

正交试验分析不同作物的产量、含硒量与土壤酸碱度、硒酸盐、亚硒酸盐含量的相关性

陈永波,黄光昱,胡百顺,秦 邦,刘淑琴,张朝阳,陈 娥,熊 倩

(恩施州硒应用技术与产品开发研究院,湖北 恩施 445000)

摘要: 采用正交试验研究了碎米荠、韭菜、大豆、马铃薯的产量、含硒量与土壤酸碱度、硒酸盐、亚硒酸盐含量的关系。结果表明:影响作物含硒量最大的因素是作物品种,不同作物间差异极显著。在土壤中施用硒酸钠和亚硒酸钠均能够提高作物含硒量,用量均以1.0 mg/kg为宜;硒酸钠会使作物产量降低,用量过高使作物硒吸收总量下降;土壤pH值增加有利于植物对硒的吸收,但综合考虑作物产量、含硒量和硒摄入总量,土壤适合的pH值应在6.7~7.9之间。

关键词: 正交试验;含硒量;土壤酸碱度;硒酸盐;亚硒酸盐

中图分类号: S143.7+1

文献标识码: A

文章编号:2096-3491(2018)04-0366-05

Correlation analysis between yield, selenium content in different crops and pH, selenate and selenite in soils by orthogonal experiment

CHEN Yongbo, HUANG Guangyu, HU Baishun, QIN Bang, LIU Shuqin, ZHANG Chaoyang, CHEN E, XIONG Qian

(Enshi Selenium Application Technology and Product Development Research Institute, Enshi 445000, Hubei, China)

Abstract: Orthogonal experiments were conducted to study the correlation between yield, selenium content in *Cardamine hirsuta*, leek, soybean, potato and soil pH, selenate, and selenite content. The results showed that the most important factor affecting the selenium content of crops was crop varieties, and the differences among different crops were extremely significant. The application of sodium selenate and sodium selenite in the soil could increase the selenium content of the crop, and the optimum dosage was 1.0 mg/kg. Sodium selenate reduced the yield of crops, the total absorption of selenium in crops decreased when high dosage was used. The increase of soil pH is favorable for the absorption of selenium by plants, but considering the crop yield, selenium content and the total intake of selenium, the soil suitable pH value should be between 6.7~7.9.

Key words: orthogonal experiment; selenium content; soil pH; selenate; selenite

0 引言

土壤硒是植物中硒的主要来源,相关研究表明:土壤全硒含量与植物中硒含量没有显著的相关性^[1,2],与小麦、马铃薯中硒含量及水稻米粒中硒含

量之间相关性较差^[3,4],而土壤有效硒与小麦(谷物)中硒含量相关性良好^[5,6]。

硒肥在不同作物上的应用表明:土壤中的亚硒酸根离子和硒酸盐离子是植物中硒的主要来源,施用硒肥具有提高作物产量和含硒量的作用^[7~15],但

收稿日期:2016-12-27 修回日期:2018-05-08

作者简介:陈永波(1967-),男,正高职高级农艺师,本科,现主要从事硒应用技术与产品开发工作。E-mail:545529518@qq.com。

基金项目:农业行业标准制定项目“土壤中有有效硒的测定 高效液相-原子荧光光谱法”(18162130109237110)。

引用格式:Chen Y B, Huang G Y, Hu B S, *et al.* Correlation analysis between yield, selenium content in different crops and pH, selenate and selenite in soils by orthogonal experiment [J]. Biotic Resources, 2018, 40(4): 366-370.

陈永波,黄光昱,胡百顺,等. 正交试验分析不同作物的产量、含硒量与土壤酸碱度、硒酸盐、亚硒酸盐含量的相关性[J]. 生物资源, 2018, 40(4): 366-370.

不同形态的硒对不同作物的增产及富硒效果没有系统报道。本文通过盆栽试验,采用正交试验设计,研究在不同土壤酸碱度下碎米荠、韭菜、马铃薯、大豆等作物产量、含硒量与硒酸盐、亚硒酸盐加入量的相关性,为富硒植物资源筛选及合理开发利用硒肥奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 材 料

碎米荠、韭菜、大豆、马铃薯(米拉)由恩施州农科院提供,硒酸钠(化学纯),亚硒酸钠(化学纯),熟石灰,NPK复合肥(N:P:K=15:15:15)均为市售;土壤来自天池山马铃薯实验基地,测得总硒含量0.36 mg/kg,pH 5.5。

1.2 试 验 设 计

采用正交试验,共设计4个因素,分别为A:种植作物、B:土壤pH值、C:亚硒酸钠加入量、D:硒酸钠加入量,每个因素4个水平,采用 $L_{16}(4^4)$ 正交表,共16个处理,每个处理5盆,试验因素与水平见表1。

盆栽土壤处理:将土壤碾细,捡去其中的石块、树根等杂物,过1 cm筛,取16份,每份50 kg,分4组,每组4份,分别加入石灰0、250、500、750 g,拌匀后测得pH值分别为5.5、6.7、7.9和9.0;硒酸钠和亚硒酸钠称量后,先与少量细土混合,再混入土壤中,搅拌混匀,装钵,每个处理5钵,每钵10 kg,加NPK复合肥5 g,拌匀。

表1 正交试验因素与水平
Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	因素			
	A 作物	B 土壤pH值/ 石灰加入量/g	C 亚硒酸钠加入量 /mg·kg ⁻¹	D 硒酸钠加入量 /mg·kg ⁻¹
1	碎米荠	5.5/0	0	0
2	韭 菜	6.7/250	0.5	0.5
3	大 豆	7.9/500	1.0	1.0
4	马铃薯	9.0/750	2.0	2.0

1.3 栽 培 管 理

栽培时间为2016年3月16日,16个处理按正交试验表分别栽培相应的作物:碎米荠苗2株/盆,韭菜5~6株/盆,大豆6粒/盆,马铃薯1个/盆(约30 g),定期浇水、施肥、除草,保障作物正常生长。

1.4 取 样

幼苗于作物生长盛期(4月16日)取样:碎米荠每株取2片叶,韭菜一茬全部割取,大豆苗每盆1株,马铃薯苗每盆1株,每个处理5盆的样品混合,干燥、粉碎后过100目筛,装袋备用。

产品取样:5月20日收割碎米荠地上部分、韭菜割取当茬;7月6日收获马铃薯,洗净、晾干后称重;8月17日收获大豆,种子称重。以上产品各取50 g左右烘干、粉碎后过100目筛,装袋备用。

1.5 含 硒 量 的 测 定

按照GB 5009.93-2017食品中总硒的测定方法测定样品中总硒含量。

2 结 果 分 析

2.1 作 物 长 势 观 察

2016年4月16日观察幼苗长势,均较健壮,各

处理无明显差异;5月9日观察,4种作物长势均以pH 5.5~6.7为佳,pH 7.9正常,pH 9.0较差。5月19日观察,碎米荠pH 5.5的处理出现枯叶,pH 6.7的处理生长旺盛;韭菜以pH 6.7~9.0生长旺盛;马铃薯以pH 5.5~6.7长势最好;大豆pH 5.5的处理较差。

2.2 试 验 分 析 结 果

正交试验中幼苗含硒量、成熟期产量、产品含硒量及硒总摄入量(产量×含硒量)测定结果见表2。

2.3 试 验 因 素 对 幼 苗 含 硒 量 的 影 响

通过极差分析可以看出试验因素对幼苗含硒量影响的大小顺序为A>D>B>C(表3、表4)。作物品种是含硒量高低的决定性因素,不同作物之间差异极显著,最高为碎米荠,其次是马铃薯、韭菜和 大豆,其余因素无显著差异。对同一种作物,pH值在5.5~9.0之间,含硒量随pH值升高而增加,说明pH升高有利于幼苗对硒的吸收。亚硒酸钠和硒酸钠加入量在0~1.0 mg/kg之间,含量变化对幼苗影响很小,在2.0 mg/kg时,幼苗含硒量提高,因此在pH值为9.0,亚硒酸钠和硒酸钠均为2.0 mg/kg的条件下,幼苗含硒量最高。

表2 正交试验结果
Table 2 Result of orthogonal experiment

试验编号	因素				结果			
	A	B	C	D	幼苗含硒量 /mg·kg ⁻¹	产量 /g	产品含硒量 /mg·kg ⁻¹	硒摄入总量 /mg
1	碎米荠	5.5	0	0	66.46	113.85	154.92	17.64
2	碎米荠	6.7	0.5	0.5	67.23	117.74	177.29	20.87
3	碎米荠	7.9	1.0	1.0	66.77	95.55	277.53	26.52
4	碎米荠	9.0	2.0	2.0	94.89	46.37	349.98	16.23
5	韭菜	5.5	0.5	1.0	1.35	32.71	11.25	0.37
6	韭菜	6.7	0	2.0	2.59	43.26	37.58	1.63
7	韭菜	7.9	2.0	0	1.32	47.05	15.93	0.75
8	韭菜	9.0	1.0	0.5	2.20	40.55	28.21	1.14
9	大豆	5.5	1.0	2.0	0.63	91.93	1.54	0.14
10	大豆	6.7	2.0	1.0	0.51	155.17	1.10	0.17
11	大豆	7.9	0	0.5	0.67	106.29	1.04	0.11
12	大豆	9.0	0.5	0	0.64	149.12	0.94	0.14
13	马铃薯	5.5	2.0	0.5	0.19	553.37	0.21	0.12
14	马铃薯	6.7	1.0	0	0.34	567.40	0.24	0.14
15	马铃薯	7.9	0.5	2.0	4.54	372.82	1.82	0.68
16	马铃薯	9.0	0	1.0	3.36	348.26	1.32	0.46

表3 幼苗含硒量极差分析
Table 3 Range analysis of selenium content in seedling

参数	A	B	C	D
K ₁	73.84	17.16	18.27	17.19
K ₂	1.87	17.67	18.44	17.57
K ₃	0.61	18.33	17.49	18.00
K ₄	2.11	25.27	24.23	25.66
R	73.23	8.12	6.74	8.47

表4 幼苗含硒量方差分析
Table 4 Variance analysis of selenium content in seedling

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
A	15 690.997	3	7845.499	131.015	***
B	174.012	3	87.006	1.453	—
C	116.005	3	58.003	0.969	—
D	196.963	3	98.482	1.645	—
误差	119.765	3	59.883		

注: $F_{0.10}(3,3)=5.36, F_{0.05}(3,3)=9.28, F_{0.01}(3,3)=29.46$
 Note: $F_{0.10}(3,3)=5.36, F_{0.05}(3,3)=9.28, F_{0.01}(3,3)=29.46$

2.4 试验因素对作物产量的影响

从5和表6中可以看出,试验因素对作物产量影响的大小顺序为A>D>B>C。本试验中,不同

作物产量没有可比性。对同一种作物, pH值在5.6~6.7之间时,产量随pH值升高而增加, pH值在6.7~9.0之间时,产量随pH值升高而下降。亚硒酸钠在0~2.0 mg/kg之间时,产量随加入量增加而提高;硒酸钠在0~2.0 mg/kg之间时,产量随硒酸钠加入量增加而下降。土壤pH值为6.5、亚硒酸钠2.0 mg/kg、不施硒酸钠时产量最高,因此在偏酸性环境下,增加土壤中亚硒酸盐的含量有利于作物产量的提高,硒酸盐做硒肥加入土壤会使作物产量降低。

表5 产量极差分析
Table 5 Range analysis of output

参数	A	B	C	D
K ₁	93.38	197.97	152.92	219.36
K ₂	40.89	220.89	168.10	204.49
K ₃	125.63	155.43	198.86	157.92
K ₄	460.46	146.08	200.49	138.60
R	419.57	74.82	47.58	80.76

2.5 试验因素对成熟期作物含硒量的影响

从表7和表8中可以看出,试验因素对成熟期作物含硒量影响的大小顺序为A>D>B>C。在所试验的4种作物中,十字花科的碎米荠茎叶达到

表6 产量方差分析

Table 6 Variance analysis of output

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
A	433879.617	3	216939.809	57.031	***
B	14998.475	3	7499.238	1.971	—
C	6602.719	3	3301.359	0.868	—
D	17400.845	3	8700.423	2.287	—
误差	7607.789	3	3803.895		

注: $F_{0.10}(3,3)=5.36, F_{0.05}(3,3)=9.28, F_{0.01}(3,3)=29.46$
 Note: $F_{0.10}(3,3)=5.36, F_{0.05}(3,3)=9.28, F_{0.01}(3,3)=29.46$

239.93 mg/kg, 马铃薯仅达到0.90 mg/kg。对于同一种作物, pH值在5.5~9.0之间, 产品含硒量随pH值增加而提高; 硒酸钠加入量在0~2.0 mg/kg之间, 产品含硒量随加入量增加而提高; 亚硒酸钠加入量在0.5~2.0 mg/kg之间时, 产品含硒量随硒加入量增加而提高, 在0.5 mg/kg时, 产品含硒量与不加亚硒酸钠相当, 说明土壤中加入亚硒酸钠含量低于0.5 mg/kg时, 对作物含硒量影响不大。

表7 产品含硒量极差分析

Table 7 Range analysis of selenium content in product

参数	A	B	C	D
K_1	239.93	41.98	48.72	43.01
K_2	23.24	54.05	47.83	51.69
K_3	1.16	74.08	76.88	72.80
K_4	0.90	95.11	91.81	97.73
R	239.03	53.13	43.98	54.72

表8 产品含硒量方差分析

Table 8 Variance analysis of selenium content in product

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
A	162 090.732	3	81 045.366	28.045	**
B	6 528.608	3	3 264.304	1.130	—
C	5 651.996	3	2 825.998	0.980	—
D	7 144.642	3	3 572.321	1.236	—
误差	5 779.664	3	2 889.832		

注: $F_{0.10}(3,3)=5.36, F_{0.05}(3,3)=9.28, F_{0.01}(3,3)=29.46$
 Note: $F_{0.10}(3,3)=5.36, F_{0.05}(3,3)=9.28, F_{0.01}(3,3)=29.46$

2.6 试验因素对作物硒摄入总量的影响

作物总硒摄入量为成熟期作物含硒量与产量之积。从表9和表10中可以看出, 试验因素对作物总硒摄入量影响的大小顺序为A>C>B>D。硒

摄入总量最多为碎米茅, 达到20.32 mg, 最低为大豆, 只有0.14 mg。对同一种作物, pH值在5.5~8.0之间、硒酸钠和亚硒酸钠0~1.0 mg/kg之间时硒摄入量呈上升趋势, pH值为7.9~9.0、硒酸钠和亚硒酸钠含量在1.0~2.0 mg/kg时硒摄入量呈下降趋势, 说明pH值为7.9、硒酸钠和亚硒酸钠均为1.0 mg/kg时作物硒摄入量最高, 土壤pH值超过7.9, 硒酸钠和亚硒酸钠加入量超过1.0 mg/kg都不适合作物吸收。

表9 产品中硒吸入总量极差分析

Table 9 Range analysis of total intake of selenium in product

参数	A	B	C	D
K_1	20.32	4.57	4.96	4.67
K_2	0.97	5.70	5.52	5.56
K_3	0.14	7.02	6.99	6.88
K_4	0.35	4.49	4.32	4.67
R	20.18	2.52	2.67	2.21

表10 产品中硒吸入总量方差分析

Table 10 Variance analysis of total intake of selenium in product

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
A	1 180.889	3	590.444	64.637	***
B	16.834	3	8.417	0.921	—
C	15.532	3	7.766	0.850	—
D	13.110	3	6.555	0.718	—
误差	18.269	3	9.135		

注: $F_{0.10}(3,3)=5.36, F_{0.05}(3,3)=9.28, F_{0.01}(3,3)=29.46$
 Note: $F_{0.10}(3,3)=5.36, F_{0.05}(3,3)=9.28, F_{0.01}(3,3)=29.46$

3 结论

通过幼苗长势可以观察不同作物对土壤pH的适应性: 马铃薯适合酸性土壤, 碎米茅和大豆均不适合酸性土壤, 韭菜适合偏碱性土壤。在土壤中施用含硒酸钠和亚硒酸钠均能够提高作物含硒量, 其适用量均为1.0 mg/kg土壤, 用量过高反而使作物硒吸收总量下降; 施用亚硒酸钠能使作物增产, 而硒酸钠会使作物减产; 作物品种是产品含硒量高低的决定因素, 不同作物在相同含硒量的土壤中生长, 含硒量相差很大, 由此可以筛选聚硒植物、富硒植物和非富硒植物; 土壤pH值增加有利于植物对硒的吸收, 但综合作物产量、含硒量和硒摄入总量考虑, 土壤适合的pH值应在6.5~7.9之间。这一

结论对富硒肥料的开发和施用具有指导意义。

参考文献

- [1] De T L, Waegencers N, Thiry C, *et al.* Selenium content of belgian cultivated soils and its uptake by field crops and vegetables [J]. *Sci Totl Env*, 2014, 468-469: 77-82.
- [2] Zhang H, Feng X, Zhu J, *et al.* Selenium in soil inhibits mercury uptake and translocation in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Env Sci Technob*, 2012, 46(18): 10040-10046.
- [3] Rodriguez M M, Rivero V C, Ballesta R J. Selenium distribution in topsoils and plants of a semi-arid Mediterranean environment [J]. *Env Geochem & Health*, 2005. 27(5-6): 513-519.
- [4] Zhao F, Su Y, Dunham S, *et al.* Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin [J]. *Jour Cereal Sci*, 2009. 49(2): 290-295.
- [5] Juniper D L, Phipps R H, Ramos-Morales E, *et al.* Effect of high dose selenium enriched yeast diets on the distribution of total selenium and selenium species within lamb tissues [J]. *Livest Sci*, 2009. 122(1): 63-67.
- [6] Zhang H H, Kang Y F. Research progress in plant uptake and transformation of selenium [J]. *Jour Mt Agr Biol*, 2013, 32(3): 270-275.
张华华, 康玉凡. 植物吸收和转化硒的研究进展[J]. *山地农业生物学报*, 2013. 32(3): 270-275.
- [7] Xiang J Q, Yang Y K, Yin H Q, *et al.* Study on cultivation techniques of artificial selenium supplementation for *Cardamine pansy* [J]. *Jour of HBIN (Nat Sci Ed)*, 2012, 30(4): 421-423.
向极轩, 杨永康, 殷红清, 等. 藜叶碎米荠人工补硒栽培技术研究[J]. *湖北民族学院学报(自然科学版)*, 2012,30(4): 421-423.
- [8] Lei H L, Lu H B, Cai J Z, *et al.* Effects of exogenous selenium on the effective components in leaves of *Cardamine* in Enshi [J]. *HB Agri Sci*, 2010, 49(7):1599-1601.
雷红灵, 陆海波, 蔡金洲, 等. 外源硒对恩施碎米荠叶片有效成分的影响[J]. *湖北农业科学*, 2010, 49(7): 1599-1601.
- [9] Fan J, Wang R, Xiang B K, *et al.* Effect of different selenium sources on absorption and transformation of selenium from *Cardamine pansy* [J]. *CN Soil Fertilizer*, 2014(1): 63-68.
樊俊, 王瑞, 向必坤, 等. 不同硒源对藜叶碎米荠吸收、转化硒的效应研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2014(1): 63-68.
- [10] Liu J, Liu C S, Shi Q H, *et al.* Effect of new Se-enriched fertilizer on growth and quality of leek [J]. *CASB*, 2011, 27(16): 164-167.
刘军, 刘春生, 史庆华, 等. 新型富硒肥料对韭菜生长及品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(16): 164-167.
- [11] Huang G Y, Zhou Y H, Chen Y B, *et al.* Effects of bio-organic fertilizer and compound microbial fungicides on selenium enrichment of potato and cucumber [J]. *HB Agr Sci*, 2013, 52(21): 5153-5155.
黄光昱, 周迎红, 陈永波, 等. 马铃薯、黄瓜施用生物有机肥和复合微生物菌剂的富硒效果[J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(21): 5153-5155.
- [12] Yang L H, Meng M L, Chen Y J, *et al.* Effect of fertilizer combination on yield and quality of potato [J]. *CASB*, 2013, 29(12): 136-140.
杨丽辉, 蒙美莲, 陈有君, 等. 肥料配施对马铃薯产量和品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(12): 136-140.
- [13] Yin J Y, Geng Z C, Li Z Y, *et al.* Effect of selenium fertilizer on selenium absorption, transformation, yield and quality of potato [J]. *Eco Jour*, 2015, 35(3): 823-829.
殷金岩, 耿增超, 李致颖, 等. 硒肥对马铃薯硒素吸收、转化及产量、品质的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(3): 823-829.
- [14] Zhang Y L, Pan G X, Hu Q H, *et al.* Effects of foliar application of selenium fertilizer on soybean protein composition and selenium distribution in low selenium soil [J]. *JNJ Agr U.*, 2003, 26(1): 37-41.
张艳玲, 潘根兴, 胡秋辉, 等. 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[J]. *南京农业大学学报*, 2003, 26(1): 37-41.
- [15] Hu B S, Chen Y B, Li H Y, *et al.* Research progress on the application of selenium fertilizer in local characteristic biological resources [J]. *Amino Acids & Biotic Resources*, 2014, 36(1): 19-22.
胡百顺, 陈永波, 李红英, 等. 硒肥在地方特色生物资源中的应用研究进展[J]. *氨基酸和生物资源*, 2014, 36(1): 19-22.

□