

doi:10.7668/hbxb.2014.05.023

# 盐胁迫对小麦代换系幼苗叶片保护酶活性影响及染色体效应

靖姣姣<sup>1,2</sup>, 张颖<sup>1,2</sup>, 白志英<sup>1,2</sup>, 李存东<sup>2</sup>

(1. 河北农业大学 生命科学学院, 河北 保定 071001; 2. 河北农业大学, 河北省作物生长调控实验室, 河北 保定 071001)

**摘要:**为研究盐胁迫对小麦代换系酶活性的影响,以中国春-Synthetic 6x 染色体代换系及其亲本为材料,通过测定在盐处理条件下幼苗抗氧化酶 SOD、POD 活性和丙二醛(MDA)含量变化,并对其相关耐盐特性的基因进行染色体定位。采用霍格兰营养液水培法,设置对照(0 mmol/L NaCl)和盐处理(150 mmol/L NaCl),在幼苗两叶一心时进行处理,四叶一心时取样,分别测定对照和盐处理条件下幼苗的 SOD 和 POD 活性以及 MDA 含量。在盐胁迫条件下,小麦代换系幼苗 SOD 和 POD 活性显著升高,丙二醛含量降低。其中,1A、5A、6A、1B、5B、6B、7B 和 5D 代换系的 SOD 活性显著或极显著高于母本中国春,2A、1B、2B、3B、5B、6B、5D 和 6D 代换系的相对 SOD 活性显著或极显著高于母本中国春;3A、4A、5A、6A、7A、6B 和 7D 代换系的 POD 活性显著或极显著高于中国春,4A、5A、6B、1D 和 7D 代换系的相对 POD 活性显著或极显著高于中国春。由于保护酶的作用,在盐胁迫条件下,多数代换系 MDA 含量明显减少,2A、3A、4A、6A、1B、3B、4B、5B、6B、7B、1D、5D 和 7D 代换系的 MDA 含量显著或极显著低于母本中国春,2A、6A、6B、1D 和 2D 代换系的相对 MDA 含量显著或极显著低于母本中国春。Synthetic 6x 的 1B、5B、6B 和 5D 染色体上可能存在诱导幼苗 SOD 活性增强的基因,4A、5A、6B 和 7D 染色体上可能存在诱导幼苗 POD 活性增强的基因,抑制幼苗 MDA 含量高的基因可能存在于 2A、6A、6B 和 1D 染色体上。

**关键词:**小麦代换系;盐胁迫;保护酶;染色体效应

**中图分类号:**S512.01 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2014)05-0134-05

## Effects of Salt Stress on Protective Enzyme Activities and Chromosome of Wheat Substitution Lines

JING Jiao-jiao<sup>1,2</sup>, ZHANG Ying<sup>1,2</sup>, BAI Zhi-ying<sup>1,2</sup>, LI Cun-dong<sup>2</sup>

(1. College of Life Science, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China;

2. Crop Growth Regulation Lab of Hebei Province, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

**Abstract:** Wheat substitution lines between Chinese Spring and Synthetic 6x under the treatments of salt stress were studied to research the effect on antioxidant enzymes SOD, POD activities and MDA content and locating the gene controlling antioxidant enzymes SOD, POD activities and MDA content. Two control groups were carried out under hydroponic experiment. The first control group was growing under Hoagland's solution(0 mmol/L NaCl). The second control group was growing under Hoagland's solution with 150 mmol/L NaCl. Seedlings was treated at the two-leaf stage and measured SOD and POD activity and MDA content under control and salt treatment conditions at four-leaf stage. Substitution lines of wheat significantly increased of SOD and POD activity under salt stress conditions, but the MDA content decreased. SOD activity of 1A, 5A, 6A, 1B, 5B, 6B, 7B and 5D substitution lines were significantly or very significantly higher than female Chinese Spring. 2A, 1B, 2B, 3B, 5B, 6B, 5D and 6D substitution lines of relative SOD activity was significantly or very significantly higher than female Chinese Spring; POD activity of 3A, 4A, 5A, 6A, 7A, 6B and 7D substitution lines were significantly or very significantly higher than China Spring, 4A, 5A, 6B, 1D and 7D substitution lines of relative POD activity significantly or very significantly higher

收稿日期:2014-07-16

基金项目:河北省自然科学基金项目(C2011204016)

作者简介:靖姣姣(1988-),女,河北邯郸人,在读硕士,主要从事植物资源利用与开发研究。

通讯作者:白志英(1967-),女,河北正定人,教授,博士,博士生导师,主要从事植物资源利用与开发研究。

李存东(1964-),男,河北清河人,教授,博士,博士生导师,主要从事作物生理生态研究。

than Chinese Spring. As the role of protective enzymes under salt stress conditions, the MDA content of substitution lines was significantly reduced. 2A, 3A, 4A, 6A, 1B, 3B, 4B, 5B, 6B, 7B, 1D, 5D and 7D substitution lines of MDA content were significantly or very significantly lower than female Chinese Spring, 2A, 6A, 6B, 1D and 2D substitution lines of relative MDA content significantly or very significantly lower than female Chinese Spring. The results showed that the genes increased SOD activity and POD activity might be located on 1B, 5B, 6B and 5D chromosome and 4A, 5A, 6B and 7D chromosome of Synthetic 6x respectively; while the genes inhibiting content might be exist in 2A, 6A, 6B and 1D chromosome of Synthetic 6x under salt stress.

**Key words:** Substitution lines; Salt stress; Protective enzymes; Chromosome effect

目前,世界上受盐渍化影响的土地有 9.55 亿  $\text{hm}^2$ ,我国有 2 600 万  $\text{hm}^2$ ,其中盐碱耕地约 660 万  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>。土地盐渍化限制了作物的生长发育,造成了农作物减产,是影响农业生产的一个主要环境因素。我国的盐渍化土地主要分布在西北和华北地区,而这些地区是我国主要的产粮地区。小麦是世界上第一大粮食作物,是人类主要的食物来源。小麦在生长发育中会受到多种逆境胁迫,盐胁迫是影响小麦生长、降低小麦产量的主要逆境因素之一。因此,小麦的耐盐性研究已经成为国内外专家的研究热点<sup>[2-6]</sup>。

盐胁迫条件下小麦细胞膜透性的变化和抗氧化酶活性可作为小麦耐盐性鉴定指标<sup>[7]</sup>。研究表明,在正常生长条件下,植物体内活性氧的产生和清除是一种动态平衡状态;而在盐胁迫条件下,这种平衡就会被打破,植物体内细胞活性氧含量会明显升高,导致生物膜受到一系列伤害<sup>[8]</sup>。MDA 是膜质过氧化作用的最终产物,MDA 积累越多表明组织的保护能力越弱。而生物体经过长期进化形成了酶类保护系统来清除活性氧,以维持细胞膜的稳定和完整性,从而增强植物对逆境的适应性<sup>[9]</sup>。酶促保护系统包括 SOD、POD、CAT 等酶类,其中 SOD 可以催化植物体内分子氧活化的第一个中间产物( $\text{O}_2^-$ ),从而生成  $\text{H}_2\text{O}_2$  和  $\text{O}_2$ ,处于酶促保护系统的核心地位<sup>[10]</sup>。POD 通过与 SOD 的协同作用,消除  $\text{H}_2\text{O}_2$  对细胞造成的伤害<sup>[11]</sup>。因此,盐胁迫条件下,植物体增强 SOD、POD 及其他抗氧化物质的活性,通过它们的协调作用来共同完成活性氧类的清除<sup>[12]</sup>,从而保护细胞膜结构不受到损害,提高植物的耐盐性。

小麦染色体代换系是研究个别染色体遗传效应的好材料,因为它是一个物种或品种的个别染色体代换另一个物种或品种相应染色体所产生的品系。其全套染色体代换系共有 21 个成员,成员数与其染色体对数等同,每个成员与受体(背景品种)之间仅有一对染色体差异。本试验所用的小麦代换系材料是中国春-Synthetic 6x 代换系。该代换系是将供体

Synthetic 6x 的 21 条染色体导入受体中国春所产生的。前人利用该小麦代换系,分别研究了干旱和低磷胁迫对其生理生化等方面的影响及染色体效应<sup>[13-14]</sup>,而有关盐胁迫对此小麦代换系的影响还未见报道。因此,本试验以中国春-Synthetic 6x 代换系为材料,设置了不同盐处理,研究了盐胁迫下该代换系幼苗保护酶活性及丙二醛含量的变化,并确定了调控相关性状的染色体,从而为耐盐基因型的选育和遗传改良提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

采用中国春-Synthetic 6x 染色体代换系及其亲本(由 John Innes Centre, Norwich Research Park, Colney, Norwich NR4 7UH, U. K. 提供)为材料。

### 1.2 试验设计

试验于 2012-2013 年在河北农业大学试验站进行,采用霍格兰营养液水培法。试验时,首先选取均匀、饱满的小麦种子 30 粒,经过 0.11% 升汞消毒 10 min,然后去离子水冲洗并浸泡 24 h,最后均匀摆放在铺有滤纸的培养皿中,置于光照培养箱中( $20 \pm 2$ )  $^{\circ}\text{C}$  培养,每天用去离子水浇灌。等到培养幼苗 7 d 后,去掉胚乳,选择长势一致的健壮幼苗,移入 pH 值 6.0 左右的营养液中进行水培,每 3 d 通 1 次气,每周更换 1 次营养液。两叶一心时对幼苗进行盐处理。设置盐浓度为 0 (对照), 150 mmol/L (盐胁迫) 2 个处理,3 次重复。

### 1.3 试验方法

取干净新鲜小麦叶片 0.3 g 置于冰浴研钵中,首先加入 pH 值 7.8 的磷酸缓冲液 1 mL,充分研磨至匀浆,然后再加入 4 mL pH 值 7.8 的磷酸缓冲液,搅拌均匀,最后转入 10 mL 离心管内,4  $^{\circ}\text{C}$  10 000 r/min 冷冻离心 20 min,取出上清液,即为 SOD、POD 和 MDA 的粗提液。SOD 活性采用 NBT 光化学还原法<sup>[15]</sup>;POD 活性采用愈创木酚法<sup>[16]</sup>;MDA 含量参照赵世杰等<sup>[17]</sup>改进的方法;相对值 = 盐处理

值/对照值。

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS V17.0 软件对数据进行统计分析,采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检测。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫对小麦代换系幼苗 SOD 活性的影响

由表 1 看出,盐胁迫条件下,大多数代换系的 SOD 活性都明显高于对照,表明小麦通过增强自身 SOD 活性来抵御盐胁迫对其所造成的伤害,从而增强耐盐性。在盐胁迫下,1A、5A、6A、1B、5B、6B、7B 和 5D 代换系 SOD 活性显著或极显著高于母本中国春,2A、1B、2B、3B、5B、6B、5D 和 6D 代换系的相对 SOD 活性显著或极显著高于母本中国春;由此表明,Synthetic 6x 的 1B、5B、6B 和 5D 染色体上可能存在盐胁迫下诱导幼苗 SOD 活性增强的基因。

表 1 盐胁迫和对照条件下中国春-Synthetic 6x 代换系及其亲本幼苗 SOD 活性变化

Tab.1 The change of SOD activity in seeding of CS-Synthetic 6x substitution lines and their parents under salt stress and control treatments U/g

基因型 Genotypes	正常 Control	盐胁迫 Salt stress	相对值 Ratio
1A	0.287	0.846 <sup>++</sup>	2.970
2A	0.194	0.618	3.312 <sup>+</sup>
3A	0.456 <sup>++</sup>	0.746	1.663
4A	0.311	0.260	0.842
5A	0.363	0.888 <sup>++</sup>	2.467
6A	0.570 <sup>++</sup>	0.890 <sup>++</sup>	1.565
7A	0.562 <sup>++</sup>	0.732	1.305
1B	0.245	0.785 <sup>+</sup>	3.210 <sup>+</sup>
2B	0.133	0.549	4.105 <sup>++</sup>
3B	0.167	0.701	4.206 <sup>++</sup>
4B	0.255	0.549	2.205
5B	0.155	0.938 <sup>++</sup>	6.065 <sup>++</sup>
6B	0.248	0.968 <sup>++</sup>	3.899 <sup>++</sup>
7B	0.435 <sup>++</sup>	0.795 <sup>+</sup>	1.860
1D	0.333	0.683	2.090
2D	0.348	0.762	2.207
3D	0.208	0.533	2.582
4D	0.313	0.655	2.108
5D	0.173	0.853 <sup>++</sup>	5.027 <sup>++</sup>
6D	0.186	0.697	3.776 <sup>++</sup>
7D	0.263	0.531	2.032
CS	0.294	0.664	2.279
Synthetic 6x	0.717 <sup>++</sup>	0.955 <sup>++</sup>	1.331

注: + 和 ++ 分别表示 0.05 和 0.01 水平上显著高于中国春; - 和 - 分别表示 0.05 和 0.01 水平上显著低于中国春。表 2,3 同。

Note: + and ++ mean significantly higher than Chinese Spring at 0.05 and 0.01 level respectively; - and - mean significantly lower than Chinese Spring at 0.05 and 0.01 level respectively. The same as Tab.2,3.

### 2.2 盐胁迫对小麦代换系幼苗 POD 活性的影响

由表 2 看出,盐胁迫下多数代换系的 POD 活性也都高于对照,表明小麦幼苗为了抵御盐胁迫对其所造成的伤害而增强了 POD 活性。盐胁迫处理下,不同代换系间存在明显差异,在盐胁迫处理下 3A、4A、5A、6A、7A、6B 和 7D 代换系的 POD 活性显著或极显著高于中国春,4A、5A、6B、1D 和 7D 代换系的相对 POD 活性显著或极显著高于中国春。由此表明,Synthetic 6x 的 4A、5A、6B 和 7D 染色体上可能存在盐胁迫下诱导幼苗 POD 活性增强的基因。

表 2 盐胁迫和对照条件下中国春-Synthetic 6x 代换系及其亲本幼苗 POD 活性变化

Tab.2 The change of POD activity in seeding of CS-Synthetic 6x substitution lines and their parents

基因型 Genotypes	正常 Control	盐胁迫 Salt stress	相对值 Ratio
1A	36.562	33.402	0.919
2A	30.416	32.708	1.075
3A	35.347	39.791 <sup>+</sup>	1.126
4A	28.611	42.395 <sup>++</sup>	1.495 <sup>++</sup>
5A	27.222	46.527 <sup>++</sup>	1.725 <sup>++</sup>
6A	35.347	43.888 <sup>++</sup>	1.249
7A	33.472	43.750 <sup>++</sup>	1.308
1B	30.486	36.805	1.207
2B	27.083	32.013	1.180
3B	25.486	31.250	1.223
4B	30.833	32.083	1.040
5B	30.520	34.652	1.151
6B	27.638	43.750 <sup>++</sup>	1.583 <sup>++</sup>
7B	35.416	30.277	0.861
1D	27.013	39.062	1.450 <sup>++</sup>
2D	30.902	32.916	1.072
3D	32.013	32.986	1.063
4D	27.187	30.763	1.130
5D	33.402	37.583	1.154
6D	31.770	34.930	1.099
7D	32.013	42.847 <sup>++</sup>	1.337 <sup>+</sup>
CS	33.263	33.958	1.030
Synthetic 6x	88.819 <sup>++</sup>	90.277 <sup>++</sup>	1.016

### 2.3 盐胁迫对小麦代换系幼苗 MDA 含量的影响

由表 3 看出,对照条件下,各代换系 MDA 含量各不相同。在盐胁迫条件下,多数代换系 MDA 含量明显减少。MDA 是膜脂过氧化产物,表明小麦幼苗在盐胁迫下,其膜系统受到不同程度伤害。盐胁迫下,2A、3A、4A、6A、1B、3B、4B、5B、6B、7B、1D、5D 和 7D 代换系的 MDA 含量显著或极显著低于母本中国春,2A、6A、6B、1D 和 2D 代换系的相对 MDA 含量显著或极显著低于母本中国春。由此表明,在

小麦苗期 Synthetic 6x 的 2A、6A、6B 和 1D 染色体上可能存在盐胁迫下抑制 MDA 含量增高的基因。

表 3 盐胁迫和对照条件下中国春-Synthetic 6x 代换系及其亲本幼苗 MDA 含量变化

Tab.3 The change of MDA activity in seeding of CS-Synthetic 6x substitution lines and their parents

under salt stress and control treatments $\mu\text{mol/g}$			
基因型 Genotypes	正常 Control	盐胁迫 Salt stress	相对值 Ratio
1A	6.152 <sup>++</sup>	4.501	0.746
2A	4.406	2.992 <sup>--</sup>	0.678 <sup>-</sup>
3A	3.570	3.320 <sup>--</sup>	0.929
4A	3.963	3.134 <sup>--</sup>	0.791
5A	5.397 <sup>+</sup>	4.330	0.819
6A	5.438 <sup>+</sup>	3.536 <sup>-</sup>	0.657 <sup>-</sup>
7A	4.086	6.235	1.535
1B	3.080 <sup>-</sup>	3.540 <sup>-</sup>	1.186
2B	3.114 <sup>-</sup>	3.861	1.242
3B	3.127 <sup>-</sup>	2.747 <sup>--</sup>	0.891
4B	3.684	3.537 <sup>-</sup>	0.990
5B	3.416	2.837 <sup>--</sup>	0.841
6B	6.544 <sup>++</sup>	3.449 <sup>-</sup>	0.527 <sup>--</sup>
7B	4.290	3.345 <sup>-</sup>	0.800
1D	5.296 <sup>+</sup>	3.185 <sup>--</sup>	0.599 <sup>--</sup>
2D	6.658 <sup>++</sup>	3.924	0.594 <sup>--</sup>
3D	3.316	3.761	1.154
4D	5.997 <sup>++</sup>	4.409	0.737
5D	3.642	3.482 <sup>-</sup>	0.982
6D	5.314 <sup>+</sup>	5.593	1.065
7D	3.634	3.285 <sup>--</sup>	0.918
CS	4.270	4.407	1.035
Synthetic 6x	9.272 <sup>++</sup>	7.733	0.836

### 3 讨论

植物在逆境胁迫或衰老过程中,细胞内代谢平衡会遭到破坏而产生大量自由基,过剩的自由基会引发或加剧膜脂过氧化作用,造成细胞膜系统结构与功能的破坏。植物体为了抵抗逆境,通过增强 SOD、POD、CAT 及其他抗氧化物质的活性来清除活性氧自由基,保护细胞膜结构,提高植物的耐盐性。

保护酶活性通常被认为是植物处于逆境或衰老时机体做出抗胁迫反应的重要生理指标。其中 SOD、POD 参与维持活性氧生成与清除的动态平衡过程,因此,它们的大小可以反映植物抗胁迫能力的强弱<sup>[18]</sup>。研究发现,受 NaCl 胁迫 20 d 的大果沙枣,其植物体内 SOD、POD、CAT 的活性随盐浓度增加而增强,由于这种高保护酶活性使得大果沙枣的叶片在 300 mmol/L 的 NaCl 胁迫下,细胞膜受到较轻的损伤<sup>[19]</sup>。同样,在盐胁迫下,菊芋的 SOD、POD、

CAT 活性升高,植株的耐盐性有了显著增强<sup>[20]</sup>。本试验结果表明,小麦代换系及其亲本在盐胁迫下 SOD 活性和 POD 活性都高于对照,说明代换系及其亲本幼苗通过增强保护酶活性来抵御盐胁迫从而提高耐盐性,这与前人研究结果一致。

膜脂过氧化的次生产物丙二醛(MDA)是用于检测膜脂过氧化程度的一个公认指标<sup>[21]</sup>。许多研究表明,植物在逆境下(低温、高盐、SO<sub>2</sub>、强光、衰老)膜的结构与功能受到破坏,导致 MDA 含量增加<sup>[22]</sup>。但李慧等<sup>[23]</sup>以胡卢巴为试验材料,研究了 NaCl 胁迫下其幼苗叶和根中抗氧化酶 SOD、POD、CAT 活性及丙二醛(MDA)含量的变化,发现在根中抗氧化酶的协同作用下,MDA 含量减少并被控制在较稳定的阶段。米少艳<sup>[24]</sup>研究了低磷胁迫对小麦代换系根系保护酶活性及丙二醛含量的影响,发现小麦代换系幼苗根系中由于抗氧化酶活性升高导致 MDA 含量减少,从而降低了膜脂过氧化水平,提高了其抗性。本试验结果表明,在盐胁迫下,小麦幼苗的 MDA 含量与对照相比大部分都有所降低或控制在较稳定阶段,说明在小麦代换系幼苗同样由于抗氧化酶活性升高而减少 MDA 含量,降低了膜脂过氧化水平,此结果与李慧、米少艳的研究结果较为一致。

近年来,国内外诸多学者对小麦代换系中细胞保护酶活性及 MDA 含量进行了染色体定位研究。Bosch 等<sup>[25]</sup>对小麦子粒中的 POD 酶进行了染色体定位,将 Per-D4 定位在 7DS 上。Paula 等<sup>[26]</sup>以普通小麦为研究材料,分别把 SOD-A1、SOD-B1、SOD-D1 以及 SOD-R1 定位在 2AL、2BL、2DL、2R 染色体上。张娟等<sup>[27]</sup>以中国春-埃及红代换系为材料,认为干旱胁迫下能诱导 SOD、POD 活性增强的有利基因分别位于 6D、2B 和 7D 染色体上。白志英等<sup>[11]</sup>以中国春-Synthetic 6x 代换系为材料,将干旱胁迫下诱导 SOD 活性增强的基因定位于 Synthetic 6x 的 2B 和 7D 染色体上,将诱导 POD 活性增强的有利基因定位于 1A、2A 和 2D 染色体上,将干旱胁迫下抑制 MDA 含量升高的基因定位于 7A、1D 和 7D 染色体上。郑金凤等<sup>[12]</sup>研究表明,低磷胁迫下 Synthetic 6x 的 5A、2D、5D、7D 染色体上可能存在抑制叶片 MDA 含量增高的基因。本试验结果表明,在盐胁迫条件下,诱导幼苗 SOD、POD 活性增强的基因分别位于 Synthetic 6x 的 1B、5B、6B、5D 染色体上和 4A、5A、6B 和 7D 染色体上。2A、6A、6B 和 1D 染色体上可能存在抑制 MDA 含量增高的基因。

## 参考文献:

- [1] 邵桂花,常汝镇,陈一舞.大豆耐盐性研究进展[J].大豆科学,1993,12(3):244-248.
- [2] 杨颖丽,杨宁,王莱,等.盐胁迫对小麦幼苗生理指标的影响[J].兰州大学学报:自然科学版,2007,43(2):29-34.
- [3] 李金亭,赵萍萍,邱宗波,等.外源 $H_2O_2$ 对盐胁迫下小麦幼苗生理指标的影响[J].西北植物学报,2012,32(9):1796-1801.
- [4] 郭伟,于立河.腐殖酸浸种对盐胁迫下小麦萌发生子及幼苗生理特性的影响[J].麦类作物学报,2012,32(1):90-96.
- [5] 周琳,牛明功,陈龙.盐胁迫对黑麦、硬粒小麦和小黑麦发芽的影响[J].河南农业科学,2010(1):8-10.
- [6] 杨国会,石德成.盐碱胁迫对小冰麦相对生长率及茎叶离子积累的影响[J].河南农业科学,2011,40(1):45-47.
- [7] 梁洪艳.黑龙江省春小麦耐盐性的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2007:33-34.
- [8] 王有年,张海英,卜庆雁,等.水分胁迫对李叶片抗氧化代谢的影响[J].北京农学院学报,2003,18(2):97-100.
- [9] 时忠杰,胡哲森,李荣生.水分胁迫与活性氧代谢[J].贵州大学学报:农业与生物科学版,2002,21(2):140-145.
- [10] Bowler C, Vanmotagu M, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology, 1992,43:83-116.
- [11] 蒋明义,郭绍川.水分亏缺诱导的氧化胁迫和植物的抗氧化作用[J].植物生理学通讯,1996,32(2):144-150.
- [12] 刘爱荣,赵可夫.盐胁迫下盐芥渗透调节物质的积累及其渗透调节作用[J].植物生理与分子生物学报,2005,31(4):389-395.
- [13] 白志英,李存东,吴同燕,等.干旱胁迫条件下小麦旗叶酶活性和丙二醛含量的染色体定位[J].植物遗传资源学报,2009,10(2):255-261.
- [14] 郑金凤,董少鸣,李成璞,等.低磷胁迫对小麦代换系保护酶活性和丙二醛含量的影响及染色体效应[J].植物营养与肥料学报,2010,16(6):1366-1372.
- [15] 李柏林,梅慧生.燕麦叶片衰老与活性氧代谢的关系[J].植物生理学报,1989,15(1):6-12.
- [16] 张宪政.作物生理研究法[M].北京:农业出版社,1992.
- [17] 赵世杰,许长成,邹琦,等.植物组织中丙二醛测定方法的改进[J].植物生理学通讯,1994,30(3):207-210.
- [18] 尹永强,胡建斌,邓明军.植物叶片抗氧化系统及其对逆境胁迫的响应研究进展[J].中国农学通报,2007,23(1):105-110.
- [19] 齐曼·尤努斯,李秀霞,李阳,等.盐胁迫对大果沙枣膜脂过氧化和保护酶活性的影响[J].干旱区研究,2005,22(4):503-507.
- [20] Xue Y F, Liu Z P. Antioxidant enzymes and physiological characteristics in two jerusalem artichoke cultivars under salt stress [J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2008,55(6):776-781.
- [21] Meloni D A, Oliva M A, Martinez C A. Photosyn2 thesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress [J]. Environ Export, 2003(49):69276.
- [22] 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.
- [23] 李慧,王妙媛,彭立新,等. NaCl 胁迫对胡卢巴幼苗抗氧化酶活性和丙二醛含量的影响[J].华北农学报,2012,27(2):185-188.
- [24] 米少艳,靖姣姣,白志英,等.低磷对小麦代换系幼苗根系保护酶活性和丙二醛含量的影响及染色体效应[J].华北农学报,2013,28(2):91-95.
- [25] Bosch A, Vega C, Benito C. The peroxidase isozymes of the wheat kernel: tissue and substrate specificity and their chromosomal location [J]. TAG. Theoretical and Applied Genetics. Theoretische und Angewandte Genetik, 1987,73(5):701-706.
- [26] Paula R, Neuman P R, Hart G E. Genetic control of the mitochondrial form of superoxide dismutase in hexaploid wheat [J]. Biochemical Genetics, 1986,24(5/6):435-446.
- [27] 张娟,张正斌,谢惠民,等.小麦叶片水分利用效率及相关生理性状基因的染色体定位[J].西北植物学报,2005,25(8):1521-1527.