

干旱胁迫下外源硒对小麦幼苗抗旱性的影响^①

兰 敏, 尹美强*, 芦文杰, 温银元, 孙 敏, 高志强, 郝兴宇

(山西农业大学农学院, 山西太谷 030801)

摘 要:通过对小麦幼苗进行叶面喷施亚硒酸钠, 研究不同浓度外源硒对模拟干旱胁迫(PEG-6000)下小麦幼苗形态和生理特性的影响, 为探究外源硒对小麦幼苗抗旱性的影响提供理论依据。试验以舜麦 1718、晋太 102、京冬 17、S1204(品系)4 个小麦品种(系)为材料, 设置 4 个供硒水平, 包括蒸馏水对照(CK)、20(Se20)、40(Se40)、60 mg/L(Se60) Na_2SeO_3 处理。待小麦幼苗第二片真叶展开时, 对其进行叶面喷硒后继续培养 2 d。随后进行 20% PEG-6000 模拟干旱处理, 继续培养 7 d 后测定其形态指标和生理指标。结果表明: 外源硒处理可以显著提高不同品种(系)小麦幼苗的株高、根长、根数、鲜重、干重($P<0.05$); 外源硒处理可以降低小麦幼苗超氧阴离子(O_2^-)和丙二醛(MDA)的含量。随外源硒浓度的提高, 除晋太 102 的 MDA 含量外, 其余品种(系)小麦幼苗的 O_2^- 和 MDA 含量均显著低于 CK($P<0.05$); 同时, 外源硒处理可以显著提高小麦幼苗超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)的活性。随外源硒浓度的提高, 除京冬 17 的 SOD 活性和 S1204 的 POD 活性外, 其余小麦品种(系)的 SOD 和 POD 活性均显著高于 CK($P<0.05$)。隶属函数法综合分析可得: 舜麦 1718、晋太 102、京冬 17、S1204 对应的适宜处理分别为 Se40、Se60、Se20、Se60, 对硒的敏感性排序为: 京冬 17>舜麦 1718>S1204>晋太 102。因此, 4 个小麦品种(系)对硒的敏感性存在差异, 适宜浓度外源硒叶面处理有效增加小麦幼苗 POD、SOD 等保护酶活性, 降低体内活性氧积累, 缓解膜脂过氧化损伤, 增强小麦幼苗的抗旱能力, 促进干旱胁迫下小麦幼苗的生长和发育。外源硒叶面处理可作为一种缓解小麦幼苗干旱胁迫的有效措施。

关键词: 小麦; 硒; 抗旱性; 形态指标; 生理指标

中图分类号: S-3 **文献标识码:** A

小麦(*Triticumaestivum* L.)是三大谷物之一, 富含淀粉、脂肪、蛋白质等营养物质, 是全球主要的粮食作物之一。我国是小麦种植大国, 种植面积是全球总面积的 10.5%, 约 70% 的小麦分布在干旱与半干旱区域。干旱胁迫已经成为影响我国农业生产的重要因素之一^[1-2]。干旱是影响作物生长和产量形成的重要因素, 所以在小麦的耕种过程中, 由于干旱造成的小麦减产和籽粒品质不高等问题始终存在。特别是小麦的苗期, 干旱胁迫会使小麦难以越冬, 从而对其后期继续生长发育产生一系列不可逆转的不良影响^[3]。干旱胁迫对植物的光合作用、渗透调节、生长发育等生命活动产生影响, 使植物不能正常的进行代谢, 从而使各种生理生化指标发生改变, 最终在形态上发生改变^[4-5]。具体表现在植物形态结构、保护酶活性和活性氧自由基含量等几个方面的变化^[6]。

硒(Se)是一种人体必需的化学元素, 以无机硒和

有机硒两种形态存在于自然界中。硒具有抗癌、抗氧化、提高人体免疫力等功能。冠心病、高血压、大骨节病等疾病都与硒缺乏有关, 低硒的环境状态是这些疾病发生的主要因素之一^[7-9]。在植物中, 硒虽然不是必需元素, 但是硒对植物的生理特性有显著的影响。已有研究表明, 硒可以减少植物对有害重金属的吸收^[10]。外源硒显著提高了绿豆幼苗超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)等保护酶活性, 降低了丙二醛含量, 幼苗抗旱性明显提高^[11]。适宜浓度的外源硒能增强黄瓜幼苗在干旱胁迫下的光合作用, 提高抗旱性, 但是高浓度外源硒反而会降低其耐旱性^[12]。小麦是禾谷类作物中对硒积聚能力最强的作物, 不同的施硒方式对小麦的产量和抗性有很大的影响, 其中采用叶面喷施处理, 小麦对硒的利用率最高, 其次是滴施, 基施利用率最差^[13]。孕穗期、灌浆期叶面喷硒调节了非胁迫条件下豫麦 70-36 小麦体内抗氧化

基金项目: 山西农谷建设科研专项项目(SXNGJSKYZX201704)资助。

* 通讯作者(yinmq999@163.com)

作者简介: 兰敏(1993—), 女, 山西大同人, 硕士研究生, 研究方向为植物生理与分子生物学。E-mail:1102412794@qq.com

系统的动态平衡,降低旗叶丙二醛(MDA)和游离脯氨酸的含量,提高小麦旗叶的抗氧化衰老能力,延缓小麦生理后期的衰老,延长光合期,光合产物增加,从而提高了千粒重和产量^[14-16]。这些研究结果表明硒具有提高植物抗逆性的功能。小麦萌发期和幼苗期是对干旱胁迫较为敏感的时期,遭受干旱胁迫将严重影响分蘖发生和穗粒数形成,进而导致产量降低。外源硒处理可提高小麦种子萌发期的抗旱性^[17],但是外源硒对小麦幼苗期抗旱性的影响未见报道。

本试验以小麦幼苗为研究对象,采取叶面喷施的方法,在模拟干旱(PEG 处理)条件下,研究不同质量浓度的外源硒对小麦幼苗根长、株高、根数、鲜重、干重、MDA 和超氧阴离子(O_2^-)含量、SOD 和 POD 活性等方面的影响,探究外源硒对小麦幼苗干旱胁迫的影响,为提高小麦幼苗期抗旱性提供理论依据和技术措施。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验于 2016 年在山西农业大学农学院植物生理实验室进行。供试小麦品种(系)为舜麦 1718、晋太 102、京冬 17 和 S1204(品系),由山西农业大学农学院小麦栽培课题组提供。

1.2 试验设计

在选用的 4 个小麦品种(系)中,挑选出无病虫害、无机械损伤、大小均匀的小麦籽粒。将选好的小麦籽粒用 0.1% $HgCl_2$ 浸泡 15 min 消毒。随后用蒸馏水反复冲洗 3~5 次,沥干水后置于滤纸上阴干。然后消毒的种子播种于直径为 9 cm 的培养皿中,每个培养皿种 50 粒。在小麦第二片叶子展开时,对其进行叶面喷硒处理,2 d 后对小麦幼苗进行 20% PEG-6000 模拟干旱处理,7 d 后取材并进行形态指标和生理指标的测定。喷硒试验共设置 4 个处理(CK:蒸馏水;Se20:20 mg/L Na_2SeO_3 ;Se40:40 mg/L Na_2SeO_3 ;Se60:60 mg/L Na_2SeO_3),每个处理设 3 个重复。

1.3 测定指标及方法

将小麦幼苗于干旱胁迫下培养 7 d 后,在每个培养皿中分别选取 10 株生长状态一致的小麦幼苗,测定株高、根长、根数、鲜重和干重。 O_2^- 含量的测定参考高俊凤^[18]提供的方法;MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸分光光度法^[19];SOD 活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)光化还原抑制法^[20];POD 活性的测定采用愈创木酚法^[20]。

1.4 数据处理与分析

试验所得数据用 Microsoft Excel 2003 软件整理

并绘图,用 SPSS24.0 进行单因素方差分析,用 Duncan 新复极差法进行显著性检验。

应用模糊数学中的隶属函数法对不同外源硒浓度处理下 4 个小麦品种(系)的抗性生理指标进行综合分析^[21-24]。隶属函数公式为:当某一指标与抗旱性呈正相关时,公式为: $U(X_i)=(X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$;若为负相关时,其公式为: $U(X_i)=1-(X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$ 。其中, $U(X_i)$ 为隶属函数值; X_i 为处理水平某指标测定值; X_{min} 和 X_{max} 为所有参试水平系中某一指标内的最小值和最大值。最后将各品种各指标的具体隶属函数值进行累加,并求取平均值。平均值越大,则该品种的综合抗旱性越强。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下外源硒对小麦幼苗株高、根长、根数的影响

表 1 数据显示,随着外源硒浓度的提高,4 个品种的小麦幼苗株高都呈现先增加后降低的趋势,在 Se40 外源硒处理下株高的增加最大,舜麦 1718、京冬 17、S1204 的株高分别比 CK 提高了 25.25%、9.83%、10.38%,均达到显著水平($P<0.05$),晋太 102 的株高增加最小(2.28%),与 CK 的差异不显著。

干旱胁迫下外源硒处理促进小麦幼苗根系的伸长,除晋太 102 的根长随着外源硒浓度的提高而持续增加外,其余 3 个品种的根长均呈现先增加后降低的趋势。3 种浓度的外源硒处理后舜麦 1718 和 S1204 根长显著高于 CK,而京冬 17 和晋太 102 的根长与 CK 未达显著水平。舜麦 1718 在 Se20 外源硒处理下根长最长,比 CK 增加 35.96%。在 CK 中,舜麦 1718 和晋太 102 的根长差异不显著,外源硒处理后,这两个品种根长的差异达到显著水平($P<0.05$)。

京冬 17 小麦幼苗的根数随着外源硒浓度的提高呈现先增加后降低的趋势,Se20 处理时根数最多,显著高于 CK($P<0.05$);其余 3 个小麦品种(系)均呈现持续增加的趋势,在 Se60 处理时最大,此时舜麦 1718 和晋太 102 的根长与 CK 的差异显著($P<0.05$),S1204 与 CK 不显著。

2.2 干旱胁迫下外源硒对小麦幼苗鲜重、干重的影响

由表 2 可知,在 20% PEG-6000 干旱胁迫下,不同浓度外源硒处理后 4 个品种(系)小麦幼苗的鲜重和干重均显著高于 CK ($P<0.05$),舜麦 1718 和 S1204 的鲜重和干重在 Se40 处理时达到最大,分别比 CK

增加 32.6%、27.01% 和 40.0%、17.3%，京冬 17 的鲜重和干重在 Se20 处理时最高，分别为 2.69 g 和

0.33 g。4 个品种(系)小麦幼苗的鲜重、干重的差异在 3 种浓度的外源硒处理间未达显著水平($P>0.05$)。

表 1 硒对干旱胁迫下小麦幼苗株高、根长、根数的影响
Table 1 Effects of selenium on seedling height, root length and root numbers of wheat under drought stress

指标	处理	舜麦 1718	晋太 102	京冬 17	S1204
株高(cm)	CK	15.05 ± 0.64b D	16.21 ± 0.25 aC	18.52 ± 0.58 cA	17.15 ± 0.19 bB
	Se20	18.27 ± 0.77 aB	16.24 ± 0.28 aC	19.96 ± 0.42 abA	18.48 ± 0.85 aB
	Se40	18.90 ± 0.58 aB	16.58 ± 0.13 aC	20.34 ± 0.20 aA	18.93 ± 0.79 aB
	Se60	18.45 ± 0.61 aA	16.37 ± 0.19 aB	19.10 ± 0.75 bcA	18.55 ± 0.51 aA
根长(cm)	CK	10.29 ± 0.28 cA	9.89 ± 0.73 aA	8.75 ± 0.61 aB	7.77 ± 0.67 bB
	Se20	13.99 ± 0.66 aA	10.37 ± 0.24 aB	9.78 ± 0.49 aBC	9.07 ± 0.19 aC
	Se40	13.41 ± 0.48 abA	10.54 ± 0.84 aB	9.59 ± 0.70 aB	9.64 ± 0.69 aB
	Se60	12.32 ± 0.83 bcA	10.64 ± 0.04 aB	9.13 ± 0.66 aC	9.39 ± 0.43 aC
根数	CK	5.07 ± 0.23 bB	5.27 ± 0.12 bB	5.27 ± 0.31 bB	6.40 ± 0.35 aA
	Se20	5.33 ± 0.31 abB	5.40 ± 0.20 abB	6.13 ± 0.12 aA	6.47 ± 0.12 aA
	Se40	5.40 ± 0.20 abB	5.53 ± 0.12 abB	5.60 ± 0.35 abB	6.53 ± 0.12 aA
	Se60	5.60 ± 0.20 aB	5.60 ± 0.20 aB	5.53 ± 0.64 abB	6.60 ± 0.20 aA

注: 表中同列小写字母不同表示相同品种下不同处理间差异显著($P<0.05$), 同行大写字母不同表示同一处理不同品种间差异显著($P<0.05$); 下表同。

表 2 硒对干旱胁迫下小麦幼苗鲜重、干重的影响
Table 2 Effects of selenium on fresh and dry weights of wheat under drought stress

指标	处理	舜麦 1718	晋太 102	京冬 17	S1204
鲜重(g)	CK	1.81 ± 0.12 bB	1.96 ± 0.19 cAB	1.95 ± 0.15 bAB	2.11 ± 0.10 bA
	Se20	2.21 ± 0.20 aB	2.19 ± 0.03 bcB	2.69 ± 0.20 aA	2.49 ± 0.18 aAB
	Se40	2.40 ± 0.17 aA	2.51 ± 0.19 aA	2.46 ± 0.30 aA	2.68 ± 0.16 aA
	Se60	2.25 ± 0.09 aB	2.35 ± 0.17 abAB	2.37 ± 0.18 aAB	2.54 ± 0.10 aA
干重(g)	CK	0.20 ± 0.03 bC	0.30 ± 0.01 bA	0.23 ± 0.01 bBC	0.26 ± 0.03 bB
	Se20	0.27 ± 0.02 aC	0.31 ± 0.02 abAB	0.33 ± 0.03 aA	0.28 ± 0.02 abBC
	Se40	0.28 ± 0.01 aB	0.31 ± 0.01 abAB	0.32 ± 0.02 aA	0.31 ± 0.03 aAB
	Se60	0.28 ± 0.02 aB	0.35 ± 0.04 aA	0.30 ± 0.03 aB	0.31 ± 0.02 aAB

2.3 干旱胁迫下外源硒对小麦幼苗 O_2^- 和 MDA 含量的影响

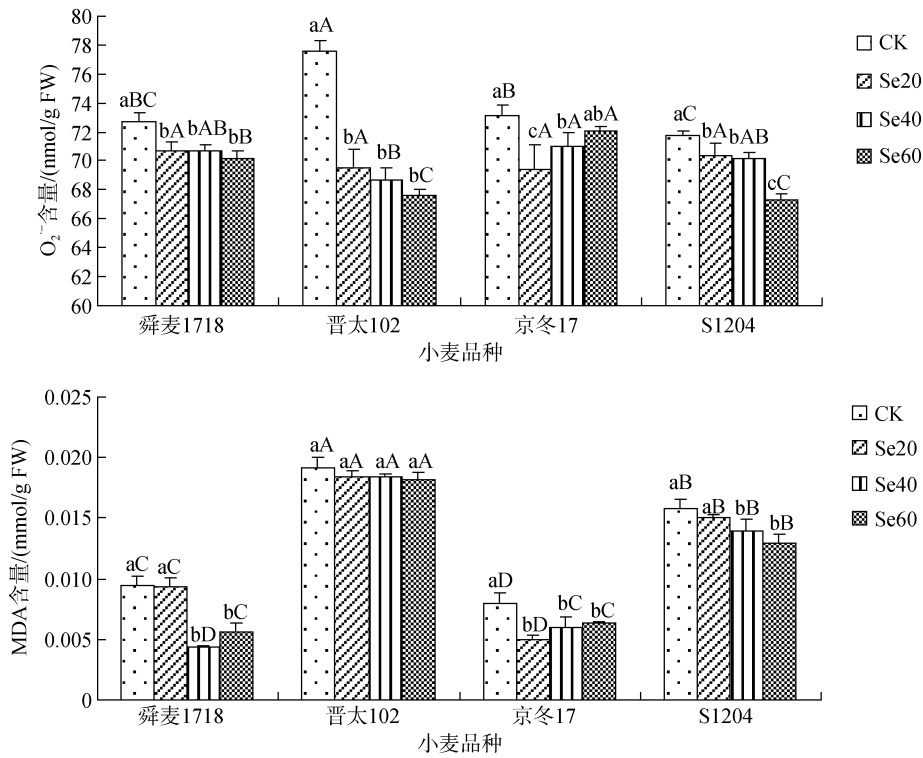
由图 1 可知, 在 20% PEG-6000 干旱胁迫下, 叶面喷硒不同程度降低 4 个小麦品种(系) O_2^- 和 MDA 的含量。Se20 处理时显著降低 4 个小麦品种(系)幼苗 O_2^- 含量($P<0.05$), 其中晋太 102 最低, 比 CK 低 10.38%。随着外源硒浓度的提高, 舜麦 1718、晋太 102 和 S1204 幼苗均呈现持续下降趋势, 在 Se60 处理时最低, 分别比 CK 低 3.54%、12.89% 和 6.11%; 京冬 17 则呈先降低后升高趋势, 在 Se60 处理下其 O_2^- 含量与 CK 的差异不显著。

外源硒叶面喷施处理对干旱胁迫下晋太 102 幼苗 MDA 的含量影响不显著($P>0.05$)。Se20 处理时舜麦 1718 和 S1204 幼苗 MDA 含量与 CK 无显著差异($P>0.05$), 京冬 17 的 MDA 含量则较 CK 显著降低, 比 CK 降低了 29.11%。Se40、Se60 处理则显著降低舜麦 1718、S1204 和京冬 17 幼苗 MDA 含量($P<0.05$),

其中舜麦 1718 在 Se40 处理下 MDA 含量最低, S1204 的 MDA 含量在 Se60 处理时最低, 分别比 CK 降低 54.74% 和 18.35%。

2.4 干旱胁迫下外源硒对小麦幼苗 SOD、POD 活性的影响

由图 2 可知, 在 20% PEG-6000 干旱胁迫下, 叶面喷硒可以不同程度提高 4 个小麦品种(系)幼苗 SOD 和 POD 的活性。外源硒叶面处理对干旱胁迫下京冬 17 幼苗 SOD 的活性影响不显著($P>0.05$)。Se20 处理对舜麦 1718 和晋太 102 小麦幼苗 SOD 含量无显著影响($P>0.05$), S1204 的 SOD 活性则显著增加, 比 CK 增加了 6.37%。随着外源硒浓度的提高, 舜麦 1718 和晋太 102 的 SOD 活性呈现持续增加的趋势, 在 Se60 处理时均显著高于 CK($P<0.05$), 分别比 CK 增加了 14.23% 和 7.33%; S1204 则呈现先增加后降低的趋势, 在 Se40 处理时 SOD 活性最高, 比 CK 增加了 10.09%。



(图中小写字母不同表示相同品种不同处理间差异显著($P < 0.05$),大写字母不同表示同一处理不同品种间差异显著($P < 0.05$);下同)

图 1 硒对干旱胁迫下小麦幼苗 O_2^- 、MDA 含量的影响

Fig. 1 Effects of selenium on contents of O_2^- and MDA in wheat seedlings under drought stress

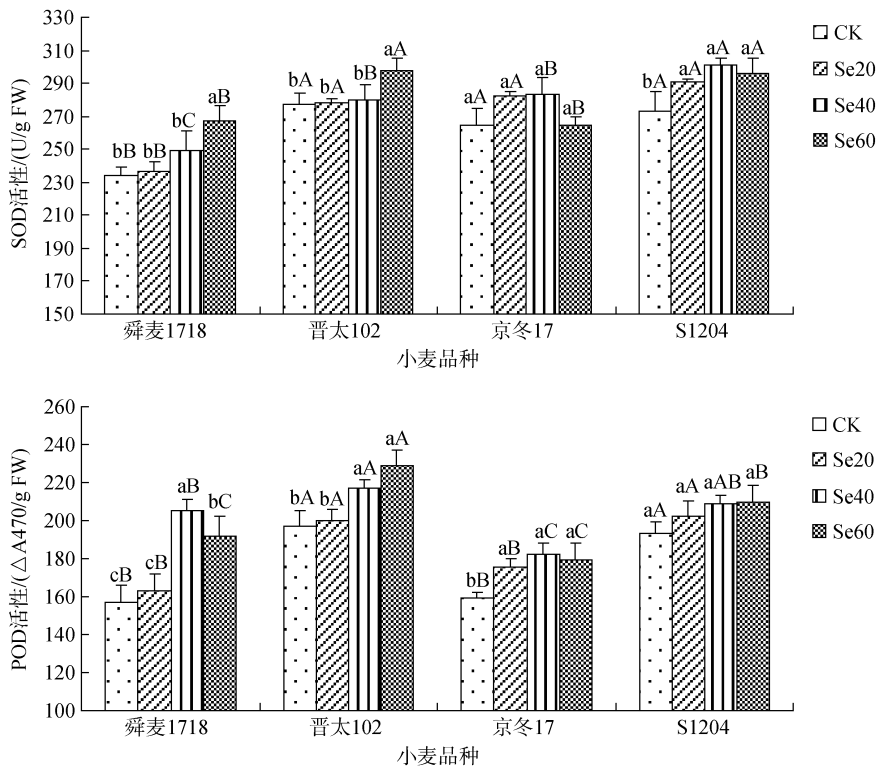


图 2 硒对干旱胁迫下小麦幼苗 SOD、POD 活性的影响

Fig. 2 Effects of selenium on activities of SOD and POD in wheat seedlings under drought stress

叶面喷硒处理对干旱胁迫下 S1204 小麦幼苗 POD 活性影响不显著($P > 0.05$)。Se20 处理对舜麦 1718

和晋太 102 小麦幼苗 POD 含量无显著影响($P > 0.05$), 京冬 17 的 POD 活性则显著增加, 比 CK 增加了

10.63%。随着外源硒浓度的提高, 舜麦 1718 和京冬 17 小麦幼苗的 POD 活性呈现先增加后降低的趋势, 在 Se40 处理时最高, 分别比 CK 增加了 30.37% 和 14.55%, 晋太 102 呈现持续增加趋势, Se60 处理时最高, 比 CK 增加了 16.27%。

2.5 外源硒处理下小麦品种各项指标的隶属值及综合评价

作物的抗旱性是由多项指标共同决定的结果, 并不能从单一性状来判断其抗旱性^[21-22]。且不同品种对某一个具体指标的抗旱性反应也不尽相同^[24]。本研究对小麦幼苗多种指标的测定结果显示: 干旱胁迫处理下, 不同品种(系)的小麦幼苗各种生理生化指标的变化程度不同, 即不同品种(系)小麦其抗旱机制不同, 从而有不同的性状表现。因此任何一个单项指标均不能全面准确地评价其抗旱性, 要结合多个指标对作物进行综合分析才可以更客观地反映该作物的抗旱性能。隶属函数其实是利用模糊理论来解决具体的实际问题, 反映的是函数的渐变特性。隶属函数法为分析小麦抗旱性提供了在测定多个指标的基础上, 对各

小麦品种特性进行综合评价的途径^[24]。先根据公式计算得出各抗旱指标在不同小麦品种(系)中的具体隶属值, 再累加指定品种(系)各指标的抗旱隶属值, 最后求其平均值以评定抗逆性, 据各品种(系)小麦平均值的大小确定其抗旱性强弱。所以, 本试验利用模糊数学中的隶属函数法, 对 4 个品种(系)小麦的株高、根长、根数、鲜重、干重、 O_2^- 含量、MDA 含量、SOD 和 POD 的活性进行综合分析, 较全面地反映出小麦幼苗的抗旱性。

表 3 是 4 个小麦品种(系)进行叶面喷施不同浓度外源硒后, 对其各项指标的隶属函数值进行计算, 最后得出各小麦品种(系)不同处理下的平均隶属函数值, 并对其进行分析。结果表明舜麦 1718、晋太 102、京冬 17 和 S1204 四个品种(系)对应的适宜处理分别为 Se40、Se60、Se20、Se60, 同时在 Se60 处理下 S1204 的平均隶属函数值比晋太 102 的平均隶属函数值大, 所以, 4 个品种(系)小麦幼苗对硒的敏感性排序为: 京冬 17>舜麦 1718>S1204>晋太 102。

表 3 硒对干旱胁迫下小麦苗期各个指标的隶属函数值的影响
Table 3 Effects of selenium on subordinate function values of wheat at seedling stage under drought stress

品种	处理	株高	根长	根数	鲜重	干重	O_2^-	MDA	SOD	POD	平均隶属函数值	排序
舜麦 1718	CK	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4
	Se20	0.836	1.000	0.500	0.682	0.864	0.810	0.038	0.073	0.126	0.548	3
	Se40	1.000	0.843	0.625	1.000	1.000	0.810	1.000	0.463	1.000	0.860	1
	Se60	0.883	0.549	1.000	0.749	1.000	1.000	0.744	1.000	0.721	0.850	2
晋太 102	CK	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4
	Se20	0.092	0.643	0.400	0.410	0.294	0.805	0.800	0.040	0.104	0.399	3
	Se40	1.000	0.862	0.800	1.000	0.294	0.888	0.800	0.120	0.646	0.712	2
	Se60	0.425	1.000	1.000	0.711	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.904	1
京冬 17	CK	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4
	Se20	0.789	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.957	0.731	0.942	1
	Se40	1.000	0.818	0.385	0.694	0.893	0.565	0.644	1.000	1.000	0.778	2
	Se60	0.320	0.372	0.308	0.568	0.679	0.274	0.556	0.043	0.885	0.445	3
S1204	CK	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4
	Se20	0.749	0.694	0.333	0.657	0.375	0.297	0.233	0.632	0.556	0.503	3
	Se40	1.000	1.000	0.667	1.000	1.000	0.351	0.656	1.000	0.972	0.849	2
	Se60	0.787	0.864	1.000	0.750	0.938	1.000	1.000	0.842	1.000	0.909	1

3 讨论

小麦是世界上最重要的粮食作物之一, 水分是植物生长发育和产量形成的主要限制因子。近年来因气候变化, 干旱天气频发是影响我国小麦生产的主要自然灾害之一。小麦在幼苗期主要进行分蘖、根系生长

等, 伴随分蘖有小穗的分化, 是分蘖发生和穗分化的关键时期, 对小麦产量构成因素亩穗数和穗粒数形成有决定意义。在苗期遭受干旱将严重影响分蘖发生和小穗分化穗, 最终导致产量降低。因此, 研究提高小麦幼苗期抗旱性的化学调控和栽培措施, 对小麦产量的提高和粮食安全具有重要的意义。

在干旱胁迫下,作物在形态结构上的改变是其对水分胁迫最直接的表现。宋家永等人^[25]的研究表明对小麦进行叶面喷硒后会显著提升小麦的根系活力。杜妍^[26]在洋葱的试验中得出,在适宜浓度的外源硒处理下,洋葱植株的株高、根系活力、茎粗等均有不同程度的提高。硒对植物的生长有浓度效应,低浓度外源硒促进植物生长,而高浓度则抑制植物生长^[12]。在本试验中,叶面喷硒可以促进 PEG 干旱胁迫下小麦幼苗的生长,表现为提高其抗旱性。随着外源硒浓度的提升,小麦幼苗的株高、根长、根数、鲜重和干重均显著增加,呈现先增加后降低的趋势,即高浓度的硒会抑制小麦的抗旱能力,且适宜硒浓度在品种之间存在差异(表 1、表 2),这与低浓度硒促进植物细胞渗透调节有关。但是继续增加硒的浓度有表现出对种子萌发的促进效应^[17],表明硒对植物生长及抗性的影响不只是简单的浓度效应,可能与不同植株体内硒代谢相关的酶或转运蛋白的种类有关,这有待进一步研究确认。

当植物长期处于干旱状态时,会对植物体内的活性氧的代谢产生影响,导致植物体内活性氧的含量变多^[27]。大量的活性氧自由基会使植物中膜脂发生过氧化作用而产生丙二醛(MDA),对植物细胞的膜结构产生损害^[28]。植物本身具有抗氧化酶系统来减弱干旱环境对其的损伤,包括 SOD、POD 和 CAT(过氧化氢酶)等。这些酶能够清除植物体内的活性氧自由基,降低干旱对细胞膜脂的损伤^[27-28]。在耐旱植物中,这些酶的活性往往维持在一个较高的活性状态以抵抗干旱环境。适宜浓度的硒可以提高 POD 和 SOD 活性^[17,33],降低作物中过量的活性氧自由基和 MDA 的含量^[29,32]。本试验表明,在 PEG 模拟干旱胁迫下,在施用适宜浓度的外源硒后,4 个品种小麦幼苗的 SOD 和 POD 的活性均显著增强(图 2), O_2^- 和 MDA 的含量降低(图 1),说明适宜浓度的叶面喷硒处理可以提高小麦幼苗体内抗氧化酶的活性,增强清除活性氧自由基的能力,降低膜脂的过氧化程度,缓解干旱胁迫对作物的不良影响。

外源硒在增加作物硒含量和抗逆性(包括抗旱性)方面存在品种的敏感度差异^[14,34]。植物的抗旱性是通过多因素共同决定的,单一指标并不能准确地反映出该植物的抗旱性能。植物的各项生理生化指标均与抗旱性具有一定的相关性。隶属函数值分析法提供了一种在多指标测定基础上对植物抗旱性进行综合评价的途径。此方法可以较全面地分析多个指标对于作物抗旱性的综合影响,避免了单一指标分析的

片面性。为了更客观地反映出 4 种小麦在不同浓度叶面硒处理下的抗旱性能,本试验采用隶属函数法来分析 4 个品种(系)在各处理下的抗旱性,舜麦 1718 和京冬 17 在低浓度硒处理下其抗旱性能较强,而晋太 102 和 S1204 则在较高浓度硒处理下较强。说明叶面喷硒在提高小麦幼苗抗旱性方面存在品种(系)差异,对硒的敏感性排序为:京冬 17>舜麦 1718>S1204>晋太 102。

4 结论

在小麦对干旱胁迫较为敏感的幼苗期,硒能够促进小麦幼苗根系生长,增加根冠比,有助于提高植物的吸水能力,维持植物组织含水量,增加抗氧化酶 SOD、POD 活性,降低体内活性氧含量和膜脂的过氧化损伤,缓解干旱胁迫对小麦幼苗的不良影响。最适硒浓度在品种之间有很大差异,表明适宜浓度硒在小麦幼苗期进行叶面处理,可显著提高其抗旱性,可作为小麦幼苗期抗旱的新措施,以预防干旱胁迫对小麦造成的产量损失。外源硒对小麦的影响及其代谢是多方面的,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Deng X, Shan L, Shinobu I. Sensitivity and resistance of seedling establishment to water stress in spring wheat[J]. Cereal Research Communications, 2002, 30(1/2): 125-132
- [2] Zhao L, Deng X, Shan L. Effects of osmotic stress on chlorophyll fluorescence parameters of wheat seedling[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(7): 1261-1264
- [3] 曹翠玲, 李生秀. 水分胁迫下氮素对分蘖期小麦某些生理特性的影响[J]. 核农学报, 2004, 18(5): 402-405
- [4] 王娅玲, 李维峰. 干旱胁迫对植物生长及其生理的影响概述[J]. 南方农业, 2015, 9(6): 37-37
- [5] 倪霞, 周本智, 曹永慧, 等. 干旱胁迫对植物光合生理影响研究进展[J]. 江苏林业科技, 2017, 44(2): 34-39
- [6] 宋新颖, 张玉梅, 张洪生, 等. 干旱胁迫对不同冬小麦品种幼苗期生理特性的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(12): 6-11
- [7] Alfthan G, Euroola M, Ekholm P, et al. Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: From deficiency to optimal selenium status of the population[J]. Journal of Trace Elements in Medicine & Biology, 2015, 31(1): 142-147
- [8] Bleyts J, Navasacien A, Guallar E. Serum selenium levels and all-cause, cancer, and cardiovascular mortality among US adults[J]. Archives of Internal Medicine, 2008, 168(4): 404-410

- [9] 张宝军, 杨林生, 王五一, 等. 大骨节病区土壤元素分布特征及其与病情的关系——以四川省壤塘县为例[J]. 土壤学报, 2011, 48(2): 230–237
- [10] 吕选忠, 宫象雷, 唐勇. 叶面喷施锌或硒对生菜吸收镉的拮抗作用研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(5): 868–870
- [11] 王富刚. 干旱胁迫下硒对绿豆种子萌发及幼苗生长的影响[D]. 陕西延安: 延安大学, 2015
- [12] 饶玲, 罗庆熙, 赵小红. 蛋氨酸硒对干旱胁迫下黄瓜幼苗生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2017(6):14–18
- [13] 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
- [14] 郝敬爽. 叶面喷硒对不同小麦品种产量和籽粒品质的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2016
- [15] 刘大会, 周文兵, 朱端卫, 等. 硒在植物中生理功能的研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2005, 24(3): 253–259
- [16] 王海红. 叶面喷硒对冬小麦氧化衰老、籽粒硒含量及产量影响的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2007
- [17] 郁飞燕. 干旱胁迫下硒对小麦种子萌发的影响[D]. 河南洛阳: 河南科技大学, 2012
- [18] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [19] 越世杰, 许长成. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学报, 1994(3): 207–210
- [20] 郑炳松. 现代植物生理生化研究技术[M]. 北京: 气象出版社, 2006
- [21] 王志泰, 马瑞, 马彦军, 等. 利用隶属函数法分析胡枝子抗旱性[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(9): 119–123
- [22] 玉苏甫·阿不力提甫, 阿依古丽·铁木儿, 帕提曼·阿布都热合曼, 等. 利用隶属函数法综合评价梨砧木抗寒性[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(3): 121–129
- [23] 王谧, 王芳, 王舰. 应用隶属函数法对马铃薯进行抗旱性综合评价[J]. 云南农业大学学报, 2014, 29(4):476–481
- [24] 盛业龙, 王莎莎, 许美玲, 等. 应用隶属函数法综合评价不同烤烟品种苗期抗旱性[J]. 南方农业学报, 2014, 45(10): 1751–1758
- [25] 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
- [26] 杜妍. 硒对洋葱生长发育、产量及品质影响的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2006
- [27] 徐国明, 张桂银, 褚卓栋, 等. 铜污染土壤上施用氮磷肥对小麦 POD 酶活性及铜吸收的影响[J]. 土壤, 2008, 40(3): 432–436
- [28] 赵丽英, 邓西平, 山仑. 活性氧清除系统对干旱胁迫的响应机制[J]. 西北植物学报, 2005, 25(2): 413–418
- [29] Sabaty M, Avazeri C, Pignol D, et al. Characterization of the reduction of selenate and tellurite by nitrate reductases[J]. Applied & Environmental Microbiology, 2001, 67(11): 5122–5126
- [30] 张海英, 韩涛, 田磊, 等. 草莓叶面施硒对其重金属镉和铅积累的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(3): 409–416
- [31] 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
- [32] 张承东, 韩朔暎, 魏钟波. 硒对除草剂胁迫下水稻幼苗活性氧清除系统响应的作用[J]. 环境科学, 2002, 23(4): 93–96
- [33] 何士敏, 秦家顺, 吴刚. 硒浸种对大豆种子萌发的生理生化效应[J]. 大豆科学, 2011, 30(1): 158–160
- [34] 郑甲成, 刘婷. 不同浓度硒肥对籼稻硒含量和产量的影响[J]. 土壤, 2014, 46(1): 88–93

Effects of Exogenous Selenium on Drought Resistance of Wheat Seedlings Under Drought Stress

LAN Min, YIN Meiqiang*, LU Wenjie, WEN Yinyuan, SUN Min, GAO Zhiqiang, HAO Xingyu
(College of Agronomy, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China)

Abstract: The effects of foliar application of different concentrations of exogenous selenium on morphology and physiological characteristics of wheat seedlings under PEG-6000 stress were studied to provide a theoretical basis for exploring the effects of exogenous selenium on drought resistance of wheat seedlings. In this study, four wheat varieties (lines) including Shunmai 1718, Jintai 102, Jingdong 17 and S1204 (lines) were used as materials, four selenium concentration levels were designed, including distilled water (CK), 20 mg/L (Se20), 40 mg/L (Se40), and 60 mg/L (Se60) of Na_2SeO_3 . When the second leaf of wheat seedlings was expanded, the leaves were sprayed with selenium and cultured for 2 days. Then 20% PEG-6000 was used to simulate drought and wheat seedling were continued to be cultured for 7 days. The morphological and physiological indexes of wheat seedlings were measured. The results showed that exogenous selenium significantly increased the plant height, root length, root number, fresh weight and dry weight of different varieties (lines) of wheat seedlings ($P < 0.05$); Exogenous selenium reduced superoxide anion (O_2^-) and malondialdehyde (MDA) in wheat seedlings. With the increase of exogenous selenium concentration, except for the MDA content of Jintai 102, the contents of O_2^- and MDA of other treatments were significantly lower than CK ($P < 0.05$). Meanwhile, exogenous selenium increased the activities of SOD and POD in wheat seedlings. With the increase of exogenous selenium concentration, except SOD activity of Jingdong 17 and POD activity of S1204, the activities of SOD and POD of other treatments were significantly higher than CK ($P < 0.05$). According to the membership function values, the suitable treatments for Shunmai1718, Jintai 102, Jingdong 17 and S1204 were Se40, Se60, Se20 and Se60, respectively. The order of sensitivity to selenium is Jingdong 17 > Shunmai 1718 > S1204 > Jintai 102. The sensitivities of the four wheat varieties (lines) to selenium are different. In conclusion, the suitable concentration of exogenous selenium foliar treatment effectively increases the activities of protective enzymes such as POD and SOD, decreases the accumulation of active oxygen, alleviates membrane lipid peroxidation damage, enhances drought resistance ability of wheat seedlings, and promotes the growth of wheat seedlings under drought stress. The foliar spraying of exogenous selenium is an effective way to relieve the drought stress of wheat seedlings.

Key words: Wheat; Selenium; Drought resistance; Morphological index; Physiological index