



华玉晨,范书华,董清山,等.不同形态硒肥对马铃薯产量和品质的影响[J].黑龙江农业科学,2022(3):28-32.

不同形态硒肥对马铃薯产量和品质的影响

华玉晨,范书华,董清山,解国庆,王艳,赵云彤,张丽微

(黑龙江省农业科学院 牡丹江分院,黑龙江 牡丹江 157000)

摘要:为促进富硒马铃薯的研发,本试验以本地主栽马铃薯品种‘尤金’为试材,采用叶面喷施的方式在块茎膨大的前期、中期、后期进行富硒试验,设置4种硒肥处理,分别为对照处理(清水)、有机硒 $800\text{ mL}\cdot(667\text{ m}^2)^{-1}$ 、有机硒 $1\,000\text{ mL}\cdot(667\text{ m}^2)^{-1}$ 、纳米硒 $900\text{ mL}\cdot(667\text{ m}^2)^{-1}$,测定不同硒肥形态对马铃薯产量和品质的影响。结果表明:有机硒和纳米硒与对照组在大薯数、大薯重、商品薯率、株数、产量上没有显著差异。虽然有机硒处理的马铃薯匍匐茎长要比对照组处理的匍匐茎更长,但并没产生明显影响,而纳米硒处理的匍匐茎长与对照组相差不大。施用生物纳米硒对提高马铃薯块茎干物质含量、淀粉含量有一定的促进作用并可减少马铃薯的小薯数与小薯重。通过叶面喷施方式有机硒在马铃薯块茎上的富硒效果更优于生物纳米硒,且在块茎膨大后期富硒效果优于块茎膨大的前中期。

关键词:马铃薯;硒肥;产量;品质

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)属茄科茄属作物,诞生于南美洲安第斯山区^[1],是世界上仅次于水稻、小麦和玉米的第四大粮食作物^[2]。中国有400多年的马铃薯种植历史,是世界上最大的马铃薯生产国^[3]。黑龙江省是中国马铃薯主要生产区之一,马铃薯年种植面积约20万 hm^2 ^[4]。2015年农业部把马铃薯主粮化工作列入重要议程。马铃薯主粮化不仅有助于推进种植业结构调整,实现农业可持续发展,保障我国粮食安全,而且有助于改善和丰富我国居民膳食营养结构^[5]。

硒是人体的必需微量元素之一,硒具有抗氧化、调节免疫、预防心血管疾病、抗病毒、抗衰老、抗癌等诸多优势,在人体健康方面具有积极作用^[6-7]。成人硒摄入量的可耐受上限为 $400\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ ^[8],超过该摄入量水平时,可能出现硒中毒症状,包括手指甲和脚趾甲脱落、头皮和体毛脱落、肌肉或关节疼痛和疲劳^[9]。我国人群硒摄入量为 $13.3\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$,远低于美国、印度、日本、加拿大等国的摄入量水平,与硒摄入不足的新西兰、北欧国家处于同一水平^[10]。

在自然界中硒作为一种微量元素存在于大多数土壤中,但绝大部分的土壤硒含量通常低于 $1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[11]。无机硒通常以硒酸盐(SeO_4^{2-})和亚硒酸盐(SeO_3^{2-})的形式存在^[12]。植物对环境中的硒

吸收具有特异性,并受到土壤环境及硒形态等多种因素影响。硒生物利用效率一般受到多种土壤因素影响,如pH、氧化还原条件、土壤有机碳、铁氢氧化物、黏土比重以及土壤硒形态等^[13]。硒元素在生物体中会代替蛋白质中的硫元素,并通过硫的氨基酸同化途径同化为硒代半胱氨酸(Se-Cys)和硒代蛋氨酸(SeMet)^[14]。硒按形态可分为物理形态和化学形态,物理形态包含纳米硒,化学形态分无机硒和有机硒^[15]。硒的生理功能不仅与其含量有关,更与其存在形态相关。相对于无机硒而言,有机硒生物活性强,毒性低^[16],有机硒比无机硒更有利于土壤微生物的生长,能提高土壤酶活性,促进N、P、C养分在土壤生态系统的循环^[17]。纳米硒(Se^0)是一种纳米形态的硒,可通过直接根部施用、叶面喷施方式作用于土壤或作物表面,以达到农作物富硒的一种作物补硒手段^[18]。前人研究发现,生物纳米硒对马铃薯环腐病病原体具有抗菌作用,能降低其生长速度和形成生物膜的能力,并且生物纳米硒是一种很有前途的环境安全剂,可用于保护和恢复栽培植物免受植物病原细菌的侵害^[19]。因此,本研究从纳米硒和有机硒两方面入手,探究硒的形态对马铃薯产量与品质的影响,对揭示植物不同形态硒的积累有着积极的意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验田位于黑龙江省牡丹江市温春镇黑龙江

收稿日期:2021-12-02

第一作者:华玉晨(1994—),男,硕士,研究实习员,从事马铃薯的高产育种与轻简栽培研究。E-mail:mdjhyc@126.com。

省农业科学院牡丹江分院试验地(44. 60°N, 129. 58°E),该地区属于中纬度温带大陆性季风气候,海拔 250. 6 m,年平均降雨量 500~600 mm,以年平均日照总时长 2 295. 1 h,无霜期 141 d,平均活动积温 2 300~2 500 ℃,属于第二、第三积温带。土壤类型为草甸土,质地为壤质黏土。试验期间具体气象数据详见表 1。

表 1 2021 年牡丹江地区气象数据

项目	4月	5月	6月	7月	8月	9月
平均最高温度/℃	16. 1	21. 5	24. 8	31. 1	26. 2	23. 6
平均最低温度/℃	0. 6	8. 4	14. 1	20. 6	16. 9	11. 9
平均温度/℃	8. 4	14. 5	19. 0	25. 3	20. 9	17. 3
降水天数/d	7	16	15	9	15	13
降水量/mm	14. 9	75. 8	104. 3	20. 2	108. 2	63. 7
初霜时间	10月6日					
终霜时间	5月2日					

1.2 材料

供试马铃薯品种为当地主栽品种‘尤金’,种薯级别为脱毒原种。氮肥选用尿素(N 46%),磷肥选用重过磷酸钙(P₂O₅ 45%),钾肥选用氯化钾(K₂O 60%)。生物纳米硒由桂林集琦生化有限公司生产,有机硒由黑龙江植今农业科技有限公司生产。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验于 2021 年 4—9 月进行,通过叶面喷洒的方式按照硒肥喷施用量设置 4 个不同处理,具体施肥详情见表 2,垄距 0. 80 m,株距 0. 25 m。每个处理 8 行区,行长 18 m,小区面积 115. 2 m²,随机排列,3 次重复。其他肥料施用量为尿素 20. 0 kg·(667 m²)⁻¹,磷酸二铵(P₂O₅ 49%、N 11%)30. 0 kg·(667 m²)⁻¹,氯化钾(60%) 30. 0 kg·(667 m²)⁻¹,硫酸钾镁 2. 0 kg·(667 m²)⁻¹,生物有机肥 30. 0 kg·(667 m²)⁻¹。

1.3.2 调查项目及方法 收获时,各处理按照小区实收面积测定大薯数、小薯数、大薯重、小薯重

(按照薯块分级标准,单个薯块≥75 g 为大薯块),收获时各处理每小区取中间的两垄,每垄选取 2 m,共 3. 2 m²分别称重测定产量,同时计算大薯率及商品薯率。

大薯率(%)=(小区大薯块个数/小区总计薯块数量)×100

商品薯率(%)=(小区大薯块重量/小区总计薯块重量)×100

运用比重法对马铃薯含量中干物质与淀粉含量进行测定。收获时每处理在中间的一垄取连续 3 株材料测量最长的匍匐茎长度。马铃薯块茎总硒测定:采用氢化物原子荧光光谱法。

表 2 不同处理肥料用量

序号	处理	肥料用量/mL		
		6月23日	7月2日	7月9日
1	清水处理(CK)	0	0	0
2	有机硒 800 mL·(667 m ²) ⁻¹	300	500	0
3	有机硒 1 000 mL·(667 m ²) ⁻¹	300	500	200
4	纳米硒 900 mL·(667 m ²) ⁻¹	300	300	300

1.3.3 数据分析 试验数据采用 Excel 2010 软件进行数据初步整理,用 SPSS 12. 0 软件对试验数据进行方差分析,用 GraphPad Prism6 进行绘图处理。

2 结果与分析

2.1 不同硒肥处理下马铃薯产量性状比较

由表 3 可知,不同处理下大部分马铃薯产量性状并未表现出显著的差异。处理 3 的大薯重数值最大,为 16. 36 kg·(3. 2 m²)⁻¹,处理 2 的大薯重最小,为 14. 85 kg·(3. 2 m²)⁻¹,各处理之间差异不显著(P>0. 05)。处理 4 的小薯重最小,为 0. 35 kg·(3. 2 m²)⁻¹,且与其他 3 个处理间存在显著差异(P<0. 05)。4 个处理间大薯数差异不显著(P>0. 05)。处理 4 的小薯数最小,为 9. 67 个·(3. 2 m²)⁻¹,且与其他 3 个处理间存在显著差异(P<0. 05)。4 个处理中小区产量间差异不显著(P>0. 05)。

表 3 不同硒肥处理下马铃薯产量性状比较

处理	大薯重/ [kg·(3. 2 m ²) ⁻¹]	小薯重/ [kg·(3. 2 m ²) ⁻¹]	大薯数/ [个·(3. 2 m ²) ⁻¹]	小薯数/ [个·(3. 2 m ²) ⁻¹]	小区产量/ [kg·(3. 2 m ²) ⁻¹]
1	14. 91±2. 16 a	0. 82±0. 12 a	64. 67±16. 17 a	19. 67±4. 93 a	15. 73±2. 14 a
2	14. 85±0. 81 a	0. 93±0. 02 a	59. 33±6. 03 a	20. 67±3. 21 a	15. 78±0. 84 a
3	16. 36±1. 27 a	0. 87±0. 06 a	64. 33±8. 02 a	23. 00±2. 00 a	17. 23±1. 33 a
4	15. 34±0. 83 a	0. 35±0. 18 b	55. 33±2. 52 a	9. 67±4. 51 b	15. 69±1. 01 a

注:根据 Duncan's 新复极差法进行分析。不同小写字母表示处理间差异显著性(P<0. 05)。下同。

2.2 不同硒肥处理下商品薯率与大薯率的比较

由图 1 可知,4 个处理中处理 4 的商品薯率最高,为 97.79%,其次为处理 3,商品薯率为 94.97%,处理 1 的商品薯率为 94.70%,最小的是处理 2,商品薯率为 94.12%,4 个处理间差异不显著($P>0.05$)。由图 2 可知,4 个处理中处理 4 的大薯率最高,为 85.52%,其次为处理 1,大薯率为 76.68%,处理 2 的大薯率为 74.08%,最小的是处理 3,大薯率为 73.50%,且处理 4 与其他 3 个处理之间存在显著差异($P<0.05$)。

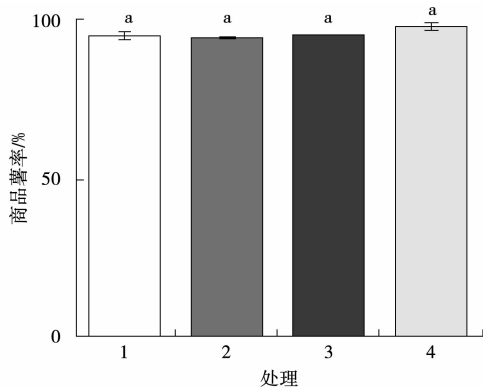


图 1 不同硒肥处理下商品薯率比较

注:不同小写字母表示处理间差异显著性($P<0.05$)。下同。

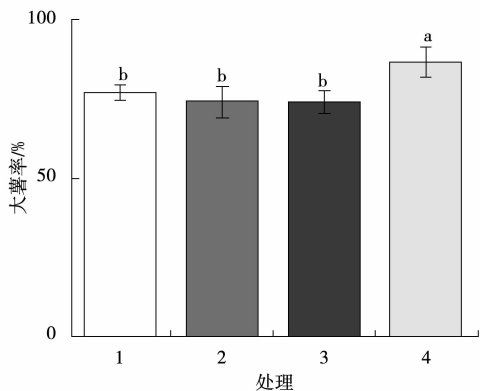


图 2 不同硒肥处理下大薯率比较

2.3 不同硒肥处理下匍匐茎长与株数的比较

由图 3 可知,处理 3 的匍匐茎最长,为 12.80 cm,其次为处理 2,匍匐茎长为 12.07 cm,处理 4 的匍茎长为 10.77 cm,处理 1 的匍茎长为 10.12 cm,各处理间差异不显著($P>0.05$)。由图 4 可知,4 个处理取样面积都为 3.2 m^2 ,其中处理 3 的株数最多,为 $16.00\text{ 株}\cdot(3.2\text{ m}^2)^{-1}$,其次为处理 4,株数为 $14.33\text{ 株}\cdot(3.2\text{ m}^2)^{-1}$,处理 1 的株数为 $14.00\text{ 株}\cdot(3.2\text{ m}^2)^{-1}$,处理 2 的株数为

$13.67\text{ 株}\cdot(3.2\text{ m}^2)^{-1}$,且各处理间差异不显著($P>0.05$)。

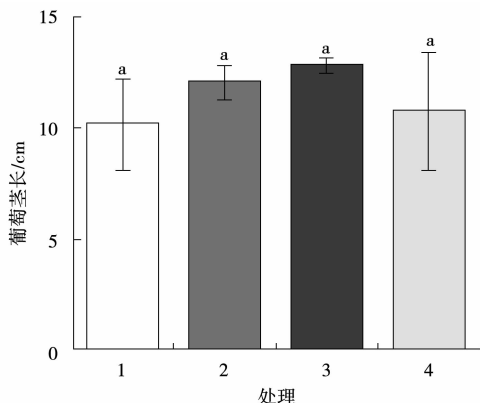


图 3 不同硒肥处理下匍匐茎长的比较

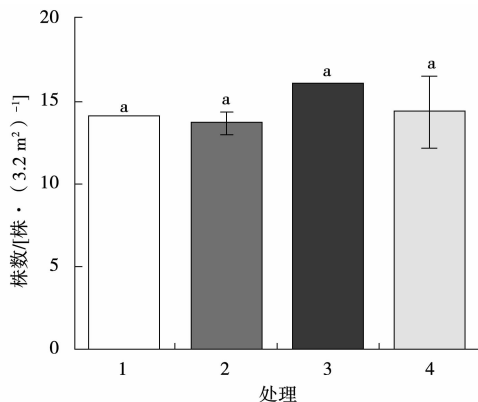


图 4 不同硒肥处理下株数的比较

2.4 不同硒肥处理下马铃薯品质的比较

利用马铃薯的比重,通过回归方程得出干物质和淀粉含量,处理 4 的马铃薯干物质含量与淀粉含量均为 4 个处理中最高,分别为 19.172%和 13.405%,而其他 3 个处理的干物质含量与淀粉含量相同,分别为 16.476%与 10.709%(表 4)。

表 4 不同试验处理下马铃薯干物质含量及淀粉含量

处理	干物质含量/%	淀粉含量/%
1	16.476	10.709
2	16.476	10.709
3	16.476	10.709
4	19.172	13.405

2.5 不同硒肥处理下马铃薯硒含量的比较

利用氢化物原子荧光光谱法,对马铃薯中的硒含量进行测定。由表 5 可知,不同形态与不同喷施量的硒对马铃薯硒元素含量的影响差异显著,处理 3 的马铃薯硒含量最高,为 $89.23\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,

其次是处理 2,其硒含量为 $50.07\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,处理 4 硒含量为 $22.60\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,硒含量最低的是处理 1,为 $2.67\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,且各处理之间硒含量有差异显著($P<0.05$)。

表 5 不同试验处理下马铃薯硒元素含量

处理	硒元素含量/ ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
1	$2.67\pm0.67\ \text{d}$
2	$50.07\pm6.59\ \text{b}$
3	$89.23\pm6.87\ \text{a}$
4	$22.60\pm5.50\ \text{c}$

3 讨论

硒生物强化可有效增加作物可食部分的硒含量,是人类日常生活中进行硒补充的一种新方法。马铃薯作为一种地下块茎作物,其生长可分为种子萌发、营养生长、块茎萌生、块茎膨大和块茎成熟 5 个阶段。马铃薯在不同生长阶段对养分的吸收和分配是不同的。前人研究发现在生殖生长的块茎膨大阶段,硒可能更容易转移到块茎中^[20]。因此本研究分别选择在块茎膨大前期、块茎膨大中期和块茎膨大后期进行叶面喷施硒肥。结果表明,处理 3 的马铃薯块茎硒含量最高,处理 4 的马铃薯块茎硒含量是除对照外最低的,二者有显著性差异。说明针对马铃薯块茎,有机硒的富硒能力要强于纳米硒。处理 3 的马铃薯块茎硒含量为 $89.23\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,较处理 2($50.07\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)显著增加了 78.21%,而施肥量仅增加了 25%,且仅在块茎膨大末期有所差异,说明在马铃薯块茎膨大末期的富硒能力强于块茎膨大的前中期。

前人的研究发现,适当使用有机硒肥可兼顾马铃薯产量和品质^[21]。本研究结果表明,有机硒和纳米硒与对照组在大薯数、大薯重、商品薯率、株数上没有显著差异。马铃薯在不喷洒硒肥时的产量与喷洒硒肥马铃薯的产量并没有明显的差异,这说明硒肥对马铃薯的产量并没有显著的影响,这与大部分的前人研究结果并不相同^[22]。本研究结果表明,处理 4 纳米硒与处理 1、处理 2 和处理 3 有机硒的马铃薯块茎产量并未产生明显变化,但处理 4 的小薯数相对较少,小薯重相对较低。处理 4 纳米硒与处理 1、处理 2 和处理 3 的马铃薯大薯率有显著的差异。说明纳米硒可以提高马铃薯的大薯率和减少小薯数量与小薯重,而有机硒则并未有相关作用。前人研究发现,硒对

马铃薯可溶性糖和淀粉积累起到积极的影响^[23]。本研究结果表明,处理 4 纳米硒的马铃薯块茎的干物质含量和淀粉含量也要高于其他处理。前人研究发现,硒与马铃薯匍匐茎的生长相关^[24],但本研究结果表明,虽然有机硒处理的马铃薯匍匐茎长要长于对照组,但并没有产生明显的影响,而纳米硒处理的匍匐茎长与对照组相差不大。本研究仅对单一品种进行试验研究,后期需深入开展不同品种马铃薯的相关试验加以验证。

4 结论

本研究结果表明,通过叶面喷施方式施用生物纳米硒对提高马铃薯块茎干物质含量、淀粉含量有一定的促进作用,并可减少马铃薯的小薯数与小薯重,提高马铃薯的大薯率。有机硒在马铃薯块茎上的富硒效果更优于生物纳米硒,且在块茎膨大后期富硒效果优于块茎膨大的前中期。

参考文献:

[1] ZAHEER K, AKHTAR M H. Potato production, usage, and nutrition——A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2016, 56(5): 711-721.

[2] 陈萌山, 王小虎. 中国马铃薯主食产业化发展与展望[J]. 农业经济问题, 2015, 36(12): 4-11.

[3] GAO B, HUANG W, XUE X, et al. Comprehensive environmental assessment of potato as staple food policy in China[J]. International Journal of Environmental Research and Public, 2019, 16(15): 2700.

[4] 范书华, 董清山, 解国庆, 等. 水肥一体化条件下马铃薯氮肥精准施用[J]. 黑龙江农业科学, 2021(9): 29-32.

[5] 卢肖平. 马铃薯主粮化战略的意义、瓶颈与政策建议[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2015(3): 1-7.

[6] 张勇胜, 李仁兰, 刘妍, 等. 硒对人体健康作用的研究进展[J]. 内科, 2018, 13(4): 623-625.

[7] ZHANG J, TAYLOR E W, BENNETT K, et al. Association between regional selenium status and reported outcome of COVID-19 cases in China[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2020, 111(6): 1297-1299.

[8] LONGNECKER M P, TAYLOR P R, LEVANDER O A, et al. Selenium in diet, blood, and toenails in relation to human health in a seleniferous area[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1991, 53(5): 1288-1294.

[9] MORRIS J S, CRANE S B. Selenium toxicity from a misformulated dietary supplement, adverse health effects, and the temporal response in the nail biologic monitor[J]. Nutrients, 2013, 5(4): 1024-1057.

[10] 周国华. 富硒土地资源研究进展与评价方法[J]. 岩矿测

- 试,2020,39(3):319-336.
- [11] EL M A, PILON-SMITS E A. Ecological aspects of plant selenium hyperaccumulation[J]. Plant Biology(Stuttgart, Germany), 2012, 14(1): 1-10.
- [12] WHITE P J, BOWEN H C, MARSHALL B, et al. Extraordinarily high leaf selenium to sulfur ratios define ‘Se-accumulator’ plants[J]. Annals of Botany, 2007, 100(1): 111-118.
- [13] WINKEL L H, JOHNSON C A, LENZ M, et al. Environmental selenium research: From microscopic processes to global understanding[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(2): 571-579.
- [14] TERRY N, ZAYED A M, DE SOUZA M P, et al. Selenium in higher plants[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 2000, 51: 401-432.
- [15] 邓坤, 汪园, 李蕾, 等. 生物纳米硒处理对银杏叶生理指标和黄酮含量的影响[J]. 北方园艺, 2021(1): 73-80.
- [16] 孟祥海, 王根林, 李玉梅, 等. 有机硒对马铃薯生理生化指标、品质及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2021(1): 37-42.
- [17] 史雅静, 史雅娟, 王玉荣, 等. 土壤酶对外源有机硒和无机硒的动态响应[J]. 环境科学学报, 2018, 38(3): 1189-1196.
- [18] 廖道林, 苏继元, 田雨欣. 生物纳米硒对柑橘树体及其果实品质的影响研究初报[J]. 南方园艺, 2021, 32(4): 19-23.
- [19] PERFILEVA A I, NOZHKINA O A, GANENKO T V, et al. Selenium nanocomposites in natural matrices as potato recovery agent[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(9): 4576.
- [20] ZHANG H, ZHAO Z, ZHANG X, et al. Effects of foliar application of selenate and selenite at different growth stages on selenium accumulation and speciation in potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. Food Chemistry, 2019, 286: 550-556.
- [21] 潘丽萍, 邢颖, 陈锦平, 等. 不同硒肥施用模式对冬种马铃薯硒含量、产量及品质的影响[J]. 南方农业学报, 2021, 52(5): 1215-1221.
- [22] 邢颖, 梁潘霞, 廖青, 等. 有机硒肥对马铃薯硒素利用及产量品质的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(11): 2522-2525.
- [23] TURAKAINEN M, HARTIKAINEN H, SEPPÄNEN M M. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(17): 5378-5382.
- [24] SHARMA N, KAUR N, GUPTA A K. Effect of chlorocholine chloride sprays on the carbohydrate composition and activities of sucrose metabolising enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. Plant Growth Regulation, 1998, 26(2): 97-103.

Effects of Different Forms of Selenium Fertilizer on Yield and Quality in Potato

HUA Yu-chen, FAN Shu-hua, DONG Qing-shan, XIE Guo-qing, WANG Yan, ZHAO Yun-tong, ZHANG Li-wei

(Mudanjiang Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Mudanjiang 157000, China)

Abstract: In order to promote the research and development of selenium rich potatoes, in this experiment, the local main cultivar ‘Youjin’ was used to conduct selenium enrichment experiments in the early, middle and late stages of tuber expansion by spraying on the leaves. Four kinds of selenium fertilizer treatments were set up, namely control treatment(water), organic selenium $800 \text{ mL} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$, organic selenium $1\ 000 \text{ mL} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ and nano selenium $\text{mL} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$. To determine the effects of different selenium fertilizer forms on potato yield and quality. The results showed that the number and weight of big potatoes. There was no significant difference in commercial potato rate, plant number and yield. Although the stolon length of potato treated with organic selenium was longer than that of the control group, it had no significant effect, and the stolon length of potato treated with nano selenium was not different from that of the control group. The application of biological nano selenium could improve the dry matter content and starch content of potato tubers, and reduce the number and weight of small potatoes. The selenium enrichment effect of organic selenium on potato tubers by foliar spraying was better than that of biological nano selenium, and the selenium enrichment effect was better than that in the early and middle stages of tuber expansion.

Keywords: potato; selenium fertilizer; yield; quality