提高 4.87%、5.27% 和 7.48%。之后随着施硒量的增加单株产量逐渐降低, 此结果说明低浓度的硒肥处理可以促进马铃薯的生长, 提高其产量, 而高浓度的硒肥处理则抑制了马铃薯的生长, 导致减产, 综合考虑, 认为 0.379 kg/hm<sup>2</sup>为适宜施硒量。W 处理、C 处理在适宜施加量(Se 0.379 kg/hm<sup>2</sup>) 处理下分别增产 5.44% 和 5.27%, 而 S 处理为 4.87%。且 W 处理、C 处理在各处理下产量变化幅度(分别为 5.63% 和 6.34%) 远小于 S 处理(13.24%), 原因可能与 W 处理、C 处理自身的缓释特性有关。

### 2.2 不同硒肥对马铃薯硒素吸收转化的影响

#### 2.2.1 马铃薯硒含量变化规律及不同硒肥的影响

由表 2 可知, 不同硒肥作用下马铃薯植株各器官硒含量显著高于对照, 在苗期 CK 处理下马铃薯根、茎、叶片中各器官的硒含量呈现出根 > 茎 > 叶片的特点。随着生育期的推进, 叶片中的硒含量逐渐上升, 至成熟期其各器官的硒含量转变为叶片 > 茎 > 块茎。马铃薯全株硒含量在整个生育期呈现出降低趋势。其中 CK、W 处理、C 处理和 S 处理硒含量从苗期到成熟期分别下降了 1.520、16.216、11.277  $\mu\text{g/g}$  和 33.526  $\mu\text{g/g}$ 。该结果表明, 施加硒肥没有改变马铃薯各器官硒含量的变化趋势, 同时也说明硒在植物体具有较强的迁移能力。

在苗期, S 处理下马铃薯根系、茎、叶和全株中硒含量分别为 53.778、54.237、25.786  $\mu\text{g/g}$  和 44.596  $\mu\text{g/g}$ , 是 C 处理的 1.6、4.0、2.7 倍和 2.4 倍, 是 W 处理的 1.4、1.8、1.4 倍和 1.5 倍, 显著高于这两种硒肥; 在成熟期, 根系、茎、叶和全株中硒含量变化在整个生育期的硒含量变化幅度较大(由苗期至成熟期根、茎、叶和全株硒含量变化幅度分别为 49.234、49.577、18.257  $\mu\text{g/g}$  和 39.277  $\mu\text{g/g}$ ), 而其他两种硒肥变化幅度较小(C 处理由苗期至成熟期根、茎、叶和全株硒含量变化幅度分别为 31.054、8.441、4.296  $\mu\text{g/g}$  和 15.079  $\mu\text{g/g}$ ; W 处理的变化幅度分别为 33.167、22.678、5.300  $\mu\text{g/g}$  和 21.132  $\mu\text{g/g}$ )。

#### 2.2.2 不同硒肥对成熟期马铃薯块茎有机硒转化的影响

由表 3 可知, 对照组有机硒的含量仅为 0.044  $\mu\text{g/g}$ , 而在 3 种硒肥作用下, 有机 Se 含量变化范围是 1.703—5.998  $\mu\text{g/g}$ 、0.478—2.822  $\mu\text{g/g}$  和 1.938—8.203  $\mu\text{g/g}$ , 远高于对照, 表明 3 种硒肥显著提高了马铃薯体内有机 Se 的含量。随着施硒量的增加, S 处理、C 处理总硒、无机硒、有机硒呈先增大后降低趋势。W 处理

表 1 3 种硒肥对马铃薯产量的影响

处理/(kg/hm <sup>2</sup> ) Treatments	产量 Yield		增产率/% Percent increase	
	/(g/株)	/(t/株)		
S	CK (0)	454.94c	22.98	
	0.126	466.4b	23.56	2.52
	0.379	477.18a	24.10	4.87
	0.758	434.66d	21.95	-4.48
	1.136	406.16e	20.51	-10.75
C	CK (0)	454.94c	22.98	
	0.126	465.07b	23.49	2.22
	0.379	478.92a	24.19	5.27
	0.758	446.08c	22.53	-1.95
	1.136	436.25d	22.03	-4.13
W	CK (0)	454.94e	22.98	
	0.126	488.99a	24.70	7.48
	0.379	479.68b	24.23	5.44
	0.758	469.69c	23.72	3.22
	1.136	463.36d	23.40	1.82

S: 指硒酸钠硒肥 sodium selenate fertilizer, C: 生物炭基硒肥 biological carbon selenium fertilizer, W: 保水缓释硒肥 slow-release, water absorbent selenium fertilizer

呈增大趋势。S 处理、C 处理和 W 处理总硒、无机硒、有机硒的最大值分别是出现在 75.8 $\mu\text{g/g}$ 、75.8 $\mu\text{g/g}$  和 113.6 $\mu\text{g/g}$ 。W 处理硒素的缓释性能要优于 S 处理和 C 处理。

表 2 适宜施硒量 0.379 kg/hm<sup>2</sup> 下马铃薯不同生育期各器官硒素的分配 ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 2 Distribution of Se in different potato organs during the growing period under proper application of Se of 0.379 kg/hm<sup>2</sup>

处理 Treatments	出苗后天数 Days after emergence/d							
	20				35			
	根 Tubers	茎 Stems	叶 Leaves	全株 Whole plant	块茎 Tubers	茎 Stems	叶 Leaves	全株 Whole plant
CK	2.315d	2.060d	1.051d	1.808d	0.581d	0.907d	0.820d	0.740c
W	38.947b	29.835b	18.720b	29.166b	15.608b	19.960a	36.372a	22.780a
C	33.280c	13.430c	9.550c	18.753c	13.170c	16.583c	16.450c	15.081b
S	53.778a	54.237a	25.786a	44.596a	17.950a	17.290b	34.797b	22.573a

  

处理 Treatments	出苗后天数 Days after emergence/d							
	50				66			
	块茎 Tubers	茎 Stems	叶 Leaves	全株 Whole plant	块茎 Tubers	茎 Stems	叶 Leaves	全株 Whole plant
0.207c	0.362c	0.348d	0.288d	0.084d	0.372c	0.448d	0.248d	
9.053a	11.425a	21.070a	12.950a	5.780a	7.157a	13.420a	8.034a	
5.874b	8.853b	8.986c	7.476c	2.226c	4.989b	5.254c	3.674c	
9.013a	8.870b	16.616b	11.070b	4.544b	4.660b	7.529b	5.319b	

同列数据后标不同小写字母者表示在  $P < 0.05$  水平差异显著 (LSD 检验)

在 3 种硒肥作用下, 马铃薯植株可以将体内 65.38%—67.48% 的总硒转化为有机硒, 比对照提高了 13.00%—15.10%, 这表明提高马铃薯植株硒供应促进了无机硒向有机硒的转化。这与前人对番茄<sup>[19]</sup>、水稻<sup>[20]</sup> 和大豆<sup>[21]</sup> 的研究中认为外源硒可提高植株硒吸收积累的结论一致。可能是由于土壤中适量的硒供应水平影响了马铃薯体内硒的转运与合成, 从而促进了无机硒向有机态或蛋白质态的转化。

表 3 3 种硒肥对马铃薯块茎总硒、无机硒和有机硒含量的影响

Table 3 Effect of three selenium fertilizers on total, inorganic, and organic selenium in potatoes

处理/(kg/hm <sup>2</sup> ) Treatments		硒含量 Se concentration/( $\mu\text{g/g}$ )			转化率/% Transformation percentage
		总硒 Total Se	无机硒 Inorganic Se	有机硒 Organic Se	
S	CK (0)	0.084	0.040	0.044	52.38
		0.126	2.401	0.938	60.92
		0.379	7.529	2.547	66.17
		0.758	9.342	3.344	64.21
		1.136	3.657	1.334	63.52
C	CK (0)	0.084	0.040	0.044	52.38
		0.126	0.781	0.478	61.26
		0.379	2.226	1.502	67.48
		0.758	4.069	2.822	69.36
		1.136	3.173	0.989	68.84
W	CK (0)	0.084	0.040	0.044	52.38
		0.126	2.76	1.098	60.21
		0.379	5.78	2.001	65.38
		0.758	10.381	3.099	70.15
		1.136	12.844	3.741	70.87

转化率 = 有机硒/总硒  $\times$  100%

## 2.3 不同硒肥对马铃薯品质的影响

### 2.3.1 不同硒肥对马铃薯粗蛋白质含量的影响

由表 4 可知, 随着硒肥施加量的增加, 马铃薯块茎粗蛋白含量近似呈先增加后降低的趋势。并且 3 种硒

肥处理下,粗蛋白含量均高于对照,S处理、C处理和W处理处理下粗蛋白含量的峰值出现在0.126—0.379 kg/hm<sup>2</sup>之间,分别为8.05%、8.83%和8.99%,比对照提高了12.75%、23.67%和25.91%。该结果表明适量的硒肥可以提高马铃薯块茎中粗蛋白的含量,这与Munshi<sup>[23]</sup>对马铃薯、张琳<sup>[24]</sup>对烤烟和夏永香<sup>[25]</sup>对大蒜的研究一致。原因可能是马铃薯体内硒含量提高了其体内硒蛋白的水平,从而影响了其粗蛋白的含量。在施硒量为0.379 kg/hm<sup>2</sup>时,C处理、W处理下马铃薯块茎中的粗蛋白的含量比S处理提高了6.99%和6.49%。

表4 3种硒肥对马铃薯品质的影响

Table 4 Effect of three selenium fertilizers on potato quality

处理/(kg/hm <sup>2</sup> ) Treatments		粗蛋白/% Protein content	淀粉/% Starch content	还原糖/% Reducing sugar content	维生素C/(mg/100g) Vitamin C content
S	CK (0)	7.14d	53.45a	0.31bc	16.71a
	0.126	8.05a	46.86b	0.41a	17.09a
	0.379	8.01a	53.06a	0.33b	16.62a
	0.758	7.53c	53.75a	0.32bc	16.05a
	1.136	7.74b	54.19a	0.29c	15.67a
C	CK (0)	7.14e	53.45a	0.31c	16.71b
	0.126	8.11c	48.60b	0.40a	17.05a
	0.379	8.57b	53.44a	0.35b	17.19a
	0.758	8.83a	47.67c	0.32bc	17.13a
	1.136	7.59d	48.8b	0.30c	17.08a
W	CK (0)	7.14c	53.45a	0.31c	16.71a
	0.126	8.99a	44.99b	0.43a	17.05a
	0.379	8.53a	54.05a	0.34b	17.23a
	0.758	7.61bc	46.14b	0.30c	16.47a
	1.136	7.95ab	45.62b	0.31c	16.05b

同列数据后标不同小写字母者表示在  $P < 0.05$  水平差异显著(LSD 检验)

### 2.3.2 不同硒肥对马铃薯淀粉含量的影响

淀粉含量是决定马铃薯品质的一个重要指标。由表4可知,在S处理施用量为0.758 kg/hm<sup>2</sup>和C处理、W处理施硒量为0.379 kg/hm<sup>2</sup>时,3种硒肥作用下马铃薯块茎淀粉含量均有不同程度的增加,说明适量硒肥的施入,可以促进淀粉的合成。而在施用量为0.126 kg/hm<sup>2</sup>时却降低了马铃薯淀粉含量。

### 2.3.3 不同硒肥对马铃薯还原糖含量的影响

S处理、C处理和W处理施用量为0.126 kg/hm<sup>2</sup>时马铃薯块茎还原糖含量达到最大值,分别为0.41%、0.40%和0.43%,比对照提高32.26%、29.03%和38.71%。随着硒肥施用量的增加,马铃薯块茎还原糖含量呈下降趋势。当S处理、C处理和W处理施硒量为0.379 kg/hm<sup>2</sup>时,马铃薯块茎还原糖降为0.33%、0.35%和0.34%,分别比对照提高了6.45%、12.9%和9.68%。为降低马铃薯的还原糖含量,提高作物品质,3种硒肥的施用量应不低于0.379 kg/hm<sup>2</sup>。

### 2.3.4 不同硒肥对马铃薯Vc含量的影响

表4结果显示,马铃薯块茎Vc含量随着硒肥施加量的增加呈先增加后降低的趋势。在施硒量为0.126—0.379 kg/hm<sup>2</sup>时,S处理、C处理和W处理处理下马铃薯块茎Vc含量的最大值分别为17.09、17.19、17.23 mg/100g,比对照提高了2.27%、2.87%和3.11%,李彦<sup>[26]</sup>等人对番茄的研究和王晋民<sup>[27]</sup>对青花菜的研究均发现适量的硒处理可提高作物Vc含量,这可能是因为硒能够提高植株中硒蛋白的含量,从而减轻植株细胞内过氧化氢和脂质过氧化物对Vc的氧化作用。当硒肥施加量过大(1.136 kg/hm<sup>2</sup>)时,S处理、C处理和W处理下马铃薯块茎Vc含量分别是对照的93.78%、102.21%和96.05%。这说明施硒量过大降低了作物的Vc含量,不利于提高作物品质。在施硒量0.379—1.136 kg/hm<sup>2</sup>时,C处理和W处理下马铃薯块茎Vc含量分别比S处理提高了3.43%—9.00%和2.43%—3.67%。

### 3 结论与讨论

研究结果证明,马铃薯各器官硒含量在不同生育期总体上呈下降趋势。马铃薯各器官的硒含量在苗期呈现出根 > 茎 > 叶片的特点;至成熟期转变为叶片 > 茎 > 块茎。本研究结果还显示,硒肥作为基肥土施可显著提高成熟植株各器官硒含量,该结果说明通过土施硒肥可以作为提高食物链硒水平的一项措施;与 S 处理相比,C 处理、W 处理在硒素的供应上具有更好的缓效性和长效性。

作物有机硒的转化和含量成为衡量富硒作物的一个重要指标。众多研究表明作物施硒可以显著提高作物体内有机硒含量<sup>[19,28-30]</sup>,本研究证实了这一结果:施硒使马铃薯块茎有机硒含量比对照提高了 33.16—112.26 倍。杜振宇<sup>[31]</sup>对茄子的研究表明施硒降低了有机硒的转化率,王晋民<sup>[32]</sup>对胡萝卜研究表明,随施硒量的增加,有机硒转化率上升;本研究中,S 处理、C 处理随施硒量的增加有机硒呈先增大后降低趋势,W 处理呈增大趋势。这说明 W 处理硒素的缓释性能要优于 S 处理和 C 处理。王永勤等<sup>[29]</sup>在大蒜上的研究表明,随土壤施硒量的增加,有机硒的转化率呈下降趋势。本研究中各硒肥作用下,马铃薯有机硒的转化率比对照有所提高,可见有机硒转化率的高低与作物品种和施硒量有很大关系,其具体作用机理尚待进一步研究。

施和平<sup>[19]</sup>、王永勤<sup>[29]</sup>、Bicas<sup>[33]</sup>、宋家永<sup>[5]</sup>和殷金岩<sup>[34]</sup>对番茄、大蒜、胡萝卜、小麦和马铃薯的研究均表明:适量的硒可以促进作物的生长,提高作物产量,而硒浓度过高时则对作物有害。本研究表明,三种硒肥(含硒量 0.126—0.379 kg/hm<sup>2</sup>)作用下马铃薯产量提高了 4.87%—5.44%,高浓度的硒肥处理则导致减产。

杜振宇<sup>[31]</sup>对茄子的研究表明,施硒提高了茄子中粗蛋白、粗脂肪、人体必需氨基酸和还原糖的含量。李登超<sup>[35]</sup>对小白菜的研究表明,施硒后增加了小白菜地上部可溶性总糖、还原糖含量;降低了淀粉和蔗糖的含量。王晋民<sup>[32]</sup>对胡萝卜的研究表明,施硒提高了总糖、粗纤维、胡萝卜素的含量,而降低了 Vc 含量。尚庆茂<sup>[1]</sup>对生菜的研究表明增加硒营养后,生菜茎叶中蛋白质和还原糖的含量有所提高;本研究结果显示,粗蛋白、Vc 和还原糖随着 3 种硒肥施加量的增加呈先增加后降低的趋势。其中粗蛋白、Vc 和还原糖在适量的硒肥(施硒量 0.126—0.379 kg/hm<sup>2</sup>)时比对照提高了 12.18%—25.91%、2.27%—3.11%和 9.68%—38.71%。而在低施硒量(施硒量 0.126 kg/hm<sup>2</sup>)时却降低了马铃薯淀粉含量,为了提高马铃薯的品质,3 种硒肥的施硒 0.379 kg/hm<sup>2</sup>比较合适。

缓释肥料对养分的吸持缓释有利于降低肥料养分的淋失损失和对环境的污染,因而受到广泛关注<sup>[36-37]</sup>。本研究初步探讨了 C 处理、W 处理对马铃薯生育期硒吸收和成熟期硒品质的影响,结果显示与普通硒肥相比,在含硒量相同的条件下 C 处理、W 处理在马铃薯生育期内硒素释放均很长效,并促进了马铃薯的生长发育,主要表现在提高了马铃薯的产量,有机硒的转化率,促进了粗蛋白、Vc 的合成,综合考虑含硒量、转化率、产量、品质等指标,3 种硒肥中保水缓释硒肥最佳,生物炭基硒肥次之。其原因可能是保水缓释硒肥较生物炭基硒肥含有的高分子吸保水物质更多,保水性能更好,具有保肥保墒、缓释高效、减少土壤养分流失、提高土壤通透性等的优点,更适合于西北半干旱与干旱地区经济作物的栽培。

中国营养学会推荐硒摄入量的最低限值为 50 μg/d,杨光圻<sup>[38-39]</sup>等推荐膳食适宜供给量为 50—250 μg/d,膳食硒最大安全摄入量为 400 μg/d。据中国营养学会调查,目前我国居民硒的摄入量普遍较低,约为 26 μg/d,通过食用对照(2976—14881 g/d)处理下的马铃薯很难达到杨光圻<sup>[38-39]</sup>等推荐硒摄入量;在施硒量为 0.379 kg/hm<sup>2</sup>时,食用 S 处理(33—166g/d)、C 处理(112—562g/d)、W 处理(43—216g/d)处理下的马铃薯则较容易达到补硒目的。

#### 参考文献 (References):

- [1] Rotruck J T, Pope A L, Ganther H E, Swanson A B, Hafeman D G, Hoekstra W G. Selenium: Biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science*, 1973, 179(4073): 588-590.
- [2] Martin A L. Toxicity of selenium to plants and animals. *American Journal of Botany*, 1936, 23(7): 471-483.
- [3] 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. *环境科学学报*, 1982, 2(2): 91-101.

- [ 4 ] 陈铭, 谭见安, 王五一. 环境硒与健康关系研究中的土壤化学与植物营养学. 土壤学进展, 1994, 22(4): 1-10.
- [ 5 ] 宋家永, 李敬光, 王永华, 郭汝礼, 尹钧. 喷施硒肥对小麦生理特性、子粒硒含量的影响. 河南农大学学报, 2005, 39(2): 139-142.
- [ 6 ] Rosenfeld R S. Selenium: Geobotany, Biochemistry, Toxicity, and Nutrition. New York and London: Academic Press, 1964.
- [ 7 ] Ip C, Birringer M, Block E, Kotrebai M, Tyson J F, Uden P C, Lisk D J, Chemical speciation influences comparative activity of selenium-enriched garlic and yeast in mammary cancer prevention. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(6): 2062-2070.
- [ 8 ] Finley J W. Bioavailability of selenium from foods. Nutrition Reviews, 2006, 64(3): 146-151.
- [ 9 ] Rayman M P. Selenium in cancer prevention: A review of the evidence and mechanism of action. Proceedings of the Nutrition Society, 2005, 64(4): 527-542.
- [ 10 ] 杜昌文, 周健民. 控释肥料的研制及其进展. 土壤, 2002, 34(3): 127-133.
- [ 11 ] Hayes M H B. Biochar and biofuels for a brighter future. Nature, 2006, 443(108): 144-144.
- [ 12 ] Steiner C, Garcia M, Zech W. Effects of charcoal as slow release nutrient carrier on N-P-K dynamics and soil microbial population: Pot experiments with ferralsol substrate // Woods W I, Teixeira W G, Lehman J. Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision. Netherlands: Springer, 2009: 325-338.
- [ 13 ] 钟雪梅, 朱义年, 刘杰, 秦爱国. 竹炭包膜对肥料氮淋溶和有效性的影响. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 154-157.
- [ 14 ] 何绪生, 张树清, 余雕, 耿增超, 高海英. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究. 中国农学通报, 2011, 27(15): 16-25.
- [ 15 ] 何绪生, 廖宗文, 黄培钊, 段继贤, 葛仁山, 李洪波, 赵建华. 保水缓/控释肥料的研究进展. 农业工程学报, 2006, 22(5): 184-190.
- [ 16 ] 何绪生, 廖宗文, 黄培钊, 葛仁山, 李洪波, 赵建华. 保水剂与肥料互作及保水缓/控释肥料研究展望. 土壤通报, 2006, 37(4): 799-804.
- [ 17 ] 李云开, 杨培岭, 刘洪禄. 保水剂农业应用及其效应研究进展. 农业工程学报, 2002, 18(2): 182-187.
- [ 18 ] Eich-Greatorex S, Sogn T A, Øgaard A F, Aasen I. Plant availability of inorganic and organic selenium fertiliser as influenced by soil organic matter content and pH. Nutrient Cycling in Agroeco systems, 2007, 79(3): 221-231.
- [ 19 ] 施和平, 张英聚, 刘振声. 番茄对硒的吸收、分布和转化. 植物学报, 1993, 35(7): 541-546.
- [ 20 ] 陈历程, 杨方美, 张艳玲, 胡秋辉, 潘根兴. 我国部分大米含硒量分析及生物硒肥对籽粒硒水平的影响. 中国水稻科学, 2002, 16(4): 341-345.
- [ 21 ] 张艳玲, 潘根兴, 胡秋辉, 陈历程. 叶面喷施硒肥对低硒土壤中大豆不同蛋白组成及其硒分布的影响. 南京农业大学学报, 2003, 26(1): 37-40.
- [ 22 ] 尚庆茂, 李平兰, 高丽红. 水培生菜对硒的吸收和转化. 园艺学报, 1997, 24(3): 255-258.
- [ 23 ] Munshi C B, Combs G F Jr, Mondy N I. Effect of selenium on the nitrogenous constituents of the potato. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38(11): 2000-2002.
- [ 24 ] 张琳, 梁晓芳, 申国明, 吴卫国, 秦兴成, 倪超, 时鹏. 低硒土壤条件下施硒对烤烟烟叶品质的影响. 中国烟草科学, 2010, 31(6): 46-49.
- [ 25 ] 夏永香, 刘世琦, 李贺, 陈祥伟. 硒对大蒜生理特性、含硒量及品质的影响. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 733-741.
- [ 26 ] 李彦, 罗胜国, 刘元英. 硒对番茄叶片中 GSH-Px 活性和其产量、品质的影响. 山东农业科学, 1999, (6): 38-39.
- [ 26 ] 李彦, 罗胜国, 刘元英. 硒对番茄叶片中 GSH-Px 活性和其产量、品质的影响. 山东农业科学, 1999, (6): 38-39.
- [ 27 ] 王晋民, 赵之重, 沈增基. 叶面施硒对青花菜含硒量及产量和品质的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(3): 127-129.
- [ 28 ] 段咏新, 傅庭治, 傅家瑞. 硒在大蒜体内的生物富集及其抗氧化作用. 园艺学报, 1997, 24(4): 343-347.
- [ 29 ] 王永勤, 曹家树, 李建华, 赵猛, 赵桂芳. 施硒对大蒜产量和含硒量的影响. 园艺学报, 2001, 28(5): 425-429.
- [ 30 ] 郭孝, 李明, 介晓磊, 李建平, 黄安群, 石志芳, 肖曙光. 基施硒肥对苜蓿产量和微量元素含量的影响. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5): 1235-1242.
- [ 31 ] 杜振宇, 史衍玺, 王清华. 施硒对茄子吸收转化硒和品质的影响. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 298-301.
- [ 32 ] 王晋民, 赵之重, 李国荣. 硒对胡萝卜含硒量、产量及品质的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 240-244.
- [ 33 ] Bicas P A, Daoud H G, Kodar I. Effect of Mo, Se, Zn and Cr treatments on the yield, element concentration, and carotenoid content of carrot. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43(3): 589-591.
- [ 34 ] 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. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(9): 122-127.
- [ 35 ] 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. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 353-358.
- [ 36 ] 谢春生, 唐栓虎, 徐培智, 张发宝, 陈建生. 一次性施用控释肥对水稻植株生长及产量的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 177-182.
- [ 37 ] 侯笑林, 张民, 段路路, 王慧, 宋瑞磊. 控释复肥对马蹄莲养分淋溶损失及生长发育的影响. 水土保持学报, 2008, 22(4): 157-162.
- [ 38 ] 杨光圻. 膳食硒需要量和安全摄入量范围研究结果述要. 营养学报, 1992, 14(3): 318-321.
- [ 39 ] 杨光圻, 顾履珍. 微量元素硒的人体需要量和安全摄入量范围. 生理科学进展, 1998, 23(2): 184-186.