

影响作物吸收硒的土肥因素研究进展^①

刘 敏^{1,2}, 张瑞瑞¹, 郑韵英¹, 王日明², 杨利琼², 刘永贤³, 袁林喜⁶,
尹雪斌^{4,5,6}, 尹艳镇^{1*}

(1 北部湾滨海富硒功能研究院, 钦州学院, 广西钦州 535011; 2 钦州学院资源与环境学院, 广西钦州 535011; 3 广西农业科学院农业资源与环境研究所, 南宁 530007; 4 中国科学技术大学地球与空间科学学院, 合肥 230026; 5 中国科学技术大学苏州研究院功能农业重点实验室, 江苏苏州 215123; 6 江苏省硒生物工程技术研究中心, 江苏苏州 215123)

摘 要: 硒是人体的必需元素, 硒缺乏会造成多种疾病。通过摄入农产品适量补充硒, 能保证人体健康。对作物补充适量硒肥, 是增加农产品硒含量的有效措施。作物吸收硒与土壤因素及肥料因素关系密切, 判断哪个因素是影响作物吸收硒最关键的因素值得探讨。通过对文献系统调研发现, 影响作物吸收硒的土肥因素中, 土壤本身的硒含量及硒肥量最关键, 土壤 pH 及有机质含量为活化土壤硒的间接因素, 硒肥种类及施肥方式为配合硒肥量的补充因素。促进作物对硒的吸收要结合土壤性质、硒肥量、施肥方式等因素综合考虑, 以达到富硒农产品高产高效的目的。

关键词: 硒肥; 土壤性质; 施肥量; 硒肥种类; 施肥方式

中图分类号: S153.6; S158.3; S147.5 文献标识码: A

硒是世界公认的健康元素, 硒蛋白和人体健康关系密切^[1]。硒的抗氧化作用促进人体健康^[2], 硒在细胞增殖和细胞凋亡的过程中起作用, 可以预防某些类型的癌症^[3]。人类通过食物适量补充硒素^[4], 能预防“硒隐性饥饿”^[5]。中国硒资源分布不均, 造成了既存在硒资源, 又有多数人口缺硒的现状^[6]。对作物补充硒肥能增加农产品的硒含量^[7]。影响作物吸收硒的土壤因素包括土壤本身的硒含量、pH、有机质及营养元素等, 影响作物吸收硒的肥料因素包括施肥量、肥料种类及施肥方式等。判断哪个土肥因素是影响作物吸收硒最关键的因素, 对富硒农作物高产高效具有指导意义。

1 土壤性质对作物吸收硒的影响

土壤性质主要包括土壤本身的硒含量、pH、有机质及营养元素等。有研究指出, 小麦籽粒中的硒含量与土壤中硒含量、pH、正磷酸盐含量密切相关^[8]。

1.1 土壤硒含量

水稻根系、茎叶和籽粒中的硒含量均随着土壤硒含量增加而增加^[9]。在富硒土壤上种植红衣花生, 不施用硒肥时, 花生仁硒含量也达到富硒农产品标

准^[10]。小麦籽粒中的硒含量受到土壤中生物可利用硒的强烈影响^[8]。在不同植物间进行比较, 总硒含量及可用硒含量在整个生长季对植物累积硒效果相似^[11]。在低硒土壤中硒的总量和生物可利用硒含量之间大致呈线性关系, 然而在总硒含量 > 2 mg/kg 的土壤中, 硒的总量和生物可利用硒含量不相关^[12]。

1.2 土壤理化性质

1.2.1 pH 研究指出在缺硒或潜在缺硒为主的三峡库区(重庆段), 表层土壤硒含量随着 pH 的增加而减少^[13], 在缺硒或潜在缺硒为主的黑龙江地区土壤全硒含量与土壤 pH 呈极显著负相关^[14]。硒的化学形态受土壤 pH 影响, 极易被吸附在土壤中的铝、铁或锰的氢氧化物上^[15]。低硒土壤中不同 pH 影响作物对硒的吸收^[16], 环境中无机硒的移动性和生物可利用性随土壤 pH 的增加而增加^[6]。周鑫斌等^[17]报道, 中性紫色土对硒的吸附量随着土壤溶液 pH 升高而减少, 并指出是因为土壤 pH 直接影响土壤溶液中亚硒酸盐的浓度, 进而影响植物对土壤有效硒的吸收。

1.2.2 有机质 土壤有机质对硒具有明显的富集作用^[18], 土壤全硒含量与土壤有机碳具有极显著正相关关系^[14]。土壤有机质与土壤硒的固化有关^[19],

基金项目: 钦州学院校级科研项目(2017KYQD222)和广西创新驱动发展富硒重大专项(桂科 AA17202010; 桂科 AA17202037)资助。

* 通讯作者(yinyanzhen2009@163.com)

作者简介: 刘敏(1982—), 女, 河北保定人, 博士, 农艺师, 主要从事土壤硒素活化研究。E-mail: minminliu1025@163.com

在土壤有机质含量低时,作物对硒吸收量增加,但当土壤有机质含量高于某一值时,作物对硒的吸收量就会减少^[20]。有研究指出,土壤硒的有效性在不同土壤中影响因素不同。在有机质含量不高的土壤中,土壤硒的有效性与土壤有效磷、速效钾和土壤电导率显著负相关,在有机质含量高的土壤中土壤硒的有效性随土壤有机质的增加而增加^[21]。因此,环境因素的变化会导致土壤有机质关联和聚合程度的改变,从而导致硒移动性和生物可利用性的改变^[22]。土壤有机质可以通过生物和非生物机制使土壤中的硒固定,并减少硒生物可利用性^[23]。耕作层的硒浓度主要与土壤有机碳含量有关,随着土壤有机碳的积累,抑制作物对硒的吸收^[24]。土壤可提取亚硒酸盐与土壤有机质的变化规律恰好相反^[25]。

1.2.3 营养元素 预测植物吸收量的预测模型应该包括作为硒累积的影响因子的土壤硫^[11]。英国小麦地土壤上常常施用硫,硫对籽粒中硒的浓度有不同的影响,这取决于土壤硫的形态、pH 以及可能的其他因素^[26]。施用六价硒的处理对硒的累积最少,硒的种类和土壤硫是重要的土壤参数^[11]。此外,主要土壤养分的不足也降低了籽粒硒的浓度,尤其是磷的缺乏^[24]。环境中无机硒的移动性和生物可利用性随着氧化铁的增加而减少^[27]。铁锰氧化物对硒具有明显的富集作用^[18]。将同位素示踪法用于追踪农业土壤的生物化学过程,发现有机态的硒比水溶性的硒更轻,与不同土壤深度的碳氮比密切相关,原因为因氧化还原反应发生的硒的固化控制硒在土壤中的生物地球化学循环过程^[28]。

2 肥料性质对作物吸收硒的影响

施用硒肥是一种有效提高作物硒含量的生物强化措施。优化肥料配方、施肥量和施肥时期等施肥条件,能有效调高肥料利用率,使植株叶片和硒肥的吸收率达到最高^[29]。在芬兰,自1984年以来,为了增加国内食物的硒含量,并提高人口的硒摄入量,所有的农业复合肥料都添加硒酸钠^[7]。在贫硒地区施用硒肥可以提高小扁豆生物量及产量,并增加果实含硒量提高果实品质;两种施肥方式(叶面施肥及土壤施肥)及两种硒肥形态(硒酸钾及亚硒酸钾)都能提高籽粒中的有机硒含量^[30]。硒肥能增强小麦抗逆性^[31],不同用量、不同浓度的含硒叶面肥对降低稻米重金属镉含量差异显著^[32]。适量增施硒肥可有效减少烤烟病害的发生,提高烤烟产量与质量,提高烤烟硒含量,改善内在品质^[33]。追施不同状态硒肥能提高马铃薯块

茎维生素C含量^[34]。硒肥可以提高小麦籽粒中的硒含量,低浓度硒处理可以提高小麦籽粒的百粒重^[35]。

2.1 硒肥量

硒肥量与小麦硒含量关系密切,二者一般呈正相关关系,籽粒中总硒和有机硒含量随施硒量增加而增大^[36]。施硒可显著提高紫甘薯薯块硒含量^[37]。水稻和小麦籽粒的硒含量和施硒肥量之间呈显著的正相关关系^[38]。大豆各器官的硒含量随着外源硒肥浓度的增加呈递增的趋势^[39]。随着施硒量的增加,紫云英含硒量也随之增加,两者相关性达到极显著水平^[40]。有研究指出,烤后烟叶硒含量随土壤施硒量增加呈现抛物线趋势^[41]。但也有研究指出,施硒肥量较小时,梨硒含量与施硒肥量呈正相关;但当施硒肥量较高时,梨硒含量反而会下降^[42]。

2.2 硒肥种类

硒肥的种类较多,按照施肥方式、物料状况及肥料的化学成分可分为不同种类硒肥以及新型硒肥料,其中新型硒肥包括生物硒肥、纳米硒肥及缓释硒肥^[43]。

2.2.1 无机硒肥 研究显示,硒粉(分析纯)对小麦生长没有显著影响,硒矿(硒含量4 054.12 mg/kg)促进小麦生长,硒酸钠(分析纯)和亚硒酸钠(分析纯)适宜浓度促进小麦生长,抗氧化酶的活性增强,浓度过大抑制小麦生长^[44]。六价硒因其在土壤中的低吸附性,可被植物有效利用。作物生长期在土壤中加入六价硒,能有效提高粮食作物抗性水平^[45]。硒的形态和浓度都将影响作物对硒的吸收、分配和代谢,在低浓度下,亚硒酸盐要比硒酸盐更易吸收,硒酸盐可能抑制根对亚硒酸盐的吸收^[46]。但也有研究指出,无机硒比有机硒更具有生物活性,能高出3~6倍。在黏土中无机硒往往会提高所有植物硒的浓度和所有生长阶段硒的浓度,有机硒远不如无机硒能提高植物中的硒含量,因此,建议使用无机硒来进行生物强化^[47]。

2.2.2 有机硒肥 有机形式的硒比无机形式具有更大的速率被吸收,亚硒酸盐要比硒酸盐有更大的吸收速率,而硒代蛋氨酸的吸收效率则更高^[48]。世界各地的缺硒地区,主要是由将无机硒添加到土壤中,进行硒生物强化。添加有机原料硒,可以作为一种改良含硒食品的替代方案^[49]。富硒的超积累植物是健康有机硒肥,可以作为一种很有价值的土壤改良剂,让胡萝卜生长得更健康^[50]。用富硒秸秆作为基质种植蘑菇,由这些蘑菇积累的硒引起的抗氧化活性增加,表明了生物系统中硒的抗氧化性。使用积累硒的

农业残留物作为基质生产富硒蘑菇可以作为补充硒的营养食品的潜在来源^[51]。

2.2.3 其他种类硒肥 研究显示,使用缓释硒肥可有效增加菠菜产量及菠菜体内硒含量,提高菠菜品质^[52]。保水缓释硒肥与硒酸钠硒肥及亚硒酸钠硒肥相比,更能增加马铃薯产量^[53]。细菌合成的纳米硒具有无毒、稳定、较高生物活性等特性^[54],纳米硒可以在短期的高或低的脉冲后改善番茄植株生长参数^[55]。

2.3 施肥方式

目前常用的施肥方式种类较多,有拌种、包衣、基施、追施、滴灌、淋施及喷施等。无论哪种施肥方式,只要将硒肥施入土壤,肥效必将受到土壤理化性质的影响,不接触土壤肥效才能不受土壤理化性质的影响,因此可将施肥方式归为接触土壤类及不接触土壤类两种。研究表明,叶面喷施亚硒酸钠也可以有效提高胡萝卜的硒含量^[56]和生物量^[57],叶面喷施硒肥比在土壤中施硒肥对提高小麦籽粒硒含量更有效^[31],叶面喷施硒肥比淋根施硒肥方式更能显著提高双低油菜含硒量^[58]。与土施相比,喷施处理后梨对硒的吸收快、吸收和积累效率高、硒利用率高^[42]。叶面喷施硒肥比根部淋施更能促进红衣花生对硒的吸收^[10]。龙友华等^[59]对猕猴桃施用硒肥的研究结果显示,综合施肥方式优于单一施肥方式,不同施硒方式的综合效果顺序为叶面喷施+土壤穴施>叶面喷施>土壤穴施。

3 问题与展望

影响作物吸收硒的土壤因素中土壤本身的硒含量起到关键作用,作物硒含量随着土壤硒含量增加而增加,富硒土壤生长的作物易达到富硒标准^[9-10]。在土壤理化性质中,土壤 pH 越高,越利于作物吸收硒^[13-17],多数情况下土壤有机质含量低利于作物吸收硒^[18-25]。因此,一般情况下土壤条件为本身硒含量高、pH 高、有机质含量低利于作物对硒吸收。土壤硒含量低,可以外源添加硒肥,或者通过调节土壤 pH 及有机质含量等手段活化土壤硒以利于作物吸收。

为了提高作物对硒的吸收,外源添加硒肥涉及到硒肥量、硒肥种类以及施肥方式等,这些统称为影响作物吸收硒的肥料因素。其中硒肥量为关键因素,在一定范围内硒肥量越高,作物吸收硒越多,但超过一定范围作物硒含量反而下降^[36-42]。所有种类硒肥在合理的浓度范围内均能促进作物对硒的

吸收,不同硒肥对作物的作用及作物的吸收性不一而足,哪种硒肥最易促进作物吸收还没有统一结论,但是人们对更优质新品种硒肥的开发在不断探索^[44-55]。施肥方式也是较关键因素,不接触土壤喷施,比多种土施方式更有利于作物对硒的吸收,但将二者综合使用效果更优^[56-59]。

综上,影响作物吸收硒的土壤因素中,土壤本身的硒含量及硒肥量最关键,土壤 pH 及有机质含量为活化土壤硒的间接因素,硒肥种类及施肥方式为配合硒肥量的补充因素。促进作物对硒的吸收要结合土壤性质、硒肥量、施肥方式等因素综合考虑,以达到富硒农产品高产高效的目的。当前,有关硒的研究虽然得到了大量的结果和结论,但从长远发展来看还存在亟待解决的问题,如如何开发作物更易吸收的新型硒肥种类是目前研究人员面临的挑战;仅靠开采陆地富硒地区的硒资源作为硒肥,长此以往必将存在陆地硒资源枯竭的危机,如何将大量的海洋硒资源补充到陆地,丰富陆地硒资源值得关注^[60]。

参考文献:

- [1] Brown K M, Arthur J R. Selenium, selenoproteins and human health: A review[J]. Public Health Nutrition, 2001, 4(2b): 593-599
- [2] Volp A C P, Bressan J, Hermsdorff H H M, et al. Selenium antioxidant effects and its link with inflammation and metabolic syndrome[J]. Revista De Nutrição, 2010, 23(4): 581-590
- [3] Riaz M, Mehmood K T. Selenium in human health and disease: A review[J]. Jpmi Journal of Postgraduate Medical Institute, 2012, 26(2): 120-133
- [4] Broadley M R, White P J, Bryson R J, et al. Biofortification of UK food crops with selenium[J]. Proceedings of the Nutrition Society, 2006, 65(2): 169-181
- [5] 袁丽君, 袁林喜, 尹雪斌, 等. 硒的生理功能、摄入现状与对策研究进展[J]. 生物技术进展, 2016, 6(6): 396-405
- [6] Steinnes E. Soils and geomedicine[J]. Environmental Geochemistry & Health, 2009, 31(5): 523-535
- [7] Eurola M H, Ekholm P I, Ylinen M E, et al. Selenium in Finnish foods after beginning the use of selenate-supplemented fertilisers[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 56(1): 57-70
- [8] Sanghun L, Howard J W, James J D. Selenium uptake response among selected wheat (*Triticum aestivum*) varieties and relationship with soil selenium fractions[J]. Soil Science & Plant Nutrition, 2011, 57(6): 823-832
- [9] 姜超强, 沈嘉, 祖朝龙. 水稻对天然富硒土壤硒的吸收及转运[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 809-816
- [10] 刘义明, 凌钊, 韩玉芬, 等. 施用硒微肥对红衣花生硒含量的影响[J]. 作物杂志, 2016(2): 105-107

- [11] Kikkert J, Berkelaar E. Plant uptake and translocation of inorganic and organic forms of selenium[J]. Archives of Environmental Contamination & Toxicology, 2013, 65(3): 458–465
- [12] Statwick J, Sher A A. Selenium in soils of western Colorado[J]. Journal of Arid Environments, 2017, 137:1–6
- [13] 罗友进, 韩国辉, 孙协平, 等. 三峡库区(重庆段)土壤硒分布特征及影响因素[J]. 土壤, 2018, 50(1): 131–138
- [14] 迟凤琴, 徐强, 匡恩俊, 等. 黑龙江省土壤硒分布及其影响因素研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(5): 1262–1274
- [15] Nakamaru Y M, Altansuvd J. Speciation and bioavailability of selenium and antimony in non-flooded and wetland soils: A review[J]. Chemosphere, 2014, 111: 366–371
- [16] Gissel Nielsen G. Influence of pH and texture of the soil on plant uptake of added selenium[J]. J. Agric. Food Chem., 1971, 19(6): 1165–1167
- [17] 周鑫斌, 于淑慧, 谢德体. pH 和三种阴离子对紫色土亚硒酸盐吸附-解吸的影响[J]. 土壤学报, 2015(5): 1069–1077
- [18] 戴慧敏, 宫传东, 董北, 等. 东北平原土壤硒分布特征及影响因素[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1356–1364
- [19] Bruggeman C, Maes A, Vancluysen J. The interaction of dissolved Boom Clay and Gorleben humic substances with selenium oxyanions (selenite and selenate)[J]. Applied Geochemistry, 2007, 22(7): 1371–1379
- [20] Johnsson L. Selenium uptake by plants as a function of soil type, organic matter content and pH[J]. Plant & Soil, 1991, 133(1): 57–64
- [21] Fu M M, Huang B, Jia M M, et al. Effect of intensive greenhouse vegetable cultivation on selenium availability in soil[J]. Pedosphere, 2015, 25(3): 343–350
- [22] Tolu J, Thiry Y, Bueno M, et al. Distribution and speciation of ambient selenium in contrasted soils, from mineral to organic rich[J]. Science of the Total Environment, 2014, s 479/480(1): 93–101
- [23] Li Z, Liang D, Peng Q, et al. Interaction between selenium and soil organic matter and its impact on soil selenium bioavailability: A review[J]. Geoderma, 2017, 295: 69–79
- [24] Wang Q, Zhang J, Zhao B, et al. Influence of long-term fertilization on selenium accumulation in soil and uptake by crops[J]. Pedosphere, 2016, 26(1): 120–129
- [25] 张宝军, 钟松臻, 龚如雨, 等. 赣南低丘红壤水稻土硒及其生物有效形态的组成与分布[J]. 土壤, 2017, 49(1): 150–154
- [26] Lyons G. Selenium in cereals: Improving the efficiency of agronomic biofortification in the UK[J]. Plant & Soil, 2010, 332(1/2): 1–4
- [27] Peak D, Sparks D L. Mechanisms of selenate adsorption on iron oxides and hydroxides[J]. Environmental Science & Technology, 2002, 36(7): 1460–1466
- [28] Schilling K, Johnson T M, Dhillon K S, et al. Fate of selenium in soils at a seleniferous site recorded by high precision Se isotope measurements[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49(16): 9690–9698
- [29] Ros G H, Rotterdam A M D V, Bussink D W, et al. Selenium fertilization strategies for bio-fortification of food: An agro-ecosystem approach[J]. Plant & Soil, 2016, 404(1/2): 99–112
- [30] Dil T, Pushparajah T, Eric V, et al. Will selenium increase lentil (*Lens culinaris* Medik) yield and seed quality?[J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6(356): 356–364
- [31] Nawaz F, Ashraf M Y, Ahmad R, et al. Supplemental selenium improves wheat grain yield and quality through alterations in biochemical processes under normal and water deficit conditions[J]. Food Chemistry, 2015, 175(175): 350–357
- [32] 刘永贤, 潘丽萍, 黄雁飞, 等. 外源喷施硒与硅对水稻籽粒镉累积的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(7): 1588–1592
- [33] 杨应粉, 詹军, 罗华元, 等. 增施硒肥对连作地块烤烟生长发育及内在品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2016, 51(3): 83–88
- [34] 陈哲明. 施肥和种植模式对马铃薯生长、产量与品质和土壤肥力的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016
- [35] 李韬, 孙发宇, 龚盼, 等. 施纳米硒对小麦籽粒硒含量及其品质性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 427–433
- [36] 刘庆, 田侠, 史衍玺. 施硒对小麦籽粒硒富集、转化及蛋白质与矿物质元素含量的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(5): 778–783
- [37] 郭文慧, 刘庆, 史衍玺. 施硒对紫甘薯硒素累积及产量和品质的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(9): 31–37
- [38] 王琪. 水稻和小麦对有机硒的吸收、转运及形态转化机制[D]. 北京: 中国农业大学, 2017
- [39] 黄丽美. 叶面施硒对大豆生长发育、产量、籽粒品质的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016
- [40] 吴一群, 林琼, 颜明娟, 等. 施硒对紫云英硒素积累及土壤硒状况的影响[J]. 热带作物学报, 2017, 38(1): 24–27
- [41] 黎妍妍, 王林, 彭五星, 等. 植烟土壤适宜施硒量研究[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(4): 1–5
- [42] 王斐, 姜淑苓, 欧春青, 等. 施用氨基酸硒肥对梨体内硒含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1577–1582
- [43] 薛梅, 陈悦, 刘红芹, 等. 富硒肥的研究及其应用[J]. 中国土壤与肥料, 2016(1): 1–6
- [44] 付小丽. 不同硒源对小麦和油菜生长及硒累积的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013
- [45] Lessa J H L, Araujo A M, Silva G N T, et al. Adsorption-desorption reactions of selenium (VI) in tropical cultivated and uncultivated soils under Cerrado biome[J]. Chemosphere, 2016, 164: 271–277
- [46] Longchamp M, Angeli N, Castec-Rouelle M. et al. Selenium uptake in *Zea mays* supplied with selenate or selenite under hydroponic conditions[J]. Plant & Soil, 2013, 362(1-2): 107–117
- [47] Ebrahimi N, Hartikainen H, Simojoki A, et al. Dynamics of dry matter and selenium accumulation in oilseed rape (*Brassica napus* L.) in response to organic and inorganic

- selenium treatments[J]. *Agricultural & Food Science*, 2015, 24(2): 104–117
- [48] Kikkert J, Hale B, Berkelaar E. Selenium accumulation in durum wheat and spring canola as a function of amending soils with selenite, selenate and or sulphate[J]. *Plant & Soil*, 2013, 372(1/2): 629–641
- [49] Bañuelos G S, Arroyo I S, Dangi S R, et al. Continued selenium biofortification of carrots and broccoli grown in soils once amended with Se-enriched *S. pinnata*[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7: 1–11
- [50] Bañuelos G S, Arroyo I, Pickering I J, et al. Selenium biofortification of broccoli and carrots grown in soil amended with Se-enriched hyperaccumulator *Stanleya pinnata*[J]. *Food Chemistry*, 2015, 166(1): 603–608
- [51] Bhatia P, Prakash R, Prakash N T. Enhanced antioxidant properties as a function of selenium uptake by edible mushrooms cultivated on selenium-accumulated waste post-harvest wheat and paddy residues[J]. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2014, 3(4): 127–132
- [52] 向天勇, 何文辉, 张正红, 等. 含硒缓释复合肥在菠菜生产上的应用[J]. *浙江农业科学*, 2010, 1(2): 253–255
- [53] 殷金岩, 耿增超, 孟令军, 等. 不同硒肥对马铃薯产量、硒含量及品质的影响[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2012(9): 122–127
- [54] 李吉祥, 吴文良, 郭岩彬. 细菌生物合成纳米硒的研究进展[J]. *农业资源与环境学报*, 2014(6): 551–554
- [55] Haghighi M, Abolghasemi R, Silva J A T D. Low and high temperature stress affect the growth characteristics of tomato in hydroponic culture with Se and nano-Se amendment[J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 178(178): 231–240
- [56] Drahoňovský J, Száková J, Mestek O, et al. Selenium uptake, transformation and inter-element interactions by selected wildlife plant species after foliar selenate application[J]. *Environmental & Experimental Botany*, 2016, 125: 12–19
- [57] Emese K, Peterr H, Kristianh L, et al. Effect of foliar application of selenium on its uptake and speciation in carrot[J]. *Food Chemistry*, 2009, 115(4): 1357–1363
- [58] 黄光昱, 李必钦, 陈永波, 等. 硒肥不同施用方式对双低油菜产量和硒含量的影响[J]. *湖北农业科学*, 2016, 55(12): 3018–3020
- [59] 龙友华, 张承, 吴小毛, 等. 土壤施用硒肥对猕猴桃含硒量、镉铅积累及品质的影响(英文)[J]. *食品科学*, 2016, 37(13): 82–88
- [60] 梁兴唐, 刘永贤, 钟书明, 等. 沿海典型海产品硒含量及其富硒化研究进展[J]. *生物技术进展*, 2017, 7(5): 450–456

Edaphic and Fertilizer Factors Influencing Selenium Uptake of Crops: A Review

LIU Min^{1,2}, ZHANG Ruirui¹, ZHENG Yunying¹, WANG Riming², YANG Liqiong², LIU Yongxian³,
YUAN Linxi⁶, YIN Xuebin^{4,5,6}, YIN Yanzhen^{1*}

(1 *Beibu Gulf Selenium Enrichment Functional Agriculture Research Institute, Qinzhou University, Qinzhou, Guangxi 535011, China*; 2 *College of Resources and Environmental Sciences, Qinzhou University, Qinzhou, Guangxi 535011, China*; 3 *Institute of Agricultural Resource and Environment, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China*; 4 *School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China*; 5 *Key Laboratory of Functional Agriculture, Suzhou Institute for Advanced Study, University of Science and Technology of China, Suzhou, Jiangsu 215123, China*; 6 *Jiangsu Bio-Engineering Research Center for Selenium, Suzhou, Jiangsu 215123, China*)

Abstract: Selenium (Se) is an essential element in the human body, and Se deficiency can cause many diseases. Replenishing appropriate Se by taking in agricultural products can ensure human health. Fertilize proper Se is an effective measure to increase Se content in agricultural products. The relationship is close between crop Se absorption and the properties of soil and fertilizers. Systematic analysis of the literatures found that soil Se content and the dosage of Se fertilizer are the most critical factors on Se absorption of crops, soil pH and organic matter content are the indirect factors to activate soil Se, and the type and fertilization method of Se fertilizer are the supplementary factors to cooperate with the dosage of Se fertilizer. It is necessary to combine soil property, the dosage and fertilization pattern of selenium fertilizer to promote Se absorption of crops for high yield and high efficiency of Se-rich agricultural products.

Key words: Selenium fertilizer; Soil properties; Fertilizer rate; Selenium fertilizer types; Fertilization methods