

外源水杨酸对 NaCl 胁迫下燕麦幼苗生长和生理特性的影响

闫艳华

(吕梁学院生命科学系, 山西 离石 033000)

摘要:以燕麦为试验材料,采用NaCl溶液和水杨酸喷施处理,探究0.5%NaCl胁迫下不同浓度的水杨酸对燕麦生长生理特性的影响。结果表明:0.5%NaCl胁迫下,燕麦幼苗的生长指标显著下降,外施水杨酸后燕麦的株高、根长、鲜重和干重比NaCl胁迫均有升高,其中1 mmol/L浓度处理效果最好。另外,NaCl胁迫下燕麦体内SOD、POD、CAT酶活性以及叶绿素含量显著下降,MDA含量则显著上升,外施1 mmol/L水杨酸后,MDA含量下降幅度最大,叶绿素含量上升明显,SOD、POD和CAT活性均有显著提高。可见,1 mmol/L水杨酸对于缓解燕麦0.5%NaCl胁迫的效果最佳。

关键词:水杨酸;NaCl胁迫;生长指标;生理指标;灰色关联度分析

中图分类号:S512.6 文献标识码:A 文章编号:2096-5877(2020)06-0050-05

Effects of Exogenous Salicylic Acid on Growth and Physiological Characteristics of Oat Seedlings under NaCl Stress

YAN Yanhua

(Department of Life Sciences, Lvliang University, Lishi 033000, China)

Abstract: The effects of different concentrations of salicylic acid (SA) on the growth and physiological characteristics of oat under 0.5%NaCl stress were investigated by spraying with NaCl solution and SA. The results showed that: under 0.5% salt stress, the growth index of oat seedlings decreased significantly, and the plant height, root length, fresh weight, and dry weight ratio of oat after external SA were all increased, of which 1 mmol/L concentration was the best. In addition, the SOD, POD, CAT enzymatic activity and chlorophyll content in plants under NaCl stress decreased significantly, while the MDA content increased significantly. After 1 mmol/L SA was applied, MDA content decreased the most and chlorophyll content increased significantly. The activity of SOD, POD and CAT increased significantly. It can be seen that 1 mmol/L SA is the best for relieving 0.5%NaCl stress of oat.

Key words: Salicylic acid; NaCl stress; Growth indicators; Physiological indexes; Gray Correlation Analysis

盐胁迫是植物环境胁迫中重要因子之一^[1],对于植物根、茎、叶的生长均有不同程度的抑制作用,受到盐胁迫时植物的株高、根长、干重、鲜重等生长指标均有所下降,最后造成幼苗成活率低甚至枯死萎蔫^[2]。燕麦是我国的原产农作物,它比小麦的适应性更强,更加耐寒耐旱。同时它还具有很高的营养保健价值^[3]。近年来,燕麦的种植规模越来越大,我国北方的盐渍化土地分布较

广,对燕麦生长十分不利。所以探究燕麦的耐盐性是十分必要的^[4-5]。

水杨酸(salicylic acid, SA)是对植物的重要代谢起调控作用的酚类化合物,被认为是植物激素的一种^[6],具有许多生理作用,不仅可以抗病虫害^[7]、抗环境胁迫^[8-9],而且还有促进种子萌发^[1,10],延长果实贮存期等作用^[11]。研究发现,外源喷撒60 mg/L的水杨酸可以增加盐胁迫下喜树幼苗干重、缓解盐胁迫对株高和茎粗的抑制作用,提高超氧化物歧化酶活性、过氧化物酶活性、可溶性蛋白含量,减少丙二醛的积累^[12]。研究发现,1 mmol/L的水杨酸可以缓解盐胁迫下百日草种子的发芽势、发芽指数、活力指数、发芽率及幼苗株高茎粗,同时使抗氧化酶活性增加,增加其盐胁迫的耐受性,减少盐胁迫的损伤^[13]。

收稿日期:2018-12-16

基金项目:山西省高等学校科技创新计划项目(2020L0692);山西省重点实验室项目(201805D111012);山西省重点研发计划项目(201803D221011-6);吕梁市引进高层次人才专业科技创新平台建设项目(2018-21-11)

作者简介:闫艳华(1985-),女,讲师,硕士,主要从事植物生长与发育研究。

本研究采用盆栽的方法,研究同一盐胁迫下不同浓度水杨酸对燕麦幼苗生长及生理的影响,探究外源水杨酸对燕麦生长生理特性的影响,旨在为燕麦耐盐机制的深入研究提供基础数据,为缓解燕麦盐害提供理论和技术依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与 设计

试验选择大小相当且饱满的“冀张燕4号”种子。设置6个处理,分别为蒸馏水(CK)、0.5%NaCl(S)、0.5%NaCl+0.1 mmol/L SA(S1)、0.5%NaCl+0.25 mmol/L SA(S2)、0.5%NaCl+0.5 mmol/L SA(S3)、0.5%NaCl+1 mmol/L SA(S4)、0.5%NaCl+2.5 mmol/L SA(S5)。

将燕麦种子用10%次氯酸钠灭菌约10 min,再用去离子水冲洗,放到容器中浸泡24 h,播种到穴盆中进行常规培养,等其长至两三片真叶时,选择一些长势良好且长势相当的燕麦,移植到直径约为10 cm的花盆中,每一个花盆栽种三棵燕麦。将燕麦种子分成7组,每组3次重复,共21盆。在7个处理中,6组每四天浇施1次0.5%的NaCl溶液,同时用喷雾法对叶子的正反面喷雾水杨酸,喷施时直至叶片有水滴滴下。每盆燕麦中喷施的水杨酸量应尽可能一致,S组则浇施和喷施蒸馏水。处理28天后进行相关指标测定。

1.2 测定指标与 方法

1.2.1 生长指标的 测定

将燕麦幼苗洗净,拉直后用尺子测量燕麦株高和根长,吸干表面水分后称重以测量鲜重;将燕麦放入烘箱,105℃保持30 min后,下降到80℃,保持24 h,用电子天平称重,测量其干重。

1.2.2 生理生化指标 测定

叶绿素含量测定采用李合生的方法^[14],过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法,过氧化氢酶(CAT)活性测定采用过氧化氢法,丙二醛

(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法,超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用NBT还原法^[15]。

1.3 数据处理与 分析

按照灰色关联度理论分析,将株高、根长、地上鲜重、地上干重、地下鲜重、地下干重、叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素、CAT、MDA、POD、SOD看作一个灰色系统,13个性状为该系统中的因素^[16-17]。其中SA喷撒浓度为参考数列 X_0 ,13个性状参数为比较数列 X_i 。利用下列公式计算 X_0 和各参数 X_i 的关联系数和关联度:

$$\varepsilon_{i(k)} = \frac{\frac{\min_i \min_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}{\max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|} + \rho \frac{\min_i \min_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}{\max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}}{\frac{\min_i \min_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}{\max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|} + \rho \frac{\max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}{\max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}}$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon_{i(k)}$$

公式中, $\varepsilon_{i(k)}$ 为 X_i 对 X_0 在 k 点的关联系数, ρ 为分辨系数,一般取0.5, $\frac{\min_i \min_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}{\max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}$ 为两级最小差的绝对值; $\frac{\max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}{\max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}$ 为两级最大差的绝对值; r 为关联度, r 的大小反映比较数列与参考数列的关联程度。

采用Excel 2010和SPSS 18.0进行数据的处理和Duncan's多重比较分析。

2 结果与分 析

2.1 外源水杨酸对 NaCl胁迫下燕麦幼苗各个生长指标的影响

由表1可知,NaCl胁迫处理S组的株高、根长、干重、鲜重分别比CK显著下降39.7%、41.6%、32.3%、31.2%。燕麦植株在NaCl胁迫和SA喷施处理后,其株高、根长、干重、鲜重均比S组有不同程度的增加,添加0.1 mmol/L水杨酸对于各个生长指标的改善并没有显著影响,而添加0.25、0.50、1、2.5 mmol/L的水杨酸对于燕麦株高和根长

表1 外源SA对NaCl胁迫下燕麦幼苗各生长指标的影响

处理	株高(cm)	根长(cm)	地上部分鲜重(mg)	地上部分干重(mg)	地下部分鲜重(mg)	地下部分干重(mg)
CK	12.08±0.65a	8.78±0.81a	57.78±5.76a	5.80±0.41a	25.75±2.06a	1.50±0.13a
S	7.29±0.49c	5.13±0.45d	38.18±2.88b	3.81±0.17c	19.32±0.99c	1.13±0.08c
S1	7.63±0.78c	5.78±0.42cd	40.48±2.76b	3.92±0.12c	20.82±1.29c	1.19±0.08bc
S2	8.78±0.68b	6.30±0.43bc	41.49±3.30b	4.09±0.19bc	21.86±1.04bc	1.21±0.08bc
S3	9.78±0.38b	7.01±0.37b	44.64±3.84b	4.32±0.21bc	23.00±1.64bc	1.31±0.08bc
S4	10.03±0.49b	7.18±0.34b	46.41±3.37b	4.63±0.25b	24.05±1.30b	1.39±0.06ab
S5	9.19±0.41b	6.87±0.32b	43.38±3.49b	4.28±0.21bc	22.45±2.12bc	1.29±0.08bc

注:同一列不同字母表示不同处理差异显著($P<0.05$),下同

均有显著影响($P<0.05$),S4处理的株高、根长、干重、鲜重比S组分别增加37.6%、39.7%、21.9%、22.5%。可见,燕麦植株在NaCl胁迫下生长受到显著抑制,而外源SA处理则不同程度缓解NaCl胁迫的伤害,且在不同部位的缓解效果存在差异。叶面喷施1 mmol/L的水杨酸处理的效果最佳,对于生长指标的提升幅度最大。

2.2 外源水杨酸对NaCl胁迫下燕麦幼苗各个生理指标的影响

2.2.1 外源水杨酸对NaCl胁迫下燕麦幼苗叶绿素含量的影响

由图1可知,0.5%的盐胁迫使得燕麦幼苗的叶绿素和类胡萝卜素含量显著下降,而添加外源水杨酸则可以增加盐胁迫下燕麦幼苗的光合色素含量。对燕麦叶片施用水杨酸后,各色素含量均有所升高。在0.5~2.5 mmol/L水杨酸作用下,这些色素含量与S组相比显著增加,其中以1 mmol/L效果最佳。但S5组中,叶绿素和类胡萝卜素含量和S3与S4组比较又有下降趋势。可见,燕麦受到盐胁迫伤害后在一定范围内随着水杨酸浓度的升高

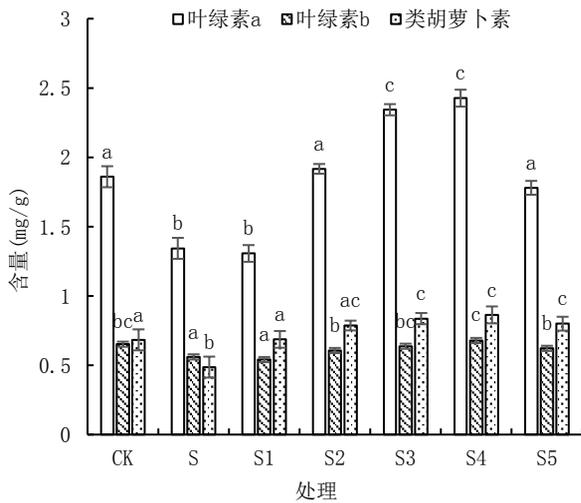


图1 外源水杨酸对NaCl胁迫下燕麦幼苗叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

缓解盐伤害效果越好。

2.2.2 外源水杨酸对NaCl胁迫下燕麦幼苗MDA含量的影响

由图2可知,NaCl胁迫使燕麦中的丙二醛含量显著增加,为对照组的2倍。添加水杨酸显著降低了丙二醛含量,0.1、0.25 mmol/L水杨酸与S组相比差异并不显著,在0.5~2.5 mmol/L水杨酸作用下,丙二醛含量显著下降,以1 mmol/L的水杨酸效果最好。可见,水杨酸的施用能够减少丙二醛的生成,但S5组又有回升趋势,说明高浓度的

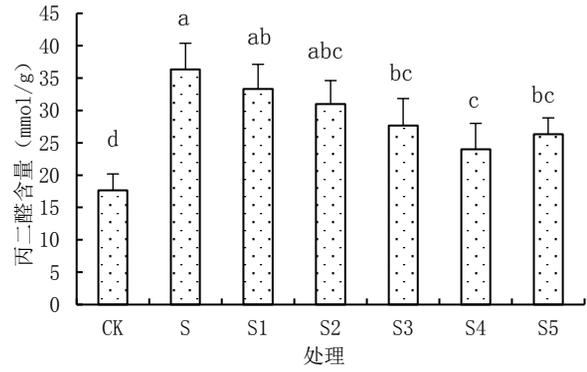


图2 外源水杨酸对NaCl胁迫下燕麦幼苗中MDA含量的影响

水杨酸不能很好地缓解燕麦受胁迫程度。

2.2.3 外源水杨酸对NaCl胁迫下燕麦幼苗中SOD活性的影响

由图3可以看出,0.5% NaCl胁迫使SOD活性比CK显著降低了25.6%。喷施外源SA后,随着浓度的升高SOD活性显著增强,在1 mmol/L达到最高,比S组提高48.79%,SA浓度达到2.5 mmol/L,

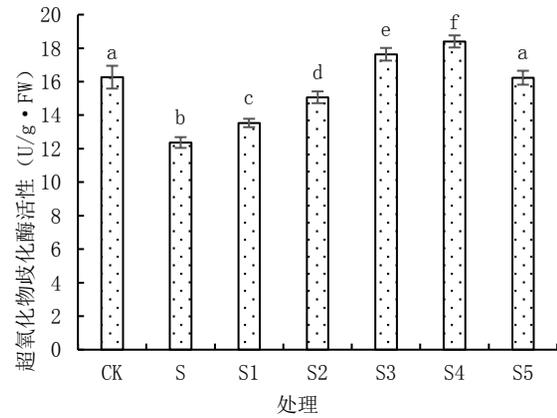


图3 外源水杨酸对NaCl胁迫下燕麦幼苗SOD活性的影响

SOD活性下降,与S组相比有显著差异。

2.2.4 外源水杨酸对NaCl胁迫下燕麦幼苗POD含量的影响

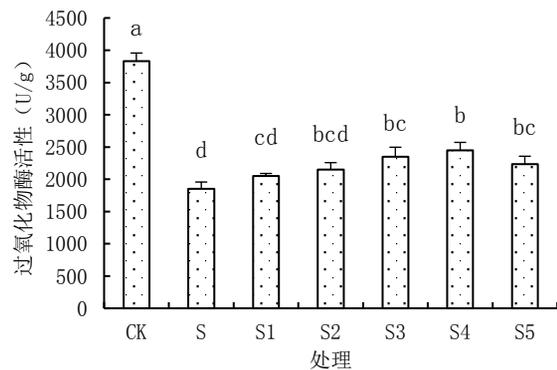


图4 外源水杨酸对NaCl胁迫下燕麦幼苗中POD活性的影响

从图4可以看出,NaCl胁迫下燕麦幼苗的POD活性几乎仅为对照组的一半。添加外源水杨酸后,燕麦幼苗的POD活性均有所升高,在0.5、1、2.5 mmol/L的水杨酸作用下,POD活性与S组比较显著提高,但在2.5 mmol/L时,POD的活性相对于S3、S4又有所下降。可见,高浓度水杨酸对POD活性的恢复效果不佳。

2.2.5 外源水杨酸对NaCl胁迫下燕麦幼苗CAT活性的影响

由图5可知,NaCl胁迫下CAT的活性显著下降,仅为对照组的47.89%,添加外源水杨酸后,燕麦幼苗的CAT活性不断升高,S1与S相比差异不显著,S2、S3、S4、S5与S组相比CAT活性显著升高了54%、102%、140%、99.2%,其中S4处理CAT活性最高,为S组的2.4倍,可见喷施外源SA可以

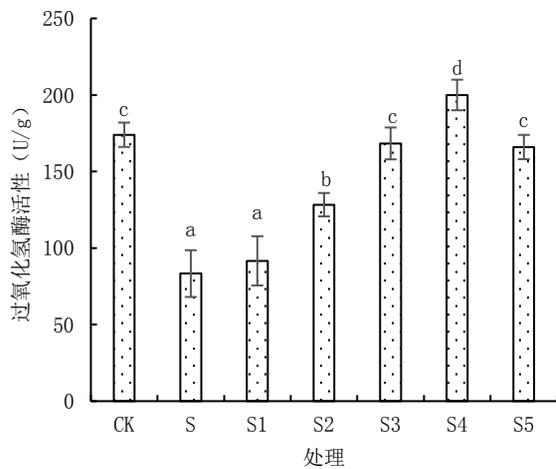


图5 外源水杨酸对NaCl胁迫下燕麦幼苗中CAT活性的影响

显著升高NaCl胁迫下燕麦植株CAT活性。

2.3 SA处理对燕麦幼苗生长及生理指标的灰色关联度分析

灰色关联度系统理论认为,比较数列与参考数列间的关联度越大说明之间的关系越密切^[17]。表2表明,喷施SA浓度与燕麦生长生理指标间的关联度在0.574 382 259~0.700 534 995之间,类胡萝卜素和CAT活性与喷施SA浓度关系更为密切,说明SA的喷施以促进类胡萝卜素和CAT活性为主要途径来抵御NaCl的伤害。同时影响地下部分鲜重即根系的重量来抵御盐害,但根长关联度较低,说明是通过影响根的数量来缓解盐害。

3 讨论

本研究中,0.5%NaCl盐胁迫下,燕麦的株高、根长、干重、鲜重都有显著下降,喷施1 mmol/L外

表2 外源SA处理对燕麦幼苗生长和生理指标的灰色关联度分析

指标	关联度	排序
株高(cm)	0.617 617 935	7
根长(cm)	0.607 134 46	9
地上部分鲜重(mg)	0.585 315 396	10
地上部分干重(mg)	0.581 944 551	11
地下部分干重(mg)	0.623 172 679	5
地下部分鲜重(mg)	0.637 328 335	3
叶绿素a(mg/g)	0.618 952 196	6
叶绿素b(mg/g)	0.633 950 297	4
类胡萝卜素(mg/g)	0.700 534 995	1
CAT活性(U/g)	0.660 586 834	2
MDA含量(nmol/l)	0.574 382 259	13
POD活性(U/g)	0.579 554 266	12
SOD活性(U/g·FW)	0.613 153 368	8

源SA可显著缓解盐胁迫对燕麦植株株高、根长、干重、鲜重的影响,与周万海^[18]、王立红等^[19]研究结果一致。适当浓度的外源SA可以缓解NaCl胁迫对燕麦生长抑制效应。

本研究观察到NaCl胁迫会引起叶绿素含量的下降,叶绿素在植物吸收、传递和利用光能过程中发挥着重要作用,盐胁迫能加强植物体内叶绿素酶的活性,促使其加速分解叶绿素,从而影响植物的生长^[20]。喷施SA后叶绿素降低减弱,甚至在一定SA浓度下,比CK有明显的提升,说明SA会影响叶绿素的含量,而具体在哪一方面的作用会使叶绿素含量升高,还需进一步考察,是影响叶绿素酶的活性还是其合成增加等方面,这也是今后应该研究的方向。植物体内SOD、POD、CAT等抗氧化酶类是重要的活性氧清除剂,正常范围内,自由基不断产生不断清除,生物体免受自由基的伤害,当植物受到不良胁迫,自由基的产生增多超过自我清除能力,植物就会受到伤害。本研究中NaCl胁迫下燕麦的SOD、POD、CAT受到影响其活性降低,在喷施SA后SOD、POD、CAT活性会有一定程度的上升,在浓度1 mmol/L时,三者活性达到最高,但是三者变化不同步,存在一定差异。在2.5 mmol/L时,SOD、POD、CAT活性会有一定程度的下降。这与黄玉梅等^[21]研究结果一致。同时,MDA是植物细胞膜氧化的产物,反映其细胞膜过氧化损伤的程度,当植物受到各种胁迫时,MDA含量会上升。本研究中,0.5%的NaCl胁迫下燕麦植株MDA含量有显著升高,在外施0.5 mmol/L和1 mmol/L SA显著降低NaCl

胁迫下 MDA 含量,但在 2.5 mmol/L 浓度处理时,MDA 含量反而上升,可见低浓度 SA 处理缓解盐胁迫下 MDA 含量的升高,降低植物膜系统的伤害,而高浓度 SA 处理比盐胁迫处理有显著下降,与 1 mmol/L 处理相比有下降趋势但差异不显著。耿志卓等^[10]在研究外源水杨酸对 NaCl 胁迫下紫花苜蓿幼苗生长和生理特性的影响中,发现添加 0.5、1.5 mmol/L 外源 SA 后,盐胁迫下紫花苜蓿 MDA 含量显著降低,而 2.5 mmol/L SA 处理后对盐胁迫的缓解效应降低,甚至会加剧胁迫。因此可见高于 2.5 mmol/L SA 处理对盐胁迫下燕麦 MDA 含量的影响还有待于进一步的研究^[12]。

综上所述,0.5%NaCl 胁迫对燕麦植株生长指标和生理特性有显著影响,喷施外源不同浓度的 SA 后,可以不同程度地缓解盐胁迫对燕麦植株的株高、根长、干重、鲜重的抑制作用,升高燕麦植株叶绿素含量、SOD 活性、POD 活性、CAT 活性,降低 MDA 含量来缓解盐胁迫的伤害,其中以 1 mmol/L SA 的处理缓解效果最好。但是,植物耐盐是一个复杂的过程,涉及植物生长发育过程中多种酶及生化反应,在不同的植物生理期植物的耐盐性不同,因而需要进一步的研究。

参考文献:

[1] 张永锋,梁正伟,隋 丽,等.盐碱胁迫对苗期紫花苜蓿生理特性的影响[J].草业学报,2009,18(4):230-235.
 [2] 刘爱荣,张远兵,钟泽华,等.盐胁迫对彩叶草生长和渗透调节物质积累的影响[J].草业学报,2013,22(2):211-218.
 [3] 马晓凤.燕麦膳食纤维与中老年慢性病[J].中国食物与营养,2005(3):46-47.
 [4] 徐长林.高寒牧区不同燕麦品种生长特性比较研究[J].草业学报,2012,21(2):280-285.
 [5] 王 波,宋凤斌.燕麦对盐碱胁迫的反应和适应性[J].生态环境,2006,15(3):625-629.

[6] 林忠平,胡鸢雷.植物抗逆性与水杨酸介导的信号传导途径的关系[J].Acta Botanica Sinica,1997(2):185-188.
 [7] 高琪昕,胡新喜,王欢妍,等.水杨酸诱导植物抗病害机制的研究进展[J].中国马铃薯,2014,28(4):238-242.
 [8] 张 磊,侯云鹏,王立春.盐碱胁迫对植物的影响及提高植物耐盐碱性的方法[J].东北农业科学,2018,43(4):11-16.
 [9] 程 艳,吴春燕,王 娜,等.矮壮素基质浇灌法对番茄幼苗生长及理化指标的影响[J].东北农业科学,2018,43(6):40-43.
 [10] 耿志卓,丁立人,逯亚玲,等.外源水杨酸对不同水分胁迫下分枝期紫花苜蓿生长和生理特性的影响[J].草地学报,2016,24(2):369-376.
 [11] 陈双建,王利军,刘庆昌,等.贮藏前外源水杨酸处理对桃果冷贮性的影响[J].中国农学通报,2006(9):219-224.
 [12] 孟长军,杜喜春,赵银萍.外源水杨酸对喜树幼苗盐胁迫缓解效应的生理机制初探[J].东北农业科学,2018,43(3):23-27.
 [13] 黄玉梅,张杨雪,刘庆林,等.水杨酸对盐胁迫下百日草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].草业学报,2015,24(7):97-105.
 [14] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:134-137.
 [15] 张治安,陈展宇.植物生理学实验技术[M].长春:吉林大学出版社,2008:180-192.
 [16] 尹 利,逯晓萍,傅晓峰,等.高丹草杂交种灰色关联分析与评判[J].中国草地学报,2006,28(3):21-25,43.
 [17] 施 伟,昌小平,景蕊莲.不同水分条件下小麦生理性状与产量的灰色关联度分析[J].麦类作物学报,2012,32(4):653-659.
 [18] 周万海,师尚礼,寇江涛.外源水杨酸对苜蓿幼苗盐胁迫的缓解效应[J].草业学报,2012,21(3):171-176.
 [19] 王立红,李星星,孙影影,等.外源水杨酸对 NaCl 胁迫下棉花幼苗生长生理特性的影响[J].西北植物学报,2017,37(1):154-162.
 [20] 芦 翔,石卫东,王宜伦,等.外源 NO 对 NaCl 胁迫下燕麦幼苗抗氧化酶活性和生长的影响[J].草业科学,2011,28(12):2150-2156.

(责任编辑:刘洪霞)



(下转第 54 页)

(上接第 38 页)

[1] 张 岩,陈燕萍,徐李娜,等.高粱新品种风杂 18 号的选育[J].东北农业科学,2018,43(3):5-7.
 [2] 杨 微,侯佳明,高明超,等.早熟矮秆酿酒高粱杂交种吉杂 149 选育报告[J].东北农业科学,2018,43(4):5-6.
 [3] 沈佳奇,周棱波,张国兵,等.直立散穗型用糯高粱红梁丰 1 号的选育[J].种子,2018,37(1):122-123.
 [4] 李继洪,陈冰嫄,高士杰.高粱不育系吉 2055A 特征特性与

应用潜力分析[J].安徽农业科学,2011(28):17192-17194.
 [5] 马忠良,张淑君,周紫阳,等.优良高粱恢复系南 133 的选育与利用[J].杂粮作物,2006(3):178-179.
 [6] 李淑杰,李继洪,高士杰,等.早熟、耐密高粱杂交种吉杂 90 选育报告[J].吉林农业科学,2004,29(3):21-22.
 [7] 王江红,马忠良,周紫阳,等.高粱杂交种四杂 42 选育报告[J].吉林农业科学,2006,31(4):28-29.

(责任编辑:刘洪霞)