

中性盐和碱性盐胁迫对黑果枸杞种子萌发及幼苗生长的影响

王恩军¹, 李善家^{2,3}, 韩多红¹, 高 宏¹, 张 勇¹, 高天鹏⁴

(1. 河西学院农业与生物技术学院, 甘肃 张掖 734000; 2. 兰州理工大学生命科学技术学院, 甘肃 兰州 730050;

3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所临泽内陆河流域研究站, 甘肃 兰州 730000; 4. 兰州城市学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 在中性盐(NaCl)和碱性盐(Na₂CO₃)胁迫下,对采自河西走廊黑河中游的黑果枸杞进行种子萌发及幼苗生长试验,测定了发芽率(G_r)、发芽势(G_e)、发芽指数(G_I)、活力指数(V_I)和相对盐害率及幼苗的组织含水量、可溶性蛋白质含量、叶绿素含量、电导率、丙二醛含量和 POD 含量等指标。结果表明,黑果枸杞种子萌发的 NaCl、Na₂CO₃ 浓度的临界值分别是 50 mmol·L⁻¹和 2.5 mmol·L⁻¹,极限值分别是 300 mmol·L⁻¹和 100 mmol·L⁻¹;在 NaCl 和 Na₂CO₃ 胁迫下,发芽率分别为 69.17%和 71.67%;幼苗组织含水量分别由对照的 88.97%降低到 56.17%、70.27%;可溶性蛋白质含量最大值分别为 7.09%、7.73%;叶绿素含量分别由对照的 1.27 mg·g⁻¹降到 0.78 mg·g⁻¹、0.92 mg·g⁻¹;电导率分别由对照的 25.63%增加到 64.77%、74.8%;丙二醛含量分别由对照的 1.5 μmol·g⁻¹增加到 6.9、6.5 μmol·g⁻¹;POD 活性分别由对照的 380.4 U·g⁻¹·min⁻¹降低到 139.2 U·g⁻¹·min⁻¹、192.7 U·g⁻¹·min⁻¹。黑果枸杞是盐生植物,低浓度的盐促进萌发,高浓度的抑制萌发;碱性盐更适合其生长;黑果枸杞幼苗在盐胁迫下的生理响应及生态适应综合表现出黑果枸杞更适于碱性盐生长。

关键词: 黑果枸杞;盐胁迫;中性盐和碱性盐;种子萌发;幼苗生长

中图分类号: S682.119 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)06-0064-06

Effect of neutral and alkaline salt stresses on germination and seedling growth of *Lycium ruthenium*

WANG En-jun¹, LI Shan-jia^{2,3}, HAN Duo-hong¹, ZHANG Yong¹, GAO Tian-peng⁴

(1. College of Agricultural and Biotechnology, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China;

2. School of Life Science and Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu 730050, China;

3. Linze Inland River Basin Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China; 4. Lanzhou City University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Germination rate(G_r), germination potential(G_e), germination index(G_I), vigor index(V_I), relative salt injury rate, tissue water content, soluble protein content, chlorophyll content, conductivity, MDA and POD contents were determined to investigate the effect of neutral and alkaline salt stresses on germination and seedling growth of *Lycium ruthenium* Murr seed. The results indicated that minimum requirement of NaCl and Na₂CO₃ were 50 mmol·L⁻¹ and 2.5 mmol·L⁻¹, and upper limit were 300 mmol·L⁻¹ and 100 mmol·L⁻¹, respectively. Compared with the control (88.97%), the germination rates were 69.17% and 71.67%, water contents of seedling tissue were reduced to 56.17% and 70.27%. Maximum of soluble protein contents were 7.09% and 7.73%. Chlorophyll contents were reduced from 1.27 mg·g⁻¹ to 0.78 mg·g⁻¹ and 0.92 mg·g⁻¹. Conductivity increased from 25.63% to 64.77% and 74.8%. MDA contents increased from 1.5 μmol·g⁻¹ to 6.9 μmol·g⁻¹ and 6.5 μmol·g⁻¹. POD activity were decreased from 380.4 U·g⁻¹·min⁻¹ to 139.2 U·g⁻¹·min⁻¹ and 192.7 U·g⁻¹·min⁻¹. Being a halophyte, low concentration salt promoted the germination of *Lycium ruthenium* Murr., but high concentration inhibited its germination. The result indicate that saline land which contains a certain concentration of alkaline salt is suitable for the growth of *Lycium ruthenium* Murr.

Keywords: *Lycium ruthenicum* Murr.; salt stress; neutral and alkaline salts; germination; seedlings

收稿日期:2014-05-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41261013,31160118);河西学院青年教师科研基金项目(QN2012-13)

作者简介:王恩军(1980—),男,甘肃天水人,硕士,讲师,主要从事西北特色药用植物的引种与驯化研究。E-mail: wejspring@163.com。

通信作者:李善家(1980—),男,甘肃兰州人,讲师,主要从事干旱环境下植物生理生态的研究。E-mail: lsjlut@163.com。

土壤中过多的 Na^+ 和高的 pH 值是盐碱地上植物生长的主要限制因子,大量积累 Na^+ 以降低细胞的渗透势是大多数盐生植物的特点^[1]。土壤盐碱化已成为重要的生态问题之一^[2]。中国内陆地区的盐碱地盐化和碱化一般协同发生,碱化则受到 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 等碱性盐的作用,盐化主要受 NaCl 、 Na_2SO_4 等中性盐的影响。通常碱性盐对植物影响大于中性盐^[3],混合盐碱逆境下,植物面临着高 pH、低水势、渗透胁迫和营养失衡等多重伤害,其危害程度远高于单纯中性盐胁迫。然而,以往在植物抗盐机制方面的研究多集中在中性盐方面^[4],对碱性盐碱胁迫涉及不多。

黑河流域地处西北干旱区,属于典型的内流盆地,气候干燥,蒸发量是降水量的 35~77 倍,恶劣的自然条件和人为的不合理灌溉导致了严重的土壤盐渍化问题。据调查资料,张掖盆地土壤盐渍化面积为 1 225 km^2 ,其盐渍化程度较轻,土壤含盐量 0.2%~0.92%;酒泉盆地土壤盐渍化面积为 2 595 km^2 ,绿洲区盐渍化程度较轻,荒漠区盐渍化程度十分严重,土壤含盐量为 1.58%~42.61%;额济纳盆地土壤盐渍化面积为 2 547 km^2 ,盐化程度很重,土壤含盐量最高达 33%。在垂向上不论是荒漠区还是绿洲区,含盐量在 0.00~0.30 m 内最大,30 cm 以下含盐量急剧减少,属典型的蒸发表层积盐型盐渍化土壤^[5]。土壤盐渍化已严重制约着该地区农业生产的发展和土地资源的进一步开发利用。如何利用已经盐渍化的土地,使不利的资源变为有利,寻找适合在其上生长的植物成为解决土地资源困境的主要途径。

黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum* Murr.) 是茄科 (Solanaceae) 枸杞属 (*Lycium*) 多年生耐盐、抗旱植物,分布于盐碱荒地、沙地或路旁^[6]。果实入药,其味甘、性平,据《晶珠草本》、《四部医典》记载,治疗心热病、心脏病、月经不调、停经等病症^[7];而《维吾尔药志》中将其果实和根皮治疗尿道结石、癰疮、齿龈出血等病症,具有补肾益精、养肝明目、补血安神等功效^[8]。其成熟浆果中富含紫红色素,又属于珍稀的天然花色苷类色素资源,具有清除自由基、抗氧化的功能^[9]。同时,含丰富的微量元素,可用于防癌治癌^[10]。目前,对黑果枸杞的研究主要集中在果实多糖、抗疲劳的生物功效、元素含量测定、组织培养、盐环境中的形态特征、各种贮藏条件对种子萌发的影响及种子萌发的耐盐性等方面^[6,11-16]。而盐胁迫大多停留在中性盐的胁迫,对于碱性盐的胁迫和二者之间的比较研究鲜有报道,本研究通过中性盐 (NaCl) 和碱性盐 (Na_2CO_3) 对黑果枸杞种子萌发和幼苗生长的影响,旨在探讨黑果枸杞对两种盐的适应

性,为在河西走廊盐碱地开展黑果枸杞的人工驯化提供理论依据。

1 试验材料

黑果枸杞种子于 2012 年 9 月采自甘肃省张掖市黑河中游荒漠盐碱地上,由河西学院张勇教授鉴定为茄科枸杞属黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum* Murr.), 为多年生野生种。将种子洗净后,自然风干备用。

2 指标测定及数据处理

2.1 种子萌发指标的测定

选择籽粒饱满、大小一致的种子,用 5% NaClO 消毒 3 min,蒸馏水冲洗 6 次。用分析纯配置处理液,设定 NaCl 的浓度为 0、50、100、150、200、250、300 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 7 个处理, Na_2CO_3 的浓度为 0、1、2.5、5、10、50、100 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 7 个处理,每个处理均设 3 次重复。依照国际种子检验规程,发芽床采用滤纸法,将吸胀后的种子置于垫有两层滤纸的培养皿中,分别加入配制好的处理液,每个培养皿中放 50 粒种子,重复 3 次,置于恒温培养箱中,设定温度为 25℃,光照时间为 10 h,光照强度为 2 000 Lx 。每天观察统计萌发数,第 3 天计算发芽势,第 13 天计算发芽率、相对发芽率和相对盐害率。计算公式如下:发芽势 (G_p) = (3 d 内发芽种子数/供试所有种子数) $\times 100\%$;发芽率 (G_r) = (13 d 内发芽种子数/供试所有种子数) $\times 100\%$;发芽指数 $GI = \Sigma (G_t/D_t)$;活力指数 $VI = S \times \Sigma (G_t/D_t)$,其中 G_t 为 t 天的发芽数, D_t 为发芽日数, S 为幼苗的平均长度。相对盐害率 = (对照发芽率 - 处理发芽率)/对照发芽率 $\times 100\%$ 。

2.2 幼苗相关生理指标的测定

选取长势良好幼苗,将幼苗从培养皿中取出,根部用蒸馏水洗净,放入装有蛭石的育苗钵内,用 Hoagland 培养液进行浇灌,在幼苗二叶期时定苗,每钵留生长一致的幼苗 15 株,3 个重复,在第 50 d 后进行处理。每天每钵分早晚加 5 ml 处理液,以蒸馏水为对照。处理 7 d 后测定幼苗的叶绿素含量、可溶性蛋白含量、丙二醛含量、过氧化物酶 (POD) 的活性、幼苗含水量和相对电导率。

幼苗含水量的测定采用邹琦烘干法^[17]进行测定,每个处理 40 株幼苗,3 次重复,以 % 表示。叶绿素含量的测定采用王学奎的分光光度计法^[18],为叶绿素 a 和叶绿素 b 的总量。可溶性蛋白的含量采用王学奎的考马斯亮蓝 G-250 法^[18]测定。相对电导率的测定采用王学奎的电导率仪法^[18]测定。丙二醛 (MDA) 含量的测定采用王学奎的 TBA 法^[18]进行测定。过氧化物酶 (POD) 活性测定采用王学奎的愈

创木酚法^[18]进行测量,以每分钟吸光度(A)的变化表示酶活力的大小。

2.3 数据处理

采用 SPSS11.0 统计分析软件对数据进行方差分析,以 LSD 法比较不同处理间的差异性 ($P < 0.05$),用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行绘图。

3 结果与分析

3.1 NaCl 及 Na₂CO₃ 胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响

表 1 是 NaCl 及 Na₂CO₃ 胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响结果,由表 1 可以看出,中性盐和碱性盐都对黑果枸杞种子的萌发产生了影响,两种盐都表现为低浓度促进、高浓度抑制的作用。从发芽率、发芽

势、发芽指数、活力指数和相对盐害率的数值可以看出,整体上低浓度的碱性盐促进萌发的效果比中性盐促进萌发的效果强烈,表现为数值较高的特点,说明对于黑果枸杞更适合于碱性盐土壤上生长。

当 NaCl 处理浓度 $\leq 25\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,对种子的萌发具有促进作用,当浓度 $> 25\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,对种子萌发有抑制作用。当浓度继续增大时,NaCl 处理下的种子的发芽势 (G_v)、发芽率 (G_r)、发芽指数 (G_i)、活力指数 (V_i) 都不断降低,但相对盐害率不断增大。当浓度达到 $300\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,种子失去萌发能力。在 NaCl 处理浓度 $> 50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,各处理的各项萌发指标与对照相比,都具有显著的差异性 ($P < 0.05$)。

表 1 NaCl 及 Na₂CO₃ 胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响 ($n = 3$)

Table 1 Effect of NaCl and Na₂CO₃ stress on germination of *Lycium ruthenium* Murr.

处理 Treatments	处理浓度 Content /(mmol·L ⁻¹)	萌发率 Germination rate/%	发芽势 Germination potential/%	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	相对盐害率 Relative salt injury rate/%
NaCl	0	66.25 ± 2.172a	40.83 ± 0.832b	7.63 ± 0.154a	38.15 ± 0.295a	0.00 ± 0ef
	25	69.17 ± 3.632a	55.00 ± 3.144a	8.00 ± 0.104a	40.72 ± 0.941b	-4.00 ± 0.052f
	50	63.33 ± 2.201a	34.17 ± 1.671b	5.90 ± 0.125b	22.23 ± 0.795c	5.00 ± 0.032e
	100	45.00 ± 1.441b	16.67 ± 0.834c	4.40 ± 0.214c	13.84 ± 1.273d	32.00 ± 0.023d
	150	22.50 ± 1.442c	9.17 ± 1.647cd	1.60 ± 0.215d	3.723 ± 0.675e	66.00 ± 0.022c
	200	7.52 ± 1.451d	3.33 ± 0.834de	0.60 ± 0.174e	1.15 ± 0.343f	89.00 ± 0.024b
	300	0.00 ± 0e	0.00 ± 0e	0.00 ± 0f	0.00 ± 0f	100.00 ± 0a
Na ₂ CO ₃	0	66.25 ± 2.165ab	40.83 ± 0.833a	7.63 ± 0.145ab	39.68 ± 0.602a	0 ± 0cd
	1	76.83 ± 8.946a	45.00 ± 6.614a	7.77 ± 0.203a	36.01 ± 1.749b	-16.00 ± 0.133d
	2.5	71.67 ± 4.410a	43.33 ± 1.667a	6.90 ± 0.208b	29.58 ± 0.571c	-8.00 ± 0.067d
	5	57.50 ± 1.443b	25.00 ± 3.819b	5.73 ± 0.348c	21.02 ± 1.778d	13.00 ± 0.022c
	10	35.83 ± 2.205c	10.00 ± 1.443c	5.23 ± 0.433c	15.97 ± 0.869e	46.00 ± 0.033b
	50	24.67 ± 3.283c	7.50 ± 1.443c	4.37 ± 0.260d	10.15 ± 0.475f	63.00 ± 0.048b
	100	0.00 ± 0d	0.00 ± 0d	0.00 ± 0e	0.00 ± 0e	100.00 ± 0a

注:同列不同字母表示达到显著性差异 ($P < 0.05$)。 Note: The different letters in same column indicates significant difference ($P < 0.05$).

当 Na₂CO₃ 处理浓度 $\leq 2.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,对种子的萌发具有促进作用,当浓度 $> 2.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,对种子萌发有抑制作用。当浓度继续增大时,Na₂CO₃ 处理下的种子的发芽势 (G_v)、发芽率 (G_r)、发芽指数 (G_i)、活力指数 (V_i) 都不断降低,但相对盐害率不断增大。当浓度达到 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,种子未萌发。在 NaCl 处理浓度 $> 50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,各处理的各项萌发指标与对照相比,都具有显著的差异性 ($P < 0.05$)。

3.2 NaCl 及 Na₂CO₃ 胁迫对黑果枸杞幼苗的影响

3.2.1 对幼苗组织含水量、蛋白质含量和叶绿素含量的影响 图 1 所示中性盐和碱性盐对黑果枸杞幼苗组织含水量、蛋白质含量和叶绿素含量的影响。

由图可以看出,两种盐胁迫下,黑果枸杞幼苗组织含水量都随着盐浓度的增加而逐渐降低,与盐浓度之间呈现负相关。在两种盐处理下,与对照相比,各处理下的幼苗含水量都具有显著的差异性 ($P < 0.05$)。

在两种盐胁迫下,黑果枸杞幼苗组织中可溶性蛋白质的含量都随着处理浓度的增加呈现先增加后减小的趋势,且各处理浓度之间都达到了显著性差异 ($P < 0.05$)。在 NaCl 浓度为 $0 \sim 100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的范围内,幼苗中可溶性蛋白质含量逐渐增加,并在浓度为 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 达到最大值 $7.73\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,当浓度超过 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 并逐渐增大时,可溶性蛋白含量呈下降趋势;在 Na₂CO₃ 浓度为 $0 \sim 2.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的范围内,幼苗中可溶性蛋白含量逐渐增加,并在浓度

为 $2.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 达到最大值 $7.09\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 当浓度超过 $2.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 并逐渐增大时, 可溶性蛋白含量呈

下降趋势。

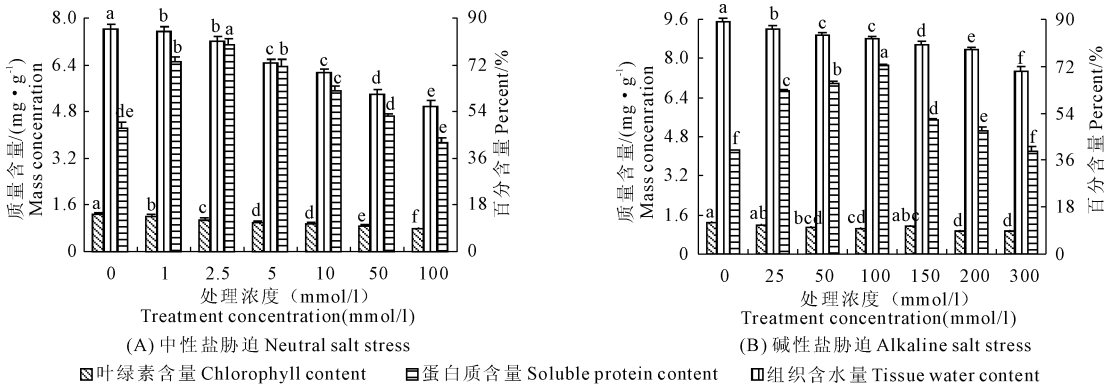


图 1 中性盐(NaCl) (A)和碱性盐(Na₂CO₃) (B)对黑果枸杞幼苗组织含水量、可溶性蛋白质含量和叶绿素含量的影响

Fig.1 Effect of NaCl (A) and Na₂CO₃ (B) stresses on seedling tissue water content, soluble protein content and chlorophyll content of *Lycium ruthenium* Murr.

随着浓度的增加,黑果枸杞幼苗叶片中叶绿素含量都呈现逐渐减小的趋势,且各处理间基本都达到了显著性差异($P < 0.05$)。表明叶片中叶绿素含量和盐浓度之间呈负相关关系。两种盐都影响了叶

片叶绿素含量,且影响的程度基本一致。

3.2.2 中性盐和碱性盐对黑果枸杞幼苗丙二醛含量、POD 含量和电导率的影响 图 2 所示中性盐和碱性盐对黑果枸杞幼苗丙二醛和 POD 的影响。

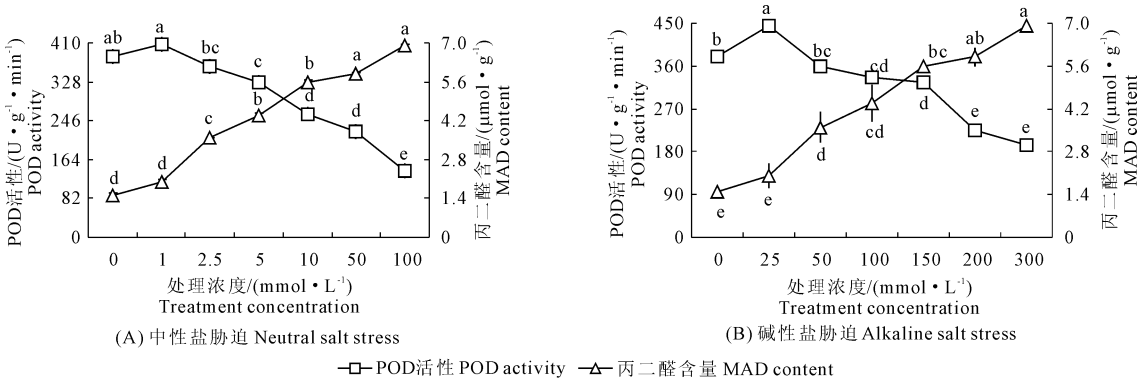


图 2 中性盐(NaCl) (A)和碱性盐(Na₂CO₃) (B)对黑果枸杞幼苗丙二醛含量、POD 活性的影响

Fig.2 Effect of NaCl (A) and Na₂CO₃ (B) stresses on seedling MAD content, POD activity of *Lycium ruthenium* Murr.

丙二醛(MDA)是质膜过氧化作用的产物之一,其含量可表示膜质过氧化作用的程度,即细胞膜受伤害的程度,可以反映植物遭受逆境伤害的程度。由图 2 可以看出,随着浓度的增加,两种盐都表现为丙二醛含量逐渐增大,且每个处理间都达到了显著性差异($P < 0.05$)。表明中性盐和碱性盐确实影响到了黑果枸杞幼苗的生长,是生理机制的一种响应。

增加,其中中性盐处理差异显著($P < 0.05$),而碱性盐处理差异不显著($P > 0.05$),且 NaCl 的增加幅度较大。在 NaCl 处理浓度为 $50 \sim 300\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、Na₂CO₃ 处理浓度为 $2.5 \sim 100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,POD 活性均减小,且随着浓度的增加,两种盐下降的趋势很明显,各处理浓度间都达到了显著性差异($P < 0.05$)。

过氧化物酶(POD)是细胞膜系统的保护酶,是保护植物细胞免受自由基伤害的一道防线,在植物受到盐胁迫时,对保持体内代谢平衡起着重要的作用。由图 2 可看出,在两种盐处理下,随着浓度的增加,幼苗中的 POD 活性均呈现“先上升,后下降”的变化趋势。在 NaCl 处理浓度为 $0 \sim 25\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、Na₂CO₃ 处理浓度为 $0 \sim 1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,POD 活性均

电导率与植物的质膜完整性相关,电导率越大,质膜的完整性越差。由图 3 可以得出,随着处理浓度的增加,两种处理下的幼苗中的电导率都随之不断增大。从增加的趋势看,中性盐胁迫下,幼苗组织中相对电导率随着浓度增加而增加的趋势不是很明显,除和对照达到显著性差异($P < 0.05$)外,其余几个浓度下都没有达到显著性差异($P > 0.05$)。对于中性盐在浓度为 $25\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,幼苗已经受到伤害,

表现为质膜受到破坏。而对于碱性盐,在浓度逐渐增加的过程中,各处理间达到了显著性差异,说明黑

果枸杞对碱性盐的耐受程度强于中性盐,也说明黑果枸杞更适宜于在碱性盐土壤上生长。

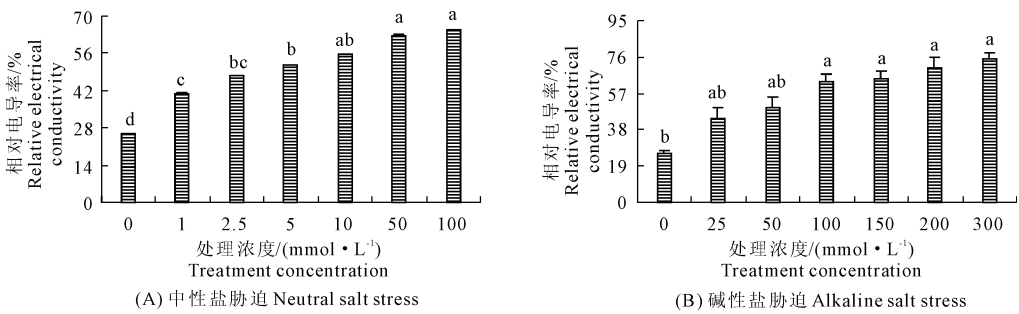


图 3 中性盐(A)和碱性盐(B)对黑果枸杞幼苗相对电导率的影响

Fig.3 Effect of NaCl(A) and Na₂CO₃(B) stresses on seedling relative electrical conductivity of *Lycium ruthenium* Murr.

4 讨 论

1) 黑果枸杞是盐生植物,适当的盐浓度可以促进其种子的萌发。盐胁迫是影响种子萌发和幼苗生长的重要环境因子之一,种子萌发和幼苗期对盐分的响应反映了植物适应逆境的生态机制^[19]。通常情况下,非盐生植物在盐胁迫环境中其生长受到抑制,而盐生植物生长则需要一定浓度的盐环境才能正常生长,只有当外界盐浓度超过生长最适盐度其生长才减缓^[20-21],甚至在缺 Na⁺ 时不能完成其生活史^[22]。本研究中,在中性盐和碱性盐的胁迫下,黑果枸杞种子都表现为低浓度的盐胁迫下其发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数等指标明显高于对照,相对盐害率低于对照。从而说明黑果枸杞的萌发需要一定的盐胁迫,黑果枸杞是盐生植物,低浓度的盐胁迫可以促进其萌发。这和宋雪梅等^[23]对红砂种子萌发对盐胁迫的响应研究结果是一致的。

2) 适宜黑果枸杞种子萌发的中性盐和碱性盐的浓度临界值和极限值分别是 50 mmol · L⁻¹、300 mmol · L⁻¹和 2.5 mmol · L⁻¹、100 mmol · L⁻¹。

本研究结果表明,在中性盐和碱性盐的胁迫下,都表现为发芽率高于对照,低浓度的具有促进作用,高浓度的具有抑制作用。中性盐的临界值是 50 mmol · L⁻¹,极限值是 300 mmol · L⁻¹,碱性盐的临界值是 2.5 mmol · L⁻¹,极限值是 100 mmol · L⁻¹。王桔红等^[6]研究表明,黑果枸杞种子萌发和幼苗生长对 NaCl 胁迫较为敏感,其耐受的临界阈值是 6 g · L⁻¹; CHEN Haikui 等^[24]研究表明,随着 NaCl 浓度的增加,黑果枸杞种子的萌发率明显增强,最佳的盐浓度为 0.3% ~ 0.4%。本研究结果显示中性盐的阈值基本和前人的研究结果一致,对于碱性盐的阈值,还未见报道。

3) 黑果枸杞适宜于生长在碱性盐环境。中性盐和碱性盐的区别在于前者主要是由 Na⁺ 引起的,后者除主要由 Na⁺ 作用外又增加了高 pH 的作用,即盐碱胁迫有协同作用^[25]。本研究中,黑果枸杞种子萌发整体表现为低浓度的盐胁迫有促进作用,高浓度的盐胁迫有抑制作用,但对于不同类型的盐,表现为碱性盐的促进作用大于中性盐,说明黑果枸杞更加倾向于碱性盐的条件下生长。盐碱协同作用对黑果枸杞更有促进作用,从侧面说明了黑果枸杞属于盐生植物的特性。

4) 幼苗生理指标的变化,进一步说明了盐碱胁迫对黑果枸杞的影响作用。Stoeyr 等^[26]发现盐胁迫增加了植物根系下表皮的木栓化作用,阻碍了对水分和无机离子的吸收,最终导致植物生长发育受到抑制,本研究中从幼苗组织含水量的变化说明了受胁迫的程度。可溶性蛋白在植物逆境中起着调节渗透胁迫的作用,有研究显示,植物体内高浓度的可溶性蛋白可维持细胞较低的渗透势,以抵抗逆境带来的胁迫^[27]。本研究结果与此相符合。大量试验证明,盐胁迫对植物光合作用具有抑制效应,并且降低程度与盐浓度及胁迫时间呈正相关关系^[21,28],叶绿素含量是反映光合强度的一个重要的生理指标^[29];对于盐敏感的植物,轻度盐化即可抑制叶绿素含量的新合成,甚至破坏已合成的色素;抗盐性强的盐生植物,在高浓度盐生境下叶绿素的合成仍可继续进行;中间型的抗盐植物其叶绿素合成与对照无明显区别^[30],这可能是因为这类植物形成了一种色素-蛋白质-脂类的稳定复合体^[31]。本研究中,在两种盐的胁迫下,黑果枸杞幼苗组织中叶绿素含量都表现为随着盐浓度的增大,叶绿素含量逐渐减小,说明随着胁迫的加剧,其光合能力逐渐下降,在高浓度盐胁迫下,对植物的生长发育产生了影响。这和陈年

来等^[32]对甜瓜在 NaCl 胁迫下叶绿素的变化规律是一致的。电导率与植物的质膜完整性相关,电导率越大,质膜的完整性越差。相对电导率的大小反应了质膜的完整性,完整性越好,受到伤害的程度越小,本研究结果与此相符合。MDA 是膜脂过氧化作用的产物,其含量的多少可以代表膜损伤程度的大小^[33]。植物生活在盐逆境中,最先接触到盐分并受到伤害的是细胞质膜^[34],盐胁迫对植物细胞质膜的伤害作用,导致膜透性增大和膜脂过氧化,细胞内大量电解质及某些有机小分子物质外渗,细胞内物质交换平衡被破坏,而膜脂过氧化产物对植物防御体系的破坏又再次加剧了膜脂过氧化作用^[35-36]。一般来讲,在盐分胁迫下,植物体内的 POD 等酶活性与植物的抗氧化胁迫能力呈正相关。在 NaCl 和 Na₂CO₃ 处理下,随着浓度的增加,黑果枸杞幼苗中的 POD 活性均呈现“先上升,后下降”的变化趋势,且 NaCl 处理的下降趋势明显,幅度较大。在低浓度盐胁迫下,幼苗可通过提高保护酶活性、加强耐盐性从而减轻盐对自身的伤害,但这种能力是很有限的,当盐含量超出一定程度后,保护酶的活性就会降低。这和谭会娟等^[37]对红砂耐盐性的研究结果是一致的。不管从种子萌发还是幼苗生理指标的变化都表明,低浓度的盐胁迫促进黑果枸杞的生长,高浓度的盐胁迫抑制黑果枸杞的生长,相比较中性盐,其更趋向于适应在碱性盐的条件生长。

参 考 文 献:

[1] 付寅生,崔继哲,陈广东,等.盐碱胁迫下碱肤 Na⁺/H⁺ 逆向转运蛋白基因 KsNHX1 表达分析[J].应用生态学报,2012,23(6):1629-1634.

[2] 罗金明,王永洁,邓伟,等.松嫩平原盐渍化区土壤的微域特征[J].应用生态学报,2009,20(8):1912-1917.

[3] 魏佳丽,崔继哲,赵鹤翔,等.盐碱与干旱胁迫对碱菀种子萌发和 TvNHX1 表达的影响[J].应用生态学报,2010,21(6):1389-1394.

[4] 张毅,石玉,胡晓辉,等.外源 Spd 对盐碱胁迫下番茄幼苗氮代谢及主要矿质元素含量的影响[J].应用生态学报,2013,24(5):1401-1408.

[5] 白福,范高功.西北典型内流干旱盆地土壤盐渍化特征及成因分析:以黑河流域为例[J].工程勘察,2008,(增刊1):230-235.

[6] 王桔红,陈文.黑果枸杞种子萌发及幼苗生长对盐胁迫的响应[J].生态学杂志,2012,31(4):804-810.

[7] 甘青梅.浅述藏药的研究[J].中草药,2001,32(4):371.

[8] 刘勇民.维吾尔药志(下)[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1999:484.

[9] 蔺定运,甘青梅,李炜,等.黑果枸杞色素初步研究[J].中国食品添加剂,1995,(2):5.

[10] 马继雄.道地药材黑果枸杞的应用研究进展及青海的发展前景[J].青海师范大学学报(自然科学版),2012,(3):53-56.

[11] 汪建红,陈晓琴,张蔚佼.黑果枸杞果实多糖抗疲劳生物功效及其机制研究[J].食品科技,2009,34(2):203-207.

[12] 陈红军,马玲,孔星云.黑果枸杞中十三种元素含量的测定[J].中国野生植物资源,2002,21(4):59-60.

[13] 浩仁塔本,赵颖,郭永盛,等.黑果枸杞的组织培养[J].植物生理学通讯,2005,41(5):631.

[14] 章英才,张晋宁.两种盐浓度环境中的黑果枸杞叶的形态结构特征研究[J].宁夏大学学报(自然科学版),2004,25(4):365-367.

[15] 王桔红,陈文,张勇,等.贮藏条件对河西走廊四种旱生灌木种子萌发的影响[J].生态学杂志,2011,30(3):477-482.

[16] 杨志江,李进,李淑珍,等.不同钠盐胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响[J].种子,2008,27(9):19-21.

[17] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.

[18] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2006.

[19] 韩多红,晋玲,张勇.NaCl 胁迫对膜荚黄芪种子萌发和幼苗生理特性的影响[J].中草药,2012,43(10):2045-2049.

[20] 赵可夫.植物抗盐生理[M].北京:中国科学技术出版社,1993.

[21] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. Plant, Cell and Enviroment,2002,25:239-250.

[22] Ziska L H, Dejong T M, Hoffman G F, et al. Sodium and chlorite distribution in salt Stressed Prums salicina, a deciduous tree species[J]. Tree Physiology, 1991,8:47-57.

[23] 宋雪梅,杨九艳,吕美婷,等.红砂种子萌发对盐胁迫及适度干旱的响应[J].中国沙漠,2012,36(6):1674-1680.

[24] CHEN Haikui, ZHAO Wenhong. Effects of NaCl stress on seed germination of *Lycium ruthenicum* Murr.[J]. Agricultural Science and Technology, 2010,11(4):37-38.

[25] 崔玮,张芬琴,李玉兰,等.中性盐和碱性盐胁迫对黄瓜种子萌发的影响[J].种子,2006,25(4):66-69.

[26] Stoeyr, Wal Kerr. Citrus and salinity[J]. Scientia Horticulturae, 1999,78:39-81.

[27] 汤章诚.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999.

[28] Sultana N, Ikeda T, Itoh R. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grain[J]. Environ Exp Bot, 1999,42:211-220.

[29] 王龙强,蔺海明,肖雯,等.盐地宁夏枸杞生理生化指标及抗盐特性研究[J].甘肃农业大学学报,2004,39(6):611-614.

[30] 简令成,王红.逆境植物细胞生物学[M].北京:科学出版社,2009:200.

[31] Strogenov B P. Structure and function of Plant cell in saline[M]. New York: Halsted Press,1975:68.

[32] 陈年来,张玉鑫,安黎哲.NaCl 胁迫对甜瓜叶片气体交换和叶绿素荧光特性的影响[J].中国沙漠,2009,29(6):1129-1133.

[33] 王爱国.丙二醛作为脂质过氧化指标的探讨[J].植物生理学通讯,1986,(2):55-57.

[34] 赵可夫.植物抗盐生理[M].北京:中国科学技术出版社,1993.

[35] 孙兰菊,岳国峰.植物耐盐机制的研究进展[J].海洋科学,2001,25(4):28-31.

[36] Moran J F, Becana M. Drought induces oxidative stress in pea plants[J]. Planta, 1994,94:346-352.

[37] 谭会娟,李新荣,刘玉冰,等.盐胁迫下红砂愈伤组织的抗氧化能力与耐盐性研究[J].中国沙漠,2013,33(2):549-553.