

植物延缓剂对盐碱胁迫下羊柴幼苗根系形态的影响

陈晓娜, 高永, 党晓宏, 赵纳祺, 李婉娇, 陈曦, 梁超

(内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 呼和浩特 010019)

摘要:应用盆栽控盐方法,通过模拟毛乌素沙地实际盐碱状况,研究不同质量浓度(0,150,300,450,600 mg/L)植物延缓剂(以多效唑为例)对盐碱处理(全盐量 0.94 g/kg,处理时间 3 个月)下羊柴(*Hedysarum laeve*)根系形态特征的影响。结果表明:(1)盐碱胁迫会抑制羊柴根长的生长,降低根系与土壤结合面积及分支强度。其中,分叉数和交叉数所受的抑制作用最明显,分别较对照降低了 77.54%,87.70%。(2)多效唑处理会促进羊柴根的生长,600 mg/L 多效唑处理后羊柴根长、根尖数、分叉数、交叉数、根表面积、根体积分别较单独施盐处理增加了 87.66%,116.62%,136.11%,302.25%,57.50%,31.33%,说明多效唑可以缓解羊柴的盐害作用。(3)综合考虑 6 项根系形态指标,质量浓度为 600 mg/L 的多效唑对提高羊柴耐盐性的效果最佳。

关键词:多效唑;盐碱胁迫;根系形态;羊柴;毛乌素沙地

中图分类号:S278

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)04-0187-04

Effects of Paclobutrazol on Root Morphology of *Hedysarum laeve* Seedlings Under Saline-alkali Stress

CHEN Xiaona, GAO Yong, DANG Xiaohong, ZHAO Naqi, LI Wanjiao, CHEN Xi, LIANG Chao

(College of Desert Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China)

Abstract: The pot experiment was conducted to study the effects of paclobutrazol with different concentrations(0 mg/L, 150 mg/L, 300 mg/L, 450 mg/L, 600 mg/L) on the root morphology of *Hedysarum laeve* under the saline-alkali stress (0.94 g/ kg total salt content) for three months. The results showed: (1) the root lengths were reduced, combined area between roots and soil and branching intensity were decreased under the saline-alkali stress. The forks and crossings were inhibited by 77.54% and 87.70%; (2) the application of paclobutrazol promoted the root growth, compared with single salt application, the root length, root tips, root forks, root crossings, root surface area and root volume increased by 87.66%, 116.62%, 136.11%, 302.25%, 57.50%, 31.33%, respectively, under 600 mg/L paclobutrazol treatment, which revealed that paclobutrazol application could release the salt stress on *Hedysarum laeve*; (3) considered the above six root morphology indexes, the improving effect of 600 mg/L paclobutrazol on salt tolerance of *Hedysarum laeve* was the best.

Keywords: paclobutrazol; saline-alkali stress; root morphology; *Hedysarum laeve*; Mu Us sandy land

毛乌素沙地是内蒙古自治区土地荒漠化相对典型的地区之一。近年来毛乌素沙地盐渍化土地面积逐渐增多,且许多中度盐渍化土地发展成重度盐渍化土地^[1]。盐碱胁迫下植物生长缓慢、代谢均会受到抑制,甚至会出现萎蔫或死亡的状况,最终造成地表植被群落退化^[1-4]。因此,研究植物耐盐性对毛乌素沙地进一步培育耐盐树种工作有重要指导意义。

多效唑作为一种植物生长延缓剂,能够抑制赤霉素在植物体内的合成,有效促进植物横向生长及须根的发生,使根系数量及分布增多,增强植物根系的吸收能力和抗逆性^[5-6]。近年来,应用多效唑提高植物耐盐性领域中的研究日益增多,如多效唑浸种能促进盐胁迫下麻疯树(*Jatropha curcas* L.)南油 1 号幼苗的生长,缓解盐胁迫对麻疯树幼苗的非气孔限制,改善光合作用,减缓

盐胁迫的伤害^[7]。陈兰等^[8]研究发现,多效唑能够改变高羊茅(*Festuca arundinacea*)生理特征,在一定程度上反映多效唑处理的高羊茅耐盐性能得到提高,400 mg/L 的多效唑在缓解高羊茅盐害的效果是最佳的。上述的研究角度多以灌木生理及地上生长状况为出发点,而有关植物最早感受逆境胁迫信号的器官——植物根系构型的相关研究却罕见报道^[6,9]。

目前关于植物耐盐性研究多偏重于单盐或依据一定比例配制的混合盐碱胁迫,这两种胁迫与自然环境中盐碱状况有着很大的差异。因此本文通过模拟毛乌素沙地实际重度盐碱情况,研究多效唑对盐碱胁迫下羊柴(*Hedysarum laeve*)根系构型的影响,旨在为羊柴在盐碱地中的种植及多效唑在羊柴的广泛种植应用中提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

一年生羊柴幼苗产自内蒙古鄂尔多斯市乌审旗当地,栽植容器为 PVC 花盆(高 30 cm,直径 16 cm),基质为当地裸沙丘背风坡沙土,多效唑的质量分数为 17.5%。

1.2 试验设计

盐碱配比标准依据毛乌素沙地实际重度盐渍化状况^[10]进行模拟,具体配制见表 1。试验于 2016 年 4 月在内蒙古鄂尔多斯市乌审旗嘎鲁图镇进行。试验前期,将沙土风干后,用大小为 10 目(孔径 2 mm)筛子将杂质筛出,备用。将羊柴苗木栽到 PVC 花盆中,每盆一株羊柴,每盆中的土壤高度为 27 cm,质量为 7.8 kg,缓苗期间进行正常的管护,每 7 d 将羊柴按照"对角线"进行移位,以保证其受光照条件的均匀。缓苗期结束后(2016 年 6 月 30 日),采用土施的方式将盐碱溶液浇入花盆中,施盐量为 500 ml,每晚浇一次,分 3 次浇灌,避免盐冲刷现象的发生,施盐结束的第 2 天晚上 18:00 将多效唑呈辐射状浇入土中,每个处理重复 3 次。胁迫阶段依照毛乌素每月降雨量的分配情况进行浇水^[11],7—8 月份每次浇水 175 ml,9 月份每次 70 ml,每 3 d 浇一次,于生长结束期(9 月底)进行羊柴根系形态指标的测定。以水处理为对照(CK),单独施盐处理为 P₀,盐+150 mg/L 多效唑为 P₁₅₀,盐+300 mg/L 多效唑为 P₃₀₀,盐+450 mg/L 多效唑为 P₄₅₀,盐+600 mg/L 多效唑为 P₆₀₀。

表 1 盐碱配制比例及全盐量

处理	盐组分		全盐量/(g·kg ⁻¹)		
	比例		NaCl	NaHCO ₃	Na ₂ SO ₄
CK	0	0	0	0	0
重度	11.24	1	1.02	0.94	

1.3 测定指标及方法

将整个羊柴根系挖出,根系洗干净后采用根系扫描仪进行羊柴根系总长度、根尖数、根系分叉数、根系交叉数、根系表面积、根系体积的图像扫描,利用 Win Rhizo 根系分析系统软件进行图像分析进而获取根系形态指标。

1.4 数据处理

采用 Excel 统计软件对试验数据进行整理,采用 Origin 8.0 进行画图,利用 Duncan 法对数据进行显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 多效唑对盐碱胁迫下羊柴根长的影响

根系径级的划分有多种方式,目前利用根序和根系功能进行根系划分的方法逐渐得到广泛认可^[12]。本文采取 Cronan 的划分标准,将 $d < 1$ mm 定义为细根, $d < 3$ mm 定义为小根, $3 \text{ mm} < d < 10$ mm 定义为中根, $d > 10$ mm 定义为大根。分析表 2 可知,单独施盐显著($p < 0.05$)抑制羊柴总根长的生长。多效唑处理后羊柴总根长有增加的趋势,但变化程度不显著($p > 0.05$)。施盐对细根、小根、中根的根长生长均有一定的抑制作用,尤其对细根的抑制作用最为显著($p < 0.05$)。多效唑处理后,羊柴细根及小根的根系生长有所恢复,600 mg/L 多效唑处理与盐处理对羊柴小根长的制约差异显著($p < 0.05$),但多效唑对中根的影响不显著($p > 0.05$)。

表 2 重度盐碱下多效唑对羊柴根长的影响

指标 处理	总根长/ (cm/盆)	根系径级/cm		
		$d \leq 0.1$	$0.1 < d \leq 0.3$	$d > 0.3$
CK	570.80a	531.92a	25.93ab	12.95a
P ₀	209.65b	184.41b	15.34b	9.90a
P ₁₅₀	286.13ab	251.38ab	23.01ab	11.74a
P ₃₀₀	305.30ab	268.19ab	30.82ab	6.29a
P ₄₅₀	322.57ab	288.00ab	21.76ab	12.81a
P ₆₀₀	393.42ab	346.75ab	37.77a	8.90a

2.2 多效唑对盐碱胁迫下羊柴根尖数的影响

根尖是植物根系吸收养分、水分及合成物质的主要部位,且根伸长、根系形成及根内组织分化也均在根尖进行,其数量的多少可以反映植物发根的能力^[13]。分析表 3 可知,盐处理会显著降低羊柴根尖数($p < 0.05$),而多效唑处理则会减缓盐碱胁迫对根尖数的抑制作用,随着多效唑浓度的增加,羊柴根尖数逐渐增多,150 mg/L 的多效唑对盐碱胁迫的缓解作用比较小,羊柴根尖数仍显著低于 CK($p < 0.05$);当多效唑浓度为 600 mg/L 时,羊柴根尖数已多于 CK。盐处理和多效唑处理对羊柴细根根尖数的作用效

果与总根尖数的效果一致;2种处理对羊柴小根的作用效果均不显著($p>0.05$);600 mg/L的多效唑处理与单独盐处理下羊柴根尖数已形成显著差异($p<0.05$)。

表3 重度盐碱下多效唑对羊柴根尖数的影响

指标 处理	根尖数	根系等级/cm		
		$d\leq 0.1$	$0.1<d\leq 0.3$	$d>0.3$
CK	1589.33a	1581.67a	6.67a	1.00ab
P ₀	740.00b	736.00b	3.50a	0.50b
P ₁₅₀	728.00b	720.50b	5.50a	2.00ab
P ₃₀₀	958.33ab	951.67ab	5.67a	1.00ab
P ₄₅₀	1367.33ab	1360.33ab	6.33a	0.67ab
P ₆₀₀	1603.00a	1597.00a	3.50a	2.50a

2.3 多效唑对盐碱胁迫下羊柴根系分支强度的影响

根系分叉数、交叉数能够表示侧根生长发育状况,对植物根系觅食能力和植株固定作用有一定的影响^[14]。分析图1可知,盐处理和多效唑处理对羊柴分叉数和交叉数的影响效果一致。盐处理会显著降低羊柴分叉数和交叉数($p<0.05$),多效唑处理后羊柴分叉数和交叉数均有不同程度的升高,但效果不显著($p>0.05$)。单独盐处理后,羊柴分叉数和交叉数分别是CK的22.46%和12.30%;600 mg/L多效唑处理后,羊柴分叉数和交叉数分别是CK的53.03%,49.49%;600 mg/L多效唑处理后羊柴分叉数和交叉数是单独施盐的2.36倍和4.02倍。

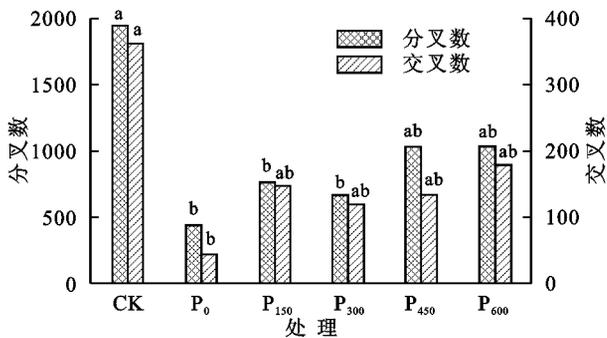


图1 重度盐碱下多效唑对羊柴根系分支强度的影响

2.4 多效唑对盐碱胁迫下羊柴根系表面积和根系体积的影响

根系表面积与根系体积二者的结合即可判断出根系在空间上的生长状况,进而推断出植物根系在土壤中吸收、代谢、固结土壤及蓄水能力^[15]。由图2可知,盐处理和多效唑处理对根表面积和根体积的影响效果基本一致。盐处理会明显降低羊柴根表面积和根体积,多效唑处理后羊柴根表面积和根体积均有不同程度的升高,但影响效果均不显著($p>0.05$)。单独盐处理后,羊柴根表面积和根体积分别是CK的52.04%和73.05%;600 mg/L多效唑处理后,羊柴根表面积升高幅度最大,是CK的81.97%,450 mg/L多效唑处理后,羊柴根体积恢复效果最好,已达到CK的1.07倍。

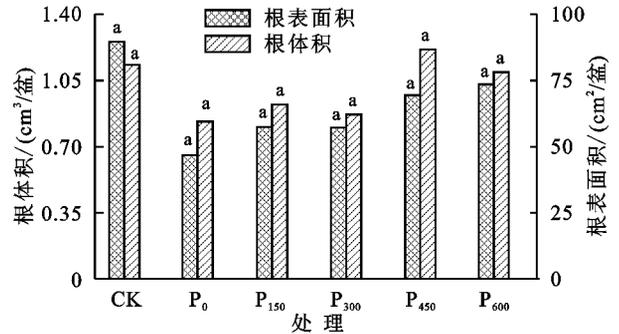


图2 重度盐碱下多效唑对羊柴根系表面积和根系体积的影响

3 讨论

根系是植物从土壤中吸收水分和矿质营养的主要器官,根系形态表征参数有各级根的根长,侧根的数量、长度、吸收面积等指标。植物根系形态具有可塑性,在感受到逆境信号后根系首先会做出相应反应,并通过信号传导对有关基因的表达进行时间和空间的调整,通过改变代谢途径和方向而影响碳同化产物在不同器官中的分配比例,最终又使根系生长受到影响,通过改变根系形态与分布以适应外界胁迫^[13-14]。为了提高植株生存适合度和竞争能力,植物根系通过分叉数等性状的响应,促使根系构型模式进行适应性调整,构建与环境梯度相匹配的根系营养吸收和传输系统^[14]。根交叉数、根分叉数与侧根的发生程度有关,胁迫环境下,根长、根体积、根表面积的增加有利于增大根表面与养分和水分的接触,使根系从更深和更广的土层中吸收水分和养分,提高水分和养分的利用率^[16]。

已有研究表明,NaCl和Ca(NO₃)₂两种盐胁迫均会抑制黄瓜(*Cucumis sativus* L.)根系的生长,降低其根系总长度、表面积和体积,促进根尖膨大短粗^[17]。姚静等^[18]研究发现,浓度为50 mmol/L以上NaCl胁迫下番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)根体积及根表面积均显著下降。白小明等^[9]研究了喷施多效唑对高羊茅单株扩展性和根系生态特性的影响,结果表明,100~1 900 mg/L质量浓度范围内,多效唑能提高高羊茅根系的表面积、体积和根冠比,促进分蘖和地下植物量的积累,质量浓度越高,调控效应越明显。杨敏等^[19]研究发现,土壤环施植物生长延缓剂对柠条(*Caragana korshinskii* Kom.)地径和根系的长度、表面积和体积均有不同程度的促进作用。陈兰等^[8]研究发现,高羊茅在盐胁迫下根长降低。施用不同浓度多效唑后,能提高根长,从而在一定程度上缓解了高羊茅的盐害。

本研究发现,盐处理会抑制6个羊柴根系构型参数(根长、根表面积、根体积、根尖数、分叉数及交叉数)的生长发育,说明重度盐碱胁迫会降低羊柴根系与土壤的相互结合面积,阻碍羊柴根系在空间上的发

育状况,其生根能力也会大幅度降低,进而抑制羊柴根系大范围地吸收水分与养分;除此之外,其分支强度也会降低,采取减少根系分叉数的策略以降低根系内部的交叠重复,避免细根营养物质的竞争^[14]。而多效唑处理则会促进根系的生长,减缓盐碱胁迫对其带来的伤害,且作用效果基本表现为浓度越高,改善效果越强,浓度为 600 mg/L 的多效唑对盐碱胁迫下羊柴根系形态生长的促进作用最好,今后在盐碱程度严重的地区,建议选用 600 mg/L 的多效唑提高羊柴抗盐碱性能,进而促进盐碱地区植物建设与恢复工作的完成。本研究结果与前人研究结果基本一致^[8]。在多效唑调控植物根系形态特征的适宜浓度方面,各研究结果不尽相同^[20-21],分析造成差异的原因可能是植物种类、苗龄及健壮程度不同、多效唑种类、盐胁迫成分组成、施盐时间及气温不同所致。

4 结论

(1) 重度盐碱胁迫会显著抑制羊柴根系的生长($p < 0.05$),阻碍羊柴根系的伸长生长,降低羊柴分支强度及根系与土壤的结合面积。

(2) 多效唑处理会促进羊柴根系的生长,减缓盐碱胁迫对其带来的伤害,且作用效果与多效唑浓度基本呈正相关关系,即浓度越高,改善效果越好。

参考文献:

[1] 白冬梅,于智忠,李凤琴,等. 内蒙古毛乌素沙地近年荒漠化动态研究[J]. 内蒙古环境科学,2008,20(1):68-73.
 [2] 蔺娟,地里拜尔·苏力坦. 土壤盐渍化的研究进展[J]. 新疆大学学报:自然科学版,2007,24(3):318-323,328.
 [3] 尹勤瑞. 盐碱化对土壤物理及水动力学性质的影响[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2011.
 [4] 朱金方,刘京涛,陆兆华,等. 盐胁迫对中国柽柳幼苗生理特性的影响[J]. 生态学报,2015,35(15):5140-5146.
 [5] 周秀梅,李保印,汪家哲. 多效唑在冷季型草坪上的应用效果[J]. 河南农业科学,2004(4):59-60.
 [6] 王宇灵,白小明,罗仁峰,等. 多效唑对多年生黑麦草扩展性和根系特性的影响[J]. 中国沙漠,2010,30(6):

1319-1324.

[7] 毛铁清,陈健妙,郑青松,等. 多效唑浸种对盐胁迫下麻疯树幼苗光合作用的影响[J]. 中国油料作物学报,2010,32(3):403-407.
 [8] 陈兰,黄广远. 多效唑对盐胁迫下高羊茅耐盐性的作用[J]. 草业科学,2009,26(8):177-180.
 [9] 白小明,相斐,罗仁峰,等. 多效唑对高羊茅扩展性和根系特性的调控效应[J]. 草业科学,2009,26(10):171-176.
 [10] 张惠,张泽宁,刘妹玲. 毛乌素沙地樟子松造林效果对土壤盐渍化程度的响应[J]. 西南林业大学学报,2016,36(1):44-48.
 [11] 宋云民. 毛乌素沙地主要树种水分特征及植被恢复模式研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2007.
 [12] Wang G, Fahey T J, Xue S. Root morphology and architecture respond to N addition in *Pinus tabulaeformis*, west China[J]. *Oecologia*, 2013,171(2):583-590.
 [13] 姜琳琳,韩立思,韩晓日,等. 氮素对玉米幼苗生长、根系形态及氮素吸收利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(1):247-253.
 [14] 郑慧玲,赵成章,徐婷,等. 红砂根系分叉数和分支角度权衡关系的坡向差异[J]. 植物生态学报,2015,39(11):1062-1070.
 [15] 姜慧敏,宝音陶格涛. 黄花苜蓿根系生长特征研究[J]. 中国草地学报,2014,36(1):53-57.
 [16] 王家顺,李志友. 干旱胁迫对茶树根系形态特征的影响[J]. 河南农业科学,2011,40(9):55-57.
 [17] 童辉,孙锦,郭世荣,等. 等渗 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 和 NaCl 胁迫对黄瓜幼苗根系形态及活力的影响[J]. 南京农业大学学报,2012,35(3):37-41.
 [18] 姚静,施卫明. 盐胁迫对番茄根形态和幼苗生长的影响[J]. 土壤,2008,40(2):279-282.
 [19] 杨敏,汪季,高君亮,等. 植物生长延缓剂对盆栽柠条根系形态的影响[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2011,32(2):300-304.
 [20] 朱永友,王治. PP_{333} 复合剂对高羊茅生长发育和生理效应的影响[J]. 草业科学,2000,17(4):70-73.
 [21] 杨文权,寇建村,刘勇,等. 多效唑对 2 种冷季型草坪草生长的影响[J]. 草业科学,2008,25(11):117-119.

(上接第 186 页)

[13] 刘斌涛,陶和平,宋春风,等. 1960—2009 年中国降雨侵蚀力的时空变化趋势[J]. 地理研究,2013,32(2):245-256.
 [14] 王万中,张宪奎. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布(D)[J]. 水土保持学报,1995,9(4):7-18.
 [15] 殷水清,谢云. 黄土高原降雨侵蚀力时空分布[J]. 水土保持通报,2005,25(4):29-33.
 [16] 李静,刘志红,李锐. 黄土高原不同地貌类型区降雨侵蚀力时空特征研究[J]. 水土保持通报,2008,28(3):124-127.

[17] 程琳,杨勤科,谢红霞,等. 基于 GIS 和 CSLE 的陕西省土壤侵蚀定量评价方法研究[J]. 水土保持学报,2009,23(5):61-66.
 [18] 张科利,彭文英,杨红丽. 中国土壤可蚀性值及其估算[J]. 土壤学报,2007,44(1):7-13.
 [19] 李月臣,刘春霞,赵纯勇,等. 三峡库区(重庆段)土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异特征[J]. 生态学报,2009,29(2):788-796.
 [20] 张科利,蔡永明,刘宝元,等. 黄土高原地区土壤可蚀性及其应用研究[J]. 生态学报,2001,21(10):1687-1695.