

叶面喷硒对糯玉米生理特性及子粒硒含量的影响

杨舒添, 杜天庆, 翟红梅, 李宇航, 龚 芮, 崔福柱, 孙 敏, 高志强

(山西农业大学农学院, 山西 太谷 030801)

摘 要: 采用2因素裂区设计, 对4个糯玉米品种在5个供硒水平下的不同生理指标及子粒硒含量进行比较研究。结果表明, 60 g/hm²的叶面喷硒处理不仅显著提高糯玉米过氧化物酶(POD)活性、谷胱甘肽(GSH)含量, 降低丙二醛(MDA)含量, 还能有效提高糯玉米叶片中叶绿素含量, 在该处理浓度下4个品种子粒硒含量与对照相比均极显著增加。品种、浓度单一及其互作对子粒硒含量的影响均存在显著差异, 各因素对总变异的贡献表现为处理浓度>品种>品种×处理浓度。与不喷硒处理相比, 4个品种的子粒硒平均含量分别提高118.054 5、139.317 9、162.958 3和87.164 7 μg/kg。综合考虑生理特性和子粒硒含量, 确定选用CTN1965和JN20作为富硒品种, 两个品种推荐叶面喷硒浓度分别为60~61.552 9 g/hm²和60~78.877 0 g/hm², 在61.552 9、78.877 0 g/hm²阈值下, 两个品种子粒硒平均含量可达300 μg/kg的安全上限。

关键词: 糯玉米; 叶面喷硒; 生理指标; 子粒硒含量

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Effects of Foliar Spraying Selenium on Physiological Characteristics and Grain Selenium Content of Waxy Corn

YANG Shu-tian, DU Tian-qing, ZHAI Hong-mei, LI Yu-hang, GONG Rui,

CUI Fu-zhu, SUN Min, GAO Zhi-qiang

(College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: The two-factor split-plot design method was used to a comparative study on the different physiological indexes and grain selenium content of four main extension planting waxy maize varieties under five selenium levels. The results showed that 60 g/ha spraying selenium level on waxy corn could not only increase the POD activity, GSH content and reduce MDA content, but also effectively increase the chlorophyll content. Compared with Se0, the content of selenium in the grain of four cultivars increased significantly at this concentration. There were significant differences in the effects of variety, concentration and interaction on grain selenium content. The contribution of each factor to the total variation was concentration > variety > interaction between variety and concentration. Compared with respective Se0 treatments, the grain average selenium contents of the four cultivars were increased 118.054 5, 139.317 9, 162.958 3 and 87.164 7 g/kg. Taking into account the physiological characteristics and grain selenium content, CTN1965 and JN20 were selected as selenium-enriched varieties. The recommended leaf spraying selenium concentrations of two varieties were 60–61.552 9 g/ha and 60–78.877 0 g/ha, respectively. Under the thresholds of 61.552 9 g/ha and 78.877 0 g/ha, the average selenium content in grains could reach the safe upper limit of 300 μg/kg.

Key words: Waxy corn; Foliar spraying selenium; Physiological index; Grain selenium content

录用日期: 2019-07-29

基金项目: 山西农谷建设科研专项项目(SXNGJSKYZX201703)、山西省重点研发计划重点项目(201703D211001-02-02)

作者简介: 杨舒添(1993-), 山西芮城人, 硕士, 从事旱作栽培与作物生理研究。E-mail: 5934595@qq.com

杜天庆为本文通讯作者。Tel: 13593083326

E-mail: tgdtq1968@sina.com

糯玉米又称粘玉米, 其子粒中所含蛋白质、氨基酸等含量高于普通玉米, 且该类型玉米绵软适口、甜粘清香, 喜食人数众多^[1]。近年来随着人类对健康的关注度不断提升, 硒与人类健康逐渐成为热门话题。世界上有40多个国家、中国有72%的县市存在不同程度缺硒, 缺硒会直接导致人体自身健康的各种缺陷, 严重可导致40多种硒缺乏病(克山病、大骨

节病)发生^[2,3]。植物是硒生态循环过程中的中间环节,富硒植物的生产是增加硒水平和消除硒缺乏的一条有效途径^[4]。因此,开展糯玉米富硒研究不仅对人体健康具有积极意义,而且对糯玉米产业的持续发展具有重要的应用价值。

有关玉米富硒前人进行大量研究。李圣男等通过研究富硒玉米生产方式,确定在硒肥使用种类中亚硒酸钠生产效率相对较高^[5]。张秀梅等研究玉米土壤施硒,发现土壤施用一定浓度硒对发芽率和植株生长有促进作用,高浓度硒的施用不利于玉米发芽^[6]。杨德平、刘春菊等研究表明,叶面喷施硒肥是生产富硒玉米行之有效的途径^[7,8]。目前,玉米富硒多集中于硒肥施用方式及确定硒肥施用对玉米富硒效果的影响,关于明确叶面喷施硒肥对糯玉米生长发育影响的生理调节机制及确定最佳叶面喷施浓度的研究较少,对当前生产中主推糯玉米品种进行横向比较研究的报道鲜见。本文研究叶面喷施对糯玉米POD活性、GSH含量、MDA含量及叶绿素含量的影响,筛选高效吸收利用硒元素的糯玉米品种,确定最佳叶面喷施浓度,为糯玉米富硒农艺措施强化提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2018年5~8月在山西农业大学农作站(114°58'E、38°56'N)进行,试验田位于山西省中部,属半干旱地区,年降水量451.9 mm,年平均蒸发量为1 618.4 mm,年平均气温约9.8℃,土壤硒含量本底值59 μg/kg。

1.2 试验材料

研究选择当前山西生产中主推的4个糯玉米品种晋糯18、晋糯20、彩甜糯1965、晋单糯41作为试验材料。研究选择硒源为亚硒酸钠(Na_2SeO_3 ,分析纯含量97%),由北京北化精细化学品有限责任公司提供。

1.3 试验设计

试验采用二因素裂区设计,主区设4个糯玉米品种晋糯18(JN18)、晋糯20(JN20)、彩甜糯1965(CTN1965)、晋单糯41(JDN41);副区设5个供硒水平(以纯硒计):清水对照(CK, Se0)、Se15(15 g/hm²)、Se30(30 g/hm²)、Se60(60 g/hm²)、Se120(120 g/hm²)。共20个处理组合,3次重复。小区面积12 m²,种植行距60 cm、株距30 cm、种植密度为54 000株/hm²。

2018年5月24日播种,8月29日采收。播前施用农邮复合肥料(玉米配方肥N-P₂O₅-K₂O=26-9-5,

总养分≥40%)600 kg/hm²作基肥;大喇叭口期施用该肥料300 kg/hm²作追肥,追肥方式采用深埋施肥法,埋施后进行灌溉。在整个生育期内分别于7月5日(拔节至大喇叭口期)、7月18日(大喇叭口至抽雄期)和8月3日(花粒期)进行3次叶面喷施,使用背负式手动喷雾器均匀喷施相应浓度的亚硒酸钠(Na_2SeO_3)溶液于叶片表面,每次用预定总量的1/3。叶面喷施的时间选定在晴天下午5点后,6 h内遇雨及时补喷。为了避免喷施溶液扩散到相邻小区,喷施时用塑料膜把小区隔开。

1.4 样品采集与测定

1.4.1 生理指标测定

糯玉米花粒期叶面喷施7 d后,对不同处理分别选取有代表性植株的穗位叶进行各项生理指标的测定^[9]。

过氧化物酶(POD)活性测定:采用愈创木酚法,以每20 s内引起OD₄₂₀(420 nm波长下样品光密度的增大值)增加0.1的酶量为1个POD活性单位计算。

还原型谷胱甘肽(GSH)含量测定:采用二硫代二硝基苯甲酸(DTNB)与GSH显色法,在412 nm处测定酶管和非酶管的OD值。

丙二醛(MDA)含量测定:采用硫代巴比妥酸法。

叶绿素含量测定采用丙酮乙醇混合浸提法:叶绿素含量=(20.29A₆₄₅+8.05A₆₆₃)×V/1000×W。其中V:浸提液体积;W:样品质量;A₆₄₅、A₆₆₃:叶绿素提取液在波长645、663下的吸光值。

1.4.2 糯玉米子粒硒含量测定

在糯玉米授粉25 d后(采收期),从每个小区随机选取3穗脱粒、粉碎,采用硝酸和双氧水在微波消解仪中消解,利用ICP-MS(电感耦合等离子体-质谱法)测定子粒硒含量^[10]。

1.5 数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2013进行数据处理,采用SPSS 23.0新复极差法($P<0.05$)进行显著性分析。

2 结果与分析

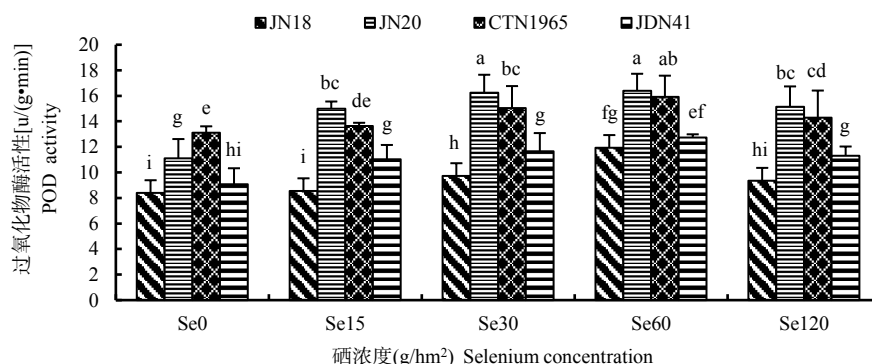
2.1 叶面喷施对糯玉米生理特性的影响

2.1.1 硒处理对糯玉米过氧化物酶活性的影响

图1结果表明,叶面喷施亚硒酸钠溶液,能够显著提高4个糯玉米品种叶片的POD活性,各品种POD活性均随叶面喷施量的增加呈先升高而后降低的规律,且均在Se60处理下POD活性达到最大值,并显著高于对照处理($P<0.05$)。JN18、JN20、CTN1965和JDN41的POD活性最大值相比对照处理分别提高42.2%、47.5%、21.5%和40.4%。在Se60

处理下, JN20、CTN1965 两个品种的 POD 活性均显著高于其他两个品种, 两个品种之间 POD 活性差异未达显著水平。当叶面喷硒浓度达 Se120 时, 与 Se60 处理相比, 4 个品种 POD 活性均显著下降, JN18 品种下降幅度最大, 为 21.5%; 其次是 JDN41; JN20

下降的幅度最小, 为 7.6%。在 Se120 处理下, JN20、CTN1965 的 POD 活性均显著高于其他两个品种, 且与 Se60 处理表现一致, 这两个品种之间 POD 活性不存在显著差异。



注: 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase alphabets indicated significant differences at 0.05 level. The same below.

图1 品种、浓度互作下 POD 活性比较

Fig.1 Comparison of POD activity under the interaction of variety and concentration

以上分析表明, 叶面喷硒对 4 个品种正常的代谢影响存在差异, 低浓度叶面喷硒使得 4 个品种叶片抗氧化保护系统启动, 保护酶活性不同程度的提高从而积累较多的抗氧化物质, 在 Se60 浓度下, 4 个品种叶片抗氧化性最强。当叶面喷硒浓度达 Se120 处理时, 超过保护系统的清除能力, POD 活性表现为不同程度的下降。

2.1.2 硒处理对糯玉米还原型谷胱甘肽含量的影响

在叶面喷施亚硒酸钠溶液处理下, 各品种叶片的 GSH 含量随叶面喷硒量的增加而增加, 均在 Se60 处理下达到 GSH 含量最大值。4 个糯玉米品种的

GSH 含量与对照处理相比分别提高 96.18%、191.08%、204.88% 和 136.52%, 除 JN18 外, 其他 3 个品种 GSH 含量增加效果均达显著水平。在高浓度 Se120 处理下, 与 Se60 处理相比, 各品种 GSH 含量均表现为下降趋势, JN20 品种 GSH 含量显著高于对照处理。

谷胱甘肽作为植物体内非常重要的自由基清除剂, 可参与到植株机体内的多种氧化还原反应, 是一种在发挥抗氧化功能时起到重要辅助作用的物质。叶面喷施适量的亚硒酸钠溶液 (Se60) 对于糯玉米 GSH 含量的增加有明显促进作用。

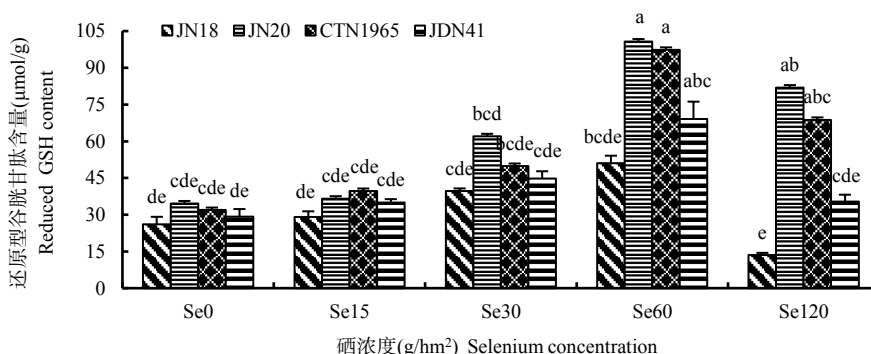


图2 品种、浓度互作下 GSH 含量的比较

Fig.2 Comparison of GSH content under the interaction of variety and concentration

2.1.3 硒处理对糯玉米丙二醛含量的影响

图3结果表明, 在 Se15 浓度处理下, JN18 糯玉米品种 MDA 含量显著低于 CTN1965; 在 Se30 浓度

处理下, JN18 糯玉米品种 MDA 含量显著低于 JN20; 在其他浓度 Se 处理下, 4 个品种之间 MDA 含量不存在显著差异, 不同品种之间耐硒能力存在差异。

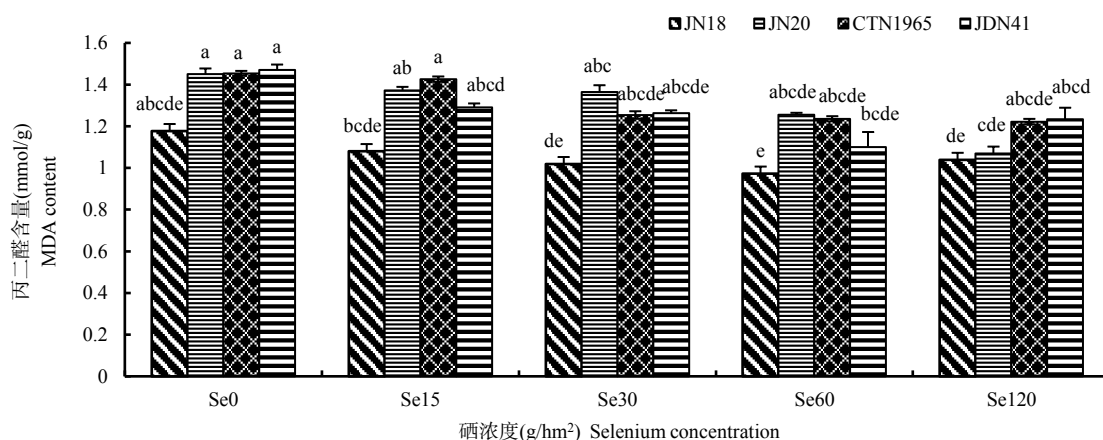


图3 品种、浓度交互下MDA含量的比较

Fig.3 Comparison of MDA content under the interaction of variety and concentration

JN18、JDN41糯玉米品种MDA含量均随叶面喷硒量的增加呈先降低后升高的趋势,且JN18、JDN41均在Se60处理下MDA含量达最小值,相比对照处理分别降低17.4%、25.2%。与Se60相比,高浓度Se120叶面喷硒促使JN18和JDN41两个品种MDA含量提高,在一定程度上加剧膜脂过氧化而造成细胞膜系统的伤害。JN20、CTN1965糯玉米品种MDA含量均随叶面喷硒量的增加而降低,且在Se120处理下MDA含量达最小值,相比Se0处理分别降低26.2%、15.9%。Se60、Se120处理可显著降低JDN41、JN20糯玉米叶片丙二醛含量,对延缓糯玉米

叶片衰老进程起着重要作用。

2.1.4 硒处理对糯玉米叶绿素的影响

图4结果表明,4个糯玉米品种叶片叶绿素含量均随着叶面喷硒浓度的提高总体呈先升高而后降低的趋势。在Se60处理下,各品种叶绿素的增加效果最好,与对照处理相比,叶绿素总量增加幅度达12.51%~16.71%,均达到显著水平;在该浓度硒处理下,JN18叶绿素含量显著低于JN20,其他3个品种叶绿素含量差异未达显著水平。在Se120处理下,与Se60处理相比,JDN41叶绿素含量显著下降。

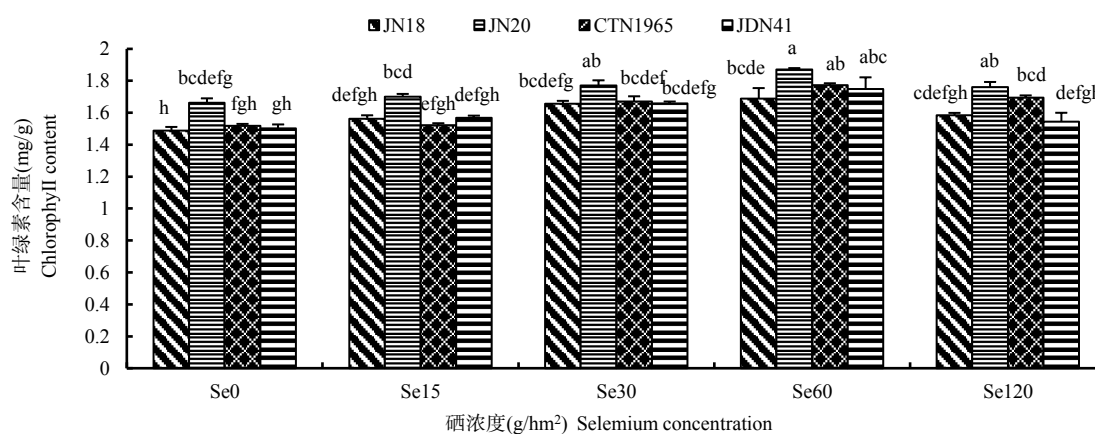


图4 品种、浓度交互对叶绿素的影响

Fig.4 Effects of variety and concentration interaction on chlorophyll

2.2 叶面喷硒对糯玉米子粒中硒含量的影响

表1结果表明,4个糯玉米品种在5个叶面喷硒浓度处理下子粒中硒含量的差异达到显著或极显著水平。

表2结果表明,不同品种之间、不同浓度之间子粒硒含量均存在显著差异,品种和浓度之间对子粒

硒含量的交互效应显著。根据偏 $E_{\text{Ta}^2 \text{浓度}}=0.999>E_{\text{Ta}^2 \text{品种}}=0.980>E_{\text{Ta}^2 \text{品种} \times \text{浓度}}=0.970$,判断各因素对总变异的贡献为处理浓度>品种>品种×处理浓度。

表3结果表明,4个糯玉米品种的子粒硒平均含量存在极显著差异。同等栽培技术条件下CTN1965是硒含量最高的品种,JN20子粒硒含量极显著高于

其他两个品种。与各自对照处理相比,JN18、JN20、CTN1965 和 JDN41 的子粒硒平均含量分别提高 118.054 5、139.317 9、162.958 3 和 87.164 7 $\mu\text{g}/\text{kg}$,表明 CTN1965 是富硒能力最强的品种,其次是 JN20,该品种子粒硒平均富集量超出 JN18、JDN41,高达 18.0115%和 59.8329%。

表 1 品种、浓度不同处理组合的子粒硒含量
Table 1 Grain selenium content in different treatments combination of varietie and concentration

处 理 Treatment		硒含量(μg/kg) Selenium content			硒平均含量(μg/kg) Average selenium content	差异显著性 Significant difference	
		I	II	III		0.05	0.01
JN18	CK	52.543 6	57.844 9	56.638 1	55.675 5	m	N
	Se15	81.265 2	88.267 7	78.191 3	82.574 7	kl	KL
	Se30	115.922 2	122.453 0	128.423 6	122.266 3	j	J
	Se60	206.858 4	195.225 2	203.203 1	201.762 2	g	G
	Se120	397.917 1	408.279 1	412.917 2	406.371 1	c	C
JN20	CK	52.178 1	63.034 1	62.725 5	59.312 6	m	N
	Se15	88.009 8	90.942 5	94.940 2	91.297 5	k	K
	Se30	142.616 0	134.795 0	144.874 0	140.761 7	i	I
	Se60	227.117 0	223.238 0	240.724 3	230.359 8	f	F
	Se120	471.799 0	466.705 0	475.758 4	471.420 8	b	B
CTN1965	CK	74.800 7	69.824 1	76.899 0	73.841 3	l	LM
	Se15	116.649 9	117.190 2	123.573 1	119.137 7	j	J
	Se30	162.153 8	168.585 1	173.059 2	167.932 7	h	H
	Se60	301.458 2	303.618 1	311.116 0	305.397 4	e	E
	Se120	508.775 9	520.900 3	523.390 4	517.688 9	a	A
JDN41	CK	61.865 0	66.555 0	56.300 1	61.573 4	m	MN
	Se15	80.722 5	84.194 3	80.551 0	81.822 6	kl	KL
	Se30	108.168 4	115.662 2	118.932 1	114.254 2	j	J
	Se60	153.734 5	166.603 9	163.693 0	161.343 8	h	H
	Se120	318.369 8	325.698 0	330.021 1	324.696 3	d	D

注:不同大、小写字母分别表示差异极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$)。下表同。
Note: Different capital letter and lowercase alphabets indicate significant differences at 0.01 and 0.05 level. The same below.

表 2 各目标因素检验
Table 2 Tests of between-subjects effects

变异来源 Source of variation	平方和 SS	自由度 DF	均 方 MS	F 值 F-value	P 值 P-value	偏 Eta 平方 Partial Eta ²
矫正模型	1 151 000.000	19	60 598.115	1 902.000	0.000	0.999
截 距	2 154 035.737	1	2 154 035.737	67 610.000	0.000	0.999
品 种	63 462.662	3	21 154.221	663.937	0.000	0.980
处理浓度	1 046 532.713	4	261 633.178	8 211.000	0.000	0.999
品种×处理浓度	41 368.819	12	3 447.402	108.199	0.000	0.970
误 差	1 274.472	40	31.862			
总 数	3 306 674.404	60				
观察变量的总变差	1 152 638.666	59				

分析处理浓度与子粒硒平均含量的关系,随着叶面喷硒浓度提高,子粒中硒平均含量逐步提高,不同浓度处理之间子粒硒平均含量的差异达到极显著水平。当叶面喷硒浓度为 120 g/hm^2 时,子粒中硒平均含量达 430.044 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$,该值已超出宁夏《富硒农产品标准》DB64/T1221-2016中规定的富硒玉米标准。为了明确本试验条件下不同糯玉米品种安全补硒的阈值,以叶面喷硒浓度为自变量 X,子粒硒平均

表3 品种、浓度单一作用下的子粒硒平均含量
Table 3 Grain average selenium content under the single effect of variety and concentration

品 种 Variety	硒平均含量(μg/kg) Average selenium content	处理浓度(g/hm ²) Concentration	硒平均含量(μg/kg) Average selenium content
JN18	173.730 0 C	CK	62.600 7 E
JN20	198.630 5 B	Se15	93.708 1 D
CTN1965	236.799 6 A	Se30	136.303 7 C
JDN41	148.738 1 D	Se60	224.715 8 B
		Se120	430.044 3 A

含量为应变变量Y,对表1中数据进行拟合得到以下方程:

$$Y_{JN18}=0.008X^2+1.976\ 3X+54.228\quad R^2=0.999\ 8$$

$$Y_{JN20}=0.009\ 2X^2+2.34X+58.189\quad R^2=0.999\ 7$$

$$Y_{CTN1965}=-0.000\ 3X^2+3.815\ 2X+66.301\quad R^2=0.997\ 2$$

$$Y_{JDN41}=0.007\ 7X^2+1.248\ 4X+63.033\quad R^2=0.998\ 4$$

根据宁夏《富硒农产品标准》DB64/T1221-2016中规定,硒含量在40~300 μg/kg的玉米为富硒玉米。对上面数据拟合方程进行计算得出,JN18、JN20、CTN1965和JDN41不同品种叶面喷硒浓度的限量值分别为90.892 4、78.877 0、61.552 9和112.187 4 g/hm²,在该喷硒浓度下,4个品种子粒硒平均含量可达到300 μg/kg的上限。

3 结论与讨论

POD、GSH、MDA是代表植株抗逆性的重要指标^[11]。硒具有通过影响酶的活性进而对作物生长进行调节的生物学特性^[12],硒可不同程度提高糯玉米植株的POD活性,降低MDA含量及提高GSH含量^[13、14]。本研究发现,叶面喷施Se60处理对于糯玉米POD活性与GSH含量的增加有明显促进作用,在Se60浓度下4个品种叶片抗氧化性最强,该浓度的叶面喷硒可有效降低糯玉米叶片丙二醛含量。赵薇等^[15]研究发现,外源硒能间接降低膜脂过氧化产物MDA的生成,延缓叶片衰老。有研究发现,高浓度的喷硒处理对植株生长发育产生轻微毒害作用,对植株的抗氧化能力产生抑制^[16]。本试验高浓度Se120处理同样对JN18和JDN41两个品种的膜系统造成一定程度伤害,JN20品种对中、高浓度叶面喷硒的反映比较平稳。

叶绿素在高等植物进行光化学反应、光能吸收及传递中具有重要作用。一定浓度范围内的硒能够提高作物叶绿素含量,促进作物叶片光合作用^[17]。张琳等^[18]在研究喷施外源硒对作物的品质影响及对硒吸收中发现,适量施硒可促进叶绿素合成,促进作

物生长代谢。本试验条件下Se60浓度有利于提高糯玉米叶片中叶绿素含量。通过外源硒处理来提高糯玉米子粒硒含量是直接有效的糯玉米富硒途径。郑阳在不同硒处理对糯玉米品种渝糯7号子粒硒含量的影响研究中发现,硒处理浓度不同、方式不同均会显著影响子粒硒含量^[19]。本研究中通过叶面喷施一定浓度的亚硒酸钠溶液从而提升糯玉米子粒硒的富集量,该结论与史振生、罗连光和黄爱花等研究结果趋于一致^[20~22]。

研究表明,相较于叶面不喷施外源硒,在糯玉米叶面喷施亚硒酸钠溶液浓度为60 g/hm²时,不仅可显著提高糯玉米POD活性、GSH含量,降低MDA含量,还能有效提高糯玉米叶片中叶绿素含量。该浓度的叶面喷硒增强糯玉米叶片的抗氧化性、降低膜脂过氧化程度、促进叶片对光能的利用。60 g/hm²的叶面喷硒4个品种子粒硒含量均极显著增加。品种、浓度单一及其互作对子粒硒含量的影响均存在显著差异,各因素对总变异的贡献是处理浓度>品种>品种×处理浓度。本试验条件下JN18、JN20、CTN1965和JDN41不同品种叶面喷硒浓度的安全阈值分别为90.892 4、78.877 0、61.552 9和112.187 4 g/hm²,在该喷硒浓度下,4个品种子粒硒平均含量可达300 μg/kg上限。综合考虑生理特性和子粒硒含量,CTN1965和JN20作为富硒品种,两个品种推荐叶面喷硒量分别为60~61.552 9 g/hm²和60~78.877 0 g/hm²。CTN1965富硒能力强于JN20,JN20各项生理指标优于CTN1965,在生产中推广种植应结合两个品种的产量、品质等性状进行深层次的研究和探讨。

参考文献:

[1] 赵久然,卢柏山,史亚兴,等.我国糯玉米育种及产业发展动态[J].玉米科学,2016,24(4):67-71.
Zhao J R, Lu B S, Shi Y X, et al. Development trends of waxy maize breeding and industry in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(4): 67-71. (in Chinese)
[2] 余洁,李琳玲,肖贤,等.植物富硒栽培研究进展综述[J].湖

- 北农业科学, 2017, 56(16): 3017-3021.
- Yu J, Li L L, Xiao X, et al. Summary of research progress in plant selenium rich cultivation[J]. Hubei Agricultural Science, 2017, 56(16): 3017-3021. (in Chinese)
- [3] 马秀杰, 张跃安. 硒对人体健康影响研究进展[J]. 中国公共卫生, 2009, 25(8): 1021-1023.
- Ma X J, Zhang Y A. Research progress on the effects of selenium on human health[J]. China Public Health, 2009, 25(8): 1021-1023. (in Chinese)
- [4] 覃爱苗, 唐平, 余卫平. 硒在植物中的生物学效应[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(10): 6-11.
- Tan A M, Tang P, Yu W P. Biological effects of selenium in plants [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(10): 6-11. (in Chinese)
- [5] 李圣男, 岳士忠, 乔玉辉, 等. 中国富硒玉米的生产与富硒效应[J]. 中国农学通报, 2014, 30(30): 6-10.
- Li S N, Yue S Z, Qiao Y H, et al. Production and selenium-enriched effect of selenium-enriched maize in China[J]. China Agricultural Bulletin, 2014, 30(30): 6-10. (in Chinese)
- [6] 张秀梅, 孙效文, 孙桂玲. 硒对玉米发芽率和植株生长的影响[J]. 农业科技通讯, 2005(8): 18-19.
- Zhang X M, Sun X W, Sun G L. Effects of selenium on Maize Germination rate and plant growth[J]. Agricultural Science and Technology Newsletter, 2005(8): 18-19. (in Chinese)
- [7] 杨德平, 周成河, 饶莉, 等. 玉米子粒含硒量与土壤硒的关系及施硒肥的富硒效应[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(33): 195-196.
- Yang D P, Zhou C H, Rao L, et al. The relationship between selenium content in maize grains and soil selenium and the effect of selenium enrichment by applying selenium fertilizer[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(33): 195-196. (in Chinese)
- [8] 刘春菊, 刘夫国, 陈伟, 等. 叶面喷施硒肥对鲜食玉米硒富集的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(4): 713-716.
- Liu C J, Liu F G, Chen W, et al. Effects of foliar spraying of selenium fertilizer on selenium enrichment in fresh-eating maize[J]. Jiangsu Agricultural Journal, 2012, 28(4): 713-716. (in Chinese)
- [9] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990.
- [10] 唐玉霞, 王慧敏, 刘巧玲, 等. 原子荧光法测定小麦中硒含量的研究[J]. 华北农学报, 2009, 24(增刊): 218-220.
- Tang Y X, Wang H M, Liu Q L, et al. Study on determination of selenium in wheat by atomic fluorescence spectrometry[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2009, 24(S1): 218-220. (in Chinese)
- [11] 翟红梅, 杜天庆, 刘彩霞, 等. 施硒对红芸豆产量及硒运转的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2019, 39(2): 33-40.
- Zhai H M, Du T Q, Liu C X, et al. Effects of selenium application on yield and selenium transport of kidney bean [J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2019, 39(2): 33-40. (in Chinese)
- [12] Cartes P, Gianfreda L, Mora M L. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms[J]. Plant and Soil, 2005, 276(10): 359-367.
- [13] Ashraf M A, Akbar A, Parveen A, et al. Phenological application of selenium differentially improves growth, oxidative defense and ion homeostasis in maize under salinity stress[J]. Plant Physiology & Biochemistry Ppb, 2017, 123: 268.
- [14] 穆婷婷, 杜慧玲, 张福耀, 等. 外源硒对谷子生理特性、硒含量及其产量和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(1): 51-63.
- Mu T T, Du H L, Zhang F Y, et al. Effects of exogenous selenium on physiological characteristics, selenium content, yield and quality of millet[J]. Agricultural Science of China, 2017, 50(1): 51-63. (in Chinese)
- [15] 赵薇, 惠竹梅, 林刚, 等. 硒对水分胁迫下赤霞珠葡萄幼苗叶片生理生化指标的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(6): 984-990.
- Zhao W, Hui Z M, Lin G, et al. Effects of selenium on physiological and biochemical indexes of leaves of cabernet sauvignon grape seedlings under water stress[J]. Journal of Fruit Tree, 2011, 28(6): 984-990. (in Chinese)
- [16] 翟红强, 赵会杰. 硒对花生抗氧化作用的初步研究[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(1): 58-62.
- Zhai H Q, Zhao H J. Preliminary study on antioxidant effect of selenium on peanut[J]. Chinese Journal of Oil Crops, 2007, 29(1): 58-62. (in Chinese)
- [17] 位晶, 牛乐, 唐宏亮. 不同硒形态对玉米根系形态和养分吸收的影响[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(4): 153-157.
- Wei J, Niu L, Tang H L. Effects of different selenium forms on root morphology and nutrient uptake of maize[J]. Anhui Agricultural Science, 2019, 47(4): 153-157. (in Chinese)
- [18] 张琳, 孙炎鑫, 廖上强. 叶面喷施硒对生菜长势和品质的影响[J]. 现代农业科技, 2017(12): 61-62.
- Zhang L, Sun Y X, Liao S Q. Effects of selenium spraying on the growth and quality of lettuce[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2017(12): 61-62. (in Chinese)
- [19] 郑阳, 杨华, 付忠军, 等. 不同硒处理对糯玉米子粒硒含量及品质的影响[J]. 西南农业学报, 2013, 26(5): 1899-1901.
- Zheng Y, Yang H, Fu Z J, et al. Effects of different selenium treatments on selenium content and quality of waxy maize grains[J]. Southwest Agricultural Journal, 2013, 26(5): 1899-1901. (in Chinese)
- [20] 史振声, 王莹, 王志斌, 等. 甜玉米富硒栽培技术研究[J]. 玉米科学, 2007(6): 71-74.
- Shi Z S, Wang Y, Wang Z B, et al. Study on selenium-enriched cultivation techniques of sweet corn[J]. Journal of Maize Sciences, 2007(6): 71-74. (in Chinese)
- [21] 罗连光, 郭亚飞, 杨勇, 等. 富硒植物营养素对桂东山区夏甜玉米产量及硒含量的影响[J]. 作物研究, 2013, 27(4): 310-313.
- Luo L G, Guo Y F, Yang Y, et al. Effects of Selenium-enriched plant nutrients on yield and selenium content of summer sweet corn in eastern Guizhou mountains[J]. Crop Research, 2013, 27(4): 310-313. (in Chinese)
- [22] 黄爱花, 黄开健, 彭楷, 等. 叶面喷施硒肥对甜玉米子粒富硒、重金属含量及产量的影响[J]. 南方农业学报, 2019, 50(1): 40-44.
- Huang A H, Huang K J, Peng K, et al. Effects of foliar application of selenium fertilizer on selenium enrichment, heavy metal content and yield of sweet corn grain[J]. Southern Journal of Agriculture, 2019, 50(1): 40-44. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)