

腐植酸浸种对盐碱胁迫下小麦根系抗氧化系统的影响

郭伟^{1,2}, 王庆祥¹

(1. 沈阳农业大学农学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘 要: 采用中性盐(NaCl)和碱性盐(NaHCO₃)混合模拟不同浓度盐碱胁迫条件,对龙麦 26 和克旱 16 两种不同基因型春小麦进行腐植酸浸种处理。分别测定根系氧离子自由基、丙二醛和谷胱甘肽含量,以及过氧化物酶和超氧化物歧化酶活性,以探讨腐植酸对盐碱两种胁迫下小麦根系抗氧化系统的调控效应。结果表明:随着盐碱胁迫浓度的提高,小麦幼苗根系内丙二醛含量逐渐增加,根系过氧化物酶活性增强,超氧化物歧化酶活性降低,且盐胁迫比碱胁迫影响更大。腐植酸浸种降低了根系活性氧的积累,增强了过氧化物酶和超氧化物歧化酶活性,并促进了谷胱甘肽合成。

关键词: 小麦; 根系; 盐碱胁迫; 抗氧化系统; 腐植酸

中图分类号: S143.8; S351.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0222-05

盐渍化是影响土地生产力的重要障碍因子,它严重制约了粮食生产和农业可持续发展,世界上大约有半数的灌溉土地受盐渍化的影响。据国家统计局资料显示,由于灌溉扩展、不合理的开发利用与管理以及气候变化等原因,我国盐渍土面积以每年上百万公顷的速度增加^[1]。我国北方内陆地区土壤碱化与盐化往往相伴而生,对农业生产的影响是多方面的。因此,研究作物在复杂盐碱条件下的抗逆能力,以及采取工程、农艺等措施减轻作物的盐碱胁迫,对发展农业生产具有十分重要的意义。

植物在逆境条件下,呼吸加强,需氧量增加,而植株内的氧又易被活化,形成对细胞有害的活性氧。植物的需氧性和氧对植物潜在的危害性,是植物界普遍存在的重大矛盾问题^[2]。在盐胁迫等逆境条件下,植物体内活性氧代谢系统平衡受到影响,一方面,盐碱胁迫诱导活性氧的大量积累^[3,4],另一方面,活性氧清除系统活性随之增强^[4~6],例如,超氧化物歧化酶(SOD)活性增加,经 SOD 清除超氧阴离子后,又将产生氧化能力极强的过氧化氢、羟自由基和单线态分子氧。再由担负清除 H₂O₂ 功能的过氧化物酶(POD),催化 H₂O₂ 氧化产生 H₂O,从而降低膜内不饱和脂肪酸的过氧化程度,维持细胞膜的稳定性和完整性。盐碱胁迫下活性氧的积累和清除能力受到等多种内源和外源物质^[7~10]的影响,使得人为施加调控措施增强小麦的耐盐碱能力成为可

能^[11~15]。本研究通过模拟盐碱胁迫条件,测定根系活性氧清除物质谷胱甘肽含量,过氧化物酶、超氧化物歧化酶等清除酶系活性,以及膜脂过氧化产物丙二醛含量变化,并采取腐植酸浸种方式稳定小麦根系质膜的完整性,以期揭示小麦耐盐碱性机理与拓展小麦抗盐碱途径提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用小麦(*Triticum aestivum* L.)品种:‘龙麦 26’(春性,强筋优质小麦,喜肥水);‘克旱 16’(春性,中筋优质小麦,抗旱耐密植)。

腐植酸(C₉H₉NO₆,分子量 227.16),四川西亚化工股份有限公司制造。

1.2 试验方法

分别用清水(代号:水)和 100 mg/L 的腐植酸(代号:腐)浸种 24 h,然后在 25℃培养箱培养 5 d,选取发芽整齐的两种小麦幼苗,移植于带有圆孔的泡沫板上,在塑料方盒(30 cm × 50 cm)中用 1/2 Hoagland 营养液室温下通气培养,每 5 d 更换一次营养液,待到幼苗两叶一心期开始进行盐碱胁迫,为避免盐激出现,胁迫初期按照每天 50 mmol/L 浓度逐渐达到设计浓度,胁迫期间 3 d 更换一次营养液与盐溶液的混合液。胁迫 7 d 后取鲜样测定,指标测定分析均用根系和叶片鲜重。

收稿日期:2011-03-29
基金项目:黑龙江省重大课题(G00QY08);黑龙江省教育厅课题(1153z17)
作者简介:郭伟(1977—),男,黑龙江绥化市人,讲师,博士研究生,主要从事作物抗逆生理生态研究。

采用不同浓度的 NaCl 模拟中性盐胁迫,简称盐胁迫处理(代号:盐),以与盐胁迫处理相同的浓度 Na^+ 为原则,相应利用 NaCl 和 Na_2CO_3 模拟混合盐碱胁迫(按照 Na_2CO_3 10 mmol/L 梯度递增),简称碱胁迫处理(代号:碱),处理组合及浓度如表 1,营养液对照(CK)。

根系谷胱甘肽(GSH)和丙二醛(MDA)含量,以及过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用上海植物生理研究所的方法^[16];氧离子自由基(ROS)含量测定参照高俊凤^[17]方法。

采用 Excel 2003 和 DPS 7.05 软件进行数据处理与制图。

表 1 试验处理的盐碱浓度

Table 1 Salt composition's molar ration in various treatments

Na ⁺ 浓度 Concentration (mmol/L)	盐处理 Salt treatment		碱处理 Alkalinity treatment		
	NaCl (mmol/L)	pH 值	Na ₂ CO ₃ (mmol/L)	NaCl (mmol/L)	pH 值
50	50	7.12	10	30	10.94
100	100	7.23	20	60	11.08
150	150	7.36	30	90	11.15
200	200	7.45	40	120	11.18

2 结果与分析

2.1 腐植酸对盐碱胁迫下小麦根系氧自由基(ROS)含量的影响

盐胁迫下小麦根系 ROS 含量增加,碱胁迫下 ROS 减少;随着盐碱浓度的增加 ROS 含量降低,盐胁迫下 ROS 含量高于同浓度碱胁迫。腐植酸浸种降低了小麦根系中 ROS 含量;经腐植酸浸种后,小

麦在盐胁迫下根系的 ROS 含量降低,但在碱胁迫下根系 ROS 含量升高;随着盐碱胁迫浓度的增加,经腐植酸浸种后的小麦根系 ROS 含量逐渐降低;无论何种浸种方式下,盐胁迫下根系的 ROS 含量均高于碱胁迫,且克旱 16 的 ROS 含量高于龙麦 26(见图 1,图 2)。

2.2 腐植酸对盐碱胁迫下小麦根系谷胱甘肽(GSH)含量的影响

随着盐碱胁迫浓度的增加,小麦根系 GSH 含量逐渐降低;50~150 mmol/L 盐碱胁迫下龙麦 26 根系 GSH 含量高于对照,盐碱胁迫下克旱 16 根系 GSH 含量均低于对照;克旱 16 根系 GSH 含量高于龙麦 26,而盐碱胁迫下,克旱 16 根系 GSH 含量低于龙麦 26;盐胁迫下 GSH 含量高于同浓度碱处理(图 3,图 4)。

腐植酸浸种提高了小麦根系 GSH 含量,同浓度盐碱胁迫下,腐植酸浸种处理的 GSH 含量高于清水浸种处理;经腐植酸浸种后,同浓度盐碱胁迫下克旱 16 根系 GSH 高于龙麦 26;且碱处理含量高于盐处理。

2.3 腐植酸对盐碱胁迫下小麦根系超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

由图 5,图 6 知随着盐碱胁迫浓度的提高,根系 SOD 活性逐渐增强;克旱 16 根系的 SOD 活性高于龙麦 26;盐胁迫下 SOD 活性高于同浓度碱胁迫。

腐植酸浸种显著提高了小麦根系 SOD 活性,且提高了盐碱胁迫下小麦根系 SOD 活性;随着盐碱胁迫浓度的增加根系 SOD 活性逐渐降低;盐碱胁迫下,腐植酸浸种后克旱 16 根系 SOD 活性高于龙麦 26;龙麦 26 盐胁迫下根系 SOD 活性高于碱胁迫,而克旱 16 碱胁迫下 SOD 活性高于盐胁迫。

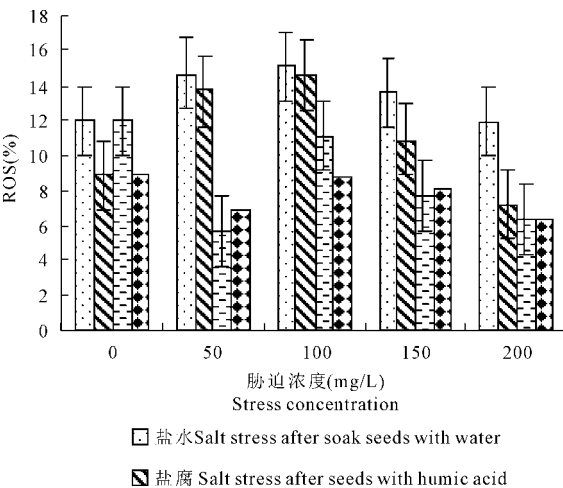


图 1 龙麦 26 根系 ROS 含量

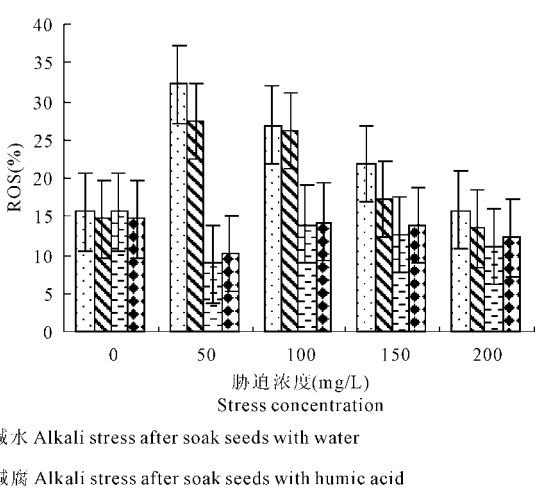


图 2 克旱 16 根系 ROS 含量

注:盐水代表经清水浸种后盐胁迫处理;碱水代表经清水浸种后碱胁迫处理;盐腐代表经腐植酸浸种后盐胁迫处理;碱腐代表经腐植酸浸种后碱胁迫处理。以下图与此一致。

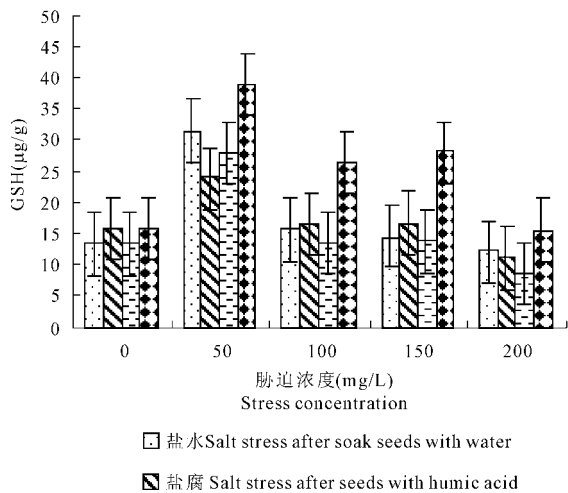


图 3 龙麦 26 根系谷胱甘肽含量

Fig.3 The GSH content of Longmai 26 roots

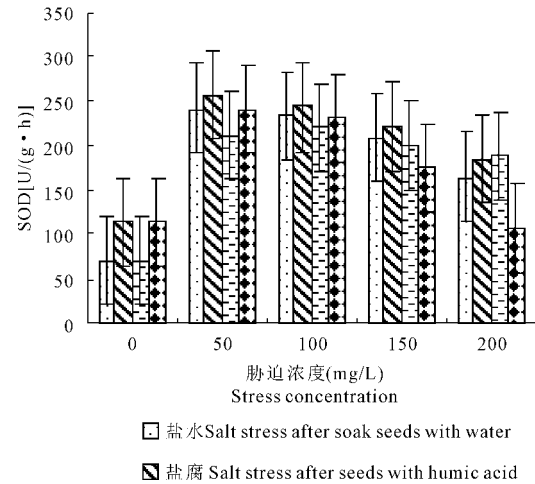


图 5 龙麦 26 根系 SOD 活性

Fig.5 The activity of SOD of Longmai 26 roots

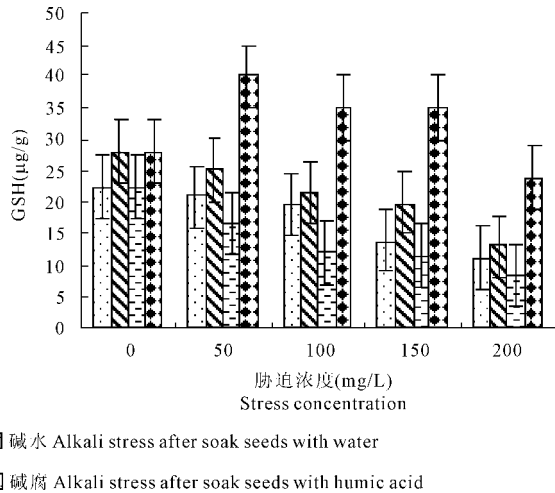


图 4 克旱 16 根系谷胱甘肽含量

Fig.4 The GSH content of Kehan 16 roots

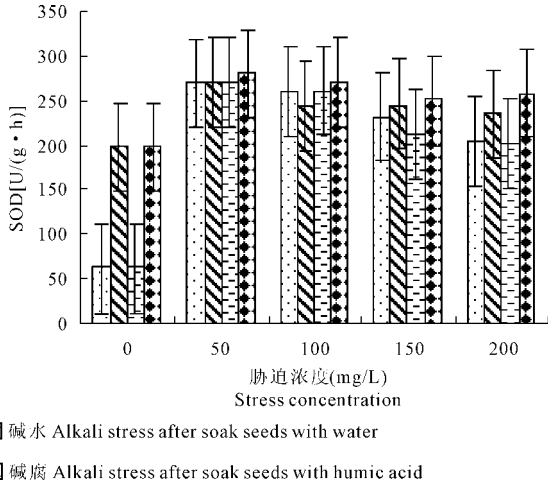


图 6 克旱 16 根系 SOD 活性

Fig.6 The activity of SOD of Kehan 16 roots

2.4 腐植酸对盐碱胁迫下小麦根系过氧化物酶(POD)活性的影响

随着盐碱胁迫浓度的增加 POD 活性逐渐降低;盐胁迫下根系 POD 活性高于同浓度的碱胁迫,且克旱 16 在盐碱胁迫下根系 POD 活性高于龙麦 26(图 7,图 8)。

腐植酸浸种提高了小麦根系 POD 活性,且提高了龙麦 26 在盐碱胁迫下 POD 活性,但降低了克旱 16 在盐碱胁迫下 POD 活性;随着碱胁迫浓度的增加,POD 活性增强,在 50~150 mmol/L 浓度盐胁迫下 POD 活性增强,高于 150 mmol/L 又降低;盐胁迫下龙麦 26 根系 POD 活性高于克旱 16,而碱胁迫下克旱 16 POD 活性高于龙麦 26。

相同浓度盐碱胁迫下,盐胁迫处理的根系 POD 活性高于碱胁迫处理,但腐植酸浸种后,碱胁迫处理

的 POD 活性高于盐胁迫处理。

2.5 腐植酸对盐碱胁迫下小麦根系丙二醛(MDA)含量的影响

盐碱胁迫下,小麦根系 MDA 含量随着盐碱浓度的增加先升后降;盐碱胁迫下克旱 16 的 MDA 含量低于对照,龙麦 26MDA 含量在 150 mmol/L 盐碱胁迫下高于对照,其他浓度低于对照;盐碱胁迫下,克旱 16 根系的 MDA 含量高于龙麦 26(图 9,图 10)。

腐植酸浸种提高了小麦根系 MDA 含量,以及盐胁迫下龙麦 26 根系的 MDA 含量,但腐植酸浸种降低了盐碱胁迫下克旱 16 根系 MDA 含量,及碱胁迫下龙麦 26 的 MDA 含量;盐碱胁迫下,经腐植酸浸种的龙麦 26 根系 MDA 含量高于克旱 16。

在两种浸种方式下,盐胁迫处理的 MDA 含量均高于碱胁迫处理。

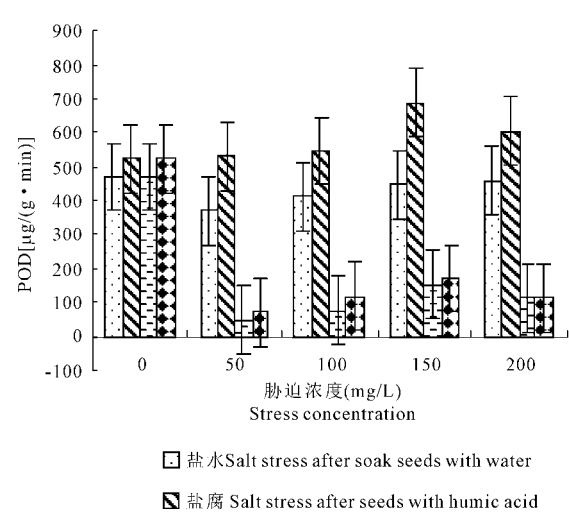


图 7 龙麦 26 根系 POD 活性

Fig.7 The activity of POD of Longmai 26 roots

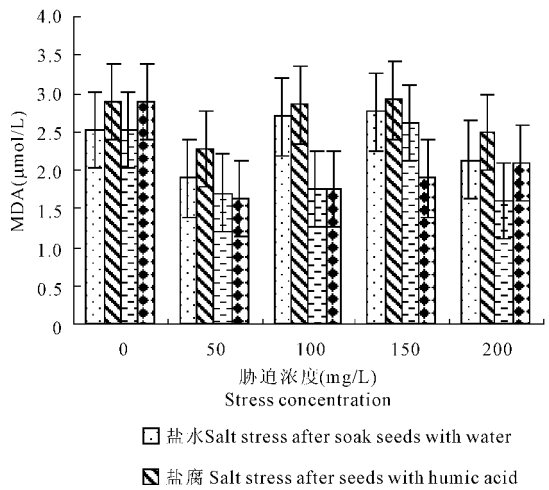


图 9 龙麦 26 根系 MDA 含量

Fig.9 The MDA content of Longmai 26 roots

从表 2 小麦叶片抗氧化系统受本试验的品种、浸种方式、盐碱比例、总 Na^+ 浓度 4 个因子间影响的方差分析可知,盐碱胁迫对小麦 ROS 产生速率、清除物质 GSH 的积累,以及保护酶系的 SOD、POD 的活性,受到品种自身遗传因素和环境盐浓度、盐分组成的多重影响,并受到浸种方式的调控,且影响因子之间存在一定的互作效应。ROS 是小麦受到盐碱胁迫后的逆境信号载体之一,在 ROS 增加的激发作用下,根系内抗氧化系统功能增强,加强了对 ROS 清除,但随着盐碱胁迫强度的增加,ROS 的产生与清除平衡被打破,过多的 ROS 促进了膜脂过氧化,导致 MDA 浓度增加。

综合分析各因子与抗氧化系统关系可知,盐碱胁迫下,克旱 16 植株 ROS 积累量高于龙麦 26,同时,其 SOD 活性也高于龙麦 26,而 POD 活性和 GSH

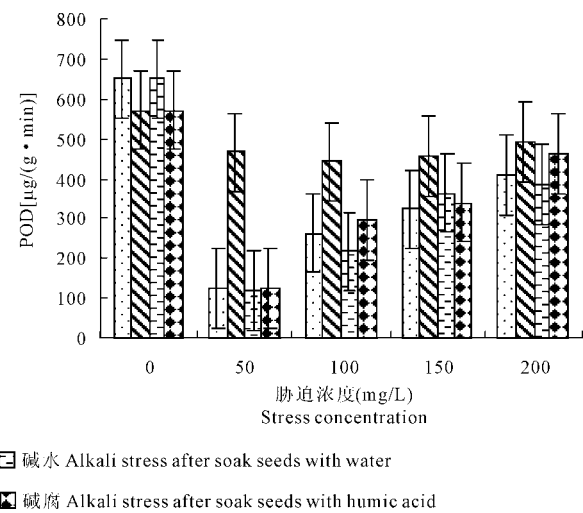


图 8 克旱 16 根系 POD 活性

Fig.8 The activity of POD of Kehan 16 roots

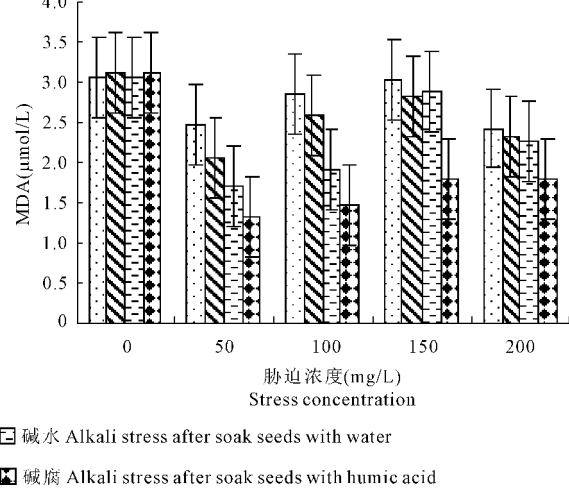


图 10 克旱 16 根系 MDA 含量

Fig.10 The MDA content of Kehan 16 roots

含量两者差异不大,因此,品种间膜脂过氧化程度相近。腐植酸浸种减少了 ROS 产生,并促进了 GSH 合成,增强了 ROS 的清除能力,但可能腐植酸本身不利于维持膜的完整性,所以与清水浸种的膜脂过氧化程度差别不大。碱胁迫的 POD 活性较盐胁迫低,但碱胁迫下 ROS 的积累量也少于盐胁迫,并且, GSH 含量高于盐胁迫,所以其膜脂过氧化程度较盐胁迫轻。随着溶液中盐碱离子浓度的增加,ROS 的产生量先增后降, SOD 活性逐渐降低, GSH 含量降低, POD 活性增强, MDA 含量先增后减。

3 讨论

在盐碱胁迫下,2 个小麦品种幼苗根系内均积累了大量的 MDA,且随着盐碱胁迫浓度的提高,MDA 积累量进一步加大,表明根系发生了膜脂过氧

表 2 抗氧化系统因子方差分析的 p 值分布
Table 2 Variance analysis of factors in antioxidation system

变异来源 Variation source	ROS	GSH	SOD	POD	MDA
V	0.0001	0.0717	0.0112	0.2283	0.5157
PW	0.0296	0.0001	0.3113	0.6697	0.0519
SP	0.0001	0.0012	0.3175	0.0006	0.0010
D	0.0026	0.0003	0.0252	0.0169	0.0089
V×PW	0.8451	0.0018	0.2628	0.0066	0.0163
V×SP	0.0026	0.4509	0.1434	0.0018	0.5979
V×D	0.0455	0.0101	0.4176	0.1095	0.6468
PW×SP	0.0130	0.0002	0.7483	0.7981	0.0447
PW×D	0.6505	0.0295	0.9580	0.4280	0.1138
SP×D	0.0029	0.0961	0.8605	0.5061	0.0761
V×PW×SP	0.1813	0.0235	0.1670	0.0133	0.9640
V×PW×D	0.3155	0.1579	0.2525	0.6401	0.6610
V×SP×D	0.0136	0.1965	0.9746	0.3416	0.5629
PW×SP×D	0.1470	0.0660	0.6080	0.3135	0.1897

注:V 为品种;PW 为浸种方式;SP 为盐碱比例;D 为总 Na⁺ 浓度。
Note: V, variety; PW, presoaking way; SP, salt proportion; D, total Na⁺ density.

化作用,导致细胞膜系统受损,这与莴笋等幼苗根系受 NaCl 影响相同^[18]。SOD 和 POD 的主要作用是消除逆境胁迫下诱导产生的细胞活性氧,防止膜过氧化,保持质膜的完整性,增强植株体的逆境适应能力^[19,20]。周俊国等^[21]对 NaCl 胁迫下南瓜根系的研究表明,根系抗氧化酶 SOD 活性变化较大,而 POD 活性相对较稳定。胡晓辉等^[22]对番茄的研究表明,在盐胁迫下番茄幼苗叶片和根系内 SOD 和 POD 活性都升高。本试验中随着盐碱胁迫浓度的增加,小麦根系 POD 活性增强,而 SOD 活性逐渐降低,且克旱 16 的 SOD 和 POD 活性高于龙麦 26。可见,不同植物或同种植物的不同基因型在盐分胁迫条件下,根系的抗氧化机制不同。

从本试验结果分析来看,腐植酸浸种主要是通过增加 GSH 含量,清除 ROS,降低了膜脂过氧化程度,致使 MDA 含量减少;小麦根系对盐碱胁迫的抗氧化能力在基因型间存在很大差异,克旱 16 根系受到盐碱胁迫后,产生了大量 ROS,但其 SOD 活性也随之增强,加强了 ROS 的清除能力,最终膜脂过氧化程度与龙麦 26 相近。植物在受到盐碱胁迫后,一方面叶肉细胞主动积累溶质,降低渗透势,维持膨压;另一方面,增加活性氧清除酶系活性,提高抗氧化能力。腐植酸与烯效唑^[23]、水杨酸^[1]、精胺^[23]、一氧化氮^[7]等外源调控物质一样,均能提高抗氧化酶的活性,加强对氧自由基的清除能力,但不同的调控物质对根系的保护机制不同。例如,腐植酸浸种

还可以通过提高 GSH 含量加强清除活性氧的能力,与外源 NO^[24]具有相同的作用。

参 考 文 献:

[1] 冯 峰,王育鹏,张 震,等.水杨酸通过一氧化氮信号诱导抗氧化防护来提高小麦幼苗根部耐盐性[J].中国农学通报,2008,24(9):248—252.

[2] 蒋明义.水分胁迫下植物体内的活性氧产生与细胞的氧化损伤[J].植物学报,1999,41(3):229—234.

[3] 杨春武,李长有,尹红娟,等.小冰麦(*Triticum aestivum*-*Agropyron intermedium*)对盐胁迫和碱胁迫的生理响应[J].作物学报,2007,33(8):1255—1261.

[4] 刘丽云.NaCl 胁迫下钙对小麦幼苗保护酶及膜质过氧化的影响[J].江苏农业科学,2010,(3):86—88.

[5] 张超强,杨颖丽,王 莱,等.盐胁迫对小麦幼苗叶片 H₂O₂ 产生和抗氧化酶活性的影响[J].西北师范大学学报(自然科学版),2007,43(1):71—75.

[6] 王俪梅,李青松,周春菊,等.无菌培养条件下不同基因型小麦耐盐性及其生理机制研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):99—104.

[7] 郑春芳,姜 东,戴廷波,等.外源一氧化氮供体硝普钠浸种对盐胁迫下小麦幼苗碳氮代谢及抗氧化系统的影响[J].生态学报,2010,30(5):1174—1183.

[8] 孙 静,张万正,亢伟美,等.盐胁迫和 6-BA、Ca(NO₃)₂、SA 对小麦 POD 的影响[J].山东农业大学学报(自然科学版),2006,37(4):517—520.

[9] 高永生,陈集双.盐胁迫下镧对小麦幼苗叶片抗氧化系统活性的影响[J].中国稀土学报,2005,23(4):490—495.

[10] 陈 明,沈文飏,阮海华,等.一氧化氮对盐胁迫下小麦幼苗根生长和氧化损伤的影响[J].植物生理与分子生物学学报,2004,30(5):569—576.

[11] 郑延海,宁堂原,贾爱君,等.钾营养对不同基因型小麦幼苗 NaCl 胁迫的缓解作用[J].植物营养与肥料学报,2007,13(3):381—386.

[12] 刘良全,张水利,景小元,等.几种化学调控物质对盐胁迫下小麦幼苗生长及生理指标的调控作用[J].麦类作物学报,2010,30(1):73—78.

[13] Bar B A K, Murat A T, Hakan E, et al. Effects of humic substances on plant growth and mineral nutrients uptake of wheat under conditions of salinity[J]. Asian Journal of Crop Science, 2009,1(2):87—95.

[14] 郭启芳,马千全,孙 灿,等.外源甜菜碱提高小麦幼苗抗盐性的研究[J].西北植物学报,2004,24(9):1680—1686.

[15] 赵 旭,王林权,周春菊,等.盐胁迫对不同基因型冬小麦发芽和出苗的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):108—112.

[16] 中国科学院上海植物生理研究所.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999.

[17] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.

[18] 韩春梅,李春龙,贺阳冬,等.NaCl 胁迫对莴笋种子萌发及幼苗根系生理生化指标的影响[J].长江蔬菜(学术版),2009,(10):21—23.

[19] Scandalios L G. Oxygen stress and superoxide dismutase[J]. Plant Physiology, 1993,101,7—12.

(下转第 232 页)

- 的生理测定方法[J]. 种子, 1982, (3): 11—14.
- [13] 李 震, 杨春杰, 张学昆, 等. PEG 胁迫下甘蓝型油菜品种(系)种子发芽耐旱性鉴定[J]. 中国油料作物学报, 30(4): 438—442.
- [14] 胡晓艳, 呼天明, 李红星. 草坪草马蹄金与结缕草种子萌发期抗旱性比较[J]. 草业科学, 2006, 23(1): 89—92.
- [15] 曾彦军, 王彦荣. 几种旱生灌木种子萌发对干旱胁迫的响应[J]. 生态学报, 2002, 13(8): 953—956.
- [16] 张海燕, 李贵全. 大豆抗旱性与生理生态指标关系的研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 140—142.
- [17] Cechin I, Rossi S C, Oliveira V C, et al. Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit[J]. Photosynthetica, 2006, 44(1): 143—146.
- [18] Taiz L, Zeiger E. Plant Physiology (Fourth Edition) [M]. Sinauer Associates, Inc, Publishers, 2006.
- [19] П. П. 葛拉德基, 朱 克. 油用亚麻膨胀种子吸水 and 保水力的鉴定[J]. 植物生理学通讯, 1956, (1): 17.

Effects of simulated drought stress by PEG on sprouting and seedling growth of flax (*Linum usitatissimum* L.)

WANG Lei, TAN Mei-lian, YAN Ming-fang, WANG Li-jun, YAN Xing-chu^{*}

(Key Laboratory of Oil Crop Biology of the Ministry of Agriculture, Oil Crops Research Institute, CAAS, Wuhan 430062, China)

Abstract: The polyethylene glycol (PEG) was used to simulate drought to study the germination and seedling growth of flax. The results showed that seedling was more sensitive to PEG treatment than germination. 5% PEG promoted sprouting, and 15% PEG were appropriate for simulating drought. Under 15% (w/v) PEG treatment, seed vigor was reduced, mean germination index (GI), vigor index (VI), hypocotyl elongation and fresh weight of seedling were repressed significantly, but no consistency was found on the primary root growth; Significant increase was also found in REC, content of malonaldehyde (MDA), proline (Pro) and soluble sugar (SS) of seedling, and difference was found among primary root, hypocotyl and cotyledon.

Keywords: polyethylene glycol; flax; drought stress; germination; drought tolerance

(上接第 226 页)

- [20] Foyer C H, Descourvieres P, Kunert K J. Protection against oxygen radicals; an important defense mechanism studies in transgenic plants [J]. Plant, Cell & Environment, 1994, 17: 507—523.
- [21] 周俊国, 朱月林, 刘正鲁, 等. NaCl 胁迫对中国南瓜杂交种成株期根系生理生化特征的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(10): 2052—2058.
- [22] 胡晓辉, 杜灵娟, 邹志荣. Spd 浸种对盐胁迫下番茄 (*Solanum lycopersicu*) 幼苗的保护效应[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 5152—5157.
- [23] 王 学. 精胺对氯化钠胁迫下黄瓜幼苗根系活性氧代谢的影响[J]. 北方园艺, 2009, (4): 12—14.
- [24] 孙 锋. 一氧化氮和亚甲基蓝对盐胁迫抗虫棉根系的抗氧化能力的影响[J]. 棉花学报, 2009, 21(4): 313—318.

Effects of humic acid on activity of antioxidation system in wheat root under salinity-alkalinity stress

GUO Wei^{1,2}, WANG Qing-xiang¹

(1. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

Abstract: Neutral salt (NaCl) and basic salt (NaHCO₃) were mixed to simulate different concentration salinity-alkalinity stress respectively, two kinds of genotype spring wheat (Longmai 26 and Kehan 16) were treated for soaking seed of humic acid. The content of oxygen free radicals, malondialdehyde (MDA) and glutathione (GSH), and the activity of peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD) of root were determined to investigate the control effects of HA on antioxidant system of wheat root under salinity-alkalinity stress. The results showed that the content of MDA and the activity of POD were increased, however, the activity of SOD were decreased, and the effect of salt stress was more than that of alkali stress. Soaking seed of humic acid reduced the accumulation reactive oxygen species (ROS), increased the activity of POD and SOD in root, and promoted the synthesis of GSH.

Keywords: wheat; root; salinity-alkalinity stress; antioxidation system; humic acid