



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.

有机硒对马铃薯生理生化指标、品质及产量的影响

孟祥海¹,王根林²,李玉梅³,王佰成¹,邵广忠¹,胡颖慧¹,孙殷会¹,张庆娜¹

(1.黑龙江省农业科学院 牡丹江分院,黑龙江 牡丹江 157000;2.黑龙江省农业科学院 畜牧研究所,黑龙江 哈尔滨 157086;3.黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所,黑龙江 哈尔滨 157086)

摘要:为筛选马铃薯喷施有机硒最佳用量,本文采用田间试验方法,研究不同有机硒喷施量下,马铃薯生理生化指标、品质指标及产量的变化。结果表明:有机硒用量为 $6.0 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,马铃薯叶片中可溶性糖含量($0.63 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)、SOD($142.62 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$)、POD($123.03 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$)、CAT 均达到最高值,丙二醛(MDA)含量达到最小,低于对照 30.95% ,差异极显著($P < 0.01$),同时块茎中淀粉含量与薯块蛋白也显著高于对照。马铃薯淀粉含量变化随着有机硒用量的增加呈现出先增加后降低再增加的趋势,喷施有机硒能够显著提高马铃薯块茎中淀粉含量以及薯块蛋白含量。有机硒喷施量为 $6.0 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的处理马铃薯产量最高,经方程后拟合有机硒营养液喷施浓度为 $5.62 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时理论产量最高。薯块硒含量随喷施量增加而升高,富硒效果显著。综合来看,当有机硒用量为 $6.0 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,可有效促进马铃薯产量和品质的提高。

关键词:有机硒;马铃薯;生理生化;品质;产量;影响

硒是人体中一些抗氧化酶和硒-P 蛋白的重要组成部分,是人体的必需微量元素,具有多种生理功能,如防治皮肤疾病、克山病、大骨节病,提高肌体免疫力、延缓衰老等。在低硒或缺硒地区,补硒有利于提高生物的硒营养水平^[1]。有研究表明,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,对有机硒生物活性强,毒性低,更有利于动植物体吸收^[2],直接或间接决定作物品质及产量的提高程度。近年来随着人们对饮食健康的关注,马铃薯作为营养价值和经济价值较高的作物,被列为仅次于水稻、玉米和小麦的第四大粮食作物^[3],但马铃薯属于非特异性富硒作物,其自然含硒量不高,难以满足人体需求,而通过有机硒营养液的喷施达到马铃薯安全富硒水平是一种安全有效的补硒途径,同时提高马铃薯产量与品质也将直接影响农户种植效益,因此,研究有机硒营养液的喷施对马铃薯生理

生化指标、品质和产量的影响显得尤为必要,对马铃薯高产优质富硒技术研究具有十分重要的意义。

硒被科学家称之为人体微量元素中的“防癌之王”,引起了众多农业科研人员的重视。针对大田作物(水稻、大豆、玉米、小麦等)、瓜果蔬菜类、烤烟和果树等作物均开展了硒肥效应试验,研究其对植物品质及各项生理指标的影响,但多数学者均以无机硒肥为研究对象,对有机硒肥研究较少。马莺^[4]研究表明施硒对马铃薯中蛋白氮和蛋白质的含量有明显增加作用。黄景新等^[5]认为硒肥喷施时期以花期效果最好,马铃薯块茎含硒量随浓度的增加而增加。邢海峰^[6]采用小区试验,通过叶面喷施无机硒肥研究马铃薯硒素吸收、累积量及分配规律,探明硒肥、氮磷钾化肥、覆膜等栽培措施对硒素吸收累积的影响,最终提出以施肥为核心的富硒马铃薯栽培技术。邢颖等^[3]通过盆栽试验基施不同用量有机硒肥,开展有机硒肥对马铃薯硒素利用及产量、品质的影响,发现马铃薯硒素吸收量随硒肥施用浓度增加呈持续上升趋势,有机硒含量趋势与总硒一致,但有机硒转化率呈先升高后降低的趋势。殷金岩等^[7]以保水缓释硒肥、生物炭基硒肥与硒酸钠硒肥作为试验硒肥,发现不同硒肥对马铃薯品质及产量影响趋势一致,有机硒转化率也因硒肥种类及施用量不同而存在差异,其中以保水缓释硒肥效果最佳。目

收稿日期:2020-09-29

基金项目:黑龙江省马铃薯产业协同技术体系课题;国家重点研发项目“东北平原东部旱地丰产增效耕作培肥技术模式与示范”(2016YFD0300806);黑龙江省级资助项目(GX18B013);黑龙江省农业科学院院级科研项目(应用研发类)(2019YYF034);黑龙江省自然科学基金项目(JJ2020LH2154)。

第一作者:孟祥海(1985—),男,硕士,助理研究员,从事土壤肥料与废弃资源利用研究。E-mail: mengxianghai538@163.com。

通信作者:王根林(1971—),男,硕士,研究员,从事土壤与肥料研究。E-mail: wanggenlin2005@163.com。

前,针对有机硒对马铃薯生理生化指标、品质及产量的研究较少,本试验将自主研发的有机硒调控不同喷施量在马铃薯生育期内进行叶面喷施,明确马铃薯对该有机硒吸收转化后的生理生化指标^[8-9]、品质指标及产量性状变化特征,同时比较马铃薯不同有机硒用量的块茎富硒效果,为马铃薯富硒技术体系提供科学指导,为有机硒科学使用提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于黑龙江省哈尔滨市平房区基地,年平均降雨量 550~600 mm,平均活动积温 2 650~2 750 ℃。土壤类型为黑土,试验前土壤基础养分含量为碱解氮 183.7 mg·kg⁻¹、速效磷 53.4 mg·kg⁻¹、有效钾 164.0 mg·kg⁻¹、有机质 32.0 g·kg⁻¹、pH6.08。

1.2 材料

供试马铃薯品种为尤金 885,种薯级别为脱毒原种。供试肥料为尿素(含 N 46.6%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)和硫酸钾(含 K₂O 50%),有机硒为自主研发,有机硒含量≥1 000 mg·kg⁻¹。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验于 2019 年 4—9 月进行,马铃薯开花期前喷施一次有机硒,按照有机硒喷施用量设置 5 个不同处理,分别为处理 A(0 L·hm⁻²)、处理 B(3.0 L·hm⁻²)、处理 C(6.0 L·hm⁻²)、处理 D(9.0 L·hm⁻²)和处理 E(12.0 L·hm⁻²),3 次重复,共 15 个小区,每小区面积为 39 m²(6 行×10.00 m×0.65 m),行距 65 cm×株距 20 cm。各处理 N、P₂O₅、K₂O 施肥量一致,分别为 90,60 和 130 kg·hm⁻²。

1.3.2 测定项目及方法 土壤有机质、碱解氮、速效磷、有效钾和 pH 的测定采用土壤农化常规分析方法^[10]。

于成熟期前 8:00 取马铃薯倒 4 顶小叶,置于冰盒中,用于室内测定脯氨酸含量、可溶性蛋白含量、SOD 活性、POD 活性、CAT 活性和 MDA 含量^[8]。

收获时各处理每小区选取中间 3 垄,按照实收面积测定产量,每处理取一定量马铃薯块茎混合样,测定鲜重,105 ℃杀青 30 min,75 ℃烘干至恒重,并称重,计算干物质含量。粉碎的干样用 H₂SO₄-H₂O₂ 消化,常规方法测定全氮,蛋白质用

全氮含量乘以换算系数 6.25 得出结果^[11]。

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(%),可溶性糖含量采用硝基水杨酸法测定^[12-13],超氧化物歧化酶(SOD)采用 NBT 光化还原法^[14]测定,过氧化物酶(POD)采用愈创木酚氧化法^[15]测定,过氧化氢酶(CAT)采用紫外吸收法^[16]测定。脯氨酸(Pro)含量采用茚基水杨酸法测定 Pro 含量,MDA 含量采用硫代巴比妥酸 TBA 显色法测定^[17]。还原糖含量(湿基)采用 3,5-二硝基水杨酸比色法(%),淀粉含量(干样)含量采用酸水解法(%).

淀粉粘度(BU)的测定:按照 GB/14490—1993 规定的方法测定,准确称取 20 g 淀粉(以干基计)于 500 mL 带胶塞的容量瓶中,加蒸馏水配制成 500 mL 的淀粉乳,将配好的淀粉乳倒入粘度杯中,按规定安装好仪器,从 20 ℃开始升温,升、降温速率为 1.5 ℃·min⁻¹,在 95 ℃和 50 ℃分别保温 0.5 h,即可得到粘度曲线。记录粘度曲线上的糊化温度、峰值粘度温度和淀粉粘度。测量盒扭矩 6.9×10⁻² N·m,转子转速 75 r·min⁻¹,粘度单位为 BU^[18]。

马铃薯块茎总硒测定:采用氢化物原子荧光光谱法,根据食品安全国家标准^[19]要求执行。

1.3.3 数据分析 用 Excel 2013 进行数据整理,采用 SPSS 19.0 软件对数据进行方差及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 有机硒喷施量对马铃薯产量及富硒效果影响

由表 1 可知,不同有机硒喷施量对马铃薯产量的影响差异显著($P<0.05$)。处理 E 产量最低,为 32 411.99 kg·hm⁻²,较对照减产 3.16%。处理 C 产量最高,为 38 272.72 kg·hm⁻²,比对照增产高达 14.35%,处理 B、D 较对照增产幅度为 5.62%~8.44%。由处理 A~E 的结果拟合有机硒用量与产量的一元二次方程(图 1)。在一定量有机硒喷施范围内,随着喷施量增加,马铃薯产量呈先增加后降低趋势,处理间差异性显著($P<0.05$),产量与有机硒喷施量相关系数为 0.943 2。由回归方程极值求解方法计算得出,理论最高产量有机硒用量为 5.62 L·hm⁻²时,理论最大产量为 37 522.21 kg·hm²。从对富硒效果来

看(表 1),随有机硒用量的增加,马铃薯中总硒含量呈现逐渐增加趋势,且显著高于对照($P<0.05$),其中处理 B、C、D、E 分别是对照处理的

1.23,2.35,3.00 和 3.75 倍,其中处理 C、D、E 总硒含量均显著高于对照,且处理 E 达到国家农业行业富硒标准(NY/T3116—2017,15~150 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。

表 1 不同处理对马铃薯产量和硒含量的影响

| 处理 | 喷施量/ ($\text{L}\cdot\text{hm}^{-2}$) | 产量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) | | | | 增产/ % | 硒含量/ ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) |
|----|---|---------------------------------------|---------|----------|----------------|---------|--|
| | | I | II | III | 平均值 | | |
| A | 0 | 32568.5 | 34035.8 | 33801.13 | 33468.48 Ccd | 0 | 4.0 d |
| B | 3.0 | 35449.2 | 36250.1 | 37180.29 | 36293.20 ABab | 8.44 b | 4.9 d |
| C | 6.0 | 38450.8 | 39023.8 | 37343.57 | 38272.72 Aa | 14.35 a | 9.4 c |
| D | 9.0 | 35560.2 | 34987.5 | 35496.05 | 35347.92 ABCbc | 5.62 c | 12.0 b |
| E | 12.0 | 31294.8 | 32056.3 | 33884.86 | 32411.99 Cd | -3.16 d | 15.0 a |

注:同列数据后不同大小写字母者表示在 $P<0.01$ 或 $P<0.05$ 水平差异显著,下同。

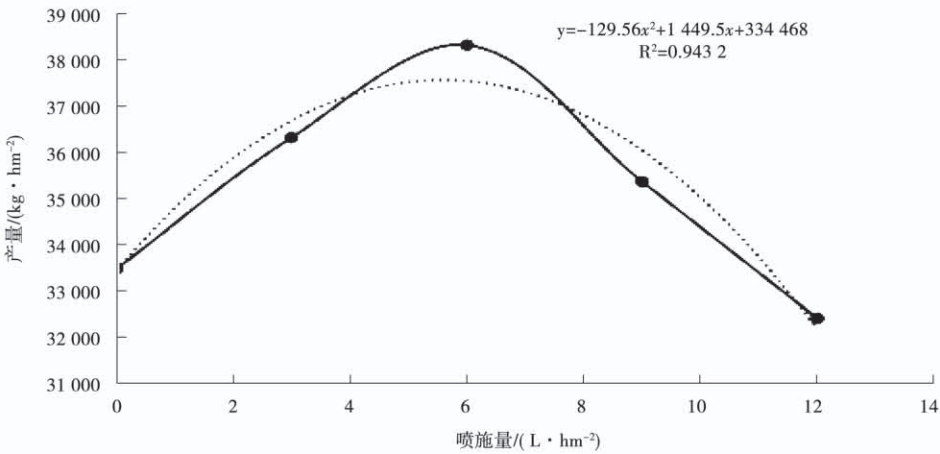


图 1 有机硒施用量与马铃薯产量的关系

2.2 有机硒喷施量对马铃薯生理生化指标的影响

由表 2 可知,叶片中可溶性蛋白质含量表现为处理 B>C>A>D>E,其中处理 B(19.64%)显著高于对照($P<0.05$),较对照提高 23.25%。处理 E(13.04%)、处理 D(15.29%)均低于对照。

随着有机硒喷施量增加,马铃薯叶片中可溶性糖含量近似呈先增加后降低趋势。处理 C 可溶性糖含量是对照的 1.24 倍,显著高于对照($P<0.05$)。有机硒喷施量在 9.0 $\text{L}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,马铃薯可溶性糖含量降低至 0.39 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

表 2 不同处理对马铃薯生理生化指标的影响

| 处理 | 可溶性蛋白质/ % | 可溶性糖/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) | 超氧化物歧化酶/ ($\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}$) | 过氧化物酶/ ($\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}$) | 过氧化氢酶/ ($\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}$) | 丙二醛/ % | 脯氨酸/ % |
|----|-----------|--|---|---|---|------------|-----------|
| A | 15.94 bc | 0.51 Ab | 111.55 d | 75.06 Bb | 25.19 d | 0.00630 Cc | 0.0441 Aa |
| B | 19.64 a | 0.50 Ab | 133.51 b | 80.24 Bb | 26.43 ab | 0.02100 Aa | 0.0324 Aa |
| C | 16.92 b | 0.63 Aa | 142.62 a | 123.03 Aa | 27.63 a | 0.00435 Dd | 0.0529 Aa |
| D | 15.29 bc | 0.39 Ac | 120.05 c | 78.64 Bb | 25.97 c | 0.01500 Bb | 0.0618 Aa |
| E | 13.04 d | 0.55 Aab | 119.20 d | 82.40 Bb | 27.47 b | 0.01520 Bb | 0.0474 Aa |

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)统称为抗氧化酶,是植物体内重要的活性氧清除酶,其活性的增加可有效阻

止过多活性氧的积累,减轻或防止细胞膜脂过氧化,从而延缓植物衰老,增加植株抗逆性^[20],因此在一定范围内含量越高对作物越有益。随机硒用

量增加马铃薯 SOD、POD 活性呈现先增加后降低趋势,其中处理 C 达到峰值,SOD 最高,为 $142.62\text{ U}\cdot\text{mg}^{-1}$,显著高于其他处理和对照($P<0.05$),是对照的 1.28 倍,增幅 27.85%。处理 C 马铃薯 POD 最高,为 $123.03\text{ U}\cdot\text{mg}^{-1}$,极显著高于其他处理和对照($P<0.05$)。不同有机硒用量马铃薯 CAT 活性均显著高于对照,是对照的 1.03~1.10 倍,其中以处理 C 增加最明显,增幅达到 9.69%。

丙二醛(MDA)的积累会对生物机体细胞产生毒害作用。因此,常用 MDA 和脯氨酸(Pro)的含量衡量作物植株耐受逆境胁迫的功能和生理抗逆能力。由表 1 数据可知,各处理间 Pro 含量差异不显著。而马铃薯叶片中 MDA 却随有机硒用量增加,呈现先上升后下降再上升的趋势。处理 C 有机硒用量为 $6.0\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时马铃薯叶片 MDA 含量达到最低,比对照降低 30.95%,达到差异极显著水平($P<0.01$)。

2.3 不同有机硒喷施量对马铃薯品质的影响

蛋白质含量是决定马铃薯品质的重要指标。由表 3 可知,随有机硒用量的增加,薯块蛋白含量呈先升高后降低的趋势,其中处理 C 显著高于对照($P<0.05$)。还原糖含量高会严重影响马铃薯品质,处理 C、E 还原糖含量低于对照。淀粉含量是决定马铃薯品质的重要指标,马铃薯淀粉含量变化随着有机硒用量的增加呈现出先增加后降低再增加的趋势,且以有机硒 $6.0\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时喷施效果最佳,显著高于对照。说明喷施有机硒能够显著提高马铃薯块茎中淀粉含量以及薯块蛋白含量。

表 3 不同处理对马铃薯品质的影响

| 处理 | 淀粉含量/% | 薯块蛋白(湿基)/% | 还原糖(湿基)/% | 淀粉粘度 | 糊化温度/℃ |
|----|---------|------------|-----------|---------|--------|
| A | 10.10 c | 1.69 b | 0.18 c | 1108 a | 68.2 a |
| B | 11.33 b | 1.73 ab | 0.25 b | 1010 cd | 68.7 a |
| C | 13.33 a | 1.81 a | 0.15 c | 1073 ab | 67.4 a |
| D | 11.46 b | 1.41 c | 0.45 a | 1027 c | 68.0 a |
| E | 13.18 a | 1.38 c | 0.13 c | 1080 ab | 67.4 a |

淀粉粘度是评价马铃薯淀粉质量优劣的重要指标^[18]。由表 3 可知,随着有机硒用量的增加马铃薯淀粉粘度(BU)值呈现先降低后增加再降低再增加的变化趋势,处理 B 和 D 的马铃薯 BU 值均低于对照且差异显著($P<0.05$)。淀粉糊化特

性是反映淀粉品质的重要指标,对淀粉的营养及其加工品质有重要影响。本试验的马铃薯糊化温度处理间差异不显著,说明有机硒的喷施对淀粉实现糊化时的温度影响不大。

2.4 马铃薯生理生化指标与品质指标相互作用

由表 4 可知,不同有机硒用量下马铃薯生理生化指标及品质指标具有一定相关性,可溶性糖与还原糖含量呈显著负相关($P<0.05$),SOD 与 CAT 呈显著正相关($P<0.05$),淀粉含量与 CAT 呈极显著正相关($P<0.01$),其他指标间相关性不显著。说明马铃薯体内可溶性糖含量随还原糖含量增加而降低,SOD、淀粉含量的增加使 CAT 含量呈增加趋势。有机硒喷施对淀粉和还原糖两项指标影响尤为突出,其含量大小直接影响 SOD 和 CAT 的大小,进而影响马铃薯品质。

表 4 主要指标的相关性

| 项目 | 可溶性糖 | 超氧化物歧化酶 | 淀粉含量 |
|-------|--------|---------|--------|
| 还原糖 | -0.89* | | |
| 过氧化物酶 | | 0.81* | 0.98** |

注:*表示 $P<0.05$,**表示 $P<0.01$ 。

3 讨论

3.1 有机硒对马铃薯产量及富硒含量的影响

本试验中马铃薯产量以 $6.0\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$ 最高,拟合方程发现最高产量有机硒喷施量为 $5.62\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,理论产量最高,而实际处理中,有机硒喷施量 $6.0\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时产量达到了最高,超出了理论数值,因此本试验将最佳有机硒喷施量定为 $6.0\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$,在该有机硒喷施量下,马铃薯块茎中可溶性糖含量、淀粉含量^[21]、种薯蛋白均实现最高,还原糖含量最低,尤其是有机硒喷施量为 $6.0\sim12.0\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时薯块中硒含量达到了国家标准。这也说明马铃薯蛋白质的提高和抗氧化酶含量的增加与高产量形成有着必然联系,具体增产机理有待进一步验证。

3.2 有机硒对马铃薯生理生化指标的影响

已有研究表明,随着硒肥喷施量的增加,马铃薯中可溶性糖含量先增加后降低^[3,7],与本试验的研究一致,喷施适量有机硒可以提高马铃薯叶片中可溶性糖含量,浓度过大对马铃薯叶片中可溶性糖含量增加无明显效果。曹可等^[22]研究发现可溶性蛋白质含量随着硒肥喷施浓度的增加而呈上升趋势,这与本文结论不同,分析其原因可能与低温处理方式有关。邢海峰^[6]对硒肥、氮磷钾

化肥、覆膜对马铃薯硒素吸收分配及品质的影响进行研究,发现低硒处理降低了植株总蛋白质的含量,但随着硒浓度的进一步增加植株体内的总蛋白质含量逐渐升高,本试验中处理 B(硒喷施量 $3.0 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$) 和处理 C(硒喷施量 $6.0 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$) 可以有效提高马铃薯叶片可溶性蛋白质含量。

有机硒在一定喷施量内抗氧化酶活性呈现先升高后降低的趋势,抗氧化酶活性最高的喷施量为 $6.0 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$, 过高或过低对抗氧化酶活性影响均减弱。而 Pro 含量并未随喷施量改变而增减,处理间差异不显著,说明该有机硒增加植物体内 Pro 作用不明显,这与 Akladios^[23] 研究的施硒能明显增加脯氨酸的含量有所不同。Hawrylak-Nowak^[24] 研究结果显示,适宜的有机硒喷施量可降低 MDA 含量,与本试验相一致,处理 C 马铃薯叶片 MDA 含量达到最小,低于对照 30.95%,达到极显著差异水平。以往研究表明马铃薯叶片 MDA 含量的降低,可能是因为有机硒能够促进 GSH-PX 的合成,使其活性增加,从而有效的清除自由基,防止脂质过氧化的缘故。

3.3 有机硒对马铃薯品质的影响

随有机硒用量增加,马铃薯块茎中淀粉及种薯蛋白含量呈先升高后降低趋势,处理 C、处理 B 最为显著。分析可能是有机硒喷施量在一定范围内可使马铃薯中粗蛋白含量增加,进而影响到薯块内蛋白含量。以往研究表明,还原糖含量高会严重影响马铃薯品种甜度,本试验处理 C、E 还原糖含量低于对照,故适当增加有机硒喷施量可以降低薯块中还原糖含量,提高马铃薯品质。邢颖等^[3] 研究表明随着有机硒用量增加,马铃薯块茎中粗蛋白含量呈先升高后降低趋势,与本研究结果相似,有机硒喷施量在 $3.0 \sim 6.0 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$ 可以有效提高马铃薯蛋白质含量,高于 $6.0 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$ 马铃薯蛋白质含量并没有提升,反而呈现降低趋势。

4 结论

马铃薯有机硒最佳喷施量为 $6.0 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$, 该喷施用量下的马铃薯叶片中蛋白质、可溶性糖、抗氧化酶等生理生化指标达到最高,块茎中淀粉、种薯蛋白、还原糖等品质指标及产量均也达到最佳水平,同时,薯块中硒含量达到了富硒指标,可以在有机硒推广应用中作为推荐用量喷施。由于该试验结果是经 1 年田间数据的分析得出,故对于不同土壤肥力及特殊地理条件的土壤需要做进一

步精准用量研究。

参考文献:

- [1] 岳海峰. 我国对硒的生物学意义的研究进展[J]. 仲恺农业技术学院学报, 1996, 9(1): 83-87.
- [2] 王雪梅, 曹进, 王钢力. 食品中硒的有机形态分析研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(23): 7876-7880.
- [3] 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.
- [4] 马莺. 硒对马铃薯含氮组成的影响[J]. 马铃薯杂志, 1992, 3(6): 187.
- [5] 黄景新, 秦昕. 硒肥对马铃薯块茎产量和品质的影响[J]. 马铃薯杂志, 2002, 16(1): 10-13.
- [6] 邢海峰. 硒肥、氮磷钾化肥、覆膜对马铃薯硒素吸收分配及产量、品质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2005.
- [7] 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.
- [8] 韩德鹏, 尹智宇, 杨蓓, 等. 干旱胁迫对冬播马铃薯现蕾期生理生化指标的影响[J]. 中国马铃薯, 2020, 34(2): 78-85.
- [9] 海梅荣, 陈勇, 周平, 等. 干旱胁迫对马铃薯品种生理特性的影响[J]. 中国马铃薯, 2014, 28(4): 199-204.
- [10] 鲍士旦. 土壤化学分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 25-108.
- [11] 吕慧峰, 王小晶, 陈怡, 等. 氮磷钾分期施用对马铃薯产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(24): 197-200.
- [12] 苏振洪. 马铃薯炸片品质与可溶性糖变化规律研究[M]. 武汉: 华中农业大学, 2002.
- [13] 姚黎霞. 低温贮藏对甘薯和马铃薯及加工制品糖含量的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2018.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [15] 赵世杰, 李德全. 植物生理学实验手册[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [16] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [17] Kumar G, Knowles N R. Changes in lipid peroxidation and lipolytic and free-radical scavenging enzyme activities during aging and sprouting of potato (*Solanum tuberosum*) seed-tubers[J]. Plant Physiology, 1993, 102(1): 115-124.
- [18] 张瑞婷, 石瑛, 李欣, 等. 马铃薯不同杂交组合及后代淀粉品质性状的评价[J]. 中国马铃薯, 2012, 26(3): 129-134.
- [19] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009. 93-2010, 食品安全国家标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [20] 靳欢, 苟琳, 倪苏, 等. PP₃₃₃ 对马铃薯试管苗抗氧化酶及蛋白质含量的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 99-102.
- [21] 于天峰, 夏平. 马铃薯淀粉特性及其利用研究[J]. 中国农业通报, 2005, 21(1): 55-58.
- [22] 曹可. 硒对低温胁迫下马铃薯生理的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- [23] Akladios S A. Influence of different soaking times with selenium on growth, metabolic activities of wheat seedlings under low temperature stress[J]. African Journal of Biotechnology, 2012, 11(82): 14792-14804.

- [24] Hawrylak-Nowak B, Matraszek R, Szymanska M. selenium modifies the effect of short-term chilling stress on cucum-

ber plants[J]. Biological Trace Element Research, 2020, 138(1-3):307-315.

Effects of Organic Selenium on Physiological and Biochemical Indexes, Quality and Yield of Potato

MENG Xiang-hai¹, WANG Gen-lin², LI Yu-mei³, WANG Bai-cheng¹, SHAO Guang-zhong¹, HU Ying-hui¹, SUN Yin-hui¹, ZHANG Qing-na¹

(1. Mudanjiang Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Mudanjiang 157041, China; 2. Institute of Animal Sciences, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 3. Institute of Soil Fertility and Environmental Resource, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to screen the optimal amount of organic selenium in potato spraying, the field experiment method was adopted in this paper to study the changes of physiological and biochemical indexes, quality indexes and yield of potato under different amounts of organic selenium spraying. Results showed that the dosage of the organic selenium $6.0 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$, potato leaf soluble sugar content ($0.63 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), SOD ($142.62 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$), POD ($123.03 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$), the CAT were maximum, malondialdehyde (MDA) content in minimum, less than 30.95% contrast, extremely significant difference ($P < 0.01$), at the same time, the potato piece of starch and protein in tuber was significantly higher than control. The content of potato starch increased first, then decreased and then increased with the increase of the content of organic selenium. Spraying organic selenium could significantly improve the content of starch and protein in potato lumps. The potato yield was the highest in the treatment with $6.0 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$, and the theoretical yield was the highest when the concentration of organic selenium nutrient solution was $5.62 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$ after the equation was fitted. The selenium content of potato chips increased with the increase of spraying amount, and the selenium enrichment effect was significant. In general, when the amount of organic selenium was $6.0 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$, potato yield and quality could be improved effectively.

Keywords: organic selenium; potatoes; physiological and biochemical index; yield; quality; impact

(上接第 25 页)

Characteristics of Arid and Waterlogging in Summer of Sanjiang Plain, Northeast China

GUO Shi-you^{1,2}

(1. Academician Workstation of Heilongjiang Longyun Meteorological Information Technology Limited Company, Harbin 150030, China; 2. Heilongjiang Meteorological Observatory, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to understand the evolution law of arid and waterlogging in Sanjiang Plain under global warming, based on the monthly precipitation data, we analyzed the variation characteristics of arid and waterlogging in summer in Sanjiang Plain was by Z index, linear trend estimation and Mann-Kendall method. The results showed that there was a weak waterlogging trend in summer, June, July and August in Sanjiang Plain during 1961-2020, and the rising rate of summer Z index was $0.061 \cdot 10^{-1}$, but the waterlogging trend was not obvious. The changes of arid and waterlogging have stages. The frequency of arid in summer and August was higher than that of waterlogging, and the intensity of arid was weaker than that of waterlogging. The frequency of arid in June was less than that of waterlogging, and the intensity of arid was weaker than that of waterlogging. The frequency and intensity of arid in July were similar to that of waterlogging. In SSP245 scenario, the frequency of waterlogging was on the rise in summer and each month in the Sanjiang Plain from 2021 to 2100, and the rising speed of summer Z index was $0.13 \cdot 10^{-1}$. Under the background of global warming, it could provide the basis for making reasonable agricultural development plan on Sanjiang Plain by understanding the trends and regularities of arid and waterlogging change.

Keywords: Sanjiang plain; arid and waterlogging; Z index