

引用格式:

江生泉, 薛正帅, 梁建军, 杨志民. 外源水杨酸对盐胁迫高羊茅生长和生理的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(2): 166–170.

JIANG S Q, XUE Z S, LIANG J J, YANG Z M. Effects of exogenous salicylic acid on growth and physiology of tall fescue under salt stress[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(2): 166–170.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



外源水杨酸对盐胁迫高羊茅生长和生理的影响

江生泉¹, 薛正帅¹, 梁建军¹, 杨志民^{2*}

(1. 滁州职业技术学院食品与环境工程系, 安徽 滁州 239000; 2. 南京农业大学草业学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 采用盆栽控盐方法, 探究 250 mmol/L NaCl 胁迫下不同浓度(0.3、0.6、0.9 mmol/L)水杨酸对高羊茅生长和生理特性的影响。结果表明: 水杨酸(SA)能提高盐胁迫下高羊茅的相对生长速率, 处理 15 d 时, 0.6 mmol/L SA 处理的高羊茅相对生长速率分别比不施加 SA、施 0.3、0.9 mmol/L SA 提高 92.7%、54.9%和 46.3%; 喷施水杨酸能提高盐胁迫下高羊茅叶片的相对含水量, 其中以 0.6 mmol/L SA 处理最高; 0.6 mmol/L SA 处理的高羊茅叶片的电解质渗漏率最小, 分别比不施加 SA、施 0.3、0.9 mmol/L SA 处理降低 27.4%、11.4%和 9.0%; 0.6 mmol/L SA 处理的高羊茅叶片叶绿素含量最高; 水杨酸处理 25 d 时, 0.6 mmol/L SA 处理的丙二醛含量较不施加 SA 处理降低了 20.63%; 0.6 mmol/L 和 0.9 mmol/L SA 处理的 H₂O₂ 含量最低, 比不施加 SA 处理分别降低了 17.95%和 15.38%; 0.6 mmol/L SA 处理的 SOD 和 APX 活性比不施加 SA 的分别提高 155.56%和 77.38%。综合以上各指标的变化, 以喷施 0.6 mmol/L 水杨酸缓解高羊茅盐胁迫的效果最佳。

关键词: 高羊茅; 水杨酸; 盐胁迫; 生长和生理

中图分类号: S688.4

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2021)02-0166-05

Effects of exogenous salicylic acid on growth and physiology of tall fescue under salt stress

JIANG Shengquan¹, XUE Zhengshuai¹, LIANG Jianjun¹, YANG Zhimin^{2*}

(1. Food and Environmental Engineering Department, Chuzhou Vocational and Technical College, Chuzhou, Anhui 239000, China; 2. College of Grass, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

Abstract: The effects of different concentrations of salicylic acid (0.3, 0.6, 0.9 mmol/L) on the growth and physiological characteristics of tall fescue under 250 mmol/L NaCl stress were studied by pot experiment. The results showed that salicylic acid (SA) could increase the relative growth rate under salt stress, and the relative growth rate with 0.6 mmol/L SA for 15 d was 92.7%, 54.9% and 46.3% higher than that in treatments without SA, with 0.3 mmol/L SA and with 0.9 mmol/L SA, respectively. Spraying SA could increase the relative water content of leaves under salt stress, and the treatment of 0.6 mmol/L SA showed the highest water content. The electrolyte leakage rate in treatment with 0.6 mmol/L SA was the lowest, which was 27.4%, 11.4% and 9.0% lower than that in the treatments without SA, with 0.3 mmol/L SA and with 0.9 mmol/L SA, respectively. The content of chlorophyll with 0.6 mmol/L SA was the highest. After 25 d of SA treating, the MDA content in 0.6 mmol/L SA treatment was 20.63% lower than that in treatment without SA. The content of H₂O₂ in 0.6 mmol/L SA and 0.9 mmol/L SA treatments was the lowest, which was respectively 17.95% and 15.38% lower than that in treatment without SA. The SOD and APX activities of 0.6 mmol/L SA treatment were respectively 155.56% and 77.38% higher than that in treatment without SA. According to the changes of the above indexes, the effect of 0.6 mmol/L SA is the best to alleviate salt stress.

收稿日期: 2020-04-23

修回日期: 2021-01-21

基金项目: 安徽省教育厅优秀青年人才重点项目(gxyq2019130); 安徽省教育厅重点项目(KJ2019A1128)

作者简介: 江生泉(1982—), 男, 安徽滁州人, 硕士, 副教授, 主要从事草坪植物生理学研究, 34008545@qq.com; *通信作者, 杨志民, 博士, 教授, 主要从事草坪植物生理学研究, nauyzml@njau.edu.cn

Keywords: tall fescue; salicylic acid; salt stress; growth and physiology

高羊茅为丛生型草坪草,在园林绿地及运动场草坪中被广泛应用^[1-2],但在盐渍化土壤中易出现盐害现象,生长不良。水杨酸被认为具有促进植物生长代谢、提高植物抗性等功^[3-5]。王玉萍等^[6]研究发现,水杨酸(SA)能提高盐胁迫下花椰菜的株高,其中以 1.0 mmol/L 处理效果最好。周旋等^[7]研究表明,盐胁迫下喷施 1.0 mmol/L 水杨酸的茶树叶片相对含水量最大,水分代谢最强。马志博等^[8]研究表明,SA 能降低盐胁迫下酸枣幼苗叶片中的丙二醛含量,提高超氧化物歧化酶和过氧化物酶的活性,其中以 0.8 mmol/L 处理的效果最好。

何亚丽等^[9]研究发现,用 0.5 mmol/L 水杨酸预处理种子,能显著提高热胁迫下高羊茅的苗高、绿叶数。赵春旭等^[10]研究表明,水杨酸溶液能显著提高高羊茅种子的发芽特性,其中以 0.50 mmol/L 处理的效果最好。古燕翔等^[11]研究发现,0.01 mmol/L 水杨酸能显著降低高羊茅的弯孢霉叶斑病发生概率和程度,诱导效果可达到 70%以上。ERVIN 等^[12]研究表明,施用 0.5 kg/hm² 水杨酸能提高高温胁迫下高羊茅的光化学效率和根系生物量,增幅分别为 14%和 9%。笔者用 NaCl 水溶液模拟盐胁迫条件,测定不同浓度水杨酸处理盐胁迫下高羊茅的生长和生理特性,寻求缓解高羊茅盐胁迫效应的水杨酸最佳浓度,以期高羊茅的养护管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

高羊茅‘猎狗 5 号’种子,购自江苏省达鑫生态科技有限公司。

1.2 方法

选取植株健壮且长势一致的高羊茅草块,在温

室采用 PVC 管(管径 11 cm、高 40 cm)培养。培养土壤采用 1 份园土+3 份泥炭土+5 份黄沙的混合物,温度控制在 20~30 °C。统一水肥管理。30 d 时,选取长势一致的高羊茅进行修剪(高度控制在 5 cm)。从第 35 天开始,每天浇灌 NaCl 溶液,直至最终盐浓度达到 250 mmol/L;之后每天用 250 mmol/L NaCl 溶液浇灌,形成高羊茅盐胁迫环境。用水杨酸溶液喷施高羊茅叶片,设 5 个处理:CK(无盐胁迫)、A1(蒸馏水)、A2(0.3 mmol/L)、A3(0.6 mmol/L)、A4(0.9 mmol/L),4 次重复。分别在水杨酸处理后的第 5、10、15、20、25 天测定植株高度、叶绿素含量^[13]、叶片相对含水量^[14]、电解质渗透率^[14],并计算高羊茅的相对生长速率^[14]。处理后 25 d 测定高羊茅叶片的 H₂O₂ 含量、MDA 含量、SOD 酶活性、APX 酶活性^[13-15]。

1.3 数据处理

用 SPSS 21.0 软件进行数据分析,采用单因素比较各处理的差异性,采用邓肯多重范围检验法分析 0.05 水平下的显著性。

2 结果与分析

2.1 水杨酸对盐胁迫高羊茅生长的影响

2.1.1 相对生长速率

由表 1 可知,非盐胁迫下,高羊茅的相对生长速率保持在 1.32~1.34 cm/d。从第 10 天开始,喷施水杨酸处理的相对生长速率与 A1 存在显著差异;不同浓度间的水杨酸对盐胁迫下的高羊茅生长速率也存在差异,其中以 A3 的相对生长速率最大,与其他处理差异显著。由相对生长速率的动态分析可知,第 15 天各处理的差异达到最大值,A3 的相对生长速率分别比 A2 和 A4 高 55%和 46%。

表 1 水杨酸处理盐胁迫高羊茅的相对生长速率和相对含水量

处理	相对生长速率/(cm·d ⁻¹)				
	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d
CK	(1.33±0.01)a	(1.32±0.02)a	(1.32±0.03)a	(1.34±0.02)a	(1.33±0.01)a
A1	(1.31±0.03)ab	(0.78±0.02)d	(0.41±0.01)d	(0.15±0.03)e	(0.16±0.01)d
A2	(1.29±0.03)b	(1.05±0.05)c	(0.51±0.03)c	(0.31±0.03)d	(0.21±0.01)c
A3	(1.30±0.01)ab	(1.18±0.01)b	(0.79±0.01)b	(0.50±0.02)b	(0.30±0.01)b
A4	(1.32±0.03)ab	(1.08±0.10)c	(0.54±0.05)c	(0.38±0.02)c	(0.21±0.03)c

表 1(续)

处理	相对含水量/%				
	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d
CK	(96.00±0.26)a	(96.10±0.22)a	(95.93±0.52)a	(96.28±0.26)a	(95.90±0.28)a
A1	(90.18±0.26)c	(86.43±0.20)d	(84.23±0.33)d	(80.05±0.42)d	(69.75±0.26)d
A2	(90.03±0.10)c	(88.18±0.22)c	(86.50±0.39)c	(83.15±0.34)c	(79.50±0.29)c
A3	(91.03±0.26)b	(90.40±0.3)b	(88.10±0.14)b	(86.03±0.17)b	(82.13±0.17)b
A4	(91.15±0.13)b	(88.38±0.31)c	(86.33±0.17)c	(83.20±0.16)c	(79.13±0.17)c

同列不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

2.1.2 叶片相对含水量

由表 1 可知,在非盐胁迫状况下,高羊茅的叶片相对含水量达到 95%以上,生长较快。除 CK 以外,各处理叶片的相对含水量逐步下降,与 CK 存在显著差异($P<0.05$),喷施 SA 能显著提高盐胁迫下高羊茅叶片的相对含水量。在水杨酸施用 25 天后, A3 叶片的相对含水量最高,分别比 A1、A2、A4 提高 17.7%、3.3%和 3.8%,差异显著($P<0.05$),但 A2 和 A4 间的差异不显著($P>0.05$)。

2.2 水杨酸对盐胁迫高羊茅叶绿素含量和电解质渗漏率的影响

2.2.1 叶绿素含量

由表 2 可知,非盐胁迫下,高羊茅叶绿素含量随时间变化不大。除 CK 外,各处理的叶绿素含量第 10 天达到最大值,喷施水杨酸能显著提高盐胁迫下高羊茅的叶绿素含量;第 15 天, A3 的叶绿素含量最高,分别比 A2、A4 的提高 3.9%和 3.2%,差异显著($P<0.05$)。20 d 后,水杨酸处理的叶绿素含量差异不显著。

表 2 水杨酸处理盐胁迫高羊茅的叶绿素含量和电解质渗漏率

Table 2 Chlorophyll content and electrolyte leakage rate of tall fescue treated with salicylic acid under salt stress					
处理	叶绿素含量/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)				
	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d
CK	(2.32±0.03)d	(2.34±0.02)d	(2.32±0.02)d	(2.33±0.02)a	(2.34±0.02)a
A1	(3.05±0.06)a	(3.49±0.02)a	(3.05±0.03)a	(1.86±0.06)c	(1.40±0.02)c
A2	(2.72±0.02)b	(3.30±0.02)b	(2.82±0.03)c	(2.10±0.03)b	(1.68±0.03)b
A3	(2.48±0.04)c	(3.08±0.06)c	(2.93±0.06)b	(2.09±0.08)b	(1.71±0.02)b
A4	(2.55±0.05)c	(3.34±0.03)b	(2.84±0.02)c	(2.06±0.02)b	(1.73±0.02)b
处理	电解质渗漏率/%				
	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d
CK	(22.0±0.56)c	(21.8±0.35)d	(21.4±0.06)e	(22.1±0.30)e	(22.7±0.35)d
A1	(24.4±0.15)a	(30.1±0.55)a	(33.4±0.21)a	(36.2±0.21)a	(41.9±0.50)a
A2	(24.6±0.25)a	(27.4±0.26)b	(30.0±0.10)b	(32.0±0.21)b	(34.3±0.06)b
A3	(22.9±0.12)b	(25.8±0.26)c	(27.0±0.21)d	(28.5±0.15)d	(30.4±0.26)c
A4	(23.3±0.10)b	(26.3±0.30)c	(28.9±0.15)c	(31.2±0.26)c	(33.4±0.12)b

同列不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

2.2.2 电解质渗漏率

由表 2 可知,非盐胁迫下,高羊茅的电解质渗漏率稳定在 21.4%~22.7%。除 CK 外,各处理的的电解质渗漏率逐渐上升,喷施水杨酸能显著降低盐胁迫下高羊茅的电解质渗漏率($P<0.05$);第 5 天和第 10 天, A3 和 A4 的电解质渗漏率最小,与 A1 和 A2 的差异显著($P<0.05$);第 15 天以后, A3 的电解质渗漏率最低,与其他处理的差异达到显著水平($P<0.05$)。

2.3 水杨酸对盐胁迫下高羊茅的抗氧化性和酶活性的影响

从表 3 可知,喷施水杨酸能显著降低盐胁迫下高羊茅丙二醛的含量,其中以 A3 的效果最好,较 A1 的降低了 20.63%,与其他 2 个浓度处理的差异显著($P<0.05$)。SA 能显著降低 H_2O_2 含量,其中 A3 和 A4 的效果较好,比 A1 的分别降低了 17.95%、15.38%,与 A2 的差异显著($P<0.05$), A3、A4 间的差异不显著($P>0.05$)。A3 的 SOD 活性最大,是 A1

的 2.3 倍,与其他处理差异显著($P<0.05$)。外源 SA 施用能进一步提高高羊茅的 APX 活性,A3 的 APX

活性比 A1 的提高了 77.38%,与其他浓度处理的差异显著($P<0.05$)。

表 3 水杨酸处理盐胁迫高羊茅的抗氧化性和酶活性

Table 3 Antioxidant activity and enzyme activity of tall fescue treated with salicylic acid under salt stress

处理	丙二醛含量/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	过氧化氢含量/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	超氧化物歧化酶活性/ ($\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}$)	抗坏血酸过氧化物酶活性/ ($\text{nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$)
CK	(17.7±0.18)a	(0.27±0.007)a	(1.6±0.12)b	(0.118±0.001)b
A1	(28.6±0.17)d	(0.39±0.006)d	(0.9±0.05)a	(0.084±0.003)a
A2	(24.8±0.11)c	(0.35±0.007)c	(1.8±0.11)bc	(0.114±0.004)b
A3	(22.7±0.16)b	(0.32±0.008)b	(2.3±0.26)d	(0.149±0.002)d
A4	(24.5±0.14)c	(0.33±0.005)b	(1.9±0.04)c	(0.125±0.001)c

同列不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

3 小结与讨论

本研究结果表明,高羊茅的相对生长速率和叶片相对含水量随着盐胁迫时间的延长而逐渐下降,这与刘广明等^[16]对黑麦草的研究结论相似,可能是盐胁迫导致植物渗透调节失衡,细胞吸水受到抑制,形成生理干旱,造成水分和生物量下降。喷施 SA 能在一定程度上提高盐胁迫下高羊茅的相对生长速率和叶片相对含水量,这与董慧等^[17]在多年生黑麦草的研究结论一致,说明施用 SA 能增加高羊茅渗透调节,有利于其从土壤中吸收水分和营养物质,促进其相对生长速率和相对含水量的提高。综合分析,以喷施 0.6 mmol/L SA 的缓解效应最好,但其缓解效应存在时间阈值,这与王宝增等^[18]对沙打旺的研究结论相似,可能是高羊茅生长前期其自身存在清除机制和调节离子动态平衡,维持一定的生长,施用水杨酸效果并不显著,而从第 10 天开始,盐害显现,施用水杨酸对缓解盐胁迫发挥作用了。

众多的研究表明,叶绿素含量、电解质渗漏率、丙二醛含量及相关酶的活性等指标可以衡量植物对盐胁迫的适应程度^[16-17]。喷施水杨酸能提高盐胁迫下高羊茅的叶绿素含量、超氧化物歧化酶活性和抗坏血酸过氧化物酶活性,降低电解质渗漏率、丙二醛含量,这与众多的学者研究水杨酸对其他植物盐胁迫的结论^[19-21]一致。一方面施用 SA 降低了高羊茅的电解质渗漏率,能在一定程度缓解盐胁迫造成的膜脂氧化,确保高羊茅膜结构和蛋白质的相对稳定,从而缓解盐胁迫造成的伤害;另一方面,施用 SA 可提高保护酶活性,有效清除氧化作用,保护叶绿体,促进植物的同化作用。本研究中水杨酸处理前期,高羊茅叶绿素含量反而有所上升,这与何奇江等^[22]研究雷竹的结论相似,可能一是盐胁迫

初期积累的脯氨酸有利于叶绿体类囊体膜稳定性,促进叶绿素含量升高;二是高羊茅叶片含水量降低,导致了叶绿素的浓缩^[23],机理有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 谭伊文,许岳飞,周禾,等.盐胁迫下一氧化氮对高羊茅种子萌发和幼苗生长的影响[J].草地学报,2010,18(3):394-398.
TAN Y W, XU Y F, ZHOU H, et al. Effects of nitric oxide on seed germination and seedling growth of tall fescue under salt stress[J]. Acta Agrestia Sinica, 2010, 18(3): 394-398.
- [2] 江生泉,薛正帅,李晨,等.外源乙硫氨酸对盐胁迫下高羊茅的缓解效应[J].云南大学学报(自然科学),2020,42(1):179-186.
JIANG S Q, XUE Z S, LI C, et al. Mitigation effect of ethionine on tall fescue under salt stress[J]. Journal of Yunnan University(Natural Sciences Edition), 2020, 42(1): 179-186.
- [3] 侯爽,陈锦芬,刘溶荣,等.外源水杨酸对烟草幼苗低温胁迫的缓解效应[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2020,46(1):14-20.
HOU S, CHEN J F, LIU R R, et al. Mitigative effect of exogenous salicylic acid on low temperature stress in tobacco seedlings[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2020, 46(1): 14-20.
- [4] HAYAT Q, HAYAT S, IRFAN M, et al. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review[J]. Environmental and Experimental Botany, 2010, 68(1): 14-25.
- [5] KANG G Z, LI G Z, GUO T C. Molecular mechanism of salicylic acid-induced abiotic stress tolerance in higher plants[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2014, 36(9): 2287-2297.
- [6] 王玉萍,董雯,张鑫,等.水杨酸对盐胁迫下花椰菜种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].草业学报,2012,21(1):213-219.
WANG Y P, DONG W, ZHANG X, et al. Effects of salicylic acid on seed germination and physiological characters of cauliflower seedlings under salt stress[J].

- Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(1): 213-219.
- [7] 周旋, 申璐, 金媛, 等. 外源水杨酸对盐胁迫下茶树生长及主要生理特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(7): 161-167.
ZHOU X, SHEN L, JIN Y, et al. Effects of exogenous salicylic acid on growth and physiological characteristics of tea plant (*Camellia sinensis*) under salt stress[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2015, 43(7): 161-167.
- [8] 马志博, 陈蕊红, 贺傲兵, 等. 外源水杨酸对盐胁迫下酸枣幼苗生理特性及离子吸收的影响[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(6): 103-109.
MA Z B, CHEN R H, HE A B, et al. Effects of exogenous salicylic acid on physiological responses and ion absorption of wild jujube (*Ziziphus jujube* var. *spinosa*) seedlings under salt stress[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(6): 103-109.
- [9] 何亚丽, 刘友良, 陈权, 等. 水杨酸和热锻炼诱导的高羊茅幼苗的耐热性与抗氧化的关系[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2002, 28(2): 89-95.
HE Y L, LIU Y L, CHEN Q, et al. Thermotolerance related to antioxidation induced by salicylic acid and heat hardening in tall fescue seedlings[J]. Acta Photophysiological Sinica, 2002, 28(2): 89-95.
- [10] 赵春旭, 刘芳芳, 赵韦, 等. 水杨酸浸种对高羊茅在干旱胁迫下萌发的影响[J]. 草业科学, 2011, 28(11): 1945-1949.
ZHAO C X, LIU F F, ZHAO W, et al. Effects of soaking seeds with salicylic acid on tall fescue seed germination under drought stress[J]. Pratacultural Science, 2011, 28(11): 1945-1949.
- [11] 古燕翔, 王代军. 外源诱导物水杨酸对草坪型高羊茅弯孢霉叶斑病抗性影响的研究[J]. 中国草地, 2003, 25(4): 56-60.
GU Y X, WANG D J. Effect of external salicylic acid on *Curvularia lunata* Boed on *Festuca arundinacea* Schreb[J]. Grassland of China, 2003, 25(4): 56-60.
- [12] ERVIN E H, ZHANG X, SCHMIDT R E. Exogenous salicylic acid enhances post-transplant success of heated kentucky bluegrass and tall fescue[J]. Crop Science, 2005, 45(1): 240-244.
- [13] 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, 2001.
LI H S. Principles and Techniques of Plant Physiological and Biochemical Experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001.
- [14] 王岩. 外源肌肽和乙硫氨酸对高羊茅耐盐性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
WANG Y. Effects of exogenous carnosine and ethionine on tall fescue under salt stress[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016.
- [15] 逯亚玲, 王灵婧, 王宁, 等. 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[J]. 草地学报, 2017, 25(6): 1265-1273.
LU Y L, WANG L J, WANG N, et al. Effects of salicylic acid on physiological characteristics and growth of alfalfa seedling under NaCl stress[J]. Acta Agrestia Sinica, 2017, 25(6): 1265-1273.
- [16] 刘广明, 李金彪, 王秀萍, 等. 外源水杨酸对黑麦草幼苗盐胁迫的缓解效应研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(4): 995-1002.
LIU G M, LI J B, WANG X P, et al. Effect of extraneous salicylic acid mitigating salt stress on ryegrass (*Lolium perenne*) seedlings[J]. Acta Pedologica Sinica, 2016, 53(4): 995-1002.
- [17] 董慧, 段小春, 常智慧, 等. 外源水杨酸对多年生黑麦草耐盐性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(2): 128-135.
DONG H, DUAN X C, CHANG Z H, et al. Effect of exogenous salicylic acid on salt tolerance in perennial ryegrass[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2015, 37(2): 128-135.
- [18] 王宝增, 张一名, 张江丽, 等. 水杨酸对盐胁迫下沙打旺幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2016, 25(8): 74-80.
WANG B Z, ZHANG Y M, ZHANG J L, et al. Effects of salicylic acid on growth of astragalus adsurgens seedlings under salt stress[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2016, 25(8): 74-80.
- [19] 樊瑞苹, 周琴, 周波, 等. 盐胁迫对高羊茅生长及抗氧化系统的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(1): 112-117.
FAN R P, ZHOU Q, ZHOU B, et al. Effects of salinization stress on growth and the antioxidant system of tall fescue[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(1): 112-117.
- [20] 姚侠妹, 偶春, 张瑞娥, 等. 外源水杨酸对盐胁迫栀子幼苗的缓解效应[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(11): 1939-1944.
YAO X M, OU C, ZHANG R E, et al. Ameliorating effects of exogenous salicylic acid on gardenia jasminoides seedlings under salt stress[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2015, 27(11): 1939-1944.
- [21] SINGH P K, GAUTAM S. Role of salicylic acid on physiological and biochemical mechanism of salinity stress tolerance in plants[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2013, 35(8): 2345-2353.
- [22] 何奇江, 李楠, 周文伟, 等. 盐胁迫对雷竹叶绿素含量的影响[J]. 竹子研究汇刊, 2014, 33(2): 58-62.
HE Q J, LI N, ZHOU W W, et al. The response of chlorophyll content of phyllostachys violascens to NaCl stress[J]. Journal of Bamboo Research, 2014, 33(2): 58-62.
- [23] ROMEROA-RANDA R, SORIA T, CUARTERO J. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions[J]. Plant Science, 2001, 160(2): 265-272.

责任编辑: 罗慧敏
英文编辑: 罗维