

张兰兰,孙冬雪,庞立欣,等. 外源硒对谷子植株体内谷胱甘肽过氧化物酶及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):59-62.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.19.016

外源硒对谷子植株体内谷胱甘肽过氧化物酶及品质的影响

张兰兰^{1,2}, 孙冬雪^{1,2}, 庞立欣^{2,3}, 张爱军^{1,2,3}

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院,河北保定 071000; 2. 国家北方山区农业工程技术研究中心,河北保定 071001;

3. 河北省山区研究所,河北保定 071000)

摘要:通过室内与室外相结合的方式,以冀谷 19、冀谷 21 为试验材料,在谷子不同生长时期进行硒浓度为 30 g/hm² 的叶面喷施处理,研究外源硒对谷子植株体内谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、粗蛋白及产量的影响,为富硒谷子的安全高效生产提供依据。结果表明,在冀谷 19、冀谷 21 的拔节期、孕穗期与齐穗期进行外源硒肥处理后均可提高 GSH-Px 的活性,且在拔节期 30 d、孕穗期 20 d 和齐穗期 20 d 时酶活性达到最大值;在提高谷子酶活性方面,3 个时期叶面喷施硒肥后,2 个品种谷子酶活性均得到提高,且冀谷 21 的效果优于冀谷 19;不同时期的硒处理对籽粒中粗蛋白含量有不同程度的影响,且在孕穗期施硒,籽粒中粗蛋白的含量较高;不同时期硒处理对 2 个品种产量的影响大体相似;在提高谷子品质方面,孕穗期叶面喷施硒肥对谷子籽粒粗蛋白与产量的影响效果较佳。

关键词:外源硒;谷子;谷胱甘肽过氧化物酶;酶活性;品质;产量

中图分类号: S515.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)19-0059-03

硒是动植物生存必需的微量元素之一,其最主要的功能是抗氧化作用,主要是通过谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase,简称 GSH-Px)实现^[1]。GSH-Px 是生物体内一种重要的含硒酶^[2],它能催化氧化型谷胱甘肽(GSSG)生成还原型谷胱甘肽(GSH)^[3],消除自由基,分解有毒的过氧化物。赵耀等研究表明,适量浓度的硒可提高 GSH-Px 的活性^[4-7];赵决建等研究证明,适量硒可提高作物的品质和产量^[8-12];耿建梅等研究指出,不同品种谷子对硒的敏感反应不同^[13];王永会等研究不同生长期不同施硒浓度对谷子的影响^[14-15]。适量施硒可增强作物光合作用,提高组织可溶性蛋白质吸收量,进而促进作物生长,提高产量,但其作用受硒形态、施用时期以及作物类别等因素影响较大^[16-17]。本研究通过室内外试验结合的方式,探索同一浓度的硒肥在不同品种谷子不同时期进行叶面喷洒,对谷子植株中 GSH-Px 活性、谷子品质和产量的影响,为探寻一种高效安全的富硒谷子生产途径提供重要的理论支撑和现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验条件和材料

试验于河北省太行山东麓的唐县丘陵山区进行,该试验地的气候属于温带大陆性季风气候,雨热同期。

试验时间:2014 年 6 月至 2016 年 10 月。谷子于 2014 年 6 月 4 日播种,6 月 20 日间苗。

收稿日期:2017-05-25

基金项目:河北省科技成果转化资金(编号:17826335D)。

作者简介:张兰兰(1991—),女,河南信阳人,硕士,主要从事植物营养生态研究。E-mail:15614426992@163.com。

通信作者:张爱军,博士,研究员,博士生导师,主要从事植物营养生态与山区数字化研究。E-mail:zhangaijun@hebau.edu.cn。

供试土壤理化性状:pH 值为 7.75,有机质含量为 12.93 g/kg,土壤全硒量为 0.226 mg/kg,土壤有效硒含量为 10.78 μg/kg,全氮含量为 0.87 g/kg,碱解氮含量为 13.56 mg/kg,全磷含量为 0.697 g/kg,有效磷含量为 44.3 mg/kg,速效钾含量为 50.6 mg/kg。

试验材料: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。

供试肥料:亚硒酸钠(分析纯),由天津市福晨化学试剂厂生产。

1.2 试验设计

本试验采用裂区设计,以品种为主区,即选用冀谷 19、冀谷 21 这 2 个品种,以谷子不同时期进行施硒处理为副区,即在拔节期喷施硒肥定为 T₁ 处理,在孕穗期喷施硒肥定为 T₂ 处理,在齐穗期喷施硒肥定为 T₃ 处理。试验中每个叶面喷施硒肥处理的浓度是固定的,为 30 g/hm²,喷施 500 mL。每个处理设置 3 次重复,共设 18 个处理。处理后每 10 d 取样 1 次,并于处理前取样对照(CK),连续取 4 次,其他操作同常规的管理措施,成熟期小区谷子全部收获测产。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 测定指标 酶活性指标:在拔节期、孕穗期、齐穗期分别取样,测定谷子株体内谷胱甘肽过氧化物酶活性。

品质指标:测定谷子籽粒粗蛋白含量。

产量指标:试验小区实测计算产量。

1.3.2 测定方法 谷胱甘肽过氧化物酶活性的测定参照邓修惠等的方法^[18-19],粗蛋白含量的测定采用凯氏定氮法^[20]。

1.4 数据处理

试验数据均采用 SPSS 19.0 和 Excel 2007 进行处理及统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同生长期施硒对谷子植株中 GSH-Px 活性的影响

2.1.1 拔节期施硒对谷子植株中 GSH-Px 活性的影响 由表 1 可以看出,T₁ 处理 GSH-Px 活性总体上呈先升后降的变化趋势,且施硒处理后变化幅度不同,品种间略有差异。冀谷 19 在处理 10~40 d,施硒处理后的 GSH-Px 活性比 CK 均有所增加,增加幅度在 9%~16%,且在 30 d 时增加到最大值,达 423.5 U/mg。冀谷 21 中 GSH-Px 活性的变化趋势与

冀谷 19 相似,30 d 时比 CK 增加 19.6%。可见在酶活性方面,冀谷 21 较冀谷 19 敏感。

通过品种间对比可知,在 CK 组,冀谷 19 植株中 GSH-Px 活性与冀谷 21 植株中相比略低。但是冀谷 19 经过叶面施硒处理后,株体中 GSH-Px 活性高于同期 CK 冀谷 21。进行类似比较可知,冀谷 21 经过叶面施硒处理后,植株中 GSH-Px 活性高于同期 CK 冀谷 19。由此可见,在谷子拔节期进行浓度为 30 g/hm² 的硒处理能够弥补谷子植株中 GSH-Px 活性受谷子品种造成的差异影响。

表 1 T₁ 硒处理对谷子植株中 GSH-Px 活性的影响

品种	GSH-Px 活性(U/mg)							
	10 d		20 d		30 d		40 d	
	CK	硒处理	CK	硒处理	CK	硒处理	CK	硒处理
冀谷 19	330.4±5.0b	362.3±3.8a	351.4±5.8b	387.6±4.8a	366.4±0.8b	423.5±3.4a	335.0±3.4b	372.3±1.9a
冀谷 21	335.7±3.9b	359.5±2.8a	362.6±7.3b	395.4±2.0a	370.9±0.6b	443.7±1.0a	365.3±1.8b	423.5±5.9a

注:同行数据后不同小写字母表示同时间段内不同处理对谷子植株中 GSH-Px 活性影响的差异显著($P<0.05$)。下表同。

2.1.2 孕穗期施硒对谷子植株中 GSH-Px 活性的影响 由表 2 可以看出:T₂ 处理 GSH-Px 活性随时间延长呈先升后降的趋势,且施硒处理后变化幅度不同,品种间略有差异。冀谷 19 在处理 10~30 d 内,经过硒处理的 GSH-Px 活性与 CK 相比,均有所增加,且增加幅度分别为 7.8%、8.7%、5.8%,且在 20 d 时达到最大值 427.9 U/mg。冀谷 21 植株中 GSH-Px 活性的变化趋势与冀谷 19 相似,增加幅度在 9%~17%,且在 20 d 时达到最大值 421.6 U/mg。在酶活性方面,

冀谷 21 较冀谷 19 敏感。

通过品种间对比可知,在 CK 组,同期冀谷 19 植株中 GSH-Px 活性与冀谷 21 植株中 GSH-Px 活性相比略高。但是冀谷 21 经过叶面施硒处理后,植株中 GSH-Px 活性高于同期 CK 冀谷 19。类似比较可知,冀谷 19 经过叶面施硒处理后,植株中 GSH-Px 活性明显高于同期 CK 冀谷 21。由此可见,在谷子孕穗期进行浓度为 30 g/hm² 的硒处理同样能够弥补谷子植株中 GSH-Px 活性受谷子品种造成的差异影响。

表 2 T₂ 硒处理对谷子植株中 GSH-Px 活性的影响

品种	GSH-Px 活性(U/mg)							
	10 d		20 d		30 d		40 d	
	CK	硒处理	CK	硒处理	CK	硒处理	CK	硒处理
冀谷 19	361.4±6.4b	389.5±4.9a	393.6±2.5b	427.9±7.6a	355.7±5.6b	376.4±5.6a	—	—
冀谷 21	344.7±2.5b	378.6±4.2a	363.4±3.6b	421.6±17.8a	347.3±1.6b	404.9±4.2a	—	—

注:“—”表示数据未测。下表同。

2.1.3 齐穗期施硒对谷子植株中 GSH-Px 活性的影响 由表 3 可以看出,T₃ 处理 GSH-Px 活性总体呈先升后降的变化趋势,且经过硒处理后变化幅度不同,品种间略有差异。冀谷 19 在处理 10~20 d 内,施硒处理后 GSH-Px 活性比 CK 均有所增加,增加幅度分别为 17.6%、29.9%,且在 20 d 时增加到最大值,为 483.2 U/mg。冀谷 21 植株中 GSH-Px 活性的变化趋势与冀谷 19 相似,20 d 时比 CK 增加 33.4%。在酶活性方面,冀谷 21 较冀谷 19 敏感。

通过品种间对比可知,在 CK 组,冀谷 19 植株中 GSH-Px 活性与冀谷 21 植株中相比略低,但是冀谷 19 经过叶面施硒处理后,植株中 GSH-Px 活性高于同期 CK 冀谷 21。类似比较可知,冀谷 21 经过叶面施硒处理后,植株中 GSH-Px 活性明显高于同期 CK 冀谷 19。由此可见,在谷子齐穗期进行浓度为 30 g/hm² 的硒处理同样能够弥补谷子植株中 GSH-Px 活性受谷子品种造成的差异影响。

表 3 T₃ 硒处理对谷子植株中 GSH-Px 活性的影响

品种	GSH-Px 活性(U/mg)							
	10 d		20 d		30 d		40 d	
	CK	硒处理	CK	硒处理	CK	硒处理	CK	硒处理
冀谷 19	360.0±1.7b	423.4±7.3a	371.9±6.9b	483.2±2.7a	363.2±1.3b	411.7±2.3a	—	—
冀谷 21	373.1±4.2b	458.8±2.4a	417.5±9.3b	556.9±30.6a	369.1±3.1b	473.5±9.6a	—	—

综合以上分析可得,在谷子拔节期、孕穗期和齐穗期内随着硒肥处理时间的延长,冀谷 19、冀谷 21 植株中 GSH-Px 活性均有所增加,且差异达到显著水平。冀谷 21 植株中 GSH-Px 活性的增加幅度大于冀谷 19,可能是不同品种的谷子对硒肥作出反应的灵敏程度不同。2 个品种谷子植株中 GSH-Px 活性在谷子拔节期 30 d、孕穗期及齐穗期 20 d 时达到最大

值,且 GSH-Px 活性比 CK 的要高。通过 CK 组与硒处理组不同品种谷子的同期对比可知,在谷子拔节期、孕穗期和齐穗期内进行浓度为 30 g/hm² 的硒处理后均能弥补谷子植株中 GSH-Px 活性受谷子品种造成的差异影响。

2.2 不同时期施硒对谷子籽粒中粗蛋白含量的影响

由图 1 可知,不同时期的硒处理对籽粒中粗蛋白含量有

不同程度的影响。在冀谷 19 中, T_1 、 T_2 和 T_3 时期处理作物与对照相比, 籽粒中粗蛋白的含量均呈显著增加, 增幅在 20.6% ~ 29.2%。在 3 个处理生长时期中, 以 T_2 时期处理作物的增幅最大, 其粗蛋白含量为 9.1%, 比对照提高 29.2%。在冀谷 21 中, 只有 T_2 时期的处理作物籽粒中粗蛋白含量显著增加, 其粗蛋白含量为 8.7%, 比对照增加 12.0%。

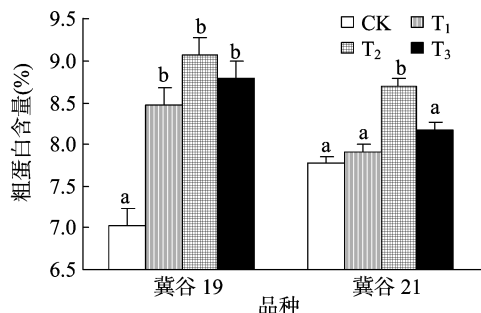


图1 不同时期施硒对谷子籽粒中粗蛋白含量的影响
同一品种的不同处理间标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下图同

由此可见, 2 个品种的谷子均是在 T_2 时期硒处理下籽粒中粗蛋白含量达到峰值。这可能由于谷子的 T_2 时期(孕穗期)是干物质形成的主要时期^[19], 在此时期硒肥的喷施有利于谷子体内粗蛋白的形成与积累, 从而使得在谷子 T_2 时期的硒处理作物, 粗蛋白含量与对照相比显著增加。而不同时期的硒处理对籽粒中粗蛋白含量影响程度不同, 则可能是谷子各生育期对硒肥作出反应的灵敏程度不同所导致的。

综合以上分析可得, 对冀谷 19、冀谷 21 2 个谷子品种, 通过叶面喷施的施肥方式, 在谷子孕穗期用浓度为 30 g/hm² 的硒肥处理谷子, 可以显著提高谷子籽粒中粗蛋白的含量。

2.3 不同时期施硒对谷子产量的影响

由图 2 可知, 不同时期硒处理对冀谷 19 和冀谷 21 产量的影响大体呈先增加后减少的趋势。处理后, 2 个品种谷子产量与对照相比均有不同程度的增加, 且 2 个品种的产量均在 T_2 时期处理后达到最大值, 分别为 3 923.0、3 924.3 kg/hm², 增幅分别为 3.6%、2.8%。出现这种结果的原因可能是: 对谷子进行硒处理的 3 个时期中, 在 T_2 生长时期处理的硒肥其施肥时期符合谷子的生长特点, 肥效发挥较好, 可以促进籽粒生长, 从而出现增产效果最为显著的结果。

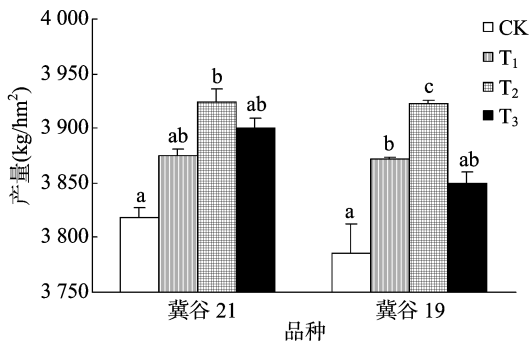


图2 不同时期施硒对谷子产量的影响

虽然不同时期硒处理对 2 个品种产量的影响大体相似, 但是对各自产量的影响程度有所不同。在冀谷 19 的硒处理中, 处理时期为 T_1 、 T_2 的作物产量同对照相比显著增加, 其产

量分别为 3 871.3、3 923.0 kg/hm², 与对照相比增幅分别为 2.3%、3.6%; 在冀谷 21 的硒处理中, 只有处理时期为 T_2 的作物产量同对照相比显著增加, 其产量为 3 924.3 kg/hm², 与对照相比增幅为 2.8%。出现这种差异, 可能是由于谷子的品种差异造成的。

综合以上分析可得, 对冀谷 19、冀谷 21 2 个谷子品种, 通过叶面喷施的施肥方式, 在孕穗期采用浓度为 30 g/hm² 的硒肥处理谷子, 可以显著提高谷子产量。

3 结论与讨论

试验表明, 外源硒能够显著提高植株体内的 GSH-Px 活性, 这与付冬冬等研究的结论^[7,21-23]相似。在谷子的不同生长时期, 用同一浓度的硒肥(30 g/hm²)处理谷子, 结果显示不同生长时期的硒肥处理对谷子植株中 GSH-Px 活性的影响存在着时间效应。在谷子拔节期, 当硒肥处理时间为 30 d 时, 2 个谷子品种植株中 GSH-Px 活性达到最大值; 在谷子的孕穗期和齐穗期, 当硒肥处理时间为 20 d 时, 2 个谷子品种植株中 GSH-Px 活性达到最大值, 当处理时间延长到 30 d 时, 其酶活性开始呈下降的趋势。

以谷子为试验材料, 在孕穗期进行浓度为 30 g/hm² 的叶面施硒, 可以显著提高谷子籽粒中粗蛋白的含量并显著提高谷子产量, 这与刘庆等研究的结果^[24]有所不同, 其研究表明, 通过叶面喷施一定剂量范围的亚硒酸钠溶液, 对小麦产量影响不大; 与不施硒相比, 施硒可提高籽粒中粗蛋白含量, 但差异不显著; 不同施硒时期对小麦籽粒中的粗蛋白含量也有一定的影响, 但差异也未达显著水平。这可能与作物类别、作物生长期特点等因素有关。

通过以上结论综合分析可得, 针对冀谷 19、冀谷 21 2 个谷子品种, 通过叶面喷施的施肥方式, 在谷子孕穗期用浓度为 30 g/hm² 的硒肥处理作物时间达 20 d 时, 可以显著提高冀谷 19、冀谷 21 植株中 GSH-Px 活性、籽粒中粗蛋白的含量以及谷子的产量。针对谷子对外源硒的敏感程度, 冀谷 19 在改善品质与提高产量方面比冀谷 21 敏感。

参考文献:

- [1] 薛泰麟, 侯少范, 谭见安, 等. 硒在高等植物体内的抗氧化作用 I. 硒对过氧化作用的抑制效应及酶促机制的探讨[J]. 科学通报, 1993, 38(3): 274-277.
- [2] 郭玲. 含硒的谷胱甘肽过氧化物酶与人类健康的关系[J]. 微量元素与健康研究, 2002, 19(1): 69-72.
- [3] 苗雨晨, 白玲, 苗琛, 等. 植物谷胱甘肽过氧化物酶研究进展[J]. 植物学通报, 2005, 22(3): 350-356.
- [4] 赵耀, 吴珍龄, 杨盛山. 亚硒酸钠对小麦幼苗中谷胱甘肽过氧化物酶和谷胱甘肽转硫酶活性以及谷胱甘肽含量的影响[J]. 植物生理学通讯, 2004, 40(2): 178-180.
- [5] 田应兵, 陈芬, 程玲, 等. 硒对黑麦草生长、品质及谷胱甘肽过氧化物酶活性的影响[J]. 湖北农学院学报, 2004, 24(2): 112-116.
- [6] 薛文韬, 严俊, 杨荣志, 等. 硒酸钠对小麦谷胱甘肽过氧化物酶活性的影响[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(12): 89-91.
- [7] 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.

杨秉臻,金涛,陆建飞. 长江中下游地区近 20 年水稻生产与优势的变化[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):62-67.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.19.017

长江中下游地区近 20 年水稻生产与优势的变化

杨秉臻,金涛,陆建飞

(扬州大学江苏省作物遗传生理国家重点实验室/农业部长江流域稻作技术创新中心,江苏扬州 225009)

摘要:运用比较优势指数分析、地理信息系统(GIS)空间分析等方法,研究长江中下游地区水稻的生产和比较优势。结果表明,近 20 年长江中下游地区水稻生产面积呈“V”形变化,总体缩减,具体表现为东部地区大幅减少,而西部地区略有增加;水稻单产水平不断提高,总产量近年来出现连增;该地区水稻生产具有较明显的规模比较优势和综合比较优势,并呈逐渐增加趋势,但不具有效率比较优势;该地区南部省份具有较明显的规模比较优势和综合比较优势,经济发达的省份具有相对较明显的效率比较优势。基于研究结果,提出稳定长江中下游地区水稻生产规模比较优势,增加效率比较优势,从而进一步提升综合优势的建议。

关键词:水稻;比较优势;长江中下游地区

中图分类号:S511.04;F326.11

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2018)19-0062-06

水稻是我国的主要粮食作物之一,全国有 60% 以上的人口以稻米为主食,其生产变化对中国粮食的整体供应水平有着直接的影响^[1-2],水稻生产的稳定发展对保障国家粮食安全以及国民经济的增长具有重要意义。2017 年中央一号文件提出,科学合理划定稻谷、小麦、玉米粮食生产功能区,稳定水稻、小麦生产,确保口粮绝对安全,而长江中下游地区包括江汉平原、洞庭湖平原、鄱阳湖平原、苏皖沿江平原、里下河平原、长江三角洲等区域,是我国最大的水稻生产区,水稻面积和产量均占全国 50% 以上^[3],研究长江中下游地区水稻生产

变化,对于我国水稻生产功能区的划分具有指导意义。

随着耕地持续减少、人口刚性增长、自然灾害频发、农业增产乏力^[4]等因素对水稻生产的挑战加剧,如何客观分析长江中下游地区水稻生产潜力和制约因素亟待解决。近年来,众多学者从水稻生理特征对极端气候条件的响应^[5-6]、气候变化条件下水稻产量及灌溉需水量等的时空变迁^[7-9]、施肥问题的分析^[10]、水稻生产对气象因素的响应^[11]等方面对整个长江中下游地区的水稻生产进行了研究,此外,也有针对长江中下游地区内省级尺度水稻生产比较优势的研究^[12-14],而尚未有长江中下游地区整体水稻生产比较优势的分析。

笔者基于 1996—2015 年全国及长江中下游地区水稻的播种面积、总产量和单产等面板数据,采用规模比较优势指数、效率比较优势指数、综合比较优势指数分析,并结合地理信息系统(GIS)空间分析等方法,对长江中下游地区的水稻生产及其比较优势的变化进行了研究,旨在为长江中下游地区水稻生产的布局和调整提供理论依据。

收稿日期:2017-06-04

基金项目:中国工程院咨询研究项目(编号:2017-XY-28);江苏省社会科学重大应用研究课题(编号:17WTA009)。

作者简介:杨秉臻(1992—),男,江苏泰兴人,硕士研究生,主要从事区域农业发展研究。E-mail:m18252714951@163.com。

通信作者:陆建飞,博士,教授,主要从事区域农业发展的教学与研究。E-mail:jflu@yzu.edu.cn。

[8]赵决建. 外源硒对紫云英硒含量和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3):334-336.

[9]魏丹,杨谦,迟凤琴,等. 叶面喷施硒肥对水稻含硒量及产量的影响[J]. 土壤肥料,2005(1):39-41.

[10]李静,夏建国,巩发永,等. 外源硒肥对茶叶硒含量及化学品质的影响研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4):104-106.

[11]张睿,刘曼双,王荣成,等. 叶面喷施富硒植物营养素对小麦产量及品质的效应[J]. 麦类作物学报,2015,35(6):856-859.

[12]张妮,李琦,张栋,等. 外源硒对滴灌小麦籽粒硒含量及产量的影响[J]. 麦类作物学报,2015,35(7):995-1001.

[13]耿建梅,秦俊豪,张小亮,等. 不同早稻品种对喷硒的响应[J]. 中国土壤与肥料,2011(4):45-49.

[14]王永会,周大迈,张爱军,等. 外源硒对谷子抗氧化酶活性及其品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2015(4):112-117.

[15]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.

[16]吴永尧,卢向阳,彭振坤,等. 硒在水稻中的生理生化作用探讨

[J]. 中国农业科学,2000,33(1):100-103.

[17]周勤波,吴海燕,洪延生,等. 作物施硒研究进展[J]. 中国农业科技导报,2002,4(6):45-50.

[18]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.

[19]黄爱缙,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,1999,21(4):324-327.

[20]钟国才,陈威,吴军辉,等. 利用元素分析仪测定大米粗蛋白含量的方法探讨[J]. 食品工业,2014,35(2):158-160.

[21]郭静成,尹顺平. 硒对高等植物中谷胱甘肽过氧化物酶活性及谷胱甘肽含量的影响[J]. 西北植物学报,1998(4):533-537.

[22]秦冰,谷勋刚,王雅楠,等. 外源硒肥对茶叶叶中硒代氨基酸形态及含量影响的研究[J]. 土壤通报,2013,44(4):956-963.

[23]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.

[24]刘庆,田侠,史衍玺. 施硒对小麦籽粒硒富集、转化及蛋白质与矿质元素含量的影响[J]. 作物学报,2016,42(5):778-783.