

胡文河, 于 飞, 谷 岩,等. 低温对孕穗期玉米根系生理特性的影响[J]. 华南农业大学学报,2014,35(4):26-30.

低温对孕穗期玉米根系生理特性的影响

胡文河¹, 于 飞¹, 谷 岩¹, 杨 溢², 闫 丽³, 吴春胜¹

(1 吉林农业大学 农学院,吉林 长春 130118; 2 吉林省农安县高家店农业技术推广站,
吉林 长春 130200;3 吉林省农安县植保植检站,吉林 长春 130200)

摘要:【目的】探讨玉米孕穗期根系对低温的生理响应机制,分析不同低温胁迫时间下,玉米根系生理指标的动态变化规律,以期玉米抗低温冷害生理研究提供重要的理论依据.【方法】以2种耐寒性不同的玉米品种先玉335和东单213为试验材料,于孕穗初期(出苗后第45天)移至人工气候室内进行低温处理,研究低温对孕穗期玉米根系保护酶活性及相关生理性状的影响,并对各项生理指标的相关性进行分析.【结果和结论】随着低温胁迫时间的延长,先玉335的平均SOD、POD和CAT活性以及脯氨酸(Pro)、可溶性蛋白和可溶性糖含量均高于东单213,丙二醛(MDA)含量则相反.相关分析表明,先玉335根系活力与SOD活性和可溶性糖含量呈极显著正相关;东单213根系活力与CAT活性呈显著正相关;2个品种根系活力均与Pro含量呈显著正相关,与MDA含量呈显著负相关.

关键词:玉米; 低温胁迫; 孕穗期; 根系; 生理特性
中图分类号:S336 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2014)04-0026-05

Effects of low temperature on physiological characteristics of maize root at booting stage

HU Wenhe¹, YU Fei¹, GU Yan¹, YANG Yi², YAN Li³, WU Chunsheng¹

(1 College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;
2 Gaojiadian Extending Station of Agriculture Technique of Nong'an County, Jilin Province, Changchun 130200, China;
3 Station of Plant Protection of Nong'an County, Jilin Province, Changchun 130200, China)

Abstract:【Objective】Effects of low temperature on physiological characteristics of maize root at booting stage were studied. 【Method】Xianyu335 and Dongdan213 were selected as the tested materials, and the effects of low temperature on physiological characteristics of maize root at booting stage, and the correlations of all physiological indicators were studied. 【Result and conclusion】The results showed that the activities of SOD, POD, CAT and the contents of Pro, soluble protein and sugar of Xianyu335 were higher than those of Dongdan213 with the prolongation of the low temperature stress time, and MDA content showed the opposite changes. The correlation analysis showed that there was a significant positive correlation between root activity and SOD activity, soluble sugar content in Xianyu335, and there was a significant positive correlation between root activity and CAT activity in Dongdan213. Root activity was positively correlated with the content of Pro, and negatively correlated with MDA content.

Key words:maize; low temperature stress; booting stage; root; physiological characteristics

收稿日期:2013-07-26 优先出版时间:2014-06-03
优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/doi/10.7671/j.issn.1001-411X.2014.04.006.html>
作者简介:胡文河(1965—),男,副教授,硕士,E-mail:hwh12316@163.com;通信作者:吴春胜(1956—),男,教授,E-mail:wcs8131587@126.com
基金项目:国家粮食丰产工程项目(2011BAD16B10,2012BAD04B02);吉林省科技支撑计划(20130305032NY,20110214);吉林省自然科学基金(201115196)

玉米 *Zea mays* L. 是一种起源于热带亚热带的喜温作物,低温冷害是影响其生长发育、产量和品质的主要限制因素之一^[1]。低温胁迫下,玉米植株体内会发生一系列生理生化反应,不同玉米品种会表现出不同的抗低温能力^[2];冷害程度越深,相关抗冷性生理指标变化越明显^[3]。近年来,国内外学者对玉米低温冷害的生理机制开展了很多研究。有研究表明玉米苗期低温胁迫能够使其相对生长率和净同化速率降低,且耐寒基因型玉米的干物质积累量要高于低温敏感型玉米^[4-5]。高素华等^[6]针对低温胁迫下玉米苗期生理特性进行了研究,结果表明,在低温处理下,叶片脯氨酸含量上升,光合速率下降;高灿红等^[7]通过对玉米幼苗根、中胚轴和胚芽鞘3个部位过氧化氢酶、过氧化物酶和脯氨酸含量变化及与耐寒性的关系研究指出,玉米幼苗中胚轴对低温反应最敏感,其中脯氨酸含量变化率与玉米耐寒性关系最密切。玉米除了苗期受低温影响外,花粉母细胞减数分裂到四分体形成小孢子在内的玉米孕穗期也是玉米生理上低温冷害的关键时期,对玉米产量的影响尤为严重^[8]。张毅等^[9]在玉米孕穗期经 10℃ 低温处理后发现,可溶性糖和游离氨基酸含量增加,淀粉、蛋白质含量下降,严重阻碍了雌穗的发育。综上所述,低温逆境对玉米生理特性影响的报道较多,无论是苗期还是孕穗期低温,多以玉米地上部分研究为主,针对玉米根系生理特性影响的研究较少。事实上,低温胁迫时,玉米根系细胞壁结构特性和生理功能均受到影响^[10-11]。本文以2个不同抗低温能力的玉米品种为试验材料,探讨玉米根系对孕穗期低温的生理响应机制,分析不同低温胁迫时间下,玉米根系生理指标的动态变化规律,以期为玉米抗低温冷害生理研究提供重要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试玉米品种为抗低温品种先玉 335(由美国先锋公司提供)和低温敏感型东单 213(由辽宁东亚种业提供)。

1.2 试验设计

供试土壤采自吉林农业大学作物研究中心试验基地,基本理化指标为: w (有机质) 1.21%,全氮 1.093 g·kg⁻¹,全磷 381.83 mg·kg⁻¹,碱解氮 65.27 mg·kg⁻¹,速效磷 10.68 mg·kg⁻¹,速效钾 103.84

mg·kg⁻¹,pH 6.8。2011年5月12日在试验基地网室进行盆栽,盆直径 30 cm、高 32 cm,每盆装土 21 kg,参照杨玉画等^[12]的方法计算得出每盆施肥量:尿素 2.8 g、磷酸二铵 1.2 g、氯化钾 1 g。每盆播 3 粒玉米种子,苗期定苗 1 株。于孕穗初期(出苗后第 45 天)移至人工气候室内进行低温处理,温度 10℃,光周期昼/夜为 12 h/12 h,相对湿度 60%~70%,分别于处理后第 1、3、5、7 天每个处理取 6 盆,小心取出玉米根系,去除周边土壤和表面污垢后,用蒸馏水冲洗干净。挑选根尖部分进行根系活力的测定,取根尖向上 10~20 cm 根系剪下,进行生理指标的测定,同时以室外不进行低温处理的植株各项指标作为对照,每处理重复 6 次。

1.3 测定指标及方法

将剪下的根系鲜样剪碎,加 0.05 mol·L⁻¹的磷酸缓冲液(pH 7.8) 6 mL 及少量石英砂,冰浴研磨提取,用磷酸缓冲液定容至 10 mL,4℃、15 000 r·min⁻¹条件下离心 15 min,上清液即酶提取液。超氧化物歧化酶(SOD)活性采用 NBT 光化还原法^[13],以单位时间内抑制光还原 50% 所需的酶量为 1 个酶活力单位(U);过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法^[14],以每分钟内 $D_{470\text{ nm}}$ 变化 0.01 为 1 个酶活力单位(U);过氧化氢(CAT)酶参照徐田军等^[15]的方法,以 1 min 内 $D_{240\text{ nm}}$ 减少 0.1 的酶量为 1 个酶活力单位(U)。丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥法测定^[16];脯氨酸(Pro)含量采用茚三酮比色法^[17];根系活力采用 TTC 法^[17];可溶性糖和可溶性蛋白分别采用蒽酮比色法和考马斯亮蓝法^[17]。以上指标均以每克鲜质量样品计。

1.4 数据分析

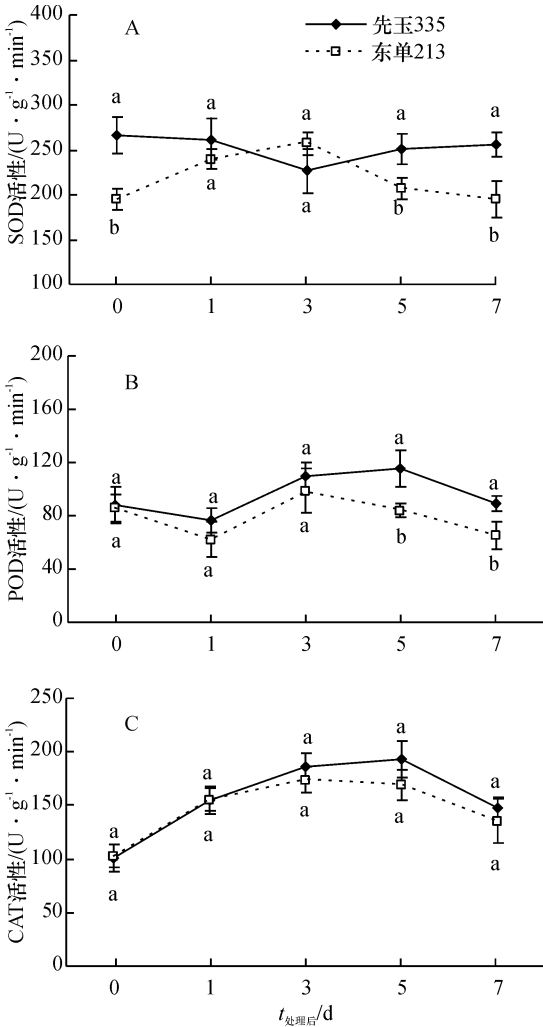
试验所有数据应用 SPSS 17.0 进行数据统计和分析;利用 Microsoft Excel 2003 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 低温对孕穗期玉米根系保护酶活性的影响

从图 1 可以看出,先玉 335 根系 SOD 活性先降低后升高,东单 213 则先升高后降低。在低温处理第 5 和第 7 天,先玉 335 根系 SOD 酶活性均显著高于东单 213,平均高 26.3%。低温处理期间,2 个玉米品种根系 POD 的变化规律一致,呈现“降低-升高-降低”的变化趋势,在第 5 和第 7 天,2 个品种之间的 POD 活性差异显著,先玉 335 比东单 213 分别高 37.3%(第 5 天)和 36.2%(第 7 天)。在整个低温处

理期间,2 个品种之间的 CAT 酶活性无显著差异,且均在低温第 5 天开始迅速降低.



各图中同一处理时间凡是有一个相同小写字母者,表示同一处理不同品种间差异不显著 ($P>0.05$, Duncan's 法).

图 1 低温对孕穗期玉米根系保护酶活性的影响

Fig.1 Effects of low temperature on activities of protective enzymes of maize root at booting stage

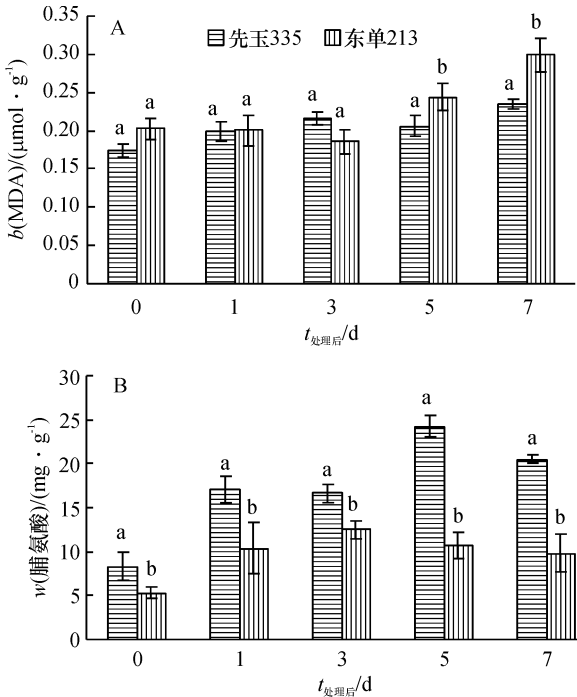
2.2 低温对孕穗期玉米根系 MDA 含量的影响

图 2A 表明,在低温处理第 1 和第 3 天,2 个品种之间 MDA 含量无显著差异. 低温第 5 和第 7 天,东单 213 根系 MDA 含量迅速升高,分别比先玉 335 高 18.5% (第 5 天) 和 27.8% (第 7 天). 根系中 MDA 含量的迅速增加使得膜透性增加,细胞质膜的完整性易被破坏,对作物根系造成严重伤害.

2.3 低温对孕穗期玉米根系脯氨酸含量的影响

从图 2B 可以看出,2 个玉米品种根系脯氨酸含量对低温比较敏感. 随着低温胁迫时间的延长,均呈现先升高后降低的变化趋势. 其中先玉 335 在低温处理第 7 天后开始下降,而东单 213 则在第 5 天开始

降低. 同一处理时间内,先玉 335 根系脯氨酸质量分数均显著高于东单 213. 整个处理时间内,先玉 335 根系脯氨酸质量分数比东单 213 平均高 77.9%. 脯氨酸的积累使得先玉 335 根系细胞和组织有很好的持水能力,增强其抗低温能力.



各图中同一处理时间凡是有一个相同小写字母者,表示同一处理不同品种间差异不显著 ($P>0.05$, Duncan's 法).

图 2 低温对孕穗期玉米根系 MDA 和脯氨酸含量的影响

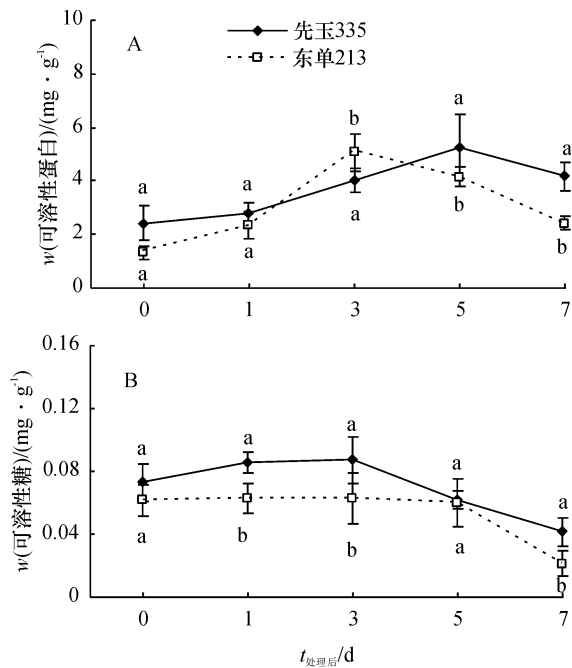
Fig.2 Effects of low temperature on MDA and proline contents of maize root at booting stage

2.4 低温对孕穗期玉米根系可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

孕穗期低温对玉米根系可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响如图 3 所示. 可溶性蛋白含量随着低温处理后时间的延长呈现单峰曲线变化,先玉 335 最高点出现在胁迫后第 5 天,东单 213 峰值在第 3 天. 在低温处理的第 7 天,先玉 335 根系可溶性蛋白含量比东单 213 高 72.3%. 低温当天,先玉 335 和东单 213 根系可溶性糖含量无显著差异,均于第 3 天开始降低,至第 7 天时先玉 335 和东单 213 可溶性糖质量分数分别仅为 0.04 和 0.02 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$.

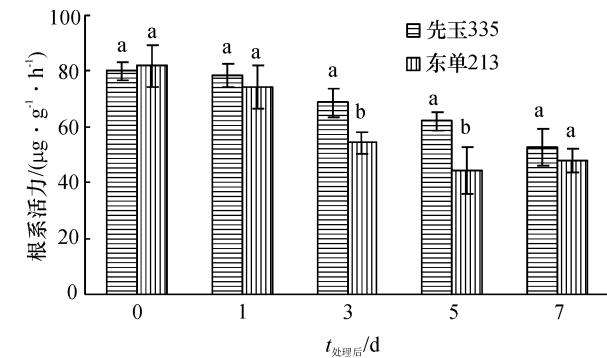
2.5 低温对孕穗期玉米根系活力的影响

低温处理第 3 天开始,2 个玉米品种根系活力开始降低,东单 213 降幅较大. 在低温胁迫第 3 和第 5 天,东单 213 根系活力比同期先玉 335 低 26.7% 和 41.1%,差异达显著水平 (图 4).



各图中同一处理时间凡是有一个相同小写字母者,表示同一处理不同品种间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法).

图3 低温对孕穗期玉米根系可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响
Fig.3 Effects of low temperature on soluble protein and sugar contents of maize root at booting stage



图中同一处理时间凡是有一个相同小写字母者,表示同一处理不同品种间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法).

图4 低温对孕穗期玉米根系活力的影响
Fig.4 Effects of low temperature on root activity in maize at booting stage

2.6 玉米根系活力与各生理指标的相关性分析

相关分析结果(表1)表明:根系活力与各生理指标之间的相关性因品种而不同. 2个品种根系活力均与脯氨酸含量呈显著正相关,与MDA含量呈显著负相关;先玉335根系活力与SOD活性、可溶性糖含量和脯氨酸含量呈显著正相关;而东单213根系活力与CAT活性和脯氨酸含量呈显著正相关.

表1 2个玉米品种根系活力与各生理指标之间的相关性分析¹⁾
Tab.1 The correlation analysis of root activity and physiological indicators of two maize varieties

品种	SOD 活性	POD 活性	CAT 活性	MDA 含量	脯氨酸含量	可溶性蛋白含量	可溶性糖含量
先玉 335	0.752 4 *	0.257 7	0.447 2	-0.869 0 *	0.740 8 *	0.431 1	0.804 5 *
东单 213	0.458 1	0.020 5	0.629 5 *	-0.682 7 *	0.673 0 *	0.435 6	0.440 9

1) “*”表示0.05的显著相关水平.

3 讨论与结论

作物在低温胁迫下细胞膜系统的损伤可能与自由基和活性氧引起的膜脂过氧化和蛋白质破坏有关^[18]. 在正常情况或适度的低温胁迫下,植物体内自由基的产生和清除处于相对的动态平衡状态. 当温度继续下降或低温持续时间延长,该平衡会被破坏,自由基产生量增加,清除量下降,膜脂过氧化产物丙二醛大量积累,最终导致细胞膜系统的严重损伤^[19]. 此时,保护酶系统会协同作用,共同防御活性氧及其过氧化物自由基对细胞膜系统的伤害,超氧化物歧化酶(SOD)可以催化氧自由基歧化生成H₂O₂,而植物组织中高浓度的H₂O₂主要被过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)分解,从而对细胞膜起着保护作用^[13-15]. 本试验结果表明,POD和CAT保护酶活性在低温胁迫下先升高后降低,但先玉335的SOD活性则在胁迫的第7天仍然保持较高水平. 张敬贤

等^[20]在低温对玉米幼苗的影响研究中指出:保护酶活性和玉米幼苗抗冷性密切相关,抗冷性弱的各种保护酶活性要低于抗冷性强的品种. MDA含量的上升与膜透性的增加呈显著正相关,其积累是活性氧毒害作用的表现^[21]. 但在本研究中,玉米孕穗期低温处理后前5天,根系MDA含量变化不大,仅在第5天和第7天开始升高,但低温处理第3天开始,玉米叶片中MDA含量显著上升,说明叶片对低温的反应比根系要敏感(另文待发).

植物细胞为维持正常的生理功能,必须通过渗透调节保证一定的膨压. 脯氨酸、可溶性糖等小分子有机物参与这种渗透调节,低温条件下植物体内的脯氨酸和可溶性糖含量升高,以增加细胞对不良环境的适应性^[2]. 但在水稻的研究中发现,敏感型品种比抗逆性强的品种体内的脯氨酸累积量更高,认为脯氨酸含量并不能作为抗冷性的筛选因子^[22]. 本研究中,整个低温胁迫期间,抗低温能力较强的玉米品

种先玉335根系脯氨酸和可溶性糖含量均显著高于东单213.

根系是最活跃的吸收器官和合成器官,根的生长情况、代谢水平和根系活力直接影响地上部分的生长和营养状况^[23],对于作物的健康生长尤为重要^[24].自然条件下,植物根系和冠层所处环境温度不同,根系内部温度也不一致.有研究表明,土温变化1℃就能引起植物生长的明显变化^[25].张金龙等^[3]在低温对玉米幼苗抗冷性的影响研究中也指出,在温度14和4℃时,玉米根系活力显著降低,温度越低,降幅越大.本研究中,2个品种玉米根系活力随低温冷害时间的延长而降低,低温处理第3天开始,玉米根系活力即迅速下降,对低温较敏感的玉米品种东单213降低幅度高于抗性较强的先玉335.

相关分析结果表明,根系活力与所有抗逆性生理指标并不均呈现极显著相关性,且不同抗性品种相关性不同.但2个品种根系活力均与脯氨酸含量呈现显著正相关,与MDA含量呈现显著负相关.低温胁迫下玉米的抗性反应是一个复杂的过程,需要通过体内的各种代谢活动来调节对低温环境的适应性,表现出植物本身的抗低温能力,某一个单一指标很难揭示其抗低温冷害的机理,必须对各项生理指标进行综合评价,以揭示其抗冷害的复杂本质.

参考文献:

- [1] SALTVEIT M E, MORRIS L L. Overview on chilling injury of horticultural crops[M]//WANG C Y. Chilling injury of horticultural crops. Boca Raton, FL: CRC Press, 1990:3-15.
- [2] 王迎春,诸金翔,孙忠富,等.玉米对低温胁迫的生理响应及不同品种间耐低温能力比较[J].植物生理科学,2006,22(9):210-212.
- [3] 张金龙,周有佳,胡敏,等.低温胁迫对玉米幼苗抗冷性的影响初探[J].东北农业大学学报,2004,35(2):129-134.
- [4] VERHEUL M J, PICATTO C, STAMP P. Growth and development of maize (*Zea mays* L.) seedlings under chilling conditions in the field[J]. Europ J Agron, 1996, 5(1):31-43.
- [5] SOLDATI A, STEHLI A, STAMP P. Temperature adaptation of tropical highland maize(*Zea mays* L.) during early growth and in controlled conditions[J]. Europ J Agron, 1999,10(2):111-117.
- [6] 高素华,郭建平,张国民,等.低温对玉米幼苗生理反应的影响[J].应用气象学报,1999,10(2):238-242.
- [7] 高灿红,胡晋,郑昀晔,等.玉米幼苗抗氧化酶活性、脯氨酸含量变化及与其耐寒性的关系[J].应用生态学报,2006,17(6):1045-1050.

- [8] 张德荣.玉米低温冷害试验报告[J].中国农业气象,1993(5):32-34.
- [9] 张毅,戴俊芳,苏正淑,等.孕穗期低温对玉米雌穗的伤害作用[J].作物学报,1995,21(2):235-239.
- [10] TRYON P R, CHAPIN F S. Temperature control over root growth and root biomass in taiga forest trees[J]. Can J Forest Res,1983,13:827-833.
- [11] 梁建生,张建华,曹显祖.根系环境温度变化对根系吸水 and 叶片蒸腾的影响[J].植物学报,1998,40(12):1152-1158.
- [12] 杨玉画,褚清河,杜慧玲.施肥比例及施肥量对玉米施肥的影响及增产机理[J].山西农业科学,2004,32(4):33-36.
- [13] ÇAKMAK I, MARSCHNER H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves[J]. Plant Physiol,1992,98:1222-1227.
- [14] GIANNOPOLITIS C N, RIES S K. Superoxide dismutases: I: Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiol,1977,59:309-314.
- [15] 徐田军,董志强,兰宏亮,等.低温胁迫下聚糖素合剂对玉米幼苗光合作用和抗氧化酶活性的影响[J].作物学报,2012,38(2):352-359.
- [16] HODGES D M, DELONG J M, FORNEY C F, et al. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds[J]. Planta, 1999,207(4):604-611.
- [17] 张治安,陈展宇.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业科学技术出版社,2004.
- [18] 余叔文,汤章城.植物生理与分子生物学[M].北京:科学出版社,1998:721-727.
- [19] 江福英,李延,翁伯琦.植物低温胁迫及其抗性生理[J].福建农业学报,2002,17(3):190-195.
- [20] 张敬贤,李俊明,崔四平,等.低温对玉米幼苗细胞保护酶活性及胞质质量参数的影响[J].华北农学报,1993,8(3):9-12.
- [21] 刘鹏,刘庆忠,王勇,等.喜温作物的低温损伤及其抗冷性的研究进展[J].山东农业科学,2004(2):74-79.
- [22] 刘娥娥,宗会,郭振飞,等.干旱、盐和低温胁迫对水稻幼苗脯氨酸含量的影响[J].热带亚热带植物学报,2000,8(3):235-238.
- [23] 刘宁,于海秋,王晓磊,等.不同耐性玉米自交系苗期根系对低钾胁迫的生物学响应[J].玉米科学,2012,20(6):85-88.
- [24] SULLIVAN W M, JIANG Z C, HULL R J. Root morphology and its relationship with nitrate uptake in Kentucky bluegrass[J]. Crop Sci, 2000, 40: 765-772.
- [25] 蔡昆争.作物根系生理生态学[M].北京:化学工业出版社,2011:113.

【责任编辑 周志红】