

不同种源黑果枸杞抗盐性比较

马彦军¹,张莹花²,张荣梅¹,苏世平¹,马 瑞^{1*}

(1. 甘肃农业大学 林学院,甘肃 兰州 730070;2. 甘肃省治沙研究所,甘肃 兰州 730070)

摘 要:以 2 年生黑果枸杞实生苗为材料,以不同浓度 NaCl 浓度胁迫,测定 4 个种源的黑果枸杞叶片生理指标的变化规律,采用隶属函数法分析不同种源黑果枸杞抗盐性强弱。结果表明,CAT 和 SOD 的酶活性随着 NaCl 浓度的增加先上升后下降,POD 的活性则呈下降趋势;随着 NaCl 浓度的升高,丙二醛含量呈增加趋势,游离脯氨酸含量呈增加趋势,可溶性糖含量呈上升趋势,可溶性蛋白质含量呈先增后降趋势;黑果枸杞叶片组织中的叶绿素 a 含量随着 NaCl 浓度增加总体上呈下降趋势,叶绿素 b 的含量在不同种源间变化趋势不一致。通过隶属函数值初步判断 4 个种源的黑果枸杞抗盐性由强到弱的顺序为民勤、瓜州、金塔和老寺庙。

关键词:黑果枸杞;NaCl;隶属函数;抗盐性

中图分类号:S718.516 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)06-0083-06

Salt Resistance Comparative Study of *Lycium ruthenicum* From Different Provenances

MA Yan-jun¹,ZHANG Ying-hua²,ZHANG Rong-mei¹,SU Shi-ping¹,MA Rui^{1*}

(1. Forestry College,Gansu Agriculture University,Lanzhou,Gansu 730070,China;

2. Gansu Desert Control Reseach Institute,Lanzhou,Gansu 730070,China)

Abstract: Two-year-old seedlings of *Lycium ruthenicum* from 4 different provenances were used to study the effects of different NaCl concentrations on the physiological parameters in the leaves. Different physiological parameters of *L. ruthenicum* seedlings treated with different NaCl concentrations were comprehensively evaluated by subordinate function values analysis. The results demonstrated that with the increase of NaCl concentrations,the activities of CAT and SOD increased firstly and then decreased,and the activity of POD decreased consistently. The contents of MDA,proline and soluble sugar increased,while the content of soluble protein increased firstly then decreased,accompanied with increasing NaCl concentrations. The contents of chlorophyll-a in *L. ruthenicum* leaves decreased generally by increasing NaCl stress,however,the change trends of the chlorophyll-b contents among different provenances were different. The comprehensive evaluation indicated the salt tolerance order of *L. ruthenicum* from 4 provenances was Minqin>Guazhou>Jinta>laosimiao.

Key words: *Lycium ruthenicum*; NaCl; subordinate function value; salt-tolerance

土壤盐渍化是一个全球性的生态问题,已经严重制约了农林业生产和经济发展,引起当今世界的普遍关注^[1-3]。中国盐渍土面积大,分布广泛,类型多样。据最新研究,现代盐渍化土壤面积约 3 693.3 万 hm²,残余盐渍化土壤约 4 486.7 万 hm²,潜在盐

渍化土壤为 1 733.3 万 hm²,各类盐碱地面积总计 9 913.3 万 hm²^[4]。所以,如何高效利用这些盐碱化的土地已成为一个重要课题和研究方向。治理盐碱地可通过合理水土管理和化学改良措施得以缓解,但成本太高,效果很难持久,不易推广^[5];也可通过

收稿日期:2016-06-05 修回日期:2016-08-14

基金项目:国家自然科学基金(31560215,314620224);甘肃省科技支撑项目(144NKCA045);甘肃农业大学青年研究生指导教师扶持基金项目(GAU-QNDS-201404)。

作者简介:马彦军,男,回族,博士,副教授,研究方向:植物种质资源调查收集、保存与研究。E-mai:lxsys01@126.com

* 通信作者:马 瑞,女,回族,博士,研究方向:荒漠化防治。E-mail:307941593@qq.com

选育和培育抗盐品种来提高植物的抗盐性,从而适应土壤的盐渍环境,这是改良和利用盐碱地最为经济、有效的措施之一^[6-8]。黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)为茄科(Solanaceae)枸杞属(*Lycium* L.)多年生灌木,是中国荒漠区抗盐抗旱、同时具有很高经济价值及营养价值的盐生植物^[9]。《晶珠本草》、《四部医典》记载,黑果枸杞在藏药称“旁玛”,以其成熟果实入药,治疗心热病、心脏病、月经不调、停经等病症,并且药效明显,民间用作滋补强壮、明目及降压药^[10-11]。同时其果实富含氨基酸、微量元素,有较高的还原糖,是一种理想的免疫增强剂,具有重要的药用开发价值^[12-13]。黑果枸杞果实富含蛋白质、枸杞多糖、氨基酸、维生素、矿物质、微量元素等多种营养成分,尤其含具有清除自由基、抗氧化功能的天然花色甙素,药用和保健价值远高于普通红枸杞,被誉为“软黄金”^[14-16]。黑果枸杞容器育苗、扦插以及栽培技术比较成熟^[17-18]。有关黑果枸杞的药用、食用和保健方面研究报道较多^[19-20]。在果实色素和多糖提取工艺及生物活性方面进行了较深入的研究^[21-24],而在黑果枸杞的抗逆性方面研究较少^[25-28]。本试验以2年生黑果枸杞实生苗为材料,以不同浓度NaCl浓度胁迫,测定4个种源的黑果枸杞叶片生理指标的变化,采用隶属函数法分析不同种源黑果枸杞抗盐性强弱,以筛选出抗盐性较强的种源材料,在盐碱地示范推广。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2013年7月收集到甘肃省不同地区(表1)黑果枸杞种子,于2014年4月播种于甘肃农业大学林学院的校内实习基地中。

表 1 材料来源				
Table 1 Sources of the materials				
种源 编号	采集地	纬度 /N	经度 /E	海拔 /m
MQ	民勤	39°01′	103°34′	1 309
LSM	老寺庙	38°53′	96°04′	1 530
JT	金塔	40°09′	98°48′	1 232
GZ	瓜州	40°29′	96°35′	1 319

1.2 试验设计

2015年4月初将实生苗移栽到装有泥炭土的30 cm×40 cm花盆中,每盆移栽1株。Hoagland营养液浇灌,按常规统一进行水、肥管理和病虫害的防治,待植株生长稳定,于8月20日、8月22日和8月24日的8:30进行盐处理。根据预试验结果,盐胁迫为4个处理,NaCl浓度为0.4%、0.8%、1.2%

和1.6%,以蒸馏水为对照(CK)。试验开始时分2次将配好的NaCl溶液施入各盆中,以达到预定土壤含盐量,对照仅浇等体积的蒸馏水。在盐处理前5 d控制浇水以便于盐水在干燥基质中扩散迅速而均匀。在每个花盆下接一托盘,每2~3 d浇1次水,以保证盐分浓度,各处理浇水1 h后,将塑料盆内渗出水分回倒至处理盆内,以保证处理盆中盐分不流失,重复3次。处理过程中进行防雨保护,胁迫7 d后测定各生理指标;采样在8:30始进行。

1.3 测定指标与方法

超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用抑制NBT光还原比色法;过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法;过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外吸收法^[29-31];丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸比色法;脯氨酸(Pro)含量测定采用磺基水杨酸提取法;可溶性蛋白(SP)含量测定采用考马斯亮蓝G-250法;可溶性糖(SS)含量测定采用蒽酮比色法;叶绿素含量(Chlorophyll)测定采用乙醇:丙酮=1:1浸提(体积比)法。

1.4 数据处理

数据采用SPSS 17.0和Excel 2007统计软件分析和作图,采用模糊数学隶属函数法对数据进行分析,评价其抗盐性。

隶属函数值计算公式: $R(X_i)=\frac{X_i-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}}$ (1)

反隶属函数值计算公式: $R(X_i)=1-\frac{X_i-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}}$ (2)

式中, X_i 为指标测定值, X_{\min} 、 X_{\max} 为所有参试材料某一指标的最小值和最大值^[31-32]。若所测指标与植物的抗盐性呈正相关,则采用公式(1)计算隶属值,反之则用公式(2)。累加每一个种源各指标的具体隶属值,其值越大,植物的抗盐性越强^[33]。

2 结果与分析

2.1 NaCl胁迫对黑果枸杞叶片保护酶活性的影响

4个种源黑果枸杞叶片的SOD和CAT的酶活性随着NaCl浓度的增加呈现出先上升后下降的趋势,而POD的酶活性随着NaCl浓度的增加呈现出下降趋势,但当NaCl浓度达最大1.6%时的POD的酶活性比NaCl浓度为1.2%时的POD的酶活性略有升高,但都比对照低。NaCl浓度为0.8%时,4个种源的黑果枸杞SOD酶活性达最大,NaCl浓度为1.2%时,4个种源的黑果枸杞SOD酶活性虽然有所下降但均比对照高。NaCl浓度为1.2%时,4个种源的黑果枸杞CAT酶活性达到最大(图1)。

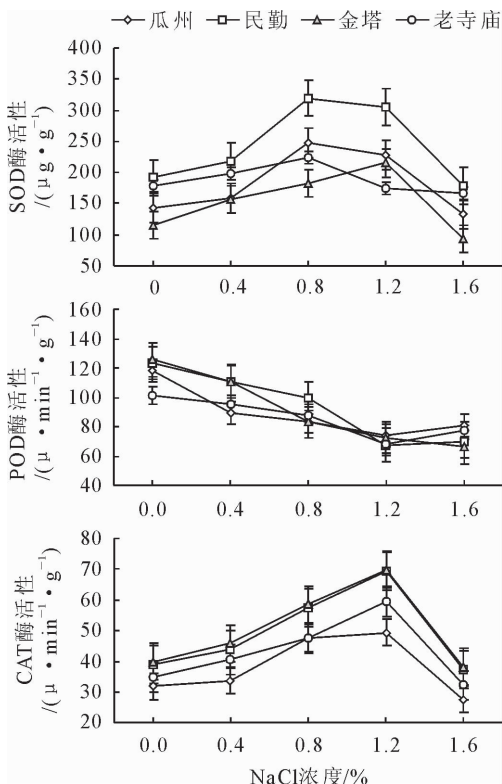


图 1 NaCl 处理对黑果枸杞叶片 SOD、POD、CAT 酶活性的影响

Fig. 1 Effects of NaCl stress on SOD, POD and CAT activities in *L. ruthenicum* leaves

2.2 NaCl 胁迫对黑果枸杞叶片 MDA 的影响

随着 NaCl 浓度的增加, 4 个种源黑果枸杞的 MDA 含量呈上升趋势, 总体上升幅度不大。与对照相比, NaCl 浓度为 1.6% 时, 瓜州、民勤、金塔及老寺庙的黑果枸杞 MDA 的含量比对照分别上升了 7%、7.9%、7.2% 与 11.7%, 老寺庙上升幅度最大, 瓜州上升幅度最小(图 2a)。

2.3 NaCl 胁迫对黑果枸杞叶片渗透调节物的影响

随着 NaCl 的浓度的增加, 黑果枸杞叶片中脯氨酸的含量呈增加趋势。与对照相比, NaCl 浓度为 1.6% 时, 瓜州、民勤、金塔及老寺庙种源的黑果枸杞叶片中的脯氨酸含量分别为对照的 3.9、3.62、3.19 和 3.21 倍(图 2b)。

与对照相比, 黑果枸杞叶片中的可溶性糖的含量随着盐浓度的增加, 总体上是上升趋势。金塔的黑果枸杞可溶性糖的含量最大, 而瓜州的黑果枸杞含量最小, 4 个种源黑果枸杞的可溶性糖含量在不同浓度 NaCl 处理下差异显著 ($P < 0.5$), 金塔的黑果枸杞和瓜州的黑果枸杞可溶性糖的含量相比差异极显著 ($P < 0.01$)(图 2c)。

随着盐浓度的增加, 黑果枸杞幼苗叶片可溶性蛋白的含量先增后降。瓜州的黑果枸杞可溶性蛋白含量最大, 与其他 3 个种源的可溶性蛋白含量相比

差异极显著(图 2d)。

2.4 NaCl 胁迫对黑果枸杞叶片叶绿素含量的影响

随着 NaCl 浓度的增大, 黑果枸杞叶片组织中的叶绿素 a 含量总体上呈下降趋势, 叶绿素 b 的含量在不同种源间变化趋势不一致。NaCl 浓度为 1.6% 时, 瓜州、民勤、金塔及老寺庙来源的叶绿素 a 的含量与对照比分别下降了 43%、47%、36% 和 39%, 民勤的黑果枸杞叶绿素 a 下降幅度最大。瓜州的黑果枸杞叶绿素 b 在 NaCl 浓度为 0.4% 降到最小, 此后随 NaCl 浓度增大逐渐上升, 但上升幅度不大, NaCl 浓度为 0.4%、0.8% 和 1.2% 叶绿素 b 的含量差异不显著, 但与 NaCl 浓度为 1.6% 时叶绿素 b 的含量差异显著。民勤和老寺庙的黑果枸杞叶绿素 b 的含量变化趋势一致, 当 NaCl 浓度为 0.8% 时, 叶绿素 b 的含量降到最低, 此后叶绿素 b 的含量开始增大, NaCl 浓度超过 1.2% 时叶绿素 b 的含量开始下降, 总体呈下降—上升—下降的趋势。金塔的黑果枸杞叶片叶绿素 b 含量随着 NaCl 浓度增大而降低(图 3)。

2.5 4 个种源黑果枸杞抗盐性评价

对 4 个种源黑果枸杞所测 9 个指标计算其隶属函数值, 并计算平均值(表 2)可看出, 民勤黑果枸杞的隶属函数值最大, 为 0.49, 老寺庙的黑果枸杞隶属函数值最小, 为 0.42。根据隶属函数平均值大小, 可以从 NaCl 胁迫对黑果枸杞叶片生理特性影响的角度来初步判断 4 个种源的黑果枸杞抗盐性强弱依次为民勤 > 瓜州 > 金塔 > 老寺庙。

3 结论与讨论

盐胁迫能诱导植物体活性氧(ROS)积累, 引发氧化胁迫^[34-35]。为了避免活性氧过量产生及减轻其产生的伤害作用, 植物在长期的进化过程中形成一套较为精细的去除、中和及捕获活性氧的抗氧化防御体系^[36]。很多研究表明, 盐胁迫下植物抗氧化酶 SOD、CAT 和 POD 活性变化与植物的耐盐性有关^[37-38]。本研究 4 个种源黑果枸杞叶片的 SOD 和 CAT 的酶活性受到 NaCl 胁迫时其活性仍在增加, NaCl 浓度为 1.2% 时, 4 个种源的黑果枸杞 SOD 酶活性虽然有所下降但均比对照高, CAT 酶活性达到最大, 表明黑果枸杞通过提高这 2 种酶的活性来抵御由于 NaCl 胁迫时, 产生的多余的自由基和超氧阴离子对自身造成的伤害, 当盐浓度超过 1.2% 时, 对黑果枸杞造成的伤害越来越重, 此 2 种酶都无法再保持较高活性, 也就不能通过其来保护植物受到盐胁迫的伤害, 该结论在其他许多植物的研究中也得到证实^[39-40]。4 个种源黑果枸杞的 POD 的酶活

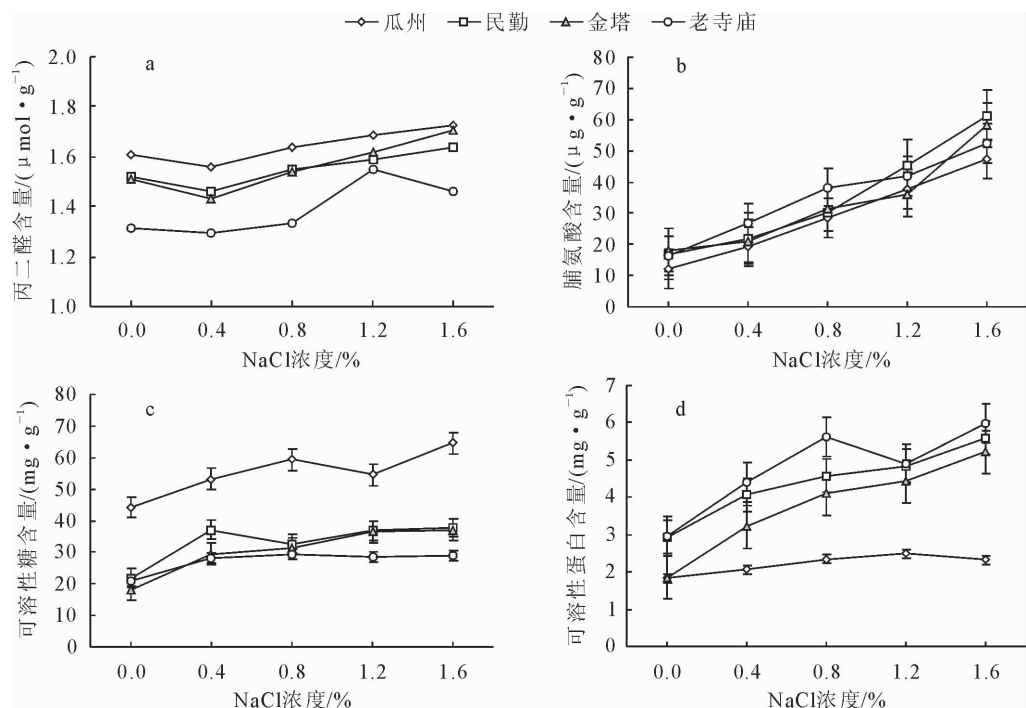


图 2 NaCl 处理对黑果枸杞叶片丙二醛、脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

Fig. 2 Effects of NaCl stress on MDA,proline contents,soluble sugar and soluble protein in *L. ruthenicum* leaves

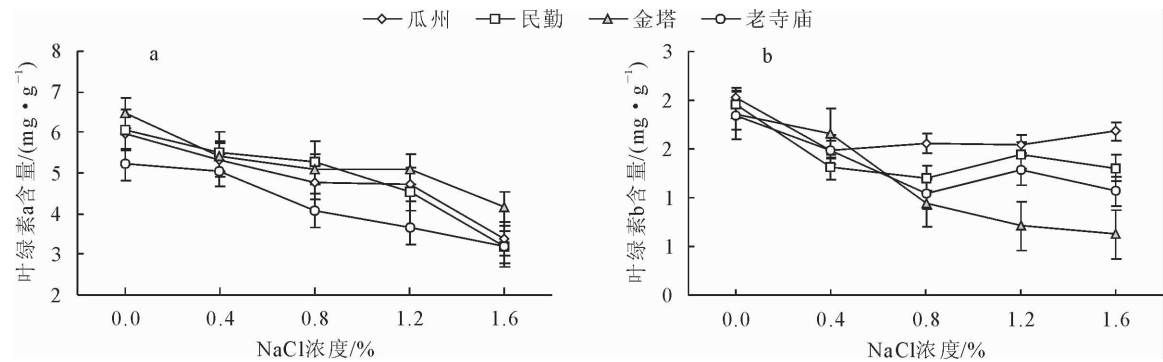


图 3 NaCl 处理对黑果枸杞叶片叶绿素 a、b 含量

Fig. 3 Effects of NaCl stress on the content of chlorophyll a, b in *L. ruthenicum* leaves

表 2 NaCl 胁迫下不同种源黑果枸杞平均隶属函数值

Table 2 Mean membership index values of *L. ruthenicum* from different provenances under NaCl stress

	POD	CAT	SOD	MDA	SP	SS	Pro	Ca	Cb	平均值
瓜州	0.39	0.25	0.29	0.72	0.07	0.80	0.34	0.46	0.74	0.45
民勤	0.47	0.51	0.49	0.61	0.46	0.33	0.47	0.49	0.58	0.49
金塔	0.43	0.54	0.20	0.62	0.35	0.26	0.42	0.58	0.38	0.42
老寺庙	0.33	0.36	0.31	0.40	0.53	0.19	0.47	0.30	0.51	0.38

注:POD:过氧化物酶,CAT:过氧化氢酶,SOD:超氧化物歧化酶,MDA:丙二醛,SP:可溶性蛋白,SS:可溶性糖,Pro:脯氨酸,Ca:叶绿素 a,Cb:叶绿素 b。

性随着 NaCl 浓度的增加呈现出下降趋势,且低于对照,与陈涛^[41]等在对红麻幼苗、姜霞^[42]等在对黑果枸杞的研究结果一致。综合分析盐胁迫下 4 个种源黑果枸杞抗氧化酶系统的变化趋势可以看出,在受到盐胁迫时,SOD 和 CAT 酶活性变化趋势一致呈上升一下降趋势,POD 酶活性呈下降趋势,因此,SOD 和 CAT 是黑果枸杞抵御盐害的主要酶。

渗透调节是植物适应盐胁迫的方式之一,也是植物耐盐碱的最基本特征之一^[43-44]。脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白等是研究植物耐盐性常用的生理生化指标参数^[45-46]。植物在受到盐胁迫时,这些物质会大量积累,从而减轻盐胁迫对植物造成伤害,在本研究中,随着 NaCl 浓度的升高,4 个种源黑果枸杞叶片内的游离脯氨酸含量和可溶性糖含量呈上升

趋势,可溶性蛋白质含量呈先增后降趋势,表明黑果枸杞在受到盐胁迫时,可通过增加脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白的含量,来维持细胞的渗透平衡,使得黑果枸杞能够在盐碱地正常生长。

参考文献:

[1] AYARPADIKANNAN S,CHUNG E S,SO H A,*et al.* Over-expression of *SaRBPI* enhances tolerance of *Arabidopsis* to salt stress[J]. *Plant Cell Tiss. Organ Cult.*,2014,118(2):327-338.

[2] LEE S Y,SEOK H Y,TARTE V N,*et al.* The *Arabidopsis* chloroplast protein S-RBPI is involved in oxidative and salt stress responses [J]. *Plant Cell Rep.*,2014,33(6):837-847.

[3] 程龙,韩占江,石新建,等. 白茎盐生草种子萌发特性及其对盐旱胁迫的响应[J]. *干旱区资源与环境*,2015,29(3):131-136.

CHENG L,HAN Z J,SHI X J,*et al.* Seed germination characteristics and the response to salt and drought stress in *Halogeton arachnoideus* Bieb[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*,2015,29 (3):131-136. (in Chinese)

[4] 刘玉艳,于凤鸣,曹慧颖,等. 盐胁迫对紫花地丁植株生长及生理特性的影响[J]. *西北林学院学报*,2011,26 (3):36-40.

LIU Y Y,YU F M,CAO H Y,*et al.* Effects of salt stress on plant growth and physiological changes of *Volia yedoensis*[J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2011,26(3):36-40. (in Chinese)

[5] 赵振勇,张科,王雷,等. 盐生植物对重盐渍土脱盐效果[J]. *中国沙漠*,2013,33(5):1420-1425.

ZHAO Z Y,ZHANG K,WANG L,*et al.* Desalination effect of halophytes in heavily salinized soil [J]. *Journal of Desert Research*,2013,33(5):1420-1425. (in Chinese)

[6] 赵可夫,张万钧,范海,等. 改良和开发利用盐渍化土壤的生物学措施[J]. *土壤通报*,2001,32(Supp. 1):115-119.

[7] 赵可夫,范海,江行玉,等. 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用[J]. *应用与环境生物学报*,2002,8 (1):31-35.

ZHAO K F,FAN H,JIANG X Y,*et al.* Improvement and utilization of saline soil by planting halophytes[J]. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*,2002,8(1):31-35. (in Chinese)

[8] ZHAO K F,SONG J,FENG G,*et al.* Species, types, distribution and economic potential of halophytes in China[J]. *Plant Soil*,2011,342(1):495-509.

[9] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第 67 卷第一册)[M]. 北京:中国科学出版社,1999.

[10] 韩多红,李善家,王恩军,等. 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[J]. *中国中药杂志*,2014,39(1):34-39.

HAN D H,LI S J,WANG E J,*et al.* Effect of exogenous calcium on seed germination and seedling physiological characteristics of *Lycium ruthenium* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*,2014,39(1):34-39. (in Chinese)

[11] 陈晨,文怀秀,赵晓辉,等. 固相萃取快速测定黑果枸杞果汁中酚酸类化合物[J]. *中国中药杂志*,2011,36(7):896-898.

CHEN C,WEN H X,ZHAO X H,*et al.* Fast determination of phenol acids in *Lycium ruthenicum* Murr. juice by solid phase

extraction and HPLC[J]. *China Journal of Chinese Material Medica*.2011,36(7):896-898. (in Chinese)

[12] 耿丹丹,谭亮,肖远灿,等. 离子色谱法测定黑果枸杞中的甜菜碱[J]. *食品科学*,2015,36(20):145-147.

GENG D D,TAN L,XIAO Y C,*et al.* Determination of beta-ine in *Lycium ruthenicum* Murr. by ion chromatography[J]. *Food Science*,2015,36(20):145-147. (in Chinese)

[13] 阿力同· 其米克,王青锋,杨春锋,等. 新疆产药用植物黑果枸杞遗传多样性的 ISSR 分析[J]. *植物科学学报*,2013,31 (5):517-524.

ALITONG Q.WANG Q F.YANG C F,*et al.* ISSR analysis on genetic diversity of medically important *Lycium ruthenicum* Murr. in Xinjiang [J]. *Plant Science Journal*,2013,31 (5):517-524. (in Chinese)

[14] PENG Q,XU Q S,YIN H,*et al.* Characterization of an immunologically active pectin from the fruits of *Lycium ruthenicum* [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*,2014,64:69-75.

[15] PENG Q,LIU H J,SHI H S,*et al.* *Lycium ruthenicum* polysaccharide attenuates inflammation through inhibiting TLR4/NF- κ B signaling pathway[J]. *International Journal of Biological Macromolecules* 2014,67:330-335.

[16] LV X P,WANG C J,CHENG Y,*et al.* Isolation and structural characterization of a polysaccharide LRP4-A from *Lycium ruthenicum* Murr[J]. *Carbohydrate Polymers*,2012,365:95-101.

[17] 马彦军,程艳青,张荣梅. 黑果枸杞组织培养快繁技术研究[J]. *林业科技通讯*,2015(6):26-28.

[18] 刘克彪,李爱德,李发明. 四种生长调节剂对黑果枸杞嫩枝扦插成苗的影响[J]. *经济林研究*,2014,32(3):99-103.

[19] 韩丽娟,叶英,索有瑞. 黑果枸杞资源分布及其经济价值[J]. *中国野生植物资源*,2014,33 (6):55-57.

[20] 刘俭,张波,秦垦,等. 不同枸杞种质间品质比较与分析[J]. *江西农业学报*,2015,27(1):53-56.

LIU J,ZHANG B,QIN K,*et al.* Comparison and analysis of fruit quality of different Chinese wolfberry germplasms[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*,2015,27(1):53-56. (in Chinese)

[21] 同亚美,戴国礼,冉林武,等. 不同产地野生黑果枸杞资源果实多酚组成分析 [J]. *中国农业科学*,2014,47 (22):4540-4550.

YAN Y M,DAI G L,RAN L W,*et al.* The polyphenols composition of *Lycium ruthenicum* Murr. from different places [J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2014,47(22):4540-4550. (in Chinese)

[22] 陈亮,张炜,陈元涛,等. 响应曲面法优化黑果枸杞多糖的超声提取工艺[J]. *食品科技*,2015,40 (1):220-226.

[23] 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*,2012,28(3):53-56.

MA J X. The development and application of the fire assay method[J]. *Journal of Qinghai Normal University: Natural Science*,2012,28(3):53-56. (in Chinese)

[24] NI W H,GAO T T,WANG H L. Anti-fatigue activity of polysaccharides from the fruits of four Tibetan plateau indigenous medicinal plants [J]. *Journal of Ethnopharmacology* ,2013,150(2):529-535.

[25] 李永洁,李进,徐萍,等. 黑果枸杞幼苗对干旱胁迫的生理响应

[J]. 干旱区研究, 2014, 31(4): 756-762.

[26] 王恩军, 李善家, 韩多红, 等. 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[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(6): 64-69.

[27] 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.

WANG J H, CHEN W. Responses of seed germination and seedling growth of *Lycium ruthenicum* to salt stress. [J] Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(4): 804-810. (in Chinese)

[28] 王龙强. 盐生药用植物黑果枸杞耐盐生理生态机制研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2011.

[29] 张治安, 张美养, 蔚荣海. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004: 54-138.

[30] 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, 2000: 184-261.

[31] 马彦军, 马瑞, 曹致中, 等. PEG 胁迫对胡枝子幼苗叶片抗氧化酶等生理特性的影响[J]. 中国沙漠, 2012, 32(6): 1662-1668.

MA Y J, MA R, CAO Z Z, *et al.* Effects of PEG stress on physiological characteristics of the *Lespedeza* seedlings leaves [J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(6): 1662-1668. (in Chinese)

[32] 王志泰, 马瑞, 马彦军, 等. 利用隶属函数法分析胡枝子抗旱性[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(9): 119-123.

WANG Z T, MA R, MA Y J, *et al.* The drought resistance of 5 species of *Lespedeza* [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(9): 119-123. (in Chinese)

[33] 赵锐明, 郭凤霞, 安黎哲, 等. 蒙古黄芪幼苗对盐胁迫的生长和生理响应[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(3): 23-29.

ZHAO R M, GUO F X, AN L Z, *et al.* Growth and physiological responses of *Astragalus membranaceus* var. *mongolicus* seedling of salt stress [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(3): 23-29. (in Chinese)

[34] FADZILLA N M, FINCH R P, BURDON R H. Salinity, oxidative stress and antioxidant responses in shoot cultures of rice [J]. Journal of Experimental Botany, 1997, 48: 325-331.

[35] 靳娟, 鲁晓燕, 王依. 果树耐盐性研究进展[J]. 园艺学报, 2014, 41(9): 1761-1776.

JIN J, LU X Y, WANG Y. Advances in the studies on salt tolerance of fruit trees [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2014, 41(9): 1761-1776. (in Chinese)

[36] 刘凤歧, 刘杰淋, 朱瑞芬, 等. 4 种燕麦对 NaCl 胁迫的生理响应及耐盐性评价[J]. 草业学报, 2015, 24(1): 183-189.

LIU F Q, LIU J L, ZHU R F, *et al.* Physiological responses and tolerance of four oat varieties to salt stress [J]. Acta Pratacultural Science, 2015, 24(1): 183-189. (in Chinese)

[37] DIONISIO S, TOBITA M L. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress [J]. Plant Science, 1998, 135(1): 1-9.

[38] MENEGUZZO S, NAVARI-IZZO F, IZZO R. Antioxidative responses of shoots and roots of wheat to increasing NaCl concentrations [J]. Journal of Plant Physiology, 1999, 155: 274-280.

[39] 杨月娟, 周华坤, 王文颖, 等. 盐胁迫对垂穗披碱草幼苗生理指标的影响[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2014, 50(1): 101-106.

YANG Y J, ZHOU H K, WANG W Y, *et al.* Effect of salt stress on the physiological characteristics of *Elymus nutans* [J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2014, 50(1): 101-106. (in Chinese)

[40] 钱璐璜, 刘建华, 雷江丽. 转胡杨 *PeDREB2Bb* 基因白三叶株系耐盐性研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(3): 109-113.

QIAN T H, LIU J H, LEI J L. Salt resistance of transgenic white clover (*Trifolium repens*) lines with *PeDREB2Bb* gene from *Populus euphratica* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(3): 109-113. (in Chinese)

[41] 陈涛, 王贵美, 沈伟伟, 等. 盐胁迫对红麻幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J]. 植物科学学报, 2011, 29(4): 493-501.

CHEN T, WANG G M, SHEN W W, *et al.* Effect of salt stress on the growth and antioxidant enzyme activity of kenaf seedlings [J]. Plant Science Journal, 2011, 29(4): 493-501. (in Chinese)

[42] 姜霞, 任红旭, 马占青, 等. 黑果枸杞耐盐机理的相关研究[J]. 北方园艺, 2012(10): 19-23.

JIANG X, REN H X, MA Z Q, *et al.* Studies on the physiological mechanism underlying salt tolerance of *Lycium ruthenicum* Murr. [J]. Northern Horticulture, 2012(10): 19-23. (in Chinese)

[43] ANDRE L D S, YOHANA D O, ROBERSON D. Hydroponics growth of *Eucalyptus saligna* Sm. on salt-stress mediated by sodium chloride [J]. Journal of Biotechnology and Biodiversity, 2012, 3(4): 213-218.

[44] 史军辉, 王新英, 刘茂秀, 等. NaCl 胁迫对胡杨幼苗叶主要渗透调节物质的影响[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(6): 6-11.

SHI J H, WANG X Y, LIU M X, *et al.* Effects of NaCl stress on main osmotic adjustment substances in the seedling leaves of *Populus euphratica* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(6): 6-11. (in Chinese)

[45] 高永生, 王锁民, 张承烈. 植物盐适应性调节机制的研究进展[J]. 草业学报, 2003, 12(2): 1-6.

GAO Y S, WANG S M, ZHANG C L. Plant adaptive and regulatory mechanism under salt stress [J]. Acta Pratacultural Science, 2003, 12(2): 1-6. (in Chinese)

[46] 王若梦, 董宽虎, 李钰莹, 等. 外源植物激素对 NaCl 胁迫下苦马豆苗期脯氨酸代谢的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(2): 189-195.

WANG R M, DONG K H, LI Y Y, *et al.* Effects of applying exogenous plant hormone on proline metabolism of *Swainsonia salsula* seedlings under NaCl stress [J]. Acta Pratacultural Science, 2014, 23(2): 189-195. (in Chinese)