

# 黑果枸杞苗期耐盐机制研究

王龙强, 蔺海明

甘肃农业大学农学院, 兰州 730070

**摘要** 采用不同浓度 NaCl 溶液处理盐生药用植物黑果枸杞幼苗, 通过测定细胞质膜透性(相对电导率)、丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)和可溶性糖等的变化, 探讨黑果枸杞幼苗的耐盐机制。结果表明, 叶片中的相对电导率和丙二醛含量随 NaCl 浓度的提高和胁迫时间的延长逐渐增大, 且高浓度盐处理下质膜伤害程度和 MDA 积累幅度均相对较大; 脯氨酸含量随 NaCl 浓度的增加而大幅增加, 其中, 在胁迫第 6 天, 200、300、400 和 500mol/L NaCl 处理的增加幅度分别高达 405.78%、800.11%、773.78% 和 747.51%, 同时, 随着胁迫时间的延长表现出先增加后下降的倒“V”型趋势, 但总体还是呈现增加态势; 可溶性糖含量在胁迫初期, 随着盐浓度的增加呈现先下降后上升的“V”型态势, 且随胁迫时间的增加, 各处理叶片中可溶性糖含量的变化规律与脯氨酸的一致, 但其最大值出现在胁迫第 18 天, 比胁迫初期分别增加 64.62%、83.15%、106.60%、207.00% 和 186.70%; 比较而言, 在盐胁迫下, 黑果枸杞幼苗叶片中脯氨酸含量积累较为敏感, 是其适应逆境环境的一种有效方式。本研究认为, 在盐胁迫下, 黑果枸杞可以通过在其体内积累大量的有机渗透物质以适应外界不利环境。

**关键词** 盐胁迫; 黑果枸杞; 耐盐机制

**中图分类号** Q948

**文献标识码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.10.003

## Salt Tolerance in Seedling Period of Medicinal Halophyte *Lycium ruthenicum*

WANG Longqiang, LIN Haiming

College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

**Abstract** The changes of several physiological indexes including the relative permeability of membrane, MDA, proline and soluble sugar are studied at the seedling stage of medicinal halophyte *Lycium ruthenicum* under different NaCl stress levels in order to understand better the mechanism of its salt tolerance. It is shown that the relative conductivity and the MDA content increase with the increase of NaCl concentration and stress time, and the increase rate is relatively higher under higher NaCl concentration than lower concentration. The content of proline also increases significantly with the increase of NaCl concentration, and the increases under 200, 300, 400 and 500mol/L NaCl stress are 405.78%, 800.11%, 773.78% and 747.51%, respectively. In addition, the content of proline first increases and then decreases with the stress time. At the initial stage of salt stress, the content of soluble sugar first decreases and then increases with the increase of salt concentration. With the increase of stress time, the variation trend of soluble sugar is consistent with that of proline, but the maximum value appears at the 18th day after salt stress, and the increases under different NaCl concentrations are 64.62%, 83.15%, 106.60%, 207.00% and 186.70%, respectively, as compared with that at the initial stage. Relatively speaking, the accumulation of proline in leaves of *Lycium ruthenicum* is more sensitive to salt stress, which is an effective mode to adapt the environmental stress. In conclusion, *Lycium ruthenicum* could absorb a great amount of soluble organic osmotica to adapt harmful environment.

**Keywords** salt stress; *Lycium ruthenicum*; salt tolerance

### 0 引言

土壤盐渍化是世界上最为严重的生态问题之一, 在很大

程度上制约了农业发展。据统计, 中国现有盐渍化土地面积  $3.6 \times 10^7$  ha, 广泛分布于东北、西北、华北及沿海等地区<sup>[1]</sup>。针对

收稿日期: 2011-01-07; 修回日期: 2011-03-07

基金项目: 《科技导报》博士生创新研究计划资助项目(kjdb20090102-6); 甘肃省自然科学基金项目(1010RJZA203)

作者简介: 王龙强, 博士研究生, 研究方向为药用植物栽培与生理生态, 电子信箱:wanglq@gsau.edu.cn; 蔺海明(通信作者, 中国科协所属全国学会个人会员登记号:S289300044M), 教授, 研究方向为中药材栽培与 GAP, 电子信箱:linhm@gsau.edu.cn

中国西北内陆特有的自然环境,有学者提出了构建“盐地药产业”的设想<sup>[2]</sup>,通过在盐碱荒地筛选种植抗盐性较强的药用植物,如甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)<sup>[3]</sup>、黄芪(*Astragalus membranaceus*)<sup>[4]</sup>、枸杞(*Lycium barbarum* L.)<sup>[5]</sup>等,以达到生物防盐和获得高经济效益的双重目标。因此,如何充分挖掘和筛选既具有高抗盐能力又能获得一定经济价值的药用植物将对西北地区内陆盐碱荒地的治理具有非常重要作用。

黑果枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr.)为茄科枸杞属灌木,广泛分布于中国西北荒漠地区,对盐渍土壤具有很强的适应能力<sup>[6]</sup>,其味甘、性平,清心热,在藏药中被称为“旁玛”,用于治疗心热病、心脏病、月经不调等症<sup>[7]</sup>。目前,关于枸杞属植物的研究热点聚焦于宁夏枸杞上,并取得了大量的研究成果,然而作为同属植物的黑果枸杞的相关研究报道不多,且主要集中在黑果枸杞色素和多糖提取工艺及药理研究方面<sup>[8-10]</sup>,而有关其抗盐机制方面的研究还未见报道。本试验对黑果枸杞幼苗进行不同浓度的NaCl溶液处理,研究其在生长过程中质膜伤害程度和有机大分子渗透调节物质的积累特征,以期对黑果枸杞种质资源保护和引种栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验用黑果枸杞种子采自甘肃省民勤县东坝镇盐碱沙荒地,为多年生野生种。

### 1.2 试验处理

将黑果枸杞种子表面附着的紫黑色素洗净,挑选饱满度和大小基本一致的种子,用70%酒精表面消毒15min,播种于装有经高温灭菌土壤的培养盆中,置温室中,用Hogland营养液进行培养。待出苗后涨至4—5cm时间苗,每盆留苗10株,至幼苗高8—9cm时进行处理。NaCl胁迫设100、200、300、400、500mmol/L 4个处理梯度,每个处理重复3盆,配置母液均为Hogland营养液,并以不加盐的Hogland营养液为对照。第一次浇灌以后,每隔3d用相应NaCl浓度的Hogland营养液等量浇灌,直至胁迫结束,采用根灌方式处理。处理后第6、12、18、24、30天进行各生理指标的测定,重复3次。

### 1.3 测定项目及方法

取黑果枸杞幼苗中部新鲜叶片,用去离子水洗净擦干后,称取一定量的样品进行各项生理指标的测定<sup>[11]</sup>。

(1) 细胞质膜透性:将叶片剪成约1cm小段,放入小烧杯中,加入去离子水20mL,然后放入真空干燥器,用抽气机抽气7—8min,抽出细胞间隙中的空气。取出小烧杯静置20min后,用DDS-11A型电导率仪测定电导率。再放入100℃沸水浴中15min,待冷却后测定其煮沸电导率。并用相对电导率(相对电导率=浸泡液电导率值/煮沸后电导率值×100%)表示细胞膜相对透性。

(2) 丙二醛(MDA)含量:将叶片剪碎,加入2mL 5%硫代巴比妥酸(TBA)溶液和少量石英砂,研磨至匀浆,再加入8mL TCA进一步研磨后离心(4000r/min)10min,吸取上清液2mL,

加入2mL 0.6%TBA溶液,摇匀后放入沸水浴中煮沸10min,待冷却离心后测定532、600及450nm处的吸光度值,按下面公式计算出MDA的浓度后进一步计算其在组织中的含量。

丙二醛含量=6.45×(A<sub>532</sub>-A<sub>600</sub>)-0.56×A<sub>450</sub>,式中,A<sub>532</sub>、A<sub>600</sub>和A<sub>450</sub>分别表示532、600和450nm处的吸光度值。

(3) 脯氨酸(Pro)含量:将叶片剪碎后放入试管中,加入5mL 3%磺基水杨酸溶液,置于沸水浴中提取15min,取过滤液2mL置于试管中,再加入2mL冰醋酸和2mL茚三酮试剂,在沸水浴中加热15min,待冷却后加甲苯萃取,吸取甲苯层测定520nm处的吸光度值,通过标准曲线(Y=23.92X-0.48,其中Y为脯氨酸含量,X为吸光度值)求出脯氨酸含量。

(4) 可溶性糖含量:将叶片剪碎,放入大试管中,加入15mL蒸馏水,煮沸20min,待冷却后过滤入100mL容量瓶中,取提取液1mL加蒽酮试剂显色测定620nm处的吸光度值,通过标准曲线(Y=169.49X-0.80,其中Y为可溶性糖含量,X为吸光度值)求出可溶性糖含量。

### 1.4 统计分析

数据采用Excel软件绘图,用SPSS统计软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫下黑果枸杞叶片中细胞质膜透性的变化

在胁迫后第6天,随着NaCl浓度的增加,黑果枸杞幼苗叶片的相对电导率逐渐增加(图1),与对照相比,100、200、300、400和500mmol/L NaCl处理后叶片中相对电导率分别高出6.57%、41.95%、60.39%、62.64%和74.00%,经方差分析,100mmol/L NaCl处理与对照之间无显著差异,300、400和500mmol/L 3个NaCl处理间也无显著差异。说明在胁迫初期,低浓度的NaCl溶液并未造成黑果枸杞叶片电解质的大量外渗,但当盐浓度增加至200mmol/L时,叶片细胞质膜的完整性遭到破坏,胞内电解质大量外渗,细胞质膜透性急剧增加,当浓度再增加至300mmol/L时,叶片细胞质膜透性则变化趋缓。之后,随着胁迫时间的延长,盐处理组与对照之间呈显著差异,其中在胁迫后第12天,100mmol/L NaCl处理的叶片质膜透性比对照增加25.85%。另外,从第12天开始,300mmol/L NaCl处理与500mmol/L NaCl处理间开始呈现差异,其中,胁迫后第12、18、24和30天,500mmol/L NaCl处理的叶片质膜透性分别比300mmol/L NaCl处理高出42.99%、31.76%、20.25%和12.23%,表明随着盐胁迫时间的延长,黑果枸杞叶片质膜透性在低盐与对照、高盐与中盐之间呈现差异。

随着盐胁迫时间的延长,对照叶片的相对电导率变化不显著,而NaCl溶液处理的叶片相对电导率总体表现出逐渐增加的趋势,其中第30天,100、200、300、400和500mmol/L NaCl胁迫下叶片相对电导率为43.13%、68.03%、82.11%、87.46%和92.15%,比胁迫第6天的分别高出60.16%、89.66%、102.59%、112.80%和109.57%,说明黑果枸杞叶片的细胞质膜透性随胁迫时间的不断延长而增大,且高盐胁迫下黑果枸杞叶片质膜伤害率随时间的积累幅度较低盐胁迫下

大。表明在盐胁迫下,黑果枸杞叶片伤害程度不仅与盐胁迫浓度有关,还与胁迫时间相关。

从黑果枸杞生长过程中受盐害的情况看,其受害程度与叶片质膜透性关系密切。对照、100、200mmol/L NaCl 处理的黑果枸杞幼苗在整个试验过程中均无异常症状;300mmol/L NaCl 处理的黑果枸杞幼苗在第 18 天前生长正常,但从第 18 天后叶片开始出现轻微失绿症状,第 24 天时有 2 株失绿,第 30 天时有 3 株发生萎蔫;400mmol/L NaCl 处理的黑果枸杞幼苗在第 18 天时有 2 株出现失绿,第 24 天时 3 株萎蔫,第 30 天时有 4 株发生落叶;500mmol/L NaCl 处理的黑果枸杞幼苗在第 12 天时有 3 株发生失绿,第 18 天时有 5 株叶片发生萎蔫,第 30 天时有 4 株叶片发生严重脱落,其中 3 株死亡。

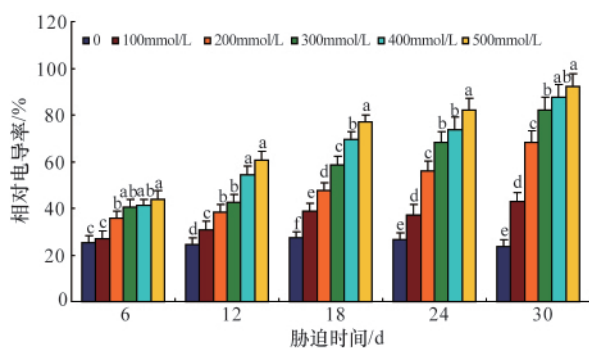


图 1 盐胁迫下黑果枸杞叶片中相对电导率变化

Fig. 1 Change of relative electric conductivity in the leaves of *Lycium ruthenicum* under salt stress

注:不同小写字母表示同一时间内不同盐浓度在 0.05 上的显著水平。下同。

Notes: The different letters indicate significant difference at 0.05 level within the same time period. The same as below.

## 2.2 盐胁迫下黑果枸杞叶片中丙二醛含量变化

在胁迫初期的第 6 天,与对照(3.284 $\mu\text{mol/g}$ )相比,100、200、300、400 和 500mmol/L NaCl 处理的 MDA 含量依次增加(图 2),增幅分别为 38.40%、50.18%、71.04%、86.69% 和 127.01%,其中,100mmol/L 与对照、500mmol/L 与 400mol/L NaCl 处理相比增幅较大,经方差分析,各处理间达到显著差异,表明 NaCl 溶液浓度越高,黑果枸杞叶片中积累的膜脂过氧化产物越高。与胁迫后第 6 天的变化趋势类似,在胁迫后第 12、18、24 和 30 天,各处理叶片中的 MDA 含量较对照均有不同幅度的增加,并随盐浓度升高总体呈逐渐递增的规律。但是,在胁迫第 18 和 24 天,200 与 300mmol/L NaCl 处理间无显著差异,而与 400、500mmol/L NaCl 处理间差异显著,其中,胁迫第 24 天后,500mmol/L NaCl 处理的叶片 MDA 含量达到 12.872 $\mu\text{mol/g}$ ,比对照组、100、200、300、400 和 500mmol/L NaCl 处理分别高出 296.67%、82.12%、86.85%、73.78% 和 41.62%。

与相对电导率的变化规律一致,对照叶片中的 MDA 含

量在黑果枸杞幼苗生长过程中变化不显著,而经盐胁迫的各处理随胁迫时间的延长叶片中的 MDA 含量呈逐渐上升态势,其中在胁迫初期(12d 前)和胁迫后期(24d 后)为两个急速上升期,胁迫中期(12—24d)增幅较为平缓,另外,胁迫第 30 天与胁迫第 6 天相比,100、200、300、400 和 500mmol/L NaCl 处理叶片中的 MDA 含量分别增加了 77.23%、71.09%、67.06%、98.60% 和 113.19%,说明随盐胁迫时间的延长,与低浓度盐处理相比,高浓度盐处理下黑果枸杞幼苗叶片中 MDA 积累的幅度较大,植物体质膜受到的累积伤害程度也越大。

对盐胁迫期间黑果枸杞叶片丙二醛含量和细胞质膜透性进行回归分析,结果发现,丙二醛相对于细胞质膜透性的线性回归方程为  $Y=0.1283X+0.7687$  ( $R^2=0.834$ ),回归系数显著性检测为显著,说明丙二醛含量与细胞质膜透性之间存在显著相关。

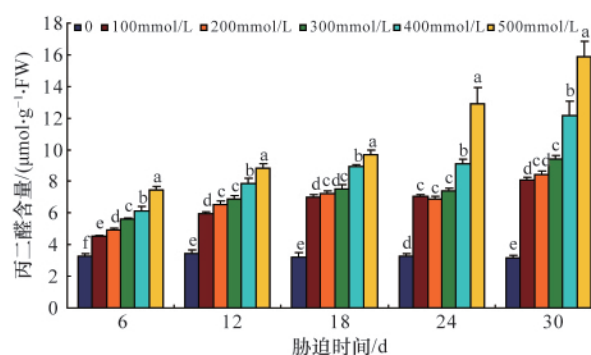


图 2 盐胁迫下黑果枸杞叶片中丙二醛含量的变化

Fig. 2 Change of MDA content in the leaves of *Lycium ruthenicum* under salt stress

## 2.3 盐胁迫下黑果枸杞叶片中脯氨酸含量变化

在胁迫第 6 天,与对照相比,除 100mmol/L NaCl 处理增加幅度较小(35.42%)外,其他盐处理中的脯氨酸含量均有较大幅度的增加(图 3),其中 200、300、400 和 500mmol/L NaCl 处理的增加幅度分别达 405.78%、800.11%、773.78% 和 747.51%,经方差分析,300、400 和 500mmol/L NaCl 处理间差异不显著,但与其他处理间差异达到显著水平,表明在盐胁迫初期,随着 NaCl 浓度的增加,黑果枸杞叶片中会积聚大量的有机大分子物质脯氨酸以适应盐逆境条件,以缓解盐浓度过高对植物体本身造成的伤害。另外,当盐浓度达到 300mmol/L 后,黑果枸杞叶片内脯氨酸含量不再上升,呈明显钝化态势。在胁迫后第 12 天,100mmol/L NaCl 处理与对照之间差异仍不显著,500mmol/L NaCl 处理叶片脯氨酸含量最高,为 366.90 $\mu\text{g/g}$ ,比 300、400mmol/L NaCl 处理分别高出 46.48% 和 35.72%,且达到显著水平。在胁迫第 18、24 和 30 天,各处理叶片中的脯氨酸含量均表现出随盐浓度升高而增加,且在高浓度胁迫下急剧增加的相似趋势。

在无盐胁迫的情况下,叶片中的脯氨酸含量随着时间的延长呈现出先增加后下降再增加的“N”型走势,且变化不大。

在 NaCl 胁迫下, 各处理叶片中的脯氨酸含量随着胁迫时间的延长表现出先逐渐累积后下降的倒“V”型趋势, 但总体还是呈现增加态势。与胁迫初期第 6 天相比, 胁迫第 30 天后的各盐处理叶片中的脯氨酸含量分别增加了 241.41%、118.86%、178.90%、208.54% 和 270.17%, 说明随着盐胁迫时间的延长, 黑果枸杞各处理中的脯氨酸含量均比胁迫初期大幅增加, 以适应长期盐渍逆境条件。

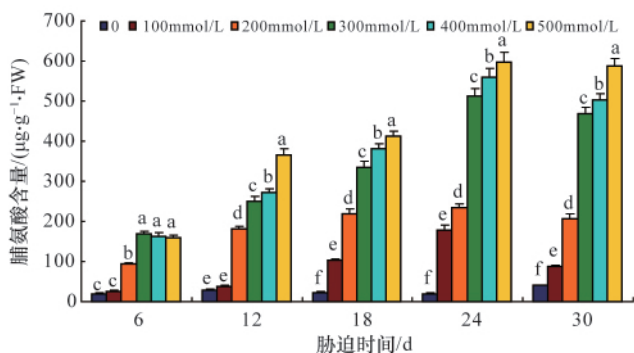


图 3 盐胁迫下黑果枸杞叶片中脯氨酸含量的变化  
Fig. 3 Change of proline content in the leaves of *Lycium ruthenicum* under salt stress

#### 2.4 盐胁迫下黑果枸杞叶片中可溶性糖含量变化

在胁迫后第 6 天, 与对照 (8.31mg/g) 相比, 100、200 和 300mmol/L NaCl 处理中的可溶性糖含量均出现下降 (图 4), 幅度分别为 27.26%、11.99% 和 3.49%, 而 400、500mmol/L NaCl 处理中的可溶性糖含量分别上升 6.62% 和 26.71%, 即随盐浓度的增加黑果枸杞叶片可溶性糖含量呈现先下降后上升的“V”型态势, 经方差分析, 300、400mmol/L NaCl 处理与对照 3 者之间差异不显著, 但与 100、500mmol/L NaCl 处理之间差异达到显著水平, 说明在盐胁迫初期, 低浓度 NaCl 溶液抑制了黑果枸杞叶片中可溶性糖含量的积累, 而高浓度 NaCl 溶液却使可溶性糖含量增加, 以缓解过多的盐分对植物体造成的伤害。另外, 胁迫第 12、24 和 30 天, 黑果枸杞叶片中可溶性糖的积累随盐浓度的变化规律与胁迫第 6 天的基本一致,

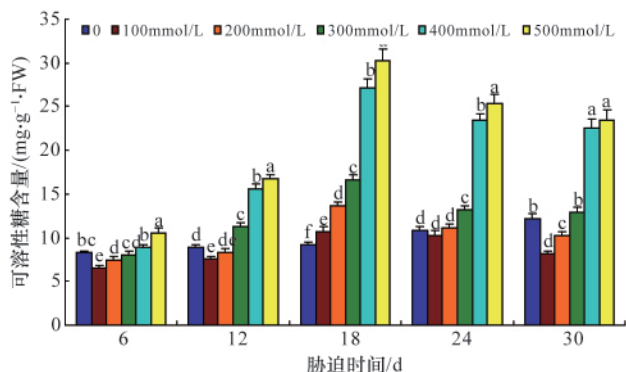


图 4 盐胁迫下黑果枸杞叶片中可溶性糖含量的变化  
Fig. 4 Change of soluble sugar content in the leaves of *Lycium ruthenicum* under salt stress

但在胁迫第 18 天, 与对照 (9.25mg/g) 相比, 随着盐浓度的升高, 各盐处理中的可溶性糖含量逐渐增加, 其增幅分别为 16.22%、46.92%、79.35%、194.05% 和 226.38%, 且各处理之间均达到显著差异。

在无盐胁迫的情况下, 叶片中的可溶性糖含量随时间的延长而小幅增加, 与胁迫初期第 6 天相比, 第 12、18、24 和 30 天的可溶性糖平均含量分别增加了 6.98%、11.31%、30.08% 和 47.05%。而在盐胁迫下, 随着胁迫时间的增加, 各处理叶片中的可溶性糖含量的变化呈现倒“V”型走势, 其中, 在胁迫第 18 天, 各盐处理叶片中的可溶性糖含量均达到最大值, 依次为 10.75、13.59、16.59、27.2 和 30.19mg/g, 比胁迫初期 (第 6 天) 分别增加 64.62%、83.15%、106.60%、207.00% 和 186.70%, 说明在高浓度的盐胁迫下, 随着时间的增加, 黑果枸杞叶片中可溶性糖的积累比低浓度盐胁迫下更显著, 以适应外界环境带来的伤害。

### 3 讨论与结论

过多的盐分不仅使植物体生长发育受到抑制, 还引起植物体内质膜透性、生理生化特性和多种代谢发生变化<sup>[12]</sup>。Liu 等<sup>[13]</sup>用 200mmol/L NaCl 溶液处理苹果愈伤组织后发现, 对照在处理 7d 内变化不显著, 而 NaCl 溶液处理后电解质渗透率在 6h 后急剧增加, 在随后的第 3 天和第 7 天变化较缓慢, 但比对照要高很多。Michel 等<sup>[14]</sup>发现番茄第 4 片叶在盐胁迫前 9d 与对照相比变化不大, 但第 9 天后 MDA 含量迅速增加, 第 5 片叶在胁迫第 15 天后迅速增加, 且同期第 4 片叶的伤害程度大于第 5 片叶, 即老叶的伤害程度更为明显, 并与光系统 II (PSII) 最大光化学量子产量 ( $F/F_m$ ) 呈明显负相关。赵可夫等<sup>[12]</sup>发现, 在盐胁迫下, 植物体内电解质渗透率与 MDA 含量呈正相关, 与 SOD (超氧化物歧化酶) 含量呈负相关, 也就是说, 盐胁迫可以增大植物细胞质膜的膜脂过氧化作用, 降低具有清除自由基作用的 SOD 活性, 增加过氧化物产物, 如丙二醛的含量, 从而破坏质膜的透性。本研究结果表明, 在盐胁迫下, 黑果枸杞叶片中的质膜透性和丙二醛含量随盐胁迫浓度的升高和胁迫时间的延长逐渐增加, 两者呈现一定的正相关关系, 且与低盐胁迫相比, 高盐胁迫下叶片相关指标随时间的积累幅度较大, 这与前述研究成果基本一致。说明盐胁迫尤其是高浓度的盐分对黑果枸杞细胞质膜产生了较大伤害, 使其选择性遭到破坏, 可能将引起其他一系列生理生化变化。

高盐环境下, 植物细胞中常积累一些小分子有机物如脯氨酸、甜菜碱、甘油、有机酸、可溶性糖等和多种无机盐离子, 以维持较高细胞质渗透压, 便于植物在高盐条件下对水分的吸收<sup>[15]</sup>。不少盐生植物, 在盐渍环境中可以合成大量的脯氨酸, 以降低细胞水势, 提高抵抗盐害的能力<sup>[12]</sup>, 对于栽培枸杞<sup>[5]</sup>、盐芥<sup>[16]</sup>、滨藜<sup>[17]</sup>等植物的试验已有报道。本试验在黑果枸杞上得出的研究结果也支持脯氨酸作为植物主要有机渗透调节物质的观点, 且积累幅度与盐浓度和胁迫时间呈现正相关的

关系。但也有人在其他一些植物,如盐地碱蓬<sup>[18-19]</sup>上的研究表明,在盐胁迫环境下,脯氨酸积累很低,渗透调节作用并不大。除脯氨酸外,可溶性糖也是一种较重要的有机渗透调节剂<sup>[20]</sup>。王锁民等<sup>[20]</sup>通过研究碱茅属牧草认为,在盐胁迫下可溶性糖的积累具有非常重要的生理意义,而刘爱荣<sup>[19]</sup>的研究表明,随 NaCl 浓度增加,根中可溶性糖含量呈上升趋势,叶中可溶性糖含量呈先上升后下降的变化,低浓度 NaCl 溶液处理的可溶性糖含量最高。本试验结果表明,低浓度的 NaCl 溶液抑制了黑果枸杞叶片中可溶性糖含量的积累,而高浓度的 NaCl 溶液却使可溶性糖含量增加,且随着胁迫时间的增加,各处理叶片中的可溶性糖含量的变化呈现倒“V”型走势,这可能是因为黑果枸杞在胁迫初期,细胞受到伤害较大,便迅速积累有机物质可溶性糖进行渗透调节,但后期植物体逐渐适应了盐胁迫逆境,耐盐能力增强,可溶性糖的积累有所下降。相对而言,对于黑果枸杞幼苗叶片,在盐胁迫下,脯氨酸含量急剧上升,是响应较为敏感的有机渗透物质。

#### 参考文献 (References)

- [1] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 837-845.  
Yang Jingsong. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 837-845.
- [2] 贾恢先, 蔺海明, 肖雯. 中国内陆盐地药产业培植与可持续发展的研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2005, 7(6): 79-82.  
Jia Huixian, Lin Haiming, Xiao Wen. *Modernization of Traditional Chinese Medicine-World Science and Technology*, 2005, 7(6): 79-82.
- [3] 杨秀红, 李建民, 董学会. 盐胁迫对甘草幼苗生长及其生理特性的影响[J]. 华北农学报, 2006, 21(4): 39-42.  
Yang Xiuhong, Li Jianmin, Dong Xuehui. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2006, 21(4): 39-42.
- [4] 蔺海明, 郭晔红, 贾恢先, 等. 黄芪不同种植密度的耐盐抑盐效应研究[J]. 草业学报, 2005, 14(5): 48-53.  
Lin Haiming, Guo Yehong, Jia Huixian. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(5): 48-53.
- [5] 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.  
Wang Longqiang, Lin Haiming, Xiao Wen, et al. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2004, 39(6): 611-614.
- [6] 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): 365-376.  
Zhang Yingcai, Zhang Jinning. *Journal of Ningxia University: Natural Science Edition*, 2004, 25(4): 365-376.
- [7] 甘青梅, 骆桂法, 李普衍, 等. 藏药黑果枸杞开发利用的研究[J]. 青海科技, 1997, 4(1): 17-19.  
Gan Qingmei, Luo Guifa, Li Puyan, et al. *Qinghai Science and Technology*, 1997, 4(1): 17-19.
- [8] 李进, 瞿伟菁, 吕海英, 等. 黑果枸杞色素的提取和精制工艺研究[J]. 天然产物研究与开发, 2006, 18(4): 612, 650-654.  
Li Jin, Qu Weijing, Lu Haiying, et al. *Natural Product Research and Development*, 2006, 18(4): 612, 650-654.
- [9] 汪建红, 陈晓琴, 张伟佼. 黑果枸杞果实多糖降血糖生物功效及其机制研究[J]. 食品科学, 2009, 30(5): 244-248.  
Wang Jianhong, Chen Xiaoqin, Zhang Weijiao. *Food Science*, 2009, 30(5): 244-248.

- [10] 冯薇, 何恩鹏, 陈晓琴, 等. 黑果枸杞果实多糖对小白鼠运动能力影响及量效研究[J]. 干旱区研究, 2009, 26(4): 586-590.  
Feng Wei, He Enpeng, Chen Xiaoqin, et al. *Arid Zone Research*, 2009, 26(4): 586-590.
- [11] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.  
Gao Junfeng. *Experimental guidance for plant physiology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [12] 赵可夫. 植物抗盐生理[M]. 北京: 科学出版社, 1993.  
Zhao Kefu. *Physiology of plant salt tolerance*[M]. Beijing: Science Press, 1993.
- [13] Liu J H, Nada K, Honda C, et al. Polyamine biosynthesis of apple callus under salt stress: importance of the arginine decarboxylase pathway in stress response[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2006, 57(11): 2589-2599.
- [14] Michel E G, Alfonso A, Cristina M A, et al. Hormonal changes during salinity-induced leaf senescence in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2008, 59(11): 3039-3050.
- [15] 毛桂莲, 许兴, 许兆桢. 植物耐盐生理生化研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 43-46.  
Mao Guilian, Xu Xing, Xu Zhaozhen. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(1): 43-46.
- [16] 刘爱荣, 赵可夫. 盐胁迫下盐芥渗透调节物质的积累及其渗透调节作用[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005, 31(4): 389-395.  
Liu Airong, Zhao Kefu. *Acta Photophysiological Sinica*, 2005, 31(4): 389-395.
- [17] Hassine A B, Ghanem M E, Bouzid S, et al. An inland and a coastal population of the Mediterranean xero-halophyte species *Atriplex halimus* L. differ in their ability to accumulate proline and glycinebetaine in response to salinity and water stress [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2008, 59(6): 1315-1326.
- [18] 黄玮, 李志刚, 乔海龙, 等. 旱盐互作对盐地碱蓬生长及其渗透调节物质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 173-178.  
Huang Wei, Li Zhigang, Qiao Hailong, et al. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(1): 173-178.
- [19] 张海燕, 赵可夫. 盐分和水胁迫盐地碱蓬幼苗渗透调节效应的研究[J]. 植物学报, 1998, 40(1): 56-61.  
Zhang Haiyan, Zhao Kefu. *Acta Botanica Sinica*, 1998, 40(1): 56-61.
- [20] 王锁民, 朱兴运, 王增荣. 渗透调节在碱茅幼苗适应盐逆境中的作用初探[J]. 草业学报, 1993, 2(3): 40-46.  
Wang Suomin, Zhu Xingyun, Wang Zengrong. *Acta Prataculturae Sinica*, 1993, 2(3): 40-46.

(责任编辑 吴晓丽)

#### 《科技导报》“封面文章”栏目征稿

为快速反映我国最新科技研究成果,《科技导报》开设“封面文章”栏目,将最新科研成果第一时间在我刊最显著位置——封面上突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域我国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过 300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。