

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20055

## 增施生物有机肥对食用木薯吸收利用土壤中硒的影响

曹升<sup>1,2</sup>, 陈会鲜<sup>1,3\*</sup>, 严华兵<sup>1\*</sup>, 尚小红<sup>1</sup>, 曾文丹<sup>1</sup>, 陆柳英<sup>1</sup>, 肖亮<sup>1</sup>

(1. 广西壮族自治区农业科学院经济作物研究所, 广西南宁 530007; 2. 广西作物遗传改良生物技术重点开放实验室, 广西南宁 530007; 3. 广西南亚热带农业科学研究所, 广西龙州 532415)

**摘要:**在不施外源硒和施用外源硒2种试验条件下, 给食用木薯增施不同量的生物有机肥, 研究土壤中总硒含量、硒形态、土壤理化性质、块根中硒含量及有机硒占比, 探究增施生物有机肥对食用木薯吸收利用土壤中硒的影响。结果表明: (1) 在不施外源硒和施用外源硒的2种试验条件下, 食用木薯增施生物有机肥后, 土壤中水溶态硒、交换态硒、有效硒活化率、pH、阳离子交换量、有机质、块根硒含量、块根有机硒占比均大于对照, 其中水溶态硒、有效硒活化率、阳离子交换量、有机质、块根硒含量均在600和900 kg/hm<sup>2</sup> 2个处理下与对照的差异达到显著或极显著水平; (2) 在不施外源硒和施用外源硒的2种试验条件下, 酸碱度、阳离子交换量、有机质与有效硒活化率呈正相关关系, 其中阳离子交换量和有机质与有效硒活化率的正相关关系均达到显著或极显著水平。综上, 食用木薯在种植过程中增施生物有机肥, 可改善土壤理化性状, 提高土壤中硒的有效性, 促进块根吸收利用土壤中的硒。

**关键词:**食用木薯; 生物有机肥; 吸收利用; 硒

食用木薯富含淀粉, 是很多食品的加工原材料, 具有很大的开发前景。随着硒的生物学功能不断被挖掘, “富硒”逐渐成为农产品炙手可热的新卖点。当前, 富硒农产品的生产方式主要有两种, 分别是天然富硒和外源硒生物强化。然而, 在本研究的前期研究中发现食用木薯的这两种富硒生产方式都存在一定的不足, 一方面, 我国72%的地区缺硒或低硒, 可利用的天然硒量少且分布不均<sup>[1]</sup>, 使得食用木薯天然种植很难达到富硒标准; 另一方面, 食用木薯利用外源硒的效率很低, 只能达到2%左右<sup>[2]</sup>, 使得大量的外源硒滞留在土壤里, 易造成环境污染。因此, 提高食用木薯吸收利用硒的效率, 是食用木薯实现高效、绿色、提质富硒化生产的关键。

植物对硒的吸收利用效率与硒的有效性有着密

切联系。近年来, 科研人员通过研究发现了多种提高土壤中硒有效性的方法。谢珊妮等<sup>[3]</sup>发现秸秆生物质炭和钙镁磷肥的不同配施方式均能显著提高土壤硒有效性及茶叶硒量; 马迅等<sup>[4]</sup>通过盆栽试验发现, 在不添加外源硒的前提下, 钙镁磷肥与氨基酸叶面肥混施的5种不同的调控措施均能有效提高酸性富硒土壤中硒的有效性, 并显著提高水稻籽粒的硒含量; 诸旭东等<sup>[5]</sup>通过田间试验发现, 内源调控处理与外源补硒处理均能提高土壤中硒的化学有效性, 且都能使得水稻籽粒的硒含量升高; 杨旒等<sup>[6]</sup>通过试验发现秸秆炭、生石灰粉、钙镁磷肥等3种改良剂与有机肥配施可以有效地提高强酸性高硒茶园土壤硒的生物有效性。本研究是在充分借鉴前人研究结果的基础上, 结合食用木薯的生产实际, 在食用木薯块根膨大前期施入生物有机肥, 探索生物有机肥对食用木薯吸收利用硒的影响, 以期在不施用硒肥或施用少量硒肥就能有效地提高食用木薯硒含量, 为食用木薯富硒化生产提供技术参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

本试验采用的供试品种为NK-10, 种茎由广西农业科学院经济作物研究所提供; 该品种的品质优良, 适合作为食品加工的原材料。所用的生物有机

收稿日期: 2020-02-06; 录用日期: 2020-04-06

基金项目: 广西科技重大专项(桂科AA17202027-2); 科技先锋队强农富民六个一专项行动(桂农科盟202114-02); 国家重点研发计划(2019YFD1001101); 广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科2021YT057); 广西农业科学院科技发展基金项目(桂农科2017ZX11)。

作者简介: 曹升(1986-), 男, 河北唐山人, 助理研究员, 硕士, 主要从事薯类高产栽培及育种研究。E-mail: caoshengyp@163.com。

通讯作者: 严华兵, E-mail: 34126730@qq.com。陈会鲜, E-mail: chenhuixian@163.com。

肥来自广西南宁金圣方肥业有限责任公司,其技术指标为:有机质 $\geq 40\%$ ,  $N+P_2O_5+K_2O \geq 12\%$ ,有效活菌数 $\geq 0.2$ 亿/g, pH为7.4。采用的硒肥来源于苏州硒谷科技有限公司,由精选天然硒矿物研制而成,以无机硒为主,其硒(Se)含量为1 g/kg, pH为6.3。

### 1.2 试验设计

本试验于2018~2019年在广西农业科学院里建基地进行,于当年3月种植,并于12月份收获。该试验田的土壤背景pH为6.7,全硒含量为0.48 mg/kg,土壤碱解氮90.2 mg/kg,有效磷40.8 mg/kg,速效钾47.21 mg/kg,有机质26.09 g/kg。试验设置不施硒肥和施入300 kg/hm<sup>2</sup>的硒肥2种试验条件,每种条件下在块根膨大前期均施入4个施用量的生物有机肥,共8个处理,各处理的施肥情况如表1。每个处理重复3次,共24个小区,各小区完全随机区组排列,小区面积为51 m<sup>2</sup>,设有保护行。食用木薯的田间管理按照正常的高产栽培方法。

表1 试验8个处理的具体施肥情况

处理编号	施肥种类及施肥量
CK	无
A	生物有机肥 300 kg/hm <sup>2</sup>
B	生物有机肥 600 kg/hm <sup>2</sup>
C	生物有机肥 900 kg/hm <sup>2</sup>
S+CK	硒肥 300 kg/hm <sup>2</sup>
S+A	硒肥 300 kg/hm <sup>2</sup> +生物有机肥 300 kg/hm <sup>2</sup>
S+B	硒肥 300 kg/hm <sup>2</sup> +生物有机肥 600 kg/hm <sup>2</sup>
S+C	硒肥 300 kg/hm <sup>2</sup> +生物有机肥 900 kg/hm <sup>2</sup>

### 1.3 测定方法

土壤全硒含量:土壤全硒含量采用微波消解-原子荧光光谱法测定。

硒形态的测定:水溶态的硒用0.25 mol/L HCl提取,测定方法同全硒;水溶态硒提取后的残渣用0.7 mol/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (pH=5.0)提取交换态的硒,测定方法同全硒;交换态的硒提取后的残渣用2.5 mol/L HCl提取铁锰结合态硒,测定方法同全硒;铁锰结合态硒提取后的残渣用5%K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 8 mL和HNO<sub>3</sub> (1:1)提取有机结合态硒,测定方法同全硒;提取有机结合态硒后的残渣,为残渣态的硒,测定方法同全硒。硒的形态分析参照吴少尉等<sup>[7]</sup>和瞿建国等<sup>[8]</sup>推荐的方法测定。

有效硒活化率(%) = 土壤中有效硒含量 / 土

壤中全硒含量 × 100。

土壤理化性质测定:参照《土壤农化分析》<sup>[9]</sup>推荐的土壤理化性质测定方法,土壤pH采用电位法测定,土壤有机质含量采用油浴加热重铬酸钾氧化-容量法测定,土壤阳离子交换量采用乙酸铵交换法测定。

块根中总硒含量的测定:采用国家标准方法(GB 5009.93-2010)中的微波消解-氢化物原子荧光光谱法测定硒含量。

块根有机硒占比的测定:无机硒采用王梅等<sup>[10]</sup>推荐的方法测定,有机硒占比(%) = (块根总硒 - 块根无机硒) / 块根总硒 × 100。

### 1.4 数据处理

采用SPSS 22.0统计分析软件进行差异显著性分析,并用Excel 2002软件进行折线图和柱形图的制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 增施生物有机肥对食用木薯种植地土壤中总硒含量的影响

从图1可知,在不施硒肥的试验条件下,土壤中总硒含量的变化趋势是随着生物有机肥施用量的增加而先大幅度减小后略微增大,其中CK土壤中总硒含量均极显著大于A、B、C3个处理。从图2可知,在施入硒肥的试验条件下,增施生物有机肥,土壤中总硒含量的变化趋势是随着生物有机肥施用量的增加而先增大后减小,其中S+A、S+B、S+C3个施肥处理下土壤总硒含量均显著大于S+CK。因此,增施生物有机肥对试验中不同施硒肥条件下土壤中总硒含量的影响呈现截然相反的作用。

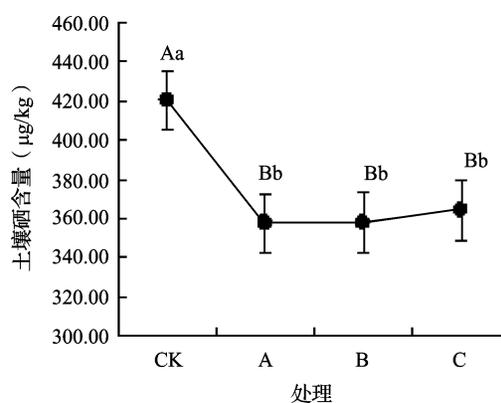


图1 在不施硒肥条件下增施生物有机肥的处理土壤中硒含量的变化

注:小、大写字母不同分别表示处理间差异达0.05、0.01显著水平。下同。

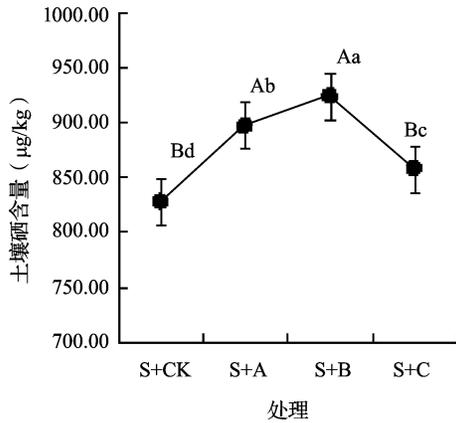


图2 施入硒肥和生物有机肥处理土壤中硒含量的变化

用,即在不施硒肥土壤中增施生物有机肥显著减少了土壤中总硒含量,而在施硒肥土壤中增施生物有机肥可显著增加土壤的总硒含量。

### 2.2 增施生物有机肥对食用木薯种植地土壤中硒有效性的影响

硒形态是影响土壤中硒有效性和迁移转化最为关键的因素之一<sup>[11]</sup>。土壤中硒形态主要分为水溶态硒、交换态硒、铁锰结合态硒、有机结合态硒、残

渣态硒5种形态,其中水溶态硒、交换态硒因其溶解性和移动性易被植物体吸收,被合称为土壤有效硒<sup>[12]</sup>。由表2可知在不施硒肥的试验条件下,水溶态硒、交换态硒、有效硒活化率均随着生物有机肥施用量的增加而逐渐增加,其中水溶态硒和有效硒活化率在A、B、C3个处理下均极显著大于CK;铁锰结合态硒和有机结合态硒2个指标均会随着生物有机肥施用量的增加而先增大后减小,其中铁锰结合态硒在A、B2个处理下极显著大于CK;残渣态硒的含量随着生物有机肥施用量的增加而先减小后增大,且在A、B2个处理下极显著小于CK。由表2可知在施用硒肥的试验条件下,水溶态硒、交换态硒、铁锰结合态硒、有效硒活化率、有机结合态硒均随着生物有机肥施用量的增加而呈现逐渐增大的趋势,其中水溶态硒、交换态硒在S+A、S+B、S+C3个处理下均极显著大于CK,有机结合态硒在S+B和S+C2个处理下均极显著大于CK;残渣态硒在S+C处理下均显著小于CK、A、B3个处理。这说明食用木薯增施生物有机肥,可以有效地提高土壤中的有效硒含量,提高有效硒的活化率。

表2 不同试验处理土壤中硒的形态变化

试验处理	水溶态的硒 (μg/kg)	交换态的硒 (μg/kg)	铁锰结合态硒 (μg/kg)	有机结合态硒 (μg/kg)	残渣态硒 (μg/kg)	有效硒活化率 (%)
不施硒肥						
CK	19.60 ± 0.15Dd	24.23 ± 0.73Aa	182.20 ± 11.37Bb	38.40 ± 1.82Aa	164.48 ± 5.56Aa	10.50 ± 0.26Bc
A	23.50 ± 0.52Cc	25.50 ± 0.77Aa	246.57 ± 10.81Aa	41.73 ± 1.23Aa	21.58 ± 12.55Bb	13.36 ± 0.31Ab
B	25.90 ± 0.33Bb	25.53 ± 3.22Aa	247.10 ± 2.40Aa	39.50 ± 6.85Aa	19.90 ± 7.11Bb	14.36 ± 1.03Aab
C	29.33 ± 0.40Aa	27.20 ± 0.67Aa	123.67 ± 3.99Cc	34.67 ± 2.92Aa	149.35 ± 4.59Aa	15.53 ± 0.64Aa
施硒肥						
S+CK	21.33 ± 0.85Cc	41.34 ± 0.85Cc	337.57 ± 16.21Bb	126.03 ± 3.19Bc	401.30 ± 19.71Aa	6.67 ± 0.17Cd
S+A	31.98 ± 0.28Bb	51.98 ± 0.28Bb	369.37 ± 9.07ABb	133.80 ± 1.57ABbc	409.40 ± 3.44Aa	8.43 ± 0.11Bc
S+B	36.79 ± 0.87Aa	56.79 ± 0.87Aa	370.33 ± 13.04ABb	143.80 ± 4.54Aab	428.10 ± 11.26Aa	9.15 ± 0.20Bb
S+C	38.78 ± 0.27Aa	58.78 ± 0.27Aa	418.90 ± 12.73Aa	146.43 ± 2.25Aa	294.40 ± 19.44Bb	10.20 ± 0.09Aa

注:同例数据后不同小、大写字母分别表示处理间达0.05、0.01显著水平。下同。

### 2.3 增施生物有机肥对食用木薯块根硒含量的影响

从图3可知,在不施硒肥条件下增施生物有机肥的试验处理,食用木薯的块根硒含量随着生物有机肥施用量的增加而呈现逐渐增大的变化趋势,并且A、B、C3个处理下的块根硒含量都极显著大于CK。从图4可知,在同时施入硒肥和有机肥的试验处理下,食用木薯块根硒含量会随着生物有机肥施用量的增加而先增大后减小,其中在S+B和S+C处理下食用木薯块根硒含量显著大于CK。综合图3和图4的试验结果可得,增施适量生物有机肥可以有效提高木薯块根的硒含量。

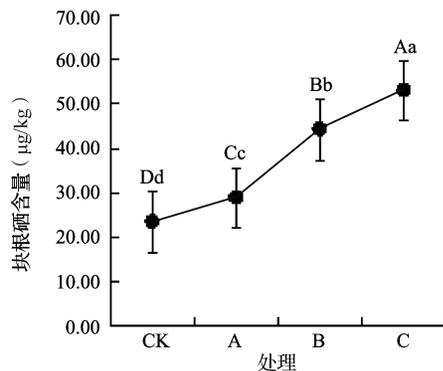


图3 在不施硒肥条件下增施生物有机肥的处理食用木薯块根硒含量的变化

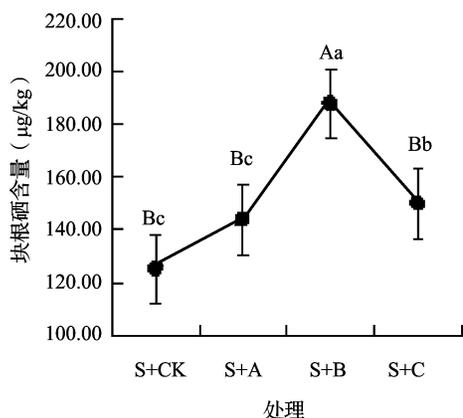


图4 施入硒肥和生物有机肥的处理食用木薯块根硒含量的变化

### 2.4 增施生物有机肥对块根中有机硒和无机硒含量的影响

植物体内的硒根据其化学形态，可分为无机硒和有机硒两大类。有机硒容易吸收，且对人体有益；而无机硒不易被人体吸收，并对人体的健康存在一定的危害<sup>[13]</sup>，因而植物体内硒元素形态分析显得尤为重要。从图5可知，在不施硒肥的试验条件下增施生物有机肥后，食用木薯块根有机硒的占比均在80%以上，但CK、A、B、C间的差异不显著。从图6可知，在施入硒肥的试验条件下增施生物有机肥后，食用木薯块根有机硒的占比也都在80%以上，且会随着生物有机肥施入量的增加而增加，其中S+B和S+C 2个处理与CK的差异达到显著水平。这说明增施生物有机肥对食用木薯块根中有机硒占比的影响效应会因为不同施硒肥条件呈现不同。

### 2.5 增施生物有机肥对土壤理化性质的影响

Su等<sup>[14]</sup>研究认为硒的赋存形态受土壤理化性质影响。从表3可知，在不施硒肥的试验条件下，pH的变化不大，阳离子交换量的大小顺序是

B>A>C>CK，有机质的大小顺序是C>B>A>CK，其中A、B、C 3个处理的阳离子交换量和有机质都极显著大于CK；在施硒肥的试验条件下，pH和阳离子交换量的大小顺序为C>B>A>CK，有机质含量的大小顺序为B>A>C>CK，其中A、B、C 3个处理的pH、阳离子交换量、有机质均极显著大于CK。因此，增施适量的生物有机肥，可以提高阳离子交换量和有机质，而对pH的影响大小会因为不同的施肥种类而呈现不同的影响效果。

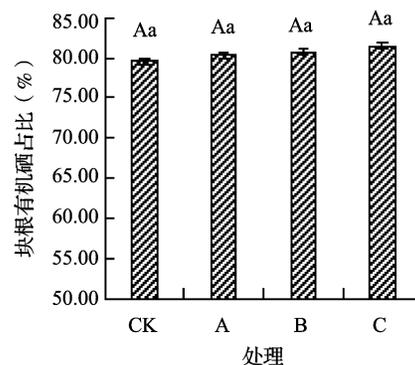


图5 在不施硒肥条件下增施生物有机肥的处理食用木薯块根有机硒占比的变化

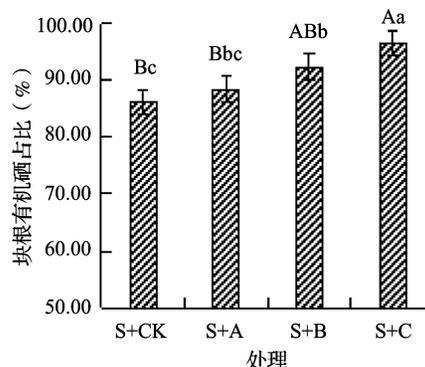


图6 施入硒肥和生物有机肥的处理食用木薯块根有机硒占比的变化

表3 不同试验处理下土壤理化性质的变化

试验处理		酸碱度 pH	阳离子交换量 (mmol/kg)	有机质 (g/kg)
不施硒肥	CK	7.30 ± 0.01Aa	5.03 ± 0.01Dd	23.32 ± 0.11Dd
	A	7.42 ± 0.04Aa	6.53 ± 0.03Bb	28.57 ± 0.11Cc
	B	7.29 ± 0.23Aa	6.62 ± 0.01Aa	31.36 ± 0.05Bb
	C	7.39 ± 0.01Aa	5.89 ± 0.03Ce	32.90 ± 0.29Aa
施硒肥	S+CK	6.29 ± 0.03Cc	3.13 ± 0.04Dd	27.41 ± 0.04Dd
	S+A	6.56 ± 0.04Bb	4.00 ± 0.05Ce	30.53 ± 0.18Bb
	S+B	6.58 ± 0.06Bb	4.59 ± 0.04Bb	32.52 ± 0.02Aa
	S+C	6.94 ± 0.03Aa	5.64 ± 0.02Aa	29.49 ± 0.04Cc

## 2.6 土壤理化性质与土壤硒有效性的相关性

从表 4 的相关性分析结果可知,在不施硒肥的试验条件下,酸碱度、阳离子交换量、有机质与有效硒活化率呈正相关关系,且阳离子交换量和有机质与其相关性达到显著或极显著水平;在施硒肥的

试验条件下,酸碱度、阳离子交换量、有机质与有效硒活化率也呈正相关关系,且酸碱度和阳离子交换量与其相关性达到极显著水平,有机质与其相关性达显著水平。这说明土壤理化性质与土壤硒有效性有着密切的联系。

表 4 土壤理化性质与土壤有效硒活化率的相关关系

试验处理	项目	酸碱度 pH	阳离子交换量	有机质
不施硒肥	有效硒活化率	0.279	0.591*	0.901**
施硒肥	有效硒活化率	0.941**	0.986**	0.556*

注: \* 和 \*\* 分别代表显著 ( $P<0.05$ ) 和极显著 ( $P<0.01$ ) 相关。

## 3 讨论

### 3.1 食用木薯增施生物有机肥对土壤中总硒含量的影响

通过对比发现,在不施外源硒的条件下,食用木薯增施生物有机肥后,土壤中总硒含量显著小于对照;而在施入外源硒的条件下,增施生物有机肥后土壤中的总硒含量显著大于对照。造成这一截然不同结果的原因可能有两方面,一方面,在不施外源硒条件下,土壤中总硒的含量有限,而增施生物有机肥后土壤中有效硒含量增加,使得更多的硒被植物所吸收,木薯收获后留在土壤中的硒含量就相应地减少了;另一方面,在施入外源硒的试验条件下,土壤中总硒的含量很高,除了植物吸收的部分硒外,还有大量的硒留在土壤中,而生物有机肥中的有机物官能团能够吸附土壤中的无机硒形成有机物-硒复合物<sup>[15]</sup>,能减少外源硒肥的淋溶。这说明增施适量生物有机肥能促进食用木薯吸收土壤中的硒,并能减少外源硒的淋溶。

### 3.2 食用木薯增施生物有机肥对土壤中硒的有效性及其块根中硒含量的影响

与对照相比,食用木薯增施生物有机肥后,土壤中硒的有效性和块根硒的含量显著增加。前人在研究不同施肥方式对茶园土壤硒有效性的调控效果中也得出相类似的结果。赵妍等<sup>[16]</sup>在研究 4 种调控措施对茶园酸性土壤中硒有效性的影响时发现,单独施用生物有机肥能显著地提高茶园土壤中硒的有效性,显著地增加了茶叶中硒的含量,并且其作用效果优于其他 3 种调控措施;杨旒等<sup>[6]</sup>通过对比发现,在无外源硒添加的前提下,单施生物有机肥能显著提高茶园土壤中有效硒的含量和硒活化

率,明显提高茶叶中硒含量;姚欢等<sup>[17]</sup>在研究增施磷肥对提高强酸性高硒茶园土壤硒有效性的效果时发现,伴有生物有机肥的磷肥处理对提高土壤中有效硒质量比的效果要好于单独施用磷肥的效果。这说明增施有机肥可以提高土壤中硒的有效性,有利于提高食用木薯块根硒含量。

究其原因,这可能与增施生物有机肥后土壤的理化性质发生了改变有关。因为在本试验中,食用木薯增施生物有机肥后,土壤的 pH、有机质、阳离子交换量都有所升高,并且相关性分析结果也表明土壤的 pH、有机质、阳离子交换量与土壤有效硒活化率呈正相关关系。现有的研究也证实了 pH、阳离子交换量、有机质与土壤硒有效性有着密切的联系。Wang 等<sup>[18]</sup>认为 pH 越高越有利于土壤中硒有效性的提高;马迅等<sup>[19]</sup>研究影响土壤硒有效性的因素时发现阳离子交换量与土壤有效硒含量呈显著正相关关系;Li 等<sup>[20]</sup>和 Dinh 等<sup>[21]</sup>都一致认为有机质对于土壤硒有效性的影响具有双重作用,在 pH 较低的土壤环境下有机质越多越能提高土壤硒的有效性,在 pH 较高土壤环境下有机质越多土壤硒的有效性越低。因此,生物有机肥是通过改善土壤的理化性质来提高土壤中硒的有效性。此外,土壤中硒的有效性大小是决定食物中硒水平高低的关键因素,因而增施生物有机肥也能提高食用木薯块根硒含量。

### 3.3 增施生物有机肥对食用木薯块根中有机硒含量的影响

无论是在不施外源硒还是在施入外源硒条件下,食用木薯块根的有机硒占比均随着有机肥施入量的增加而增大,且在施入外源硒条件下作用效果达到显著水平。这可能与有机硒在植物体内

合成条件有关。在前人的研究中发现,植物中硒的代谢过程主要有2条途径,分别是有机硒和无机硒路径,但因为无机硒代谢路径相比有机硒代谢路径受更多的酶限制,使得植物体吸收的硒主要转换成有机硒<sup>[22]</sup>。而本试验增施生物有机肥后,促进了食用木薯对硒的吸收,促使更多的硒转换成有机硒,从而提高了食用木薯块根里有机硒的占比。

#### 4 结论

食用木薯在种植过程中增施生物有机肥,可以改善土壤的理化性质,提高土壤中硒的有效性,促进块根吸收土壤中的硒,并可防止外源硒肥的淋溶,提高食用木薯块根的硒含量和有机硒占比。

#### 参考文献:

- [1] Gao J, Liu Y, Huang Y, et al. Daily selenium intake in a moderate selenium deficiency area of Suzhou, China [J]. *Food Chemistry*, 2011, 126 (2): 1088-1093.
- [2] 曹升, 陈会鲜, 严华兵, 等. 食用木薯天然富硒品种筛选及外源硒强化技术研究 [J]. *西南农业学报*, 2019, 32 (10): 2285-2291.
- [3] 谢珊妮, 宗良纲, 张琪惠, 等. 3种改良剂对强酸性高硒茶园土壤硒有效性调控效果与机理 [J]. *茶叶科学*, 2017, 37 (3): 299-307.
- [4] 马迅, 诸旭东, 宗良纲, 等. 不同调控措施对酸性富硒土壤硒有效性及水稻产量性状的影响 [J]. *土壤*, 2018, 50 (2): 284-290.
- [5] 诸旭东, 宗良纲, 马迅, 等. 内源调控与外源补硒对红壤中硒有效性及水稻产量的影响 [J]. *土壤通报*, 2016, 47 (2): 399-403.
- [6] 杨旒, 宗良纲, 严佳, 等. 改良剂与生物有机肥配施方式对强酸性高硒茶园土壤硒有效性的影响 [J]. *土壤*, 2014, 46 (6): 1069-1075.
- [7] 吴少尉, 池泉, 陈文武, 等. 土壤中硒的形态连续浸提方法的研究 [J]. *土壤*, 2004, 36 (1): 92-95.
- [8] 瞿建国, 徐伯兴, 龚书椿. 连续浸提技术测定土壤和沉积物中硒的形态 [J]. *环境化学*, 1997, 16 (3): 277-283.
- [9] 鲍士旦. *土壤农化分析* [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [10] 王梅, 张红香, 邹志辉, 等. 原子荧光光谱法测定富硒螺旋藻片中不同形态、价态的硒 [J]. *食品科学*, 2011, 32 (6): 179-182.
- [11] Shardendu U, Salhanim N, Boulyga S F, et al. Phytoremediation of selenium by two helophyte species in subsurface flow constructed wetland [J]. *Chemosphere*, 2003, 50: 967-973.
- [12] Wang S S, Liang D L, Wang D, et al. Selenium fractionation and speciation in agriculture soils and accumulation in corn (*Zea mays* L) under field conditions in Shaanxi Province China [J]. *Sci of the Total Environ*, 2012, 427-428: 159-164.
- [13] 郭丽丽, 李俊, 贺博, 等. 食品中硒元素形态分析的研究进展 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10 (3): 4376-4381.
- [14] Su C, Suarez D L. Selenate and selenite sorption on iron oxides: an infrared and electrophoretic study [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64: 101-111.
- [15] 邢颖, 刘永贤, 梁潘霞, 等. 土壤硒形态及其相互转化因子的研究 [J]. *中国农学通报*, 2018, 34 (17): 83-88.
- [16] 赵妍, 马爱军, 宗良纲, 等. 不同调控措施在强酸性高硒茶园土壤中的应用研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30 (11): 2306-2312.
- [17] 姚欢, 宗良纲, 孟蝶, 等. 增施磷肥对提高强酸性高硒茶园土壤硒有效性的效果 [J]. *安全与环境学报*, 2015, 15 (4): 288-292.
- [18] Wang D, Liang D L, Zhou F, et al. Selenate aging in different Chinese soils and the dominant influential factors [J]. *Chemosphere*, 2017, 182: 284-292.
- [19] 马迅, 宗良纲, 诸旭东, 等. 江西丰城生态硒谷土壤硒有效性及其影响因素 [J]. *安全与环境学报*, 2017, 17 (4): 1588-1593.
- [20] Li Z, Liang D L, Peng Q, et al. Interaction between selenium and organic matter and its impact on soil selenium bioavailability: A review [J]. *Geoderma*, 2017, 295: 69-79.
- [21] Dinh Q T, Li Z, Tran T A T, et al. Role of organic acids on the bioavailability of selenium in soil: A review [J]. *Chemosphere*, 2017, 184: 618-635.
- [22] 陈锦平, 刘永贤, 曾成城, 等. 植物对土壤硒的吸收转化研究进展 [J]. *生物技术进展*, 2017, 7 (5): 421-427.

#### Effect of adding bio-organic fertilizer on selenium absorption and utilization efficiency of edible cassava

CAO Sheng<sup>1, 2</sup>, CHEN Hui-xian<sup>1, 3\*</sup>, YAN Hua-bing<sup>1\*</sup>, SHANG Xiao-hong<sup>1</sup>, ZENG Wen-dan<sup>1</sup>, LU Liu-ying<sup>1</sup>, XIAO Liang<sup>1</sup> (1. Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning Guangxi 530007; 2. Guangxi Crop Genetic Improvement and Biotechnology Key Laboratory, Nanning Guangxi 530007; 3. Guangxi South Subtropical Agricultural Science Research Institute, Longzhou Guangxi 532415)

**Abstract:** In this experiment, edible cassava was added with different amounts of bio-organic fertilizer under two experimental conditions: no exogenous selenium and exogenous selenium. The soil's total selenium content, selenium form, soil physical and chemical properties, selenium content and proportion of organic selenium in roots were studied to

explored the effects of increased application of bio-organic fertilizer on selenium absorption and utilization of edible cassava. The results showed that: (1) under the two test conditions, water-soluble selenium, exchangeable selenium, effective selenium activation rate, pH, and cation exchange capacity, organic matter, root selenium content, root organic selenium ratio were larger than the control after cassava was added with biological organic fertilizer. Among them, water-soluble selenium, effective selenium activation rate, cation exchange capacity, organic matter, and root selenium content were all significantly or extremely significantly larger than the control group under the two treatments of 600 and 900 kg/hm<sup>2</sup>. (2) under the two test conditions, pH, cation exchange capacity and organic matter were positively correlated with effective selenium activation rate, among them, the positive correlation between the amount of cation exchange, organic matter and the effective selenium activation rate reached significant or extremely significant levels. In summary, adding bio-organic fertilizer to the edible cassava during the planting process can improve the physical and chemical properties of the soil, increase the availability of selenium in the soil, and promote edible cassava's root absorb and utilize selenium in the soil.

**Key words:** edible cassava; biological organic fertilizer; absorption and utilization; selenium