

干旱条件下锌对玉米根系生长及叶片 保护酶活性的影响

李 萌, 陆欣春, 田霄鸿, 买文选, 杨习文, 南雄雄

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**探讨锌与作物抗氧化防御系统及抗旱性的关系,揭示锌的抗旱作用机制。**【方法】**以陕单 308 为供试材料,采用盆栽试验,研究不同水分条件(正常供水、轻度水分胁迫、严重水分胁迫)下,施用锌肥对不同生长期玉米根系生长参数、叶片保护酶活性和丙二醛含量的影响。**【结果】**严重水分胁迫处理对玉米根系伤害较大,施锌肥可减轻其伤害作用,但难以恢复到作物正常生长状态。在正常供水条件下,施锌可显著提高 POD 活性,并表现出一定的营养功能;在玉米花期,施锌可提高玉米叶片保护酶 POD、SOD 和 CAT 活性,降低丙二醛(MDA)含量,有利于提高水分胁迫下玉米的抗旱性。**【结论】**除了具有营养功能外,锌还具有提高植物抗旱性的作用,但是该作用是较有限的。

[关键词] 玉米; 锌; 水分胁迫; 抗旱性; 根系生长; 保护酶活性

[中图分类号] S513.062; S143.7⁺2; Q945.12 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2009)10-0109-06

Effect of zinc on the growth of maize roots and activity of the protective enzyme of maize leaves under the drought conditions

LI Meng, LU Xin-chun, TIAN Xiao-hong, MAI Wen-xuan, YANG Xi-wen, NAN Xiong-xiong

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** The antioxidant defenses and crop stress-resistance by applying zinc (Zn) under drought conditions were investigated to reveal the drought resistance mechanism of zinc. **【Method】** A pot experiment was conducted to study the effect of zinc on the growth of maize roots, the protective enzyme activity and the concentration of MDA of maize leaves of different growth stages under the various water supply, the water supply was designed in three rates, namely, adequate water supply, mild water stress, and severe water stress. **【Result】** The results indicated that, the damage of maize roots was more obviously caused by the severe water stress. Applying Zn fertilizer could decrease the damage, but the crop could not return to the normal. Zn application increased significantly the activity of POD under adequate water supply, and showed nutritional functions. In the key period of blooming, Zn application could increase the enzyme activities of POD, SOD, CAT, and decrease the concentration of MDA, so it is propitious to the drought resistance of maize. **【Conclusion】** Zn application can not only show nutritional functions, but also play a certain role in drought resistance, but the effect is limited.

Key words: maize; zinc; water stress; drought resistance; growth of roots; activity of protective enzyme

* [收稿日期] 2009-01-13

[基金项目] 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-06-0866);西北农林科技大学青年学术骨干支持计划项目(2006);国家自然科学基金重点项目(30230230)

[作者简介] 李 萌(1983—),男,贵州贵阳人,硕士,主要从事旱地植物营养生理与养分调控研究。

[通信作者] 田霄鸿(1967—),男,甘肃天水人,教授,博士生导师,主要从事旱地养分资源管理研究。E-mail:txhong@hotmail.com

我国北方地区石灰性土壤缺锌,同时伴随水分供应不足,两者成为限制作物产量和品质提高的重要因素。锌是植物生长的必需元素,施锌能显著促进玉米植株生长,尤其是在土壤水分供应充足时,施锌的作用效果更好^[1]。研究表明^[2-4],施用适当的锌肥,能显著增加叶片的叶绿素含量,提高光合强度和光合作用效率。Cakmak 等^[5]认为,与其他元素一样,锌是植物体内一些酶的组成成分,其可以提高超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性,通过保持和稳定膜组成以消除活性氧的光氧化作用,具有一定的抗旱效果。

提高农业水资源利用效率,增强作物抗旱能力,对我国北方干旱区农业的可持续发展具有十分重要的实际意义。研究和实践表明,在合理耕作的基础上,增施肥料,改善作物营养,可以显著提高作物的水分利用效率,是一项重要的节水抗旱措施^[6-7]。多年来,对水分与氮、磷、钾等大量元素养分之间的耦合作用已进行了详细研究^[6],但还需要深入研究植物干旱胁迫与锌供应之间的关系。张立新等^[8]指出,要证明营养元素的抗旱作用,必须区别其营养作用。为了研究锌在水分胁迫下的抗旱效果究竟是各种效果的综合表现,还是调节渗透所表现出的独特抗旱作用,本研究在正常供水、轻度和严重水分胁迫 3 种条件下,采用盆栽试验,通过测定根系生长量、体积及表面积,探讨锌对玉米抗旱生理效应的影响,并且通过测定叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性等生理特性,探讨锌与作物抗氧化防御系统及抗旱性的关系,以期为进一步研究锌的抗旱机制奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试品种 供试玉米品种为‘陕单 308’(Zea mays L. ‘Shandan 308’)。

1.1.2 供试土壤 供试土壤为塿土亚类油土属红油土种(土垫旱耕人为土),采自西北农林科技大学农作一站 0~20 cm 耕层,其有机质含量 8.8 g/kg,全 N 0.82 g/kg,NO₃⁻-N 35.1 g/kg,NH₄⁺-N 19.1 g/kg,Olsen-P 11.3 g/kg,DTPA-Zn 0.45 mg/kg。

1.1.3 供试肥料 供试肥料为 ZnSO₄·7H₂O。

1.2 试验设计

试验于 2007 年夏季在西北农林科技大学玻璃网室中进行。采用盆栽试验,共设水分和锌肥 2 个试验因子。锌肥因子设不施 Zn(CK)和施 Zn 2 个水

平,施锌处理的锌用量为 40 mg/kg,采用 ZnSO₄·7H₂O 作为底肥施入,于花期再喷施 1 次,喷施的 ZnSO₄·7H₂O 质量浓度为 0.2 g/L。水分因子共设 3 个水平,即水分充足(H,土壤含水量为田间持水量的 90%);轻度水分胁迫(M,土壤含水量为田间持水量的 65%)和严重水分胁迫(L,土壤含水量为田间持水量的 45%)。水分、Zn 肥因子进行完全处理组合共 6 个处理,即 L-CK:严重水分胁迫不加锌;L-Zn:严重水分胁迫加锌;M-CK:轻度水分胁迫不加锌;M-Zn:轻度水分胁迫加锌;H-CK:水分充足不加锌;H-Zn:水分充足加锌。每处理重复 10 次,共 60 盆。每盆装入干土 10 kg,N、P₂O₅ 用量分别为 0.2 和 0.15 g/kg,以尿素和 KH₂PO₄ 的形式加入,将肥料与土壤混匀后装盆。全生育期内采用质量法控制灌水。培养试验共进行 90 d。

出苗后每盆留苗 3 株,第 1 次采样(拔节期)时留苗 1 株。

1.3 测定项目及方法

分别在玉米生长发育的拔节期(05-08)、喇叭口期(05-20)、花期(06-07)和成熟期(07-06)采样,每次分别采集各处理植物样品 2 株。齐地收获,并从盆钵中取出根系,测量根系鲜质量、体积和表面积。取地上部分叶片用于测定 SOD、CAT 和 POD 活性及 MDA 含量。

1.3.1 根系生长参数 根系体积用排水法测定;根系表面积按公式 $S=2(\pi VL)^{1/2}$ 计算^[9],其中 V 为根体积,L 为根长。

1.3.2 酶活性 SOD、POD、CAT 活性采用文献[10-11]的方法测定。

1.3.3 MDA 含量 MDA 含量采用文献[10]的方法测定。

1.4 数据处理

采用 SAS 统计软件对试验数据进行方差分析和多重比较(SSR 法)。

2 结果与分析

2.1 锌对玉米根系生长参数的影响

由表 1 可见,在玉米的各个生育期,根系各项生长参数均表现为正常水分处理>轻度水分胁迫>严重水分胁迫,并且随着玉米的生长差异更加明显。与不施锌相比,在正常供水条件下,施锌显著增加了玉米拔节期和成熟期的根鲜质量、根系体积及表面积;在轻度及严重水分胁迫条件下,施锌玉米根系各项生长参数均有增加,但差异未达显著水平。由此

可见,在正常供水条件下,施锌可以促进玉米根系的生长;与正常供水处理相比,轻度水分胁迫处理对玉米根系的伤害不大,但严重水分胁迫处理对玉米根系伤害较大,施锌肥虽可在一定程度上减轻其伤害作用,但仍难以恢复到作物的正常生长水平。

表 1 不同水分条件下施锌对玉米根系生长参数的影响

生长参数 Growth parameter	处理 Treatment	拔节期 Jointing stage	喇叭口期 Trumpet stage	花期 Flowering stage	成熟期 Mature stage
根鲜质量/g Root fresh weight	H-CK	16.18 b	50.71 b	59.66 ab	62.55 b
	H-Zn	26.70 a	66.38 a	77.83 a	83.13 a
	M-CK	14.54 bc	31.84 c	48.78 abc	50.68 b
	M-Zn	14.10 bc	33.23 c	60.36 ab	66.79 b
	L-CK	10.44 c	20.12 c	22.34 c	24.56 c
	L-Zn	9.93 c	18.07 c	30.01 bc	33.56 c
根系体积/mL Root volume	H-CK	20.00 b	50.00 ab	57.50 ab	60.10 b
	H-Zn	30.00 a	60.00 a	75.50 a	80.34 a
	M-CK	14.67 b	32.50 bc	49.00 abc	55.00 b
	M-Zn	17.00 b	37.50 b	61.50 ab	68.99 b
	L-CK	12.00 b	17.50 c	16.50 c	17.30 c
	L-Zn	14.00 b	17.50 c	27.50 bc	27.60 c
根表面积/cm ² Root surface area	H-CK	63.75 b	178.45 ab	207.53 ab	217.29 b
	H-Zn	100.15 a	223.61 a	271.59 a	289.63 a
	M-CK	51.47 b	113.94 cd	173.26 abc	187.11 b
	M-Zn	54.86 b	125.10 bc	215.84 ab	240.57 b
	L-CK	39.57 b	66.39 d	68.03 c	73.05 c
	L-Zn	41.78 b	63.02 d	101.69 bc	107.86 c

注:表中数据为 1 次取样时 2 株的平均值。同列数据后标相同字母表示差异不显著($P>0.05$),标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note:Data in this table are averages of 2 plants. The same letters within each column indicate no significant difference at 5 % level, the different letters indicate significant difference at 5 % level.

2.2 锌对玉米幼苗叶片抗氧化酶活性的影响

2.2.1 过氧化物酶(POD) 由图 1 可以看出,在玉米全生育期内,玉米 POD 活性呈现出先增加后降低的变化趋势,于玉米生长的喇叭口期达到最大值。施锌处理后玉米的 POD 活性均较不施锌处理高。在正常供水条件下,除花期外,施锌肥可显著提高玉米其余生育期叶片的 POD 活性;而在水分胁迫条件

下,施锌肥也能提高 POD 活性,但增幅较小,可见锌肥主要表现出营养作用。在玉米花期,严重水分胁迫、轻度水分胁迫和正常供水条件下,施锌后玉米叶片的 POD 活性较不施锌分别提高 20.3%,23.4%和 10.2%,可见在水分胁迫条件下,锌对提高玉米叶片 POD 活性的促进作用较大。

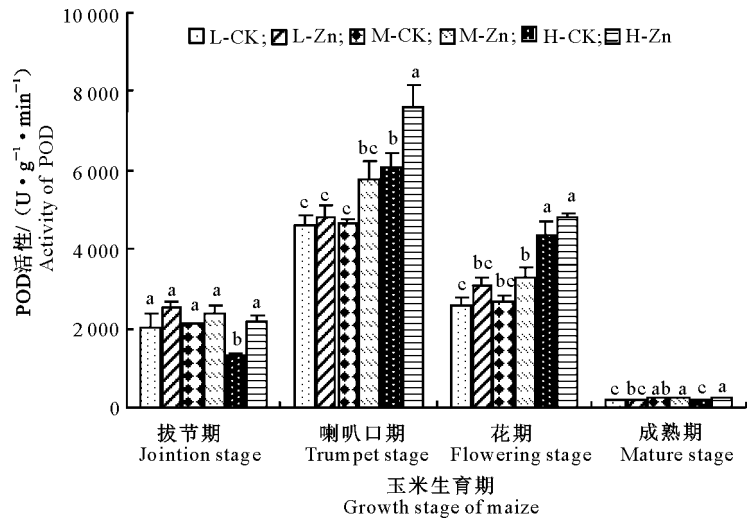


图 1 不同水分条件下施 Zn 对玉米叶片 POD 活性的影响
Fig. 1 Change of POD activity of maize under zinc and different water supplies

2.2.2 超氧化物歧化酶(SOD) 锌与作物的 SOD 活性有密切联系。图 2 显示,玉米全生育期内,SOD 活性也呈现先增加后降低的趋势,且在花期达到最大值。正常供水条件下,施锌后玉米的 SOD 活性与不施锌相比差异并不显著(除了喇叭口期)。严重和轻度水分胁迫条件下,施锌后玉米的 SOD 活性较不施锌时均有不同程度的提高,但以拔节期轻度水分

胁迫时的提高最为明显,增幅达到 67.9%。在玉米花期,严重水分胁迫、轻度水分胁迫和正常供水条件下,施锌后玉米叶片的 SOD 活性较不施锌时分别提高 33.6%,7.1%和 1.7%,可见锌在正常供水条件下,对 SOD 活性的影响较小,而在水分胁迫时,施锌可提高玉米叶片的 SOD 活性。

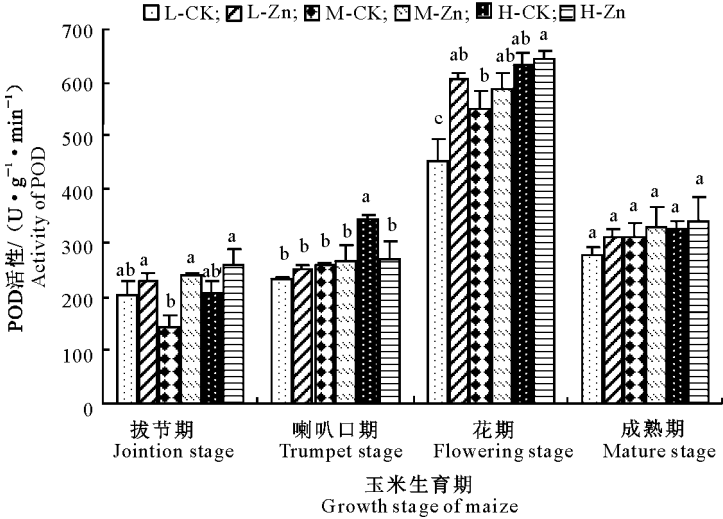


图 2 不同水分条件下施 Zn 对玉米叶片 SOD 活性的影响

Fig. 2 Effect of zinc on the SOD activity of maize under different water supplies

2.2.3 过氧化氢酶(CAT) 过氧化氢酶是除 SOD 和 POD 之外另一种能反映植物抗旱性的酶。图 3 显示,在玉米生育期内,CAT 活性的变化与 SOD 相似,即随着玉米生育期的推进,亦呈现出先升高后降低的变化趋势,且也于花期达到最大值。严重和轻度水分胁迫条件下,施锌后玉米的 CAT 活性较不施锌处理均有不同程度的升高,以喇叭口期严重水

分胁迫时的提高最为明显,增幅达到 454.9%。在玉米花期,加锌处理后玉米叶片的 CAT 活性增幅由大到小依次为严重水分胁迫(29.2%)>轻度水分胁迫(9.6%)>正常供水条件(-6.2%)。由此可知,在玉米花期水分胁迫条件下,锌对 CAT 活性提高也有较大幅度的促进作用。

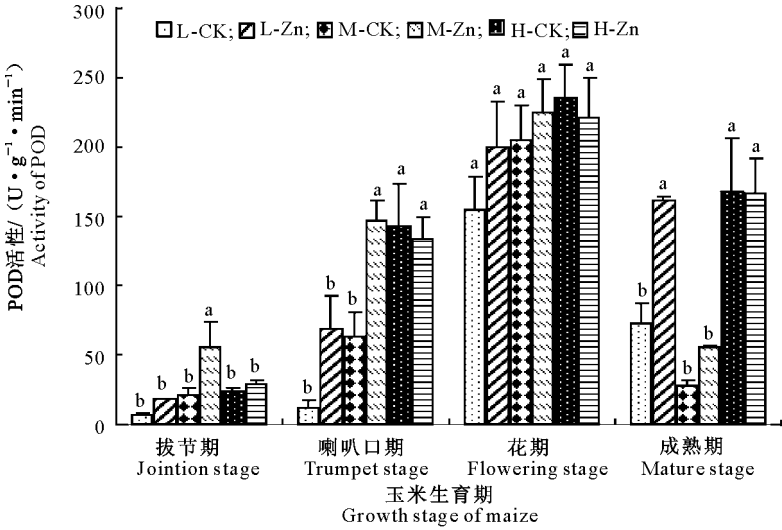


图 3 不同水分条件下施 Zn 对玉米叶片 CAT 活性的影响

Fig. 3 Effect of zinc on the CAT activity of maize under different water supplies

2.3 锌对玉米叶片丙二醛(MDA)含量的影响

MDA 是表征膜脂过氧化损伤的常用指标,可反映作物抗逆境衰老的能力^[12]。由图 4 可知,除严重干旱条件下的拔节期和花期玉米及充足水分条件下的拔节期玉米外,在其余处理中,施锌玉米的

MDA 含量较不施锌玉米均有不同程度的降低,表明施锌有助于提高水分胁迫条件下玉米的保护酶活性,增强作物的抗氧化防御系统能力,降低叶片丙二醛含量和植物受水分胁迫的伤害程度。

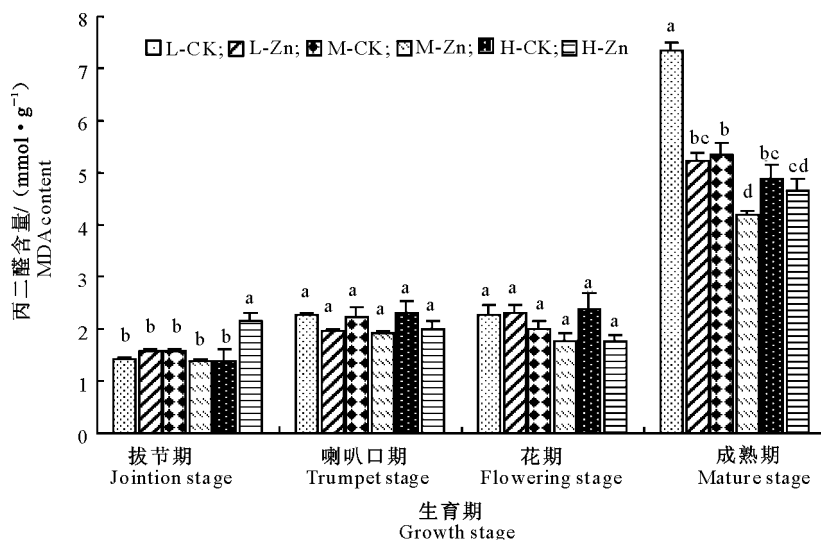


图 4 不同水分条件下施 Zn 对玉米叶片丙二醛含量的影响

Fig. 4 Effect of zinc on the MDA content of maize under different water supplies

3 讨 论

在干旱胁迫条件下,作物体内活性氧代谢失调,活性氧清除酶系统的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性发生了显著变化,膜脂过氧化,丙二醛含量增加,生物膜系统受到伤害^[13-16]。Cakmak^[17]推测,锌可以改善植株体内的活性氧代谢,对干旱胁迫条件下植物细胞的伤害有一定缓解作用。杜新民等^[18]研究发现,在小白菜上施锌能显著提高其抗氧化酶活性。锌是植物体内 CuZn-SOD 酶的组分之一,缺锌影响 SOD 活性,供锌可提高植物体内的 SOD 活性,减少和消除体内的活性氧^[17,19-20]。本试验发现,正常供水条件下,施锌后玉米 SOD 活性的增加并不显著(除喇叭口期),而在严重和轻度水分胁迫条件下,施锌后玉米的 SOD 活性较不施锌时均有不同程度的增加。

要判定锌的抗旱作用,需要在严格的条件下进行试验,以区分锌在改善养分方面所表现的效果及其在抗旱方面所表现的作用,否则很难得出正确结论。假设在正常水分的条件下锌有良好效果,而在水分胁迫下无此效果,则证明其效果是营养功能或其他功能而非抗旱功能;相反,在水分供应良好条件下无效而在水分胁迫条件下有效,则证明锌具有抗

旱作用;而如果在以上 2 种条件下都有效果,则说明锌既有营养功能也有抗旱作用。保护酶活性的变化对玉米抗氧化系统极其重要,假如锌能提高保护酶的活性,减轻细胞膜脂的过氧化作用,也可以证明锌具有抗旱作用。本研究发现,在水分胁迫条件下,锌具有提高玉米叶片 POD、SOD、CAT 等保护酶活性的功能,表明锌具有一定的抗旱作用,且这种抗旱作用只有在水分胁迫的条件下表现得较为明显,其中在玉米花期表现得尤其明显,而在正常供水条件下该作用并不明显。另外研究中发现,在严重水分胁迫条件下,施锌并不能恢复玉米的正常生长。由此可知,锌具有一定的抗旱作用,施锌作为抗旱性调节的一种方式,在干旱半干旱地区能起到一定的作用,但锌对玉米抗旱性的增强作用是有限的。

本试验结果表明,严重水分胁迫条件下,玉米叶片的酶活性与轻度水分胁迫条件下的差异并不明显。施用锌肥对严重水分胁迫处理玉米的抗旱性影响较大,对轻度水分胁迫处理玉米的抗旱性影响较小。水分胁迫严重影响着我国北方干旱半干旱地区的农业生产,改善植物营养,是一项重要的抗旱措施,作物氮磷钾营养与水分之间耦合作用的研究业已证实了这一观点^[6]。本试验仅从锌是否能增强玉米抗旱性方面做了一定的研究,干旱条件如何影响

土壤中锌形态的转化与锌的化学行为和生物有效性,以及如何影响植物对锌的吸收利用及其调控因素等,这些问题均还有待深入研究^[21]。

[参考文献]

- [1] 汪 洪,金继运,周 卫.不同水分状况下施锌对玉米生长和锌吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2003,9(1):91-97.
Wang H, Jin J Y, Zhou W. Effects of zinc application on growth and zinc uptake of maize under soil moisture stress[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(1): 91-97. (in Chinese)
- [2] 高柳青,田长彦,胡明芳.锌、锰对棉花吸收氮、磷养分的影响及机理研究[J].作物学报,2000,26(6):861-868.
Gao L Q, Tian C Y, Hu M F. Research on effect of zinc(Zn), manganese(Mn) on nitrogen(N) and phosphorus(P) absorption of cotton and its mechanism[J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26(6): 861-868. (in Chinese)
- [3] 魏孝荣,郝明德,邱莉萍,等.干旱条件下锌肥对玉米生长和光合色素的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2004,32(9):111-114.
Wei X R, Hao M D, Qiu L P, et al. Effects of zinc fertilizer on maize growth and photosynthetic pigments under drought condition[J]. Jour of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2004, 32(9): 111-114. (in Chinese)
- [4] 张福锁.环境胁迫与植物营养学[M].北京:北京农业大学出版社,1993.
Zhang F S. Environmental Stress and Plant Nutrition Science [M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993. (in Chinese)
- [5] Cakmak I, Yilmaz A, Kalayci M, et al. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in central Anatolia[J]. Plant and Soil, 1996, 180: 165-172.
- [6] 汪德水.旱地农田肥水关系原理与调控技术[M].北京:中国农业科技出版社,1995.
Wang D S. Principle and control technology of water and fertilizer relationship in dryland fields [M]. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 1995. (in Chinese)
- [7] 山 仑,陈培元.旱地农业生理生态基础[M].北京:科学出版社,1998:159-173.
Shan L, Chen P Y. Physiological and ecological basis of agriculture in dryland [M]. Beijing: Science Press, 1998: 159-173. (in Chinese)
- [8] 张立新,李生秀.氮、钾、甜菜碱对减缓夏玉米水分胁迫的效果[J].中国农业科学,2005,38(7):1401-1407.
Zhang L X, Li S X. Effects of application of nitrogen, potassium and glycinebetaine on alleviation of water stress in summer maize [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(7): 1401-1407. (in Chinese)
- [9] 明 凤,米国华,张福锁,等.水稻对低磷反应的基因型差异及其生理适应机制的初步研究[J].应用与环境生物学报,2000,6(2):138-141.
Ming F, Mi G H, Zhang F S, et al. Studies on varietal difference of rice in response to low-P stress and its physiological adaptive mechanism [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2000, 6(2): 138-141. (in Chinese)
- [10] 王韶唐.植物生理学实验指导[M].西安:陕西科学技术出版社,1987.
Wang S T. Experiment Instruction for Plant Physiology [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1987. (in Chinese)
- [11] 汪贵斌,曹福亮.土壤盐分和水胁迫对落羽杉叶片中几种酶活性的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版,2003,27(3):11-14.
Wang G B, Cao F L. Effects of soil salt and water stress on enzymes activity of the leaf of bald cypress [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2003, 27(3): 11-14. (in Chinese)
- [12] 王海华,蒋明义,康健,等.低浓度镍处理下玉米种子的萌发与活性氧代谢的关系[J].作物学报,2003,29(4):601-605.
Wang H H, Jiang M Y, Kang J, Wang Q. Relationship between seed germination and active oxygens metabolism in maize treated with low nickel concentration [J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(4): 601-605. (in Chinese)
- [13] Wang H, Yamauchi A. Growth and function of roots under abiotic stress in soils [M]// Huang B. Plant-environment interactions. 3rd Ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2006: 271-320.
- [14] Smirnov N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation [J]. New Phytol, 1993, 125: 27-58.
- [15] Zhang J X, Kirkham M B. Drought stress-induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase, and peroxidase in wheat species [J]. Plant Cell Physiol, 1994, 35(5): 785-791.
- [16] Iturbe-Ormaetxe I, Escuredo P R, Arrese-Igor C, et al. Oxidative damage in pea plants exposed to water deficit or paraquat [J]. Plant Physiol, 1998, 116: 173-181.
- [17] Cakmak I. Tansley review No. 111-Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species [J]. New Phytol, 2000, 146: 185-205.
- [18] 杜新民,张永清.施锌对石灰性褐土上小白菜光合作用及保护酶活性的影响[J].西北植物学报,2008,28(6):1203-1207.
Du X M, Zhang Y Q. Effects of zinc on photosynthesis and the activities of protective enzymes of Chinese cabbage in calcareous cinnamon soil [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2008, 28(6): 1203-1207. (in Chinese)
- [19] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants [M]. 2nd Ed. London: Academic Press, 1995.
- [20] Tsui C. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant [J]. Amer J Bot, 1948, 25: 172-179.
- [21] 汪 洪,汪立刚,周 卫,等.干旱条件下土壤中锌的有效性及其与植物水分利用的关系[J].植物营养与肥料学报,2007,13(6):1178-1184.
Wang H, Wang L G, Zhou W, et al. Soil zinc availability under water stress condition and its relationship with plant water utilization: A review [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(6): 1178-1184. (in Chinese)