·资源与鉴定·

外源钙对盐胁迫下黑果枸杞种子萌发和幼苗生理特性的影响

韩多红[1]，李善家[2*]，王恩军[1]，孟红梅[1]，陈叶[1]，张勇[1]
(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 生命科学与工程学院，甘肃 兰州 730050)

[摘要] 目的：通过对黑果枸杞种子萌发及幼苗生理特性的影响，寻找提高黑果枸杞种子及幼苗在盐胁迫下抗性能力的途径。方法：测定盐胁迫下黑果枸杞种子在不同浓度的外源 $CaCl_2$ 处理后，发芽率(G_r)、发芽势(G_v)、发芽指数(G_i)、活力指数(V_i)和相对盐害率的变化，并对黑果枸杞幼苗的含水量、叶绿素量、可溶性蛋白质量、相对电导率、丙二醛量(MDA)和过氧化物酶(POD)的活性进行了测定。结果：低浓度的 NaCl 处理，对黑果枸杞种子的萌发具有促进作用，高浓度的处理则有抑制作用。经不同浓度的 $CaCl_2$ 处理后，萌发指标均有所升高。随着 NaCl 处理浓度的增加，幼苗含水量、叶绿素量逐渐减少，丙二醛(MDA)、相对电导率呈增加趋势，可溶性蛋白质量和 POD 活性均不同程度的表现为先上升后下降的趋势。在外源 $CaCl_2$ 处理后，幼苗含水量、叶绿素量下降幅度变小，丙二醛(MDA)、相对电导率的上升幅度变小，POD 活性的下降幅度变小。结论：$CaCl_2$ 能够有效地缓解盐胁迫对黑果枸杞种子及幼苗产生的伤害，提高种子及幼苗的抗盐能力。

[关键词] 黑果枸杞；外源钙；盐胁迫；种子萌发；幼苗生理特性

黑果枸杞 *Lycium ruthenium* Murr.，为茄科枸杞属多年生耐盐、抗旱植物，多分布于我国西北地区的盐碱土荒地、盐化沙地、路旁等各种盐渍化土壤或荒漠环境。果实入药，其味甘、性平，是民族医药中的常用药材，据《晶珠草本》、《四部医典》记载，藏医以其成熟的果实入药，治疗心热病、心脏病等[1]；而《维吾尔药志》记载，维吾尔医常用黑果枸杞果实及根皮治疗尿道结石、癣疥、齿龈出血等，民间作滋补强壮以及降压药[2]。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[3]。目前，对黑果枸杞的研究主要集中在天然花色苷色素和多糖提取工艺及药理研究方面[4-6]，部分学者也对其种子萌发的耐盐性进行了研究[7-8]，但外源钙对其种子及幼苗耐盐性的缓解等方面未见报道。

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[9]。近年来，通过使用外源物质来缓解盐胁迫对作物的伤害，成为一种有效克服土壤盐渍化的途径。研究表明，Ca^{2+} 参与多种逆境胁迫过程，如盐胁迫、低温、高温、氧胁迫等，可以提高植物的抗逆性能力[10]。黑果枸杞是一种传统的民族药材，但在西北大部分地区，均处于野生状态，果实产量较少，不能满足用药需求。本试验研究外源钙对盐胁迫下黑果枸杞种子萌发和幼苗生理特性的影响，旨在探索黑果枸杞在盐胁迫下的耐受性及外源钙的调节缓解作用及机制，为河西走廊大片盐碱化土地上的引种驯化、培育保护和大面积种植等提供理论依据。

1 材料

黑果枸杞种子于 2012 年 9 月采自甘肃省张掖市荒漠盐碱地，为多年生野生种。将种子洗净后，自然风干备用。经河西学院农业与生物技术学院张勇教授鉴定为黑果枸杞 *L. ruthenium* 的干燥成熟种子。

2 方法

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 mmol

[收稿日期] 2013-05-16
[基金项目] 国家自然科学基金项目(41261013，31160118)；国家中医药管理局 2012 年中医药行业科研专项(201207002)；河西学院青年教师科研基金项目(QN2012-13)
[通信作者] * 李善家，博士，讲师，主要从事干旱环境下植物生理生态方面的研究，E-mail: lsjlut@163.com
[作者简介] 韩多红，副教授，主要从事植物资源开发及药用植物等方面的研究，E-mail: handuohong@163.com

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

·L^{-1}等 7 个处理,每个处理均设 3 次重复。NaCl + $CaCl_2$为 NaCl 和 $CaCl_2$同浓度按 1∶1 混合而成。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 2 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、发芽指数、活力指数和相对盐害率。计算公式如下:发芽势(G_v) = (3 d 内发芽种子数/供试所有种子数) ×100%;发芽率(G_r) = (13 d 内发芽种子数/供试所有种子数) ×100%;发芽指数(G_i) = Σ(G_t/D_t);活力指数(V_i) = S × G_i,其中 G_t为第 t 天的发芽数,D_t为发芽日数,S 为平均根长。相对盐害率 = (对照发芽率 - 处理发芽率) / 对照发芽率 ×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 天后进行处理。每天每钵分早晚加 5 mL 处理液,以蒸馏水为对照。处理 7 d 后测定幼苗的幼苗含水量、叶绿素量、可溶性蛋白质量、相对电导率、丙二醛(MDA)含量、过氧化物酶(POD)的活性。

2.2.1 幼苗含水量的测定 采用邹琦烘干法进行测定,测量不同处理下全株幼苗的鲜重和干重,每个处理 40 株幼苗,3 次重复,以%表示[11]。

2.2.2 叶绿素含量的测定 采用王学奎的分光光度计法进行,为叶绿素 a 和叶绿素 b 的总量,以 mg·g^{-1}来表示[12]。

2.2.3 可溶性蛋白质含量的测定 可溶性蛋白的含量采用王学奎的考马斯亮蓝 G-250 法测定,以 mg·g^{-1}来表示[12]。

2.2.4 相对电导率的测定 采用王学奎的电导率仪法测定,以%表示[12]。

2.2.5 丙二醛(MDA)含量的测定 采用王学奎的 TBA 法进行测定,μmol·g^{-1}来表示[12]。

2.2.6 过氧化物酶(POD)活性测定 采用王学奎的愈创木酚法进行测量,以每分钟吸光度 A 的变化表示酶活力的大小,即 U·mg^{-1}来表示[12]。

2.3 数据处理

采用 DPS 7.5 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 $CaCl_2$对盐胁迫下黑果枸杞种子萌发的影响

当 NaCl 处理浓度≤25 mmol·L^{-1}时,对种子的萌发具有促进作用,当浓度 >25 mmol·L^{-1}时,对种子萌发有抑制作用。在施加外源 $CaCl_2$后,当浓度达到 50 mmol·L^{-1}时,仍对种子的萌发具有促进作用。当浓度继续增大时,NaCl 和 NaCl + $CaCl_2$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。在 NaCl 和 NaCl + $CaCl_2$处理浓度 > 50 mmol·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($P < 0.05$)。在 2 种处理下,当浓度达到 300 mmol·L^{-1},种子均失去萌发能力。在相同浓度的处理下,NaCl + $CaCl_2$处理过的种子的发芽率等各项萌发指标均高于 NaCl 处理的,说明 $CaCl_2$对 NaCl 处理下的种子萌发的盐毒害有一定的缓解作用(表 1)。

3.2 $CaCl_2$对盐胁迫下黑果枸杞幼苗相关生理指标的影响

3.2.1 对幼苗含水量的影响 在 2 种处理下,随着浓度的增加,幼苗的含水量逐渐降低,与浓度呈负相关性。在 NaCl 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($P < 0.05$);而在 NaCl + $CaCl_2$处理下,与对照相比,在处理浓度 > 50 mmol·L^{-1}时,处理下的幼苗含水量才具有显著的差异性($P < 0.05$)。在相同的处理浓度下,NaCl 处理中的幼苗含水量下降幅度高于 NaCl + $CaCl_2$处理下的,表明添加外源 $CaCl_2$可适度缓解 NaCl 对黑果枸杞幼苗的盐害作用(图 1)。

3.2.2 对幼苗叶绿素量的影响 在 2 种处理下,随着浓度的增大,幼苗中的叶绿素量都呈现下降的趋势,与浓度呈负相关性。在 NaCl 处理下,在浓度为 25 ~ 300 mmol·L^{-1}时,与对照相比,各处理下的叶绿素量都具有显著的差异性($P < 0.05$);而在 NaCl + $CaCl_2$处理下,当处理浓度为 50 ~ 300 mmol·L^{-1}时,与对照相比,各处理下的叶绿素量才具有显著的差异性($P < 0.05$)。当处理浓度在 25 ~ 300 mmol·L^{-1}时,在 NaCl 处理下的叶绿素量下降幅度远高于 NaCl + $CaCl_2$处理下,表明添加 $CaCl_2$可有效地缓解 NaCl 对黑果枸杞幼苗中叶绿素的胁迫作用(图 2)。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　黑果枸杞种子的相关萌发指标($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 1　Some germination indexes of *Lycium ruthenium* seeds($\bar{x} \pm s, n = 3$)

处理	处理浓度/mmol·L^{-1}	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	活力指数	相对盐害率/%
NaCl	0	66.25 ± 2.17a	40.83 ± 0.83b	7.63 ± 0.15a	38.15 ± 0.29a	0.00 ± 0ef
	25	69.17 ± 3.63a	55.00 ± 3.14a	8.00 ± 0.10a	40.72 ± 0.94b	−0.04 ± 0.05f
	50	63.33 ± 2.20a	34.17 ± 1.67b	5.90 ± 0.12b	22.23 ± 0.79c	0.05 ± 0.03e
	100	45.00 ± 1.44b	16.67 ± 0.83c	4.40 ± 0.21c	13.84 ± 1.27d	0.32 ± 0.02d
	150	22.50 ± 1.44c	9.17 ± 1.67cd	1.60 ± 0.21d	3.723 ± 0.67e	0.66 ± 0.02c
	200	7.52 ± 1.45d	3.33 ± 0.83de	0.60 ± 0.17e	1.15 ± 0.34f	0.89 ± 0.02b
	300	0e	0e	0f	0f	1.00a
NaCl + $CaCl_2$	0 + 0	66.25 ± 2.17a	40.83 ± 0.83b	7.63 ± 0.15b	38.40 ± 0.21a	0d
	25 + 25	72.50 ± 3.21a	64.17 ± 3.21a	8.13 ± 0.12a	35.82 ± 2.43a	−0.09 ± 0.02d
	50 + 50	66.68 ± 0.84a	41.00 ± 2.89b	7.83 ± 0.03c	38.94 ± 0.54b	−0.01 ± 0.01d
	100 + 100	50.03 ± 1.44b	18.00 ± 2.08c	5.00 ± 0.06d	17.00 ± 0.43c	0.25 ± 0.02c
	150 + 150	24.17 ± 2.21c	11.67 ± 2.20cd	2.33 ± 0.08e	7.15 ± 0.32d	0.64 ± 0.03b
	200 + 200	8.33 ± 0.83d	3.33 ± 0.83cd	1.17 ± 0.09f	2.72 ± 0.27e	0.87 ± 0.01a
	300 + 300	0d	0d	0g	0e	1.00a

注: 不同字母表示差异显著($P < 0.05$),相同字母表示差异不显著(图 1 ~ 6 同)。

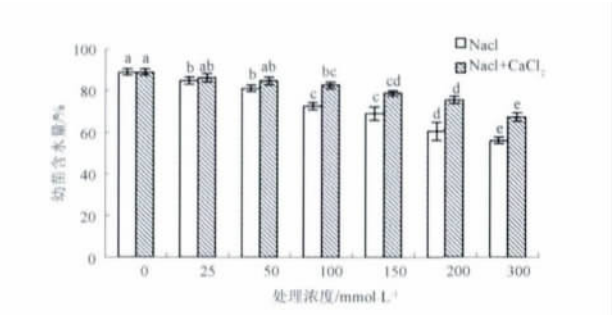

图 1　NaCl 及 NaCl + $CaCl_2$ 处理对黑果枸杞幼苗含水量的影响

Fig. 1　Effect of NaCl stress and NaCl + $CaCl_2$ stress on relative water contents of *Lycium ruthenium*

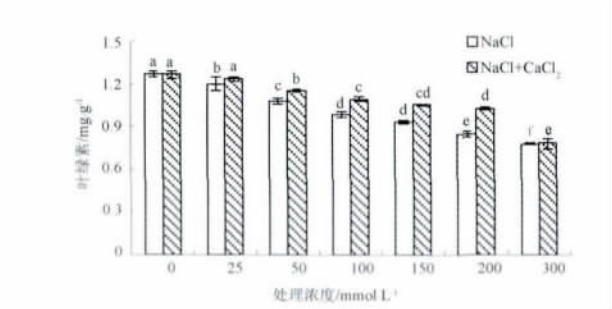

图 2　NaCl 及 NaCl + $CaCl_2$ 处理对黑果枸杞幼苗叶绿素量的影响

Fig. 2　Effect of NaCl stress and NaCl + $CaCl_2$ stress on chlorophyll content of *Lycium ruthenium*

3.2.3　对幼苗中可溶性蛋白质含量的影响　在 NaCl 浓度为 0 ~ 50 mmol·L^{-1},幼苗中可溶性蛋白质含量逐渐增加,并在浓度为 50 mmol·L^{-1}时,质量分数达到最大值 7.09 mg·g^{-1},当浓度超过 50 mmol·L^{-1}并逐渐增大时,可溶性蛋白含量呈下降趋势;在 NaCl + $CaCl_2$浓度为 0 ~ 100 mmol·L^{-1},幼苗中可溶性蛋白质含量逐渐增加,并在浓度为 100 mmol·L^{-1}时,质量分数达到最大值 8.54 mg·g^{-1},当浓度超过 100 mmol·L^{-1}并逐渐增大时,可溶性蛋白含量呈下降趋势。在相同的处理浓度下,NaCl + $CaCl_2$处理的蛋白质含量高于 NaCl 处理。在 2 种处理下,与对照相比,各处理的幼苗中蛋白质量都具有显著的差异性($P < 0.05$)。在低浓度处理下,NaCl + $CaCl_2$处理的蛋白质含量增加幅度要高于 NaCl 处理;在高浓度处理下,NaCl + $CaCl_2$处理的蛋白质含量减少幅度要低于 NaCl 处理,表明添加 $CaCl_2$可有效地缓解 NaCl 对黑果枸杞幼苗盐胁迫所造成的伤害作用(图 3)。

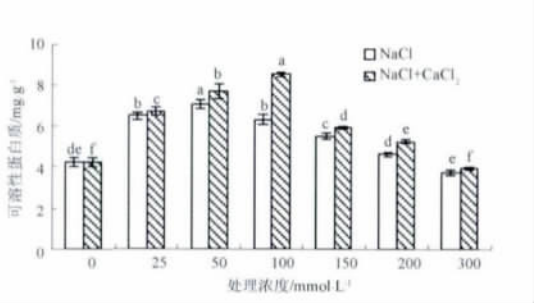

图 3　NaCl 及 NaCl + $CaCl_2$ 处理对黑果枸杞幼苗可溶性蛋白质量的影响

Fig. 3　Effect of NaCl stress and NaCl + $CaCl_2$ stress on soluble protein content of *Lycium ruthenium*

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.2.4 对幼苗中相对电导率的影响 随着处理浓度的增加，2 种处理下的幼苗中的电导率都随之不断增大，但 NaCl + $CaCl_2$ 处理下的增加幅度小于 NaCl 处理。在相同的浓度下，NaCl + $CaCl_2$ 处理的幼苗电导率低于 NaCl 处理。当处理浓度为 > 100 mmol · L^{-1} 时，与对照相比，NaCl 处理有显著的差异性（$P < 0.05$），而 NaCl + $CaCl_2$ 处理则差异不显著。表明 $CaCl_2$ 的添加可显著的降低相对电导率，保护膜的完整性，减轻 NaCl 对黑果枸杞幼苗的盐害作用（图 4）。

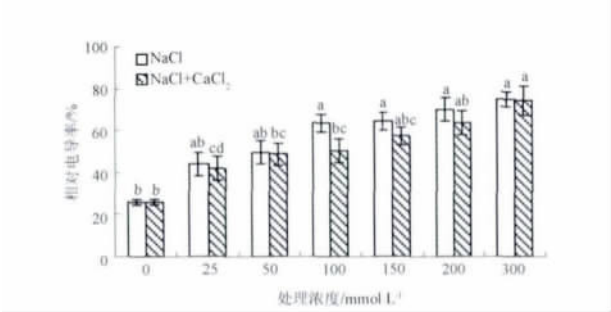

图 4 NaCl 及 NaCl + $CaCl_2$ 处理对黑果枸杞幼苗相对电导率的影响

Fig. 4 Effect of NaCl stress and NaCl + $CaCl_2$ stress on electrolyte leakage of *Lycium ruthenium*

3.2.5 对幼苗中丙二醛（MDA）含量的影响 随着浓度的增加，2 种处理下的幼苗中的丙二醛（MDA）含量都随之不断增大，但 NaCl + $CaCl_2$ 处理下的增加幅度小于 NaCl 处理。在相同的浓度下，NaCl + $CaCl_2$ 处理的幼苗 MDA 含量低于 NaCl 处理。当处理浓度为 > 50 mmol · L^{-1} 时，与对照相比，NaCl 和 NaCl + $CaCl_2$ 处理下的各处理都具有显著的差异性（$P < 0.05$）。表明，$CaCl_2$ 的添加可一定程度的降低黑果枸杞幼苗中 MDA 含量，减轻 NaCl 对幼苗细胞膜的伤害程度（图 5）。

3.2.6 对幼苗中过氧化物酶（POD）活性的影响 在 2 种处理下，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。在处理浓度为 0 ~ 25 mmol · L^{-1} 时，NaCl 和 NaCl + $CaCl_2$ 处理下的 POD 活性均增加，但与对照相比，差异不显著，且 NaCl 的增加幅度较大。在处理浓度为 50 ~ 300 mmol · L^{-1} 时，NaCl 和 NaCl + $CaCl_2$ 处理下的 POD 活性均显著下降，但 NaCl 处理的下降趋势明显，幅度较大（图 6）。

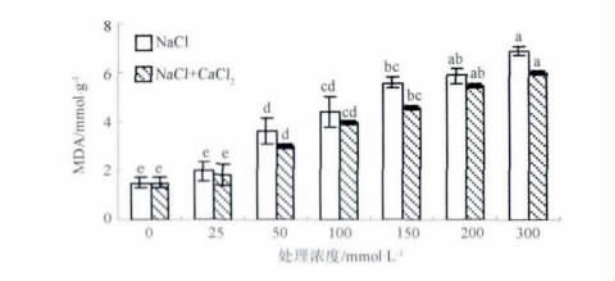

图 5 NaCl 及 NaCl + $CaCl_2$ 处理对黑果枸杞幼苗叶片 MDA 含量的影响

Fig. 5 Effect of NaCl stress and NaCl + $CaCl_2$ stress on MDA content of *Lycium ruthenium*

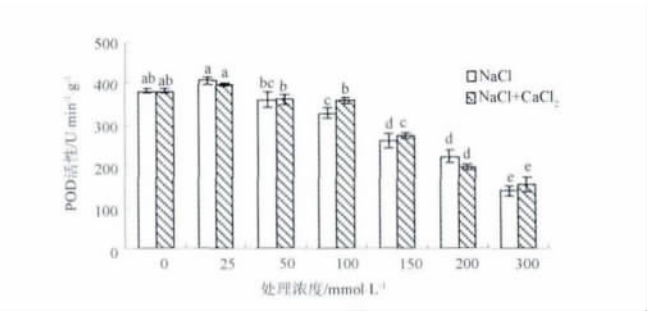

图 6 NaCl 及 NaCl + $CaCl_2$ 处理对黑果枸杞幼苗 POD 活性的影响

Fig. 6 Effect of NaCl stress and NaCl + $CaCl_2$ stress on POD activity of *Lycium ruthenium*

4 讨论

4.1 NaCl，NaCl + $CaCl_2$ 胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响

种子植物的生长是从种子萌发开始的，所以，种子耐盐性及其机制的研究是植物耐盐性早期鉴定的基础。同时种子的萌发是植物整个生命史的关键，而生活在盐渍环境中的植物在萌发过程中的耐盐能力又是其幼苗建立的关键。本研究结果发现，当 NaCl 浓度小于 25 mmol · L^{-1} 时，对种子的萌发具有促进作用，浓度大于 25 mmol · L^{-1} 时，则有抑制作用，且抑制程度随胁迫浓度的增加而加强。NaCl + $CaCl_2$ 处理浓度在小于 50 mmol · L^{-1} 时，对种子的萌发具有一定的促进作用，浓度大于 50 mmol · L^{-1} 时，则有抑制作用。在 2 种处理下，当浓度达到 300 mmol · L^{-1}，种子均失去萌发能力。在相同浓度的处理下，NaCl + $CaCl_2$ 处理过的种子的发芽率等各项萌发指标均高于 NaCl 处理的。说明 $CaCl_2$ 对 NaCl 处理下种子萌发的盐毒害有一定的缓解作用。认为 NaCl 抑制种子萌发的可能原因之一是通过降低

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

α-淀粉酶的活性，α-淀粉酶是含 Ca^{2+} 的金属蛋白，因此，外源钙可提高 α-淀粉酶的活性，从而缓解 NaCl 抑制种子萌发的效应。

4.2 NaCl，NaCl + $CaCl_2$ 胁迫对黑果枸杞幼苗生理指标的影响

含水量的下降可以作为植物对渗透胁迫的一种适应性生理反应，叶绿素是与光合作用相关的最重要的色素，其含量反映了光合作用的强弱。在 2 种处理下，随着处理浓度的增大，黑果枸杞幼苗的含水量和叶绿素量呈现下降的趋势，与浓度呈负相关性。但在相同的浓度下，在 NaCl 处理下的含水量和叶绿素量下降幅度远高于 NaCl + $CaCl_2$ 处理下，说明施加 $CaCl_2$ 可有效地缓解 NaCl 对黑果枸杞幼苗的伤害。在 2 种处理下，盐害使叶绿体内的蛋白质合成受到破坏，叶绿体内蛋白质的数量减少，叶绿体与蛋白质的结合削弱，叶绿体趋向分解[13]。在外源钙存在的条件下，Ca^{2+} 可有效地保持细胞膜系统的稳定性，保持叶绿体的完整性，促进叶绿素的合成。渗透调节物质的变化是植物适应逆境的主要方式之一，可溶性蛋白质是植物体内一种重要的渗透调节物质。在 2 种处理下，随着浓度的增加，幼苗中的可溶性蛋白质含量显现了“先上升后下降”的现象。原因可能是低浓度的胁迫诱导了一些新的蛋白质的合成，但随着胁迫的加重，蛋白质的合成进一步减弱或是加速了储藏蛋白质的水解。相对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。丙二醛(MDA)是膜脂过氧化产物，对植物的细胞膜和酶有严重损伤作用，常导致膜结构以及生理完整性的破坏。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。在实验中，在 2 种处理下，随着浓度的增加，黑果枸杞幼苗中的相对电导率和丙二醛(MDA)含量都随之不断增大，但 NaCl + $CaCl_2$ 处理下的增加幅度小于 NaCl 处理；在相同的浓度下，NaCl + $CaCl_2$ 处理的幼苗电导率和丙二醛(MDA)量低于 NaCl 处理，表明 $CaCl_2$ 的添加可一定程度的减缓盐胁迫对细胞膜带来的伤害，保护细胞膜的完整性。在 2 种处理下，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，且 NaCl 处理下的下降趋势明显，幅度较大。表明添加 $CaCl_2$ 可有效地缓解 NaCl 对黑果枸杞幼苗盐胁迫所造成的伤害作用，原因可能是施加外源钙一方面可以缓解因 Ca^{2+} 不足而引起的矿质营养胁迫，另一方面可以增强质膜的稳定性和钙信号系统的正常功能，阻止细胞内 K^+ 的外流和 Na^+ 的大量进入，以维持细胞内离子平衡，从而提高植物的抗盐性。

综上所述，通过添加外源 $CaCl_2$ 处理可有效地缓解 NaCl 对黑果枸杞种子及幼苗的胁迫作用，这对黑果枸杞在西北大片盐碱化土地上的引种驯化、大面积种植具有重要的意义。在盐碱地上的黑果枸杞栽培中，可以通过适宜浓度的 $CaCl_2$ 调节来提高种子的萌发能力，降低盐胁迫的伤害。

[参考文献]

[1] 甘青梅. 浅述藏药的研究[J]. 中草药，2001，32(4)：371.
[2] 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.
[3] 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.
[4] 陈晨，赵晓辉，文怀秀，等. 黑果枸杞的抗氧化成分分析及抗氧化能力测定[J]. 中国医院药学杂志，2011，31(15)：1305.
[5] 李进，瞿伟菁，张素军，等. 黑果枸杞色素的抗氧化活性研究[J]. 中国中药杂志，2006，31(14)：1179.
[6] 白红进，汪河滨，褚志强，等. 不同方法提取黑果枸杞多糖的研究[J]. 食品工业科技，2007，28(3)：145.
[7] 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.
[8] 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.
[9] 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.
[10] 曾长立，董元火. 外源钙对盐胁迫下芸薹属植物幼苗的生理效应[J]. 中国油料作物学报，2008，30(4)：433.
[11] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京：中国农业出版社，2000.
[12] 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.
[13] 杨淑慎，高俊凤，李学俊. 高等植物叶片的衰老[J]. 西北植物学报，2001，21(6)：271.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中国中药杂志
China Journal of Chinese Materia Medica

Effect of exogenous Calcium on seed germination and seedling physiological characteristics of *Lycium ruthenium*

HAN Duo-hong[1], LI Shan-Jia[2*], WANG En-jun[1], MENG Hong-mei[1], CHEN Ye[1], ZHANG Yong[1]

(1. *College of Agriculture and Biotechnology*, *Hexi University*, *Zhangye* 734000, *China*;
2. *School of Life Science and Engineering*, *Lanzhou University of Technology*, *Lanzhou* 730050, *China*)

[**Abstract**] **Objective:** In order to get the method for improving the salt resistance of Lycium ruthenium seeds and seedlings under NaCl stress, the seed germination and physiological characteristics of *L. ruthenium* seedlings was studied. **Method:** Several physiological indexes of *L. ruthenium* seeds under NaCl stress, such as the germination rate (*Gr*), germination vigor (*Gv*), germination index (*Gi*), vigor index (*Vi*), and relative salt damage rate were measured. Other indexes of the seedlings like relative water contents (RWC), chlorophyll contents, soluble protein contents, electrolyte leakage, the contents of malondialdehyde (MDA), and peroxidase (POD) were also measured. **Result:** NaCl at lower concentration could promote the seed germination but inhibit the seed germination at higher concentration. After the treatment by $CaCl_2$ at the different concentrations, all germination indexes were increased. With the increase of salt concentration, the relative water contents and the contents of chlorophyll were decreased, the content of MDA and electrolyte leakage were increased. The change trend of POD activity showed the first increase and then decrease with the increase of salt concentration, which was similar to that of the soluble protein. After the treatment by $CaCl_2$, relative water contents, chlorophyll and POD activities were decreased more slowly, and also electrolyte leakage and MDA contents increased slowly. **Conclusion:** The $CaCl_2$ could significantly alleviate the damages to the seeds and seedlings of *L. ruthenium* under NaCl stress, and promote the salt resistance to the seeds and seedlings of *L. ruthenium*.

[**Key words**] *Lycium ruthenium*; exogenous calcium; NaCl stress; seed germination; seedling physiological characteristics

doi: 10.4268/cjcmm20140107

责任编辑　吕冬梅

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net