

外源硒对谷子抗氧化酶活性及其品质的影响

王永会¹, 周大迈^{2,3,4,5*}, 张爱军^{2,3,4,5*}, 王 红^{2,3,4,5}, 张瑞芳^{2,3,4,5}

- (1. 河北农业大学农学院, 河北 保定 071000; 2. 河北省山区研究所, 河北 保定 071000;
3. 河北省山区农业工程技术研究中心, 河北 保定 071001;
4. 国家北方山区农业工程技术研究中心, 河北 保定 071001;
5. 河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071000)

摘要: 以谷子为试验材料, 研究不同叶面喷硒用量对超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 的活性和可溶性糖、粗蛋白含量的影响。结果表明: 硒浓度 0~45 g/hm² 水平下, SOD、POD 和 GSH-Px 的活性均随着硒浓度的增加呈现先升高后降低的趋势, 硒浓度为 30 g/hm² 时的处理效果最佳。冀谷 19 处理中, 硒浓度为 30 g/hm² 时的可溶性糖、粗蛋白含量与对照相比分别增加了 32.6% 和 24.4%; 冀谷 21 处理中, 硒浓度为 15 g/hm² 时的可溶性糖含量与对照相比增加了 25.9%, 硒浓度为 30 g/hm² 时的粗蛋白含量与对照相比增加了 18.7%。

关键词: 谷子; 硒; 超氧化物歧化酶; 过氧化物酶; 谷胱甘肽过氧化物酶

中图分类号: S143.7⁺⁹ **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257 (2015) 04-0112-06

近年来, 硒在农牧业中的应用已得到世界性的广泛重视。硒作为一种重要的生命元素^[1], 是动物、人体、微生物以及某些海藻所必需的微量元素之一, 具有许多重要的生理功能^[2]。谷胱甘肽过氧化物酶 (glutathione peroxidase, 简称 GSH-Px) 是生物体内一种重要的含硒酶, 硒是该酶活性中心的重要构成成分^[3], 其抗氧化作用主要是通过硒参与酶的合成体现^[4], GSH-Px 与其它抗氧化酶共同构成了一个脂质过氧化作用的有效保护系统, 可以有效清除自由基, 进而有效保护细胞膜结构及功能免受过氧化物的损害^[5]。Xue 等^[6]、果秀敏等^[7]、李登超等^[8]、Manshi 等^[9] 研究证实, 低剂量的硒处理可减少脂质过氧化反应, 衰老植株补硒能增强其抗氧化能力, 提高超氧化物歧化酶 (SOD) 活性; 在一定范围内, 低浓度的硒可使 GSH-Px 活性及过氧化物酶 (POD) 活性增强; 但浓度大于 5 mg/L 则使 POD 活性降低。硒可通过影响作物体内某些有机化合物的水平来影响作物的品质^[7], 例如: 适量的外源硒可增加白菜体内蛋白质的含量及地上部还

原性糖、可溶性糖的含量^[8]; 降低马铃薯中游离氨基酸的含量, 增加其块茎中总蛋白质的含量^[9]。本文以谷子为材料, 通过研究外源硒对其叶片保护酶系统的影响, 为生产富硒小米、开发富硒保健食品提供重要的参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验条件和材料

以河北省太行山东麓的唐县丘陵山区为试验地, 该试验地位于北温带季风气候北缘, 属于温带半干旱、半湿润的大陆性季风气候。年平均气温 12.1℃, 7 月份平均 28.2℃, 年平均降水量 521 mm, 7~9 月份 3 个月的降雨为全年降水量的 81%, 全年蒸发量 1 280 mm, 年日照时数 2 524.4 h, 无霜期 197 d。试验时间 2010 年 6 月至 2012 年 10 月。供试材料为冀谷 19 (矮 88 × 冀谷 12), 硒含量为 0.109 mg/kg; 冀谷 21 (矮 88 × 安 472), 硒含量为 0.136 mg/kg。供试硒为亚硒酸钠 (分析纯)。供试土壤基本理化性质见表 1。

1.2 试验设计

喷施试验采用裂区设计, 品种为主区, 不同施硒浓度为副区。试验设置两个因素: A 品种; B 亚硒酸钠浓度。A 因素分别为冀谷 19、冀谷 21。B 因素浓度共设置 5 个水平: 0 (CK)、7.5、15、30、45 g/hm²。3 次重复, 30 个小区, 在谷子孕穗期

收稿日期: 2014-07-11; 最后修订日期: 2015-01-05

基金项目: 河北省人力资源和社会保障厅项目。

作者简介: 王永会 (1988-), 女, 河北藁城人, 在读硕士, 研究方向为作物生产工程与技术推广。E-mail: wangyonghui081211@126.com。

第 1 通讯作者: 张爱军, E-mail: zhangaijun@hebau.edu.cn; 第

2 通讯作者: 周大迈, E-mail: hnkt@hebau.edu.cn。

表 1 供试土壤基本理化性状

pH 值	有机质 (g/kg)	全硒 (mg/kg)	有效硒 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	全磷 (P g/kg)	有效磷 (P mg/kg)	速效钾 (K mg/kg)
7.75	12.9	0.226	10.78	0.87	13.6	0.697	19.3	42.0

进行叶面喷施硒，每小区按照设置浓度均匀喷施 500 mL。其它按常规的管理措施，成熟期小区谷子全部收获测产。硒处理后每隔 10 d 取样 1 次，共取样 3 次，分别为前期、中期和后期取样。测量品质指标：可溶性糖含量和粗蛋白含量；生理指标：SOD、POD 和 GSH - Px 活性。

1.3 试验方法

可溶性糖的测定方法：乙醇水溶液浸提—蒽酮比色法。粗蛋白的测定方法：凯氏定氮法。GSH - Px 酶活性测定参照黄爱缨等^[10]、邓修惠等^[11]、Flohé 等^[12]的测定方法，测定时略有改动，即测定了该酶的作用底物 GSH - Px 在单位时间内的减少量。称取样品鲜重 1 g，加入 5 mL 0.2 mol/L 磷酸缓冲液（含 1 mmol/L EDTA - 2Na，1% PVP，pH 值 6.2），冰浴中研磨成匀浆，4 000 r/min 离心 10 min，取其上清液 12 000 r/min 离心 5 min，此上清液即为酶液，进行酶活性测定。SOD 活性的测定方法：NBT 光还原法^[13]，以抑制对照硝基四氮唑兰还原一半时酶量为一个 SOD 酶单位。POD 活性的测定方法：愈创木酚法^[14]，用愈创木酚作为底物在过氧化物酶的催化下加入 H₂O₂ 后，在波长 470 和 290 nm 处用紫外可见分光光度计进行时间扫描，酶活性以单位蛋白质含量每分钟吸光度的变化值 (ΔA) 计算。

应用 SPSS 19.0 和 Excel 2003 统计分析软件，多重比较用 Duncan（新复极差法）进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同浓度硒处理对谷子叶片中 SOD 活性的影响

由数据分析可知，除了硒浓度为 7.5 g/hm² 处理的后期外，其他处理均显著增加了冀谷 19 叶片的 SOD 活性。由图 1 可知，硒浓度在 0 ~ 45 g/hm² 范围内，冀谷 19 叶片的 SOD 活性均随着硒浓度的增加呈先升高后降低的趋势，浓度为 30 g/hm² 时的 SOD 活性达到峰值，前、中、后期分别显著增加了 13.5%、15.1%、10.0%。硒浓度为 7.5 g/hm² 时，SOD 的增加幅度依次为前期 > 后期 > 中期；硒浓度为 15 g/hm² 和 45 g/hm² 时，SOD 的增加幅度变化一致，依次为前期

> 中期 > 后期；硒浓度为 30 g/hm² 时，SOD 的增加幅度依次为中期 > 前期 > 后期。结果说明低浓度（0 ~ 7.5 g/hm²）的硒处理对冀谷 19 前期 SOD 活性影响较大，较高浓度（30 g/hm²）对中期的影响最大。

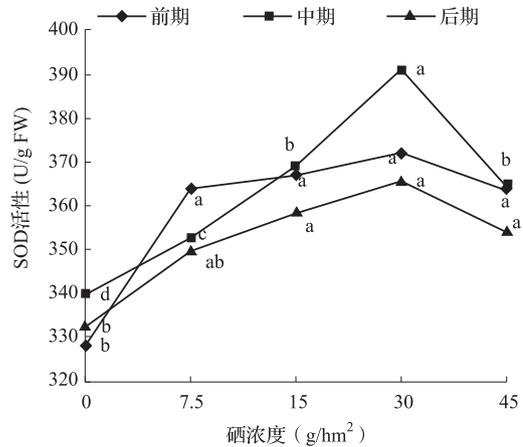


图 1 硒处理对冀谷 19 叶片中 SOD 活性的影响

注：图中连线上每个处理的字母表示 0.05 水平的差异显著性；有相同字母表示组间不显著，无相同字母表示组间差异显著。下同。

不同浓度的硒处理对冀谷 21 叶片 SOD 活性影响的总趋势与冀谷 19 相似（图 2）。不同的是硒浓度为 7.5 g/hm² 和 45 g/hm² 时的中期取样与其对照相比差异不显著，浓度在 7.5 ~ 45 g/hm² 范围内，前期取样的 SOD 活性均低于中期和后期。硒浓度为 7.5 g/hm² 时，SOD 活性的增加幅度依次为前期 > 中期 > 后期，其它处理对 SOD 活性的增加幅度均表现为前期 > 后期 > 中期，其中浓度为 30 g/hm² 处理的效果最佳，增加幅度为 7.6% ~ 14.9%。

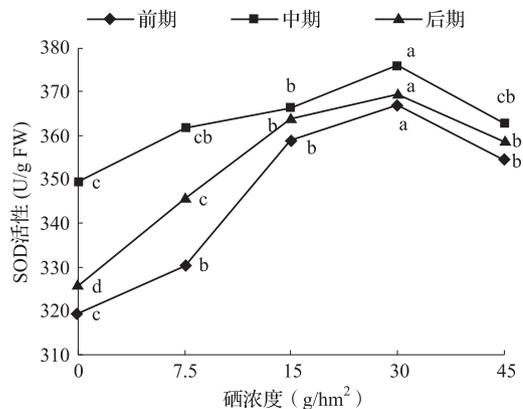


图 2 硒处理对冀谷 21 叶片中 SOD 活性的影响

综上所述, 硒对两种谷子叶片 SOD 活性的影响存在种间差异, 冀谷 19 较冀谷 21 敏感; 叶面施硒可显著增加谷子叶片 SOD 活性, 硒浓度为 30 g/hm² 时效果最佳。

2.2 不同浓度硒处理对谷子叶片中 POD 活性的影响

由数据分析可知, 除了硒浓度为 7.5 g/hm² 处理的前期、后期外, 其他处理均显著增加了冀谷 19 叶片 POD 的活性。由图 3 可知, 硒处理在 0~45 g/hm² 浓度范围内, 冀谷 19 前期和中期的 POD 活性均随着硒浓度的增加呈先升高后降低的趋势, 硒浓度为 30 g/hm² 时的中期 POD 活性最高, 为 157.8 U/g FW; 后期的 POD 活性则随着硒浓度的增加而增加, 硒浓度为 45 g/hm² 时达到最高, 为 109.5 U/g FW。结果表明, 硒浓度为 7.5 g/hm² 处理前期、后期对 POD 活性影响差异不显著; 较高浓度 (15~30 g/hm²) 对叶片 POD 活性的影响主要在前期, 硒浓度为 30 g/hm² 时效果最佳, 与其对照相比增加了 77.0%; 高浓度 (45 g/hm²) 的硒处理对其后期影响较大。

除了 7.5 g/hm² 处理的中期外, 其他各浓度硒处理均对冀谷 21 叶片 POD 活性有显著影响, 总趋势呈先升高后降低的趋势 (图 4)。硒浓度在 0~45 g/hm² 范围内, POD 的增加幅度大小均为后期 > 前期 > 中期。其中浓度为 30 g/hm² 时效果最佳, 增加幅度为 34.7%~67.9%。

综上所述, 硒对两种谷子叶片 POD 活性的影响存在种间差异, 冀谷 19 较冀谷 21 敏感; 叶面施硒可显著增加谷子叶片的 POD 活性, 浓度为 30 g/hm² 时效果最佳。

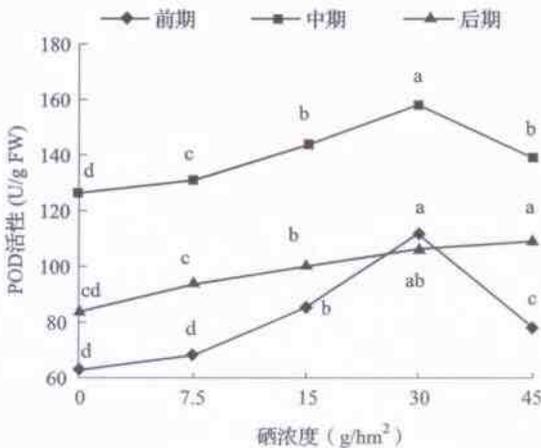


图 3 硒处理对冀谷 19 叶片中 POD 活性的影响

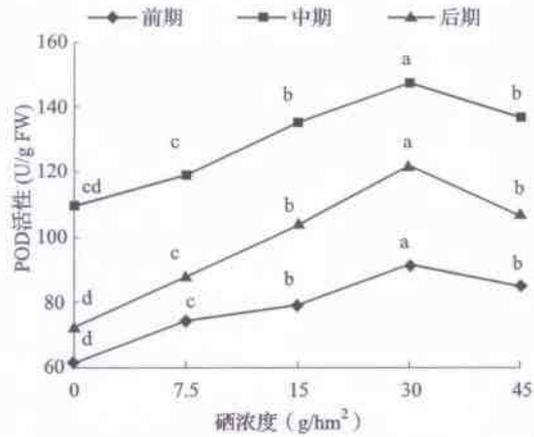


图 4 硒处理对冀谷 21 叶片中 POD 活性的影响

2.3 不同浓度硒处理对谷子叶片中 GSH - Px 活性的影响

前期取样结果表明, 15 g/hm² 和 30 g/hm² 处理均显著增加两品种的 GSH - Px 活性, 硒浓度为 30 g/hm² 时的处理效果最好, 冀谷 19 和冀谷 21 与各自的对照相比 GSH - Px 活性分别提高了 15.6% 和 12.8%; 硒浓度为 45 g/hm² 时, 两种谷子 GSH - Px 活性有明显差异, 冀谷 19 与对照相比增加了 7.8%, 而冀谷 21 与对照相比酶活性降低了 0.8% (图 5)。说明不同浓度的硒处理对冀谷 19 的效果明显大于冀谷 21, 硒处理的前期冀谷 19 较冀谷 21 敏感, 相同硒处理对不同品种谷子的影响差异较大。

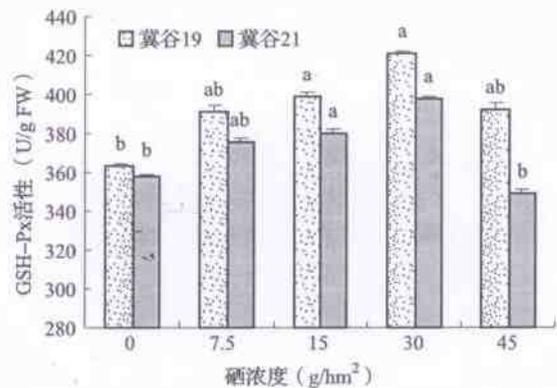


图 5 不同浓度硒对处理前期 GSH - Px 活性的影响

注: 每个处理图柱上的字母表示 0.05 水平的差异显著性; 有相同字母表示组间差异不显著, 无相同字母表示组间差异显著。下同。

中期取样结果表明, 不同浓度硒处理对两种谷子的影响趋势与前期相同, 但相同条件下冀谷 21 GSH - Px 的活性均比冀谷 19 高, 且浓度为 7.5 g/hm² 和 15 g/hm² 的硒处理对冀谷 19 的影响差异显著, 硒浓度为 15 g/hm² 时 GSH - Px 活性比 7.5 g/hm² 提高了 7.7%。硒对两种谷子的影响效果仍为冀谷 19 大于冀谷 21, 尤其是硒浓度

为 30 g/hm² 的处理，冀谷 19 与对照相比 GSH - Px 活性提高了 21.2%，冀谷 21 与对照相比 GSH - Px 活性只提高了 11.0% (图 6)。硒处理的中期取样冀谷 19 较冀谷 21 更为敏感，可能存在时间效应。

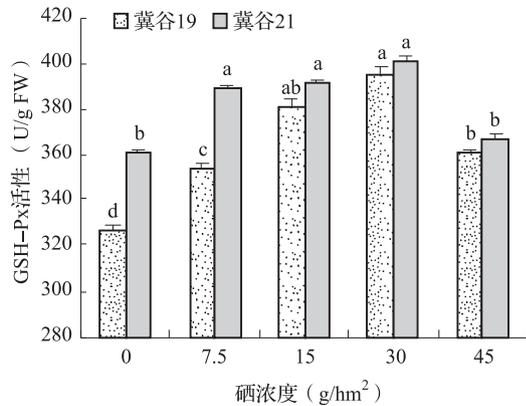


图 6 不同浓度硒对处理中期 GSH - Px 活性的影响

后期取样与中期取样的结果相似，不同之处在于 15 g/hm² 和 30 g/hm² 的硒处理使两种谷子后期 GSH - Px 活性相近，硒浓度为 45 g/hm² 时冀谷 19 的 GSH - Px 活性高于冀谷 21。硒浓度为 45 g/hm² 时冀谷 19 和冀谷 21 与各自对照相比 GSH - Px 活性分别提高了 18.1% 和 3.7% (图 7)。说明不同浓度的硒处理对不同品种的谷子影响差异较大，可能存在剂量效应和时间效应。

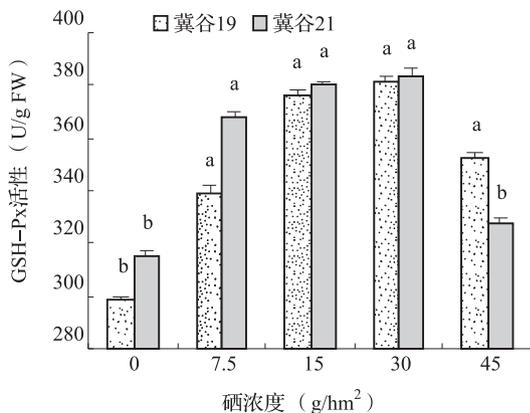


图 7 不同浓度硒对处理后期 GSH - Px 活性的影响

综上所述，叶面喷施硒显著增加了谷子叶片 GSH - Px 活性；硒浓度在 0 ~ 45 g/hm² 范围内，谷子 GSH - Px 活性随着硒浓度的增加先升高后降低；硒处理对冀谷 19 较冀谷 21 更为敏感；随着谷子生育期的推进，中、后期硒处理显著增加了冀谷 21 的 GSH - Px 活性，说明冀谷 21 对硒的耐受程度随生长时间的延长逐渐增大；硒处理对谷子叶片 GSH - Px 活性的影响存在种间差异、时间

效应和剂量效应。

2.4 不同浓度硒处理对谷子籽粒中可溶性糖含量的影响

试验表明，谷子籽粒中可溶性糖的含量随着硒浓度的增加呈先增加后减少的趋势。由图 8 可知，冀谷 19 籽粒中可溶性糖的含量在 0 ~ 30 g/hm² 范围内随硒浓度的增加而显著增加，其中硒浓度为 30 g/hm² 时可溶性糖含量最高，为 1.75%，比对照增加了 32.6%。冀谷 21 籽粒中可溶性糖的含量随着硒浓度的增加先增加后减少，硒浓度为 15 g/hm² 时其达到最高值，为 1.7%，比对照显著增加了 25.9%；硒浓度为 30 g/hm² 和 45 g/hm² 时可溶性糖含量显著减少，与 15 g/hm² 处理相比分别减少了 11.9% 和 18.8%。硒浓度为 45 g/hm² 时，冀谷 19 中可溶性糖含量比冀谷 21 高 26.1%。

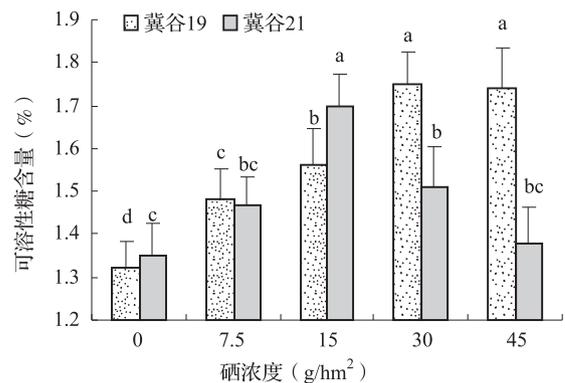


图 8 不同浓度的硒处理对谷子籽粒中可溶性糖含量的影响

2.5 不同浓度硒处理对谷子籽粒中粗蛋白的影响

试验表明，两种谷子籽粒中粗蛋白含量均随硒浓度的增加而呈现先增加后减少的趋势。由图 9 可知，冀谷 19 在硒浓度为 30 g/hm² 时，籽粒中粗蛋白含量达到最高，为 8.76%，与对照相比显著增加了 24.4%；增加幅度最小的为 7.5 g/hm² 的硒处理，仅增加了 5.0%。冀谷 21 在硒浓度为 30 g/hm² 时，籽粒中粗蛋白含量达到最高，为 8.96%，显著增加了 18.7%；增加幅度最小的为 7.5 g/hm² 的硒处理，增加了 8.3%。两个品种间的差异是冀谷 19 浓度为 15 g/hm² 和 45 g/hm² 的两个处理差异不显著，冀谷 21 浓度为 7.5、15、45 g/hm² 处理间差异不显著。可见，硒处理对不同品种谷子籽粒中粗蛋白的影响存在差异，对冀谷 19 的影响更大，说明冀谷 19 较冀谷 21 对硒更敏感。

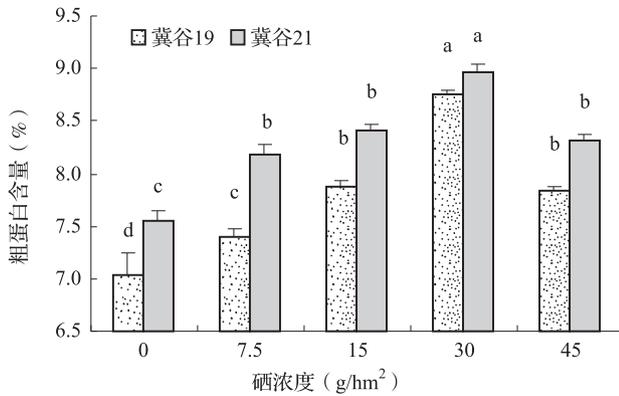


图9 不同浓度的硒处理对谷子籽粒中粗蛋白含量的影响

3 讨论

本试验表明, 外源硒显著增加了谷子叶片 POD 的活性, 与付冬冬等^[15]的小麦研究结果低浓度外源硒能刺激 POD 的活性, 高浓度硒却抑制了 POD 的活性的结果相似。很多研究表明, 外源硒使植物叶片中 SOD 活性提高^[8,16-17], 本试验结果也表明, 外源硒显著增加了谷子叶片 SOD 的活性。硒浓度在 0~30 g/hm²范围内的处理中, 谷子叶片 GSH-Px 的活性随硒浓度的增加而增加, 这一结论与宋家永等^[18]的报道相似, 说明外源硒可显著提高植物叶片内 GSH-Px 活性。试验得出硒能增加叶片中 3 种抗氧化酶的活性, 与赵薇等^[19]报道的外源硒能够促进植物体内抗氧化酶 (SOD、POD、GSH-Px) 活性提高这一结论相似。冀谷 21 对硒的耐受浓度随生长时间的延长逐渐增大, 与刘睿^[20]在苦荞上的研究结果一致。不同浓度的硒处理对 SOD、POD 和 GSH-Px 活性的影响存在种间差异, 冀谷 19 较冀谷 21 敏感, 可能存在种间效应、剂量效应和时间效应, 也可能与遗传有关, 有待进一步研究。已有研究表明, 硒的生物学特性可通过影响酶的性质而实现对作物生长环境的调节功能, 同时还可以增强作物抵抗病虫害侵袭和逆境胁迫的能力^[21], 这对于改善作物品质具有重要的研究价值。本研究表明, 不同浓度的硒处理均增加了谷子籽粒中可溶性糖和粗蛋白的含量, 说明外源硒改善了谷子的品质, 且大部分在硒浓度为 30 g/hm²时处理效果最佳。

4 结论

外源硒显著增加了谷子叶片 SOD 和 POD 活性,

各浓度相比, 30 g/hm² 的处理效果较好。谷子 GSH-Px 活性随着硒浓度的增加呈先升高后降低趋势; 冀谷 21 对硒的耐受程度随生长时间的延长逐渐增大。外源硒增加了谷子籽粒中可溶性糖和粗蛋白的含量, 处理 30 g/hm² 时冀谷 19 的可溶性糖含量最高, 处理 15 g/hm² 时冀谷 21 的可溶性糖含量最高; 而两品种粗蛋白含量均是处理 30 g/hm² 的效果较好。硒处理对谷子抗氧化酶活性及其品质的影响存在种间差异。

参考文献:

- [1] Schwarz K, Foltz C M. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration [J]. Nutrition Reviews, 1978, 36 (11): 338-340.
- [2] 张华华, 康玉凡, 葛军勇, 等. 土壤施硒对蚕豆出苗及生长指标的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2014, (1): 57-62.
- [3] 马森. 谷胱甘肽过氧化物酶和谷胱甘肽转硫酶研究进展 [J]. 动物医学进展, 2008, 29 (10): 53-56.
- [4] 全宗喜, 康世良, 武瑞. 硒及硒蛋白生物学作用的研究进展 [J]. 动物医学进展, 2002, 23 (6): 17-19.
- [5] Berry M J, Banu L, Larsen P R. Type Iiodothyronine deiodinase is a selenocysteine - containing enzyme [J]. Nature, 1991, 349 (6308): 438-440.
- [6] Xue T L, Helinä H, Vieno P. Antioxidative and growth - promoting effect of selenium on senescing lettuce [J]. Plant and Soil, 2001, 237 (1): 55-61.
- [7] 果秀敏, 牛君方, 方正, 等. 植物中硒的形态及其生理作用 [J]. 河业农业大学学报, 2003, 26 (增刊): 142-147.
- [8] 李登超, 朱祝军, 徐志豪, 等. 硒对小白菜生长和养分吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9 (3): 353-358.
- [9] Munshi C B, Combs G F I, Mondyn I. Effect of selenium on the nitrogenous constituents of the potato [J]. Agric Food Chem, 1990, 38: 2000-2002.
- [10] 黄爱缨, 吴珍龄. 水稻谷胱甘肽过氧化物酶的测定法 [J]. 西南农业大学学报 (自然科学版), 1999, 21 (4): 324-327.
- [11] 邓修惠, 黄学梅, 李伟道, 等. 改良 DTNB 比色法测定血清 GSH-Px 活力 [J]. 重庆医学, 2000, 29 (5): 445.
- [12] Flohé L, Günzler W. Assay of glutathione peroxidase [J]. Methods in Enzymology, 1984, 105: 114-121.
- [13] 汪洪, 赵士诚, 夏文建, 等. 不同浓度镉胁迫对玉米幼苗光合作用、脂质过氧化和抗氧化酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14 (1): 36-42.
- [14] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [15] 付冬冬, 王松山, 梁东丽, 等. 不同价态外源硒对冬小麦生长及生理代谢的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2011, 30 (8): 1500-1507.
- [16] 林匡飞, 徐小清, 金霞, 等. Se 对小麦的生态毒理效应及临界指标研究 [J]. 农业环境科学学报, 2004, 23 (6):

- 1082 - 1085.
- [17] 宋家永, 贾宏昉, 王海红, 等. 喷硒对烤烟生理效应及硒含量的影响 [J]. 中国农学通报, 2009, 25 (21): 191 - 193.
- [18] 宋家永, 王海红, 朱喜霞, 等. 叶面喷硒对小麦抗氧化性能及籽粒硒含量的影响 [J]. 麦类作物学报, 2006, 26 (6): 178 - 181.
- [19] 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.
- [20] 刘睿. 硒对苦荞营养效应的研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [21] 尚庆茂, 陈淑芳, 张志刚. 硒对高温胁迫下辣椒叶片抗氧化酶活性的调节作用 [J]. 园艺学报, 2005, 32 (1): 35 - 38.

Effect of exogenous selenium on the activity of antioxidant enzymes and quality of millet

WANG Yong-hui¹, ZHOU Da-mai^{2,3,4,5*}, ZHANG Ai-jun^{2,3,4,5*}, WANG Hong^{2,3,4,5}, ZHANG Rui-fang^{2,3,4,5} (1. College of Agricultural, Agricultural University of Hebei, Baoding Hebei 071000; 2. Mountains Area Research Institute, Baoding Hebei 071000; 3. Mountains District Agricultural Engineering Technology Research Center of Hebei Province, Baoding Hebei 071001; 4. National Engineering Research Center for Agriculture in Northern Mountain Areas, Baoding Hebei 071001; 5. College of Resources and Environmental Science, Agricultural University of Hebei, Baoding Hebei 071001)

Abstract: In this paper, effects of exogenous selenium on the activity of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), glutathione peroxidase (GSH-Px) and the content of soluble sugar and crude protein were studied by spraying selenium on the plants. The results showed that activities of SOD, POD and GSH-Px were increased firstly and then decreased with the increasing of selenium concentration in the range of 0 ~ 45 g/hm². And presented the best effect at 30 g/hm² of selenium. Compared with the control, the content of soluble sugar and crude protein of millet grain was increased by 32.6% and 24.4% respectively when selenium concentration was 30 g/hm² for Jigu 19, the content of soluble sugar was increased by 25.9% when selenium concentration was 15 g/hm² and the content of crude protein of millet grain was increased by 18.7% when selenium concentration was 30 g/hm² for Jigu 21.

Key words: millet; selenium; superoxide dismutase; peroxidase; glutathione peroxidase

[上接第 75 页]

Effects of the slow-released special formula fertilizer on oilseed rape (*Brassica napus* L.)

ZHOU Li, LU Jian-wei*, LIU Tao, HU Min, LI Ji-fu, REN Tao, LI Xiao-kun, CONG Ri-huan [College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtse River), Ministry of Agriculture, Wuhan Hubei 430070]

Abstract: Field experiments on winter oilseed rape were conducted at 15 sites in main producing areas during 2012 ~ 2013. The objective of this research was to study the effects of applying slow-released special formula fertilizer (N - P₂O₅ - K₂O - B 20 - 7 - 8 - 0.2, and other mid-nutrients and min-nutrient 5%) on oilseed rape, and then to provide the basis for the promotion and improvement of single fertilization for winter oilseed rape. The results showed that both the application of conventional fertilizer and formula fertilizer on winter oilseed rape could significantly increase the yield, net profit and nutrients uptake. Compared with conventional fertilizer treatment, when the total amount of nutrients was reduced and fertilizer single application was used, yields of more than 85% of the test points in the slow-released special formula fertilizer treatments were increased or equal, with that the average yield, increase rate and the average increase income was 133 kg/hm², 8.1% and 1 624 Yuan/hm² respectively. Nutrient uptakes were obviously improved in formula fertilizer treatments, with the average accumulation increased by N 10.8 kg/hm², P₂O₅ 2.1 kg/hm², K₂O 7.9 kg/hm². It showed that the average fertilizer contribution rate to yield and agronomic efficiency were 51.8% and 5.5 kg/kg, respectively, which were both higher than those of conventional fertilizer treatment. On the whole, the application of slow-released special formula fertilizer on winter oilseed rape could significantly increase the yield and net profit and it could be promoted and applied as one of simplify fertilization techniques for winter oilseed rape.

Key words: slow-released special formula fertilizer; yield; nutrient absorption; benefit