

## 6 种杂交榛对新疆盐碱土的生理适应性研究

罗青红<sup>1</sup>, 寇云玲<sup>1,2</sup>, 史彦江<sup>1</sup>, 宋锋惠<sup>1,2\*</sup>, 韩 强<sup>1,2</sup>

(1 新疆林业科学院造林治沙研究所, 乌鲁木齐 830063; 2 新疆农业大学 林学与园艺学院, 乌鲁木齐 830053)

**摘 要:** 设置低、中、高 3 个盐碱梯度, 研究 6 个平欧杂交榛品种(‘新榛 1 号’~‘新榛 4 号’、‘辽榛 3 号’、‘辽榛 8 号’, 代码 XZ1~XZ4、LZ3、LZ8) 幼树的生理生化指标对新疆土壤盐碱胁迫的响应特征, 并采用主成分分析和隶属函数法对其耐盐碱性进行综合评价。结果显示: (1) 随着土壤盐碱从低度提高至高度, 参试品种的电解质外渗率和丙二醛累积量均增加, 且以品种 XZ1 和 XZ3 的叶片电解质外渗率增幅最大(HD-LD>100%), LZ8 增幅最小(HD-LD≤4%); 叶片中丙二醛增幅最大的品种为 XZ4(HD-LD=23.94%), XZ2 最小(HD-LD=7.06%)。 (2) 随着土壤盐碱度的提高, 各品种叶绿素含量逐渐降低, 且以品种 XZ3 的降幅最大(LD-HD=32.55%); 脯氨酸含量均呈先升高后降低的变化规律; 可溶性糖、可溶性蛋白质含量以及抗氧化保护酶 SOD 和 POD 活性的变化趋势在品种间随盐碱度的加重差异较大。 (3) 品种 LZ3 和 XZ1 因在胁迫下具有较强的渗透调节能力和抗氧化保护酶活性, 对盐碱土壤表现出较强的适应性; 综合评价结果显示: 各品种对盐碱土的适应能力从强至弱依次为 LZ3>XZ1>LZ8>XZ4>XZ3>XZ2。

**关键词:** 杂交榛; 盐碱梯度; 生理生化指标; 综合评价

中图分类号: Q945.79

文献标志码: A

## Physiological Characteristics of Adaptability of Six Hybrid Hazelnuts to Saline-alkali Land in Xinjiang

LUO Qinghong<sup>1</sup>, KOU Yunling<sup>1,2</sup>, SHI Yanjiang<sup>1</sup>, SONG Fenghui<sup>1,2\*</sup>, HAN Qiang<sup>1,2</sup>

(1 Afforestation and Desertification Control Research Institute, Xinjiang Forestry Academy, Urumqi 830063, China; 2 Forestry and Horticulture Institute, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830053, China)

**Abstract:** In this test, under low, moderate and high gradients of saline-alkali, we studied the response of physiological and biochemical indexes of six hybrid hazelnuts (*Corylus heterophylla* Fisch. × *C. avellana* L.) in the sapling stage to saline-alkali stress soil in Xinjiang, and made comprehensive appraisal by using the method of principal component analysis and membership function. The results showed that: (1) With the increase of the soil salinity gradient, the cell electrolyte leakage rate and the accumulation of malondialdehyde quantity of six hybrid hazelnuts all increased. Among them, the increase ranges of electrolyte leakage rate for XZ1 and XZ3 were the highest (HD minus LD>100%) while the increase range of LZ8 was the lowest (HD minus LD only about 4%); The increase range of the accumulation of malondialdehyde quantity for XZ4 was the highest (HD minus LD is 23.94%), while XZ2 was the lowest (HD minus LD is 7.06%). (2) Chlorophyll content showed a decrease trend with the increase of the soil salinity radient. Among them, the decline range of XZ3 was the highest (LD minus HD is 32.55%). Osmotic regulation substances, such as proline content were rising first and then reducing. The variation laws of soluble protein,

收稿日期: 2013-04-24; 修改稿收到日期: 2013-07-29

基金项目: 2012 年自治区公益性科研院所科研业务经费资助项目; 2011 年中央财政林业科技推广示范资金项目

作者简介: 罗青红(1980—), 女, 硕士, 主要从事林木育种及生理生态学研究。E-mail: lqh482325@sina.com

\* 通信作者: 宋锋惠, 博士, 研究员, 主要从事林木引种育种研究。E-mail: sfh1111@126.com

soluble sugar contents and the activity of the SOD and POD among six cultivars were different. (3) Having stronger ability of osmotic adjustment and the activity of protective enzymes, LZ3 and XZ1 showed stronger adaptability to saline soil saline-alkali soil. A comprehensive analysis showed the adaptation of LZ3, XZ1, LZ8, XZ4, XZ3 and XZ2 to the saline-alkali soil orderly declined.

**Key words:** hybrid hazel; salt-alkali gradient; physiological and biochemical index; comprehensive analysis

土壤盐渍化是抑制果树生长、降低果树产量和品质的重要环境因素之一。新疆是中国盐渍化土壤的集中分布区之一<sup>[1]</sup>, 现有耕地中 31.1% 的面积受到盐碱危害, 盐碱土地总面积达 8 476 000 hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>, 且在不断增加, 如何利用和开发盐渍化土壤已成为该地区农、林业生产中十分迫切和重要的任务。目前生物措施是盐碱地综合治理中的主要方法, 发掘更多的耐盐碱植物, 尤其具有经济效益的耐盐碱植物材料是当前耐盐碱性研究的重要内容。过量的盐碱不仅影响果树的生长、产量和品质, 还会引起叶斑、落叶甚至死树<sup>[3]</sup>, 而果树因自身的遗传和栽培条件不同, 不同种间、生态型间、甚至不同的个体之间其耐盐碱性都存在明显的差异<sup>[4]</sup>。同时, 植物耐盐性生理生化指标是研究植物耐盐机理和耐盐能力的基础, 可以用来评价植物的耐盐性以及筛选优良的耐盐碱植物种质资源<sup>[5]</sup>。植物对盐分胁迫的反应和适应是一个复杂的生理过程, 是植物体内一系列生理生化过程综合作用的结果, 不同植物甚至同一种类的不同品种植株, 对盐分胁迫的反映及其适应机制也不尽相同<sup>[6-8]</sup>。

平欧杂交榛 (*Corylus heterophylla* Fisch. × *C. avellana* L.) (简称杂交榛) 适应性强, 是集营养、保健、生态于一身的多功能果树, 已在国内十余个省区推广种植。新疆从 2001 年引种杂交榛成功至今, 已发展到 1 350 余公顷, 在国内仅次于辽宁省而位居第二。过去榛树多选在土壤、气候等环境条件均较好的成熟农耕地栽植, 并对其生长发育、开花结实习性, 以及抗寒、抗旱适应性<sup>[9-12]</sup>进行了研究, 筛选出了适应性强产量高的优良品种进行推广。目前, 新疆榛子产业的发展正从生境较好的区域向自然环境较为恶劣、土壤盐碱化程度较高的新开荒地转移, 因此杂交榛对盐碱地的适应性研究及抗盐碱品种的选择是实现杂交榛在新疆等盐碱土壤分布区大面积推广的前提。本研究以盐碱土中生长的几个杂交榛品种幼树为材料, 比较分析了各品种在不同梯度盐碱胁迫下部分生理指标的变化, 并对其抗盐碱的机理进行了探索, 以期扩大杂交榛的栽培范围及开发利用提供科学的理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验点设在新疆察布查尔锡伯自治县城镇蒙尔村 (E 81°08'45", N 43°45'18"), 该处位于山前洪积平原地带, 属伊犁河谷倾斜平原区。平均海拔 720 m, 多年平均降水量 200~250 mm, 平均气温 5.0 °C ~7.5 °C, ≥10 °C 积温 3 800~2 800 h, 年蒸发量 1 400~1 630 mm。土壤为沙壤土, 天然优势植物群落为芦苇和羊草, 有不同程度的盐化和碱化特征。

### 1.2 试验设计

试验前, 采集了试验区不同区域地面以下 0~60 cm 土层土壤, 对其盐碱特性进行了测定, 其土壤的 pH 及总盐含量如表 1 所示, 由此将试验区划分为低度、中度、高度盐碱 3 种类型。

表 1 试验区土壤 pH 值和总盐含量

Table 1 pH value and total salinity content chemical properties of experimental field

盐碱梯度 Salt and alkali gradient	pH	总盐含量 Total salinity content /(g · kg <sup>-1</sup> )
低度 Low degree(LD)	8.52±0.06	1.94±0.94
中度 Moderate degree(MD)	8.75±0.08	3.09±0.11
高度 High degree(HD)	9.13±0.08	4.23±0.91

### 1.3 试验材料

以新疆目前普遍推广杂交榛品种: ‘新榛 1 号’ (原代号 84-254)、‘新榛 2 号’ (原代号 82-11)、‘新榛 3 号’ (原代号 84-310)、‘新榛 4 号’ (原代号 82-15)、‘辽榛 3 号’ (原代号 84-226)、‘辽榛 8 号’ (原代号 81-21) 2 龄幼树为试验材料, 本研究在下文中依次用 XZ1、XZ2、XZ3、XZ4、LZ3、LZ8 代替, 每个品种随机选择株高为 (86.85±1.2) cm、地径为 (13.72±0.59) cm 且生长情况基本一致的 6 株树作为测定样株。

2012 年, 在榛树生长旺盛的 6 月中旬到 7 月上旬, 滴灌灌水后第 5 天 (灌溉周期为 10 d) 进行叶样的采集。沿东南西北 4 个方向, 在样株中部当年生枝条上分别采集 2 片成熟叶片, 即每个样株采 8 片叶, 用锡箔纸包好, 存放到液氮罐中进行保存待测。

1.4 生理生化指标的测定

电解质外渗率采用电导法<sup>[13]</sup>测定;叶绿素含量采用丙酮提取法<sup>[14]</sup>测定;脯氨酸含量采用酸性茚三酮法<sup>[15]</sup>测定;可溶性糖含量采用蒽酮显色法<sup>[16]</sup>测定;可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝法<sup>[17]</sup>测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法<sup>[18]</sup>测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用 NBT(氮蓝四唑)显色法<sup>[19]</sup>测定;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法<sup>[19]</sup>测定。

1.5 盐碱土适应性综合评价

**1.5.1 隶属函数法** 采用隶属函数法<sup>[20]</sup>,对 6 种杂交榛生理生化指标进行综合评价时,对各品种的每一指标求其隶属值。如指标与抗盐碱性呈正相关,采用  $X(\mu) = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$  公式计算,  $X$  为每个新疆榛品种某一指标的测定值,  $X_{\max}$  为某一测定指标的最大值,  $X_{\min}$  为该指标中的最小值。若指标与抗盐碱性呈负相关,可通过反隶属函数计算其隶属函数值。将各指标的抗盐碱隶属值平均后累加即得到不同品种的抗盐碱性综合值,其值越大,说明对盐碱土的生理适应性越强,也即抗盐碱性越强。

**1.5.2 主成分分析法** 采用降维的因子分析法<sup>[21]</sup>,对参试榛品种各项生理生化指标做标准化处理,执行程序后得方差贡献率特征值和初始因子载荷(Bi)等参数,依据公式可得到主成分表达式及各主成分得分(F)。运用的主要公式如下:

①权重:  $W_j = P_j / \sum P_j$ ,  $W_j$  表示第  $j$  个公因子在所有公因子中的重要程度,  $P_j$  为各品种(系)第  $j$  个公因子的贡献率。

②综合评价:  $D_i = \sum_{j=1}^n [U(X_j) \times W_j]$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ),  $D_i$  表示各品种(系)在盐碱条件下用综合指标评价所得的抗盐碱性的综合评价所有公因子中的重要程度,  $k$  为品种(系)数。

1.6 数据处理

采用 SPSS 18.0 统计软件和 Excel 7.0 对试验数据进行统计分析和作图,方差分析采用 ANOVA 中 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 土壤盐碱度对杂交榛叶片质膜透性和丙二醛含量的影响

图 1, A 显示,各土壤盐碱度对杂交榛叶片细胞质膜有不同程度的伤害。主要表现为:随着土壤盐

碱程度的加重,6 种杂交榛叶片的电解质外渗率都不断上升,但在土壤盐碱度增加过程中品种间增加幅度差异较大。在低度至中度胁迫过程中,XZ4 叶片的电解质外渗率增加幅度最大(35.56%),表现出对弱盐碱胁迫较强的应激反应和低度适应性;而当盐碱胁迫的程度从中度上升至高度时,XZ1 和 XZ3 两个品种叶片的电解质外渗率增幅较大,分别升高了 92.94% 和 83.65%,而 XZ2 和 LZ8 对各种强度的盐碱胁迫均表现为不敏感,电解质外渗率的变幅始终不大。相同盐碱梯度下,品种间的电解质外渗率也有差异。在低度盐碱土中,杂交榛叶片的电解质外渗率以 LZ8 明显较高,以 XZ3、LZ3 较低;在中度盐碱土中,电解质外渗率以 LZ8、XZ4 明显较大,仍以 XZ3、LZ3 较低;在高度盐碱土中,电解质外渗率以 XZ1、XZ3 和 XZ4 明显较高,而以 LZ3 较低。

图 1, B 显示:随着土壤盐碱胁迫程度的加大,6 种杂交榛叶片中 MDA 的积累量均呈逐渐上升趋势,说明细胞膜受逆境的伤害程度不断地加剧。其中,品种间比较而言,在相同盐碱胁迫强度下,XZ4 的叶片中 MDA 含量均最高,LZ8 次之,而 XZ1 均最低;同时,当土壤盐碱度从低度升至高度时,品种 XZ4 叶片中 MDA 增幅最大(HD-LD=23.94%),XZ2 增幅最小(HD-LD=7.06%),表明前者细胞膜脂氧化的伤害程度较重,而后者较轻。

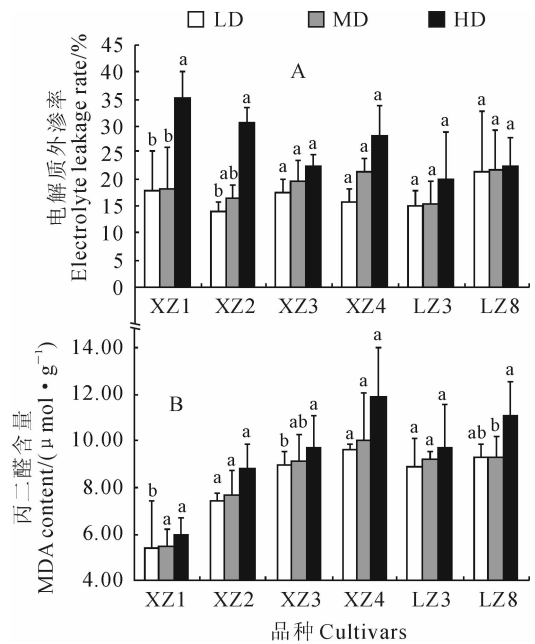


图 1 不同杂交榛品种叶片的电解质外渗率(A)和丙二醛含量(B)比较

Fig. 1 Comparison of electrolyte leakage rate (A) and MDA content (B) in leaves of hybrid hazels

## 2.2 土壤盐碱度对杂交榛叶片叶绿素含量的影响

由图 2 可知,不同程度土壤盐碱胁迫均可导致杂交榛叶片的叶绿素含量降低,但品种间叶绿素含量降幅差异较大。在中度胁迫下,杂交榛品种 XZ1 和 XZ2 的叶绿素含量显著低于低度胁迫,而高度胁迫与中度胁迫处理间叶绿素含量差异不显著,说明这 2 个品种的叶绿素含量对土壤盐碱危害敏感。其他 4 个品种在整个胁迫过程中叶片的叶绿素含量变化不大,说明其叶绿体受土壤盐碱危害的程度较轻。

## 2.3 土壤盐碱度对杂交榛叶片渗透调节物质含量的影响

**2.3.1 脯氨酸含量** 如图 3, A 所示,随着土壤盐碱程度的增加,各品种杂交榛叶片中脯氨酸含量均呈先升高后降低的趋势,且品种间增减幅度不尽相同。其中,在土壤盐碱程度由低度向中度上升的过程中,LZ3 和 LZ8 两品种的脯氨酸积累速度明显加快,而其他品种变化不大,但整体上差异不显著;在中度胁迫时,XZ3 叶片中脯氨酸含量显著高于低度胁迫,但与高度胁迫间差异不显著。当土壤中盐碱量从中度过渡到高度时,LZ8 的脯氨酸含量大幅下降,说明此时该品种受盐碱危害较大,随盐碱胁迫程度的加剧,脯氨酸含量表现出较大的波动。此外,在同一盐碱水平下,LZ8 叶片中脯氨酸的积累量始终高于其他品种,XZ1 则一直较低,说明前者对抗盐碱胁迫而采取保护生理应激措施的能力较强。

**2.3.2 可溶性糖含量** 从图 3, B 可以看出,随着土壤盐碱程度的加剧,6 种杂交榛叶片可溶性糖含量的变化趋势差异较大。XZ2、XZ3 和 XZ4 叶片中可溶性糖含量是先升高后降低,而其他 3 个品种则持续上升,品种 XZ2 在中度胁迫时可溶性糖含量显著高于低度胁迫,LZ3 和 LZ8 叶片中可溶性糖的积累至高度胁迫时达最大,且显著高于低度胁迫。在

中度土壤盐碱胁迫条件下,品种 XZ3 的可溶性糖含量均较其他品种高,而在高度胁迫时却以 LZ8 可溶性糖的积累量最大。由此可推断 LZ3 和 LZ8 具有较其他品种更强的渗透调节能力,主要通过积累可溶性糖来保护细胞膜的渗透调节功能。中度盐碱危害就对 XZ2 的渗透调节功能产生较大影响,当至高度胁迫时,可溶性糖的积累能力表现出明显下降。

**2.3.3 可溶性蛋白质含量** 在盐碱胁迫下,可溶性蛋白质大量地积累能起到降低细胞水势避免细胞脱水,调节叶片渗透势,提高植物的耐盐碱性的作用。由图 3(C)可知,随着土壤盐碱胁迫程度的加剧,6 种杂交榛叶片的可溶性蛋白质含量分别呈现出逐渐升高(XZ1 和 LZ8)、先升高后降低(XZ2、XZ4、LZ3)和逐渐降低(XZ3)3 种变化趋势。在低-中度盐碱胁迫范围内,仅 XZ2 叶片中可溶性蛋白质含量显著降低,而盐碱胁迫从中度升至高度时,LZ8 的可溶性蛋白质含量表现出显著增高的趋势。以上结果说明在受到高强度的盐碱胁迫时,LZ8 具有更强的抑制细胞脱水的能力,与此对应的 XZ2 这方面的能力表现较差,其他品种表现一般。

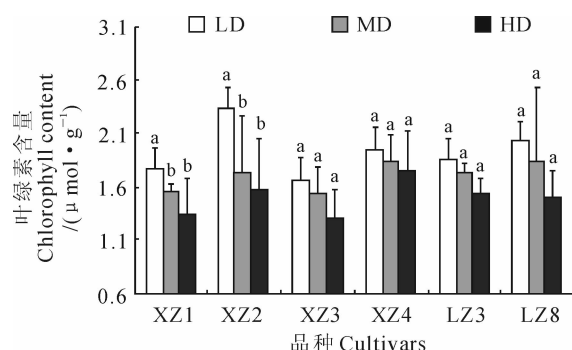


图 2 不同杂交榛品种叶片的叶绿素含量比较

Fig. 2 Comparison of chlorophyll content in leaves of hybrid hazels

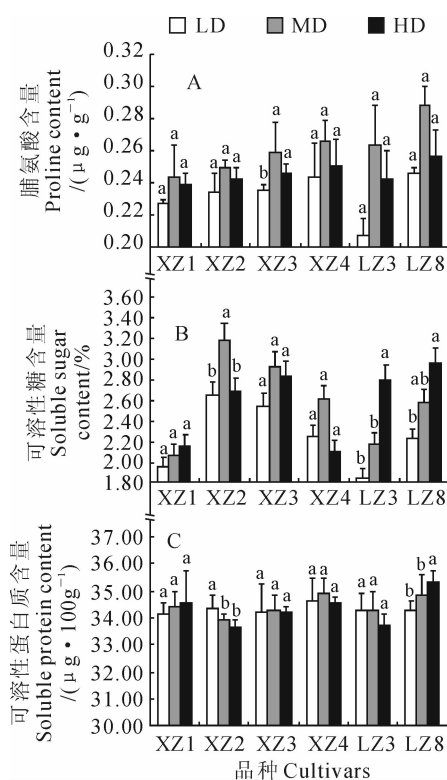


图 3 不同杂交榛品种叶片的脯氨酸含量(A)、可溶性糖含量(B)、可溶性蛋白质含量(C)的比较  
Fig. 3 Comparison of proline content(A), soluble sugar content (B) and soluble protein content (C) in leaves of hybrid hazels

2.4 土壤盐碱度对杂交榛叶片抗氧化系统酶活性的影响

从图 4 可以看出:随着盐碱程度的加剧,6 种杂交榛叶片中抗氧化系统酶活性变化趋势不尽相同,XZ1 的 SOD 及 LZ8 的 POD 呈现出逐渐上升的趋势,说明这两个品种的自我调节能力较强,造成抗氧化系统酶活性升高,也充分反映出其对盐碱土壤适应性较强。XZ4、LZ3 和 LZ8 的 SOD 活性呈现先升高后降低的趋势,说明中度盐碱时,这 3 个品种能迅速适应胁迫环境,提高体内的 SOD 活性,加速分解体内产生的超氧自由基,缓解膜脂过氧化速度,而至高度胁迫时,榛树体内保护酶系统遭受严重破坏,生理代谢紊乱程度加剧,SOD 合成下降,自我调节能力较低。

2.5 杂交榛品种对盐碱土适应性综合评价

由于盐碱适应能力的高低是一个受多基因控制的复杂性状<sup>[7]</sup>,本研究表明不同杂交榛品种其抗盐碱能力不同,利用单指标鉴定杂交榛的抗盐碱性局限性很大,且指标间有着一定的相关性,因此采用主成分及隶属函数的方法来综合评定盐碱适应性。

用 6 种杂交榛的 8 个生理生化指标对土壤盐碱的适应性系数进行主成分分析结果见表 2,提取 4 个主成分(综合指标),其贡献率依次分别为47.74%、

23.93%、15.44%、12.35%,累积贡献率达99.46%。由表 2 可知,第一主成分主要包括质膜透性、脯氨酸含量、可溶性蛋白质含量、SOD 活性等 4 个生理生化指标;第二主成分主要包括丙二醛含量1个指标;

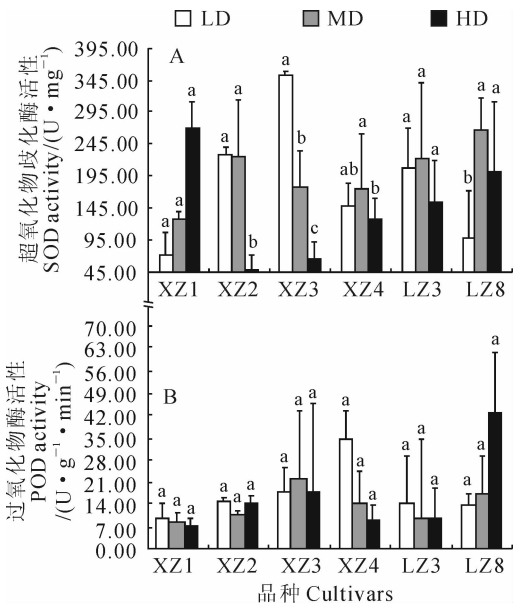


图 4 不同杂交榛品种叶片的 SOD 活性(A)、POD 活性(B)比较

Fig. 4 Comparison of SOD activity (A) and POD activity (B) in leaves of hybrid hazels

表 2 各主成分的系数及贡献率

Table 2 Coefficient and the contribution rate of the main factors

主成分 Main factor	电解质渗出率 Leakage ratio of electrolyte	叶绿素含量 Chlorophyll content	可溶性糖含量 Soluble sugar content	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content	脯氨酸含量 Proline content	丙二醛含量 MDA content	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	贡献率 Contribution rate
1	0.726	0.290	0.260	-0.770	-0.930	-0.690	-0.760	0.130	0.477
2	0.341	0.563	0.720	-0.060	-0.230	-0.730	-0.380	0.370	0.239
3	0.211	0.534	0.541	-0.451	0.031	0.060	-0.521	-0.091	0.154
4	0.101	0.634	0.311	-0.412	0.51	0.27	0.57	-0.87	0.123

表 3 6 种杂交榛的公因子得分值 C(x)、隶属函数值 U(x)、综合评分 D 值

Table 3 The common factor score value C(x), the membership function value U(x), the composite score D value of six hybrid hazel cultivars

品种 Cultivar	C(1)	C(2)	C(3)	C(4)	U(1)	U(2)	U(3)	U(4)	D 值	排序 Order
XZ1	2.099	0.408	-1.634	-0.134	0.529	0.421	0.507	0.342	0.476	2
XZ3	1.858	-2.066	0.283	-0.831	0.515	0.403	0.377	0.360	0.448	5
XZ2	-2.366	1.390	-0.869	-0.936	0.410	0.419	0.567	0.467	0.444	6
XZ4	-1.648	-0.336	1.443	-0.717	0.437	0.399	0.454	0.610	0.452	4
LZ3	1.864	1.855	1.261	0.861	0.531	0.453	0.495	0.647	0.521	1
LZ8	-1.808	-1.251	-0.483	1.757	0.493	0.348	0.522	0.423	0.454	3
贡献率 Contribution rate	0.477	0.239	0.154	0.123						
权重 Weight					0.481	0.241	0.155	0.124		

第三主成分主要包括叶绿素含量、可溶性糖含量 2 个指标;第四主成分仅 POD 活性 1 项指标。这样把原来 8 项指标转为 4 个新的相互独立的综合指标,这 4 个综合指标代表了原来 8 个单项指标的 99.46% 的信息。

根据各主成分(综合指标)的指标系数,求出各杂交榛品种的 4 个综合指标(即公因子)的得分值(表 3)。进一步采用隶属函数加权平均法,得到各品种盐碱适应性度量值(D 值),即 D 值是杂交榛对盐碱土适应性的综合评价。它反映了各品种综合耐盐碱能力的大小,数值越大表明越耐盐碱,也即对盐碱土的适应越强。由表 3 的 D 值和排序可推断 6 种杂交榛对盐碱土壤的适应性强弱顺序为 LZ3>XZ1>LZ8>XZ4>XZ3>XZ2。

### 3 讨 论

#### 3.1 杂交榛对盐碱土壤的生理适应性

生物膜结构和功能的稳定性与植物的抗逆性密切相关。盐碱胁迫对细胞膜造成了伤害,导致渗透物质大量外流,引起电导率上升<sup>[22]</sup>。本研究中,杂交榛叶片细胞膜透性随着盐碱胁迫程度加重而增强,细胞膜受到的伤害也随之增大,在高度盐碱下其伤害率达最大。由此可见,盐胁迫破坏了杂交榛幼苗叶片细胞膜的稳定性,使膜结构遭到损伤,造成细胞内电解质渗漏加剧,且盐胁迫越强对叶片细胞膜的伤害越大。龚明<sup>[23]</sup>研究发现,高盐分浓度能增加细胞膜透性,加快脂质过氧化作用,最终导致膜系统的破碎;对盐胁迫下星星草<sup>[24]</sup>幼苗膜透性变化的研究也表明,膜透性与盐胁迫浓度的变化呈正相关,本研究的论点都与之相一致。

光合色素含量的稳定有利于幼苗在胁迫下维持正常的光合作用,从而增强幼苗对盐胁迫的耐受能力<sup>[25]</sup>。本研究中杂交榛幼苗单位叶面积光合色素含量随盐碱胁迫程度的加剧而降低,这一结果表明盐碱胁迫提高了叶绿素酶的活性,使光合色素合成减少、分解增加,叶绿素含量明显降低。这与贾娜尔·阿汗等<sup>[26]</sup>对地肤的研究及杜中军等<sup>[27]</sup>对平邑甜茶和小金海棠的研究结论基本相同。

盐胁迫环境下,植物细胞常通过积累脯氨酸、可溶性糖等有机小分子物质来维持较高的细胞质渗透压,保证植物能够从土壤中继续吸收水分<sup>[7]</sup>。本研究结果显示,随着土壤盐碱胁迫程度的加剧,杂交榛幼树叶片内脯氨酸含量先增多后降低,说明从低度一中度盐碱胁迫过程中,脯氨酸在杂交榛叶片内大

量的积累,以抵御盐碱对杂交榛细胞的伤害,当盐碱度(高度胁迫)超过榛树幼苗生长所能适应的范围时,榛树体内的脯氨酸含量将会减少,新陈代谢能力也会下降。同时,可溶性糖含量对盐碱程度的响应变化趋势在品种间表现各异,部分品种的可溶性糖含量在中度盐碱时达最大,随后有所下降,可能是在中度胁迫下这些品种有机物的运输减慢,大量可溶性糖在叶绿体中积累所致;而有些品种的可溶性糖含量在重度胁迫时达最高值,表明在高度盐碱胁迫下这些品种的生理活动才明显受抑制,从而表现出较强的耐盐碱能力。随土壤盐碱胁迫程度的变化,可溶性蛋白质含量在 6 个品种中的变化趋势差异较大,其中 LZ8 可溶性蛋白质含量在高度盐碱处理时表现为显著升高,而 XZ2 可溶性蛋白质含量在中度盐碱处理时就表现为显著降低,表明前者具有更强的抑制细胞脱水的能力,后者的表现则较差。

过氧化物酶(POD)、超氧化歧化酶(SOD)是植物体内的抗氧化保护酶系统,它们相互协调,共同协作,防御膜脂过氧化作用产生的活性氧及其他氧化物自由基对细胞膜系统的伤害,最终达到保护膜结构的作用。本试验中对抗氧化保护酶系统的分析也证实,随着盐碱胁迫程度的加重,6 种杂交榛叶片的 SOD、POD 活性均呈逐渐下降、逐渐上升或先上升后下降 3 种变化趋势,说明杂交榛幼树的抗氧化保护系统受到破坏,各品种清除活性氧的能力存在差异,有些品种抗氧化保护能力逐渐增强,也有的品种对中度盐离子的毒害作用已经无法控制。

#### 3.2 杂交榛品种对盐碱土适应性的综合评价

6 个杂交榛品种对盐碱胁迫生理适应性综合评价的结果显示,LZ3 和 XZ1 属于高抗型品种,能在总盐含量为  $1.94 \sim 4.23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、pH  $8.52 \sim 9.13$  的土壤中生长,虽然幼树正常的生理代谢受到轻微的抑制,但叶片的细胞膜透性及叶绿体受伤害程度较轻,渗透调节能力较强,保护酶活性较高,对盐碱土壤表现出较强的适应性,可作为在盐碱地中推广优先考虑的品种。中抗型品种 LZ8 和 XZ4,其可溶性蛋白质积累量最大值出现在中度胁迫时(土壤总盐含量为  $3.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、pH  $8.75$ ),表明此胁迫程度已使这 2 个品种的代谢缓慢,使得可溶性蛋白质大量积累,盐碱程度继续增强,细胞将受到更严重的生理胁迫,极大地超出了其盐碱耐受范围,最终丧失了渗透调节功能。因此,在土壤盐碱程度较轻的区域,可以考虑选择这 2 个品种进行推广种植。而 XZ2、XZ3 这类对盐碱胁迫极其敏感,且适应性较差

的品种,可在盐碱含量较低(总盐含量 $\leq 1.94\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、pH $\leq 8.52$ )的土壤中种植,并需要加强树体及田间管理,增强植株对盐碱逆境的耐受力。

### 参考文献:

- [1] AINUWAER, LI X H(李新华). Discussion on exploitation of water resource and construction of ecological environmental protection in Xinjiang[J]. *Arid Environmental Monitoring* (干旱环境监测), 2001, **3**(1): 43—47(in Chinese).
- [2] 新疆维吾尔自治区农业厅. 新疆土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 304—336.
- [3] ZHU X Y(朱兴运), WANG S M(王锁民). Advance in study of salt resistance and salt resistance mechanism of *Puccinellia*[J]. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 1994, **2**(3): 9—15(in Chinese).
- [4] CHEN R SH(陈瑞珊). The tolerance for salt of fruit trees plant[J]. *Journal of Hebei Agriculture* (河北农学报), 1981, **3**(2): 73—76(in Chinese).
- [5] XU X J(徐鲜钧), SHEN B CH(沈宝川), QI J M(祁建民). Advances in study of salt-stress tolerance and its physiological and biochemical indices in plant[J]. *Subtropical Agriculture Research* (亚热带农业研究), 2007, **4**: 275—281(in Chinese).
- [6] SCANDALIOS J G. Oxygen stress and superoxide dismutase[J]. *Plant Physiol.*, 1993, **101**: 7—12.
- [7] XIAO W(肖 雯), JIA H X(贾恢先), PU L M(蒲陆梅). Study on several kinds of halophytes salt resistant physiological indexes[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.* (西北植物学报), 2000, **20**(5): 818—825(in Chinese).
- [8] GONG M(龚 明). Relations between lipid peroxidation damage and ultrastructural changes under salt stress of Barley and wheat leaves[J]. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1987, **29**(6): 662—673(in Chinese).
- [9] SONG F H(宋锋惠), SHI Y J(史彦江), KA Deer(卡得尔). Studies on great fruit hybrid hazelnut introduction and selected technology of the fine species[J]. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2007, **35**(5): 87—89(in Chinese).
- [10] SONG F H(宋锋惠), SHI Y J(史彦江), LUO Q H(罗青红), et al. Observation test of blooming and bearing characters of Hybrid Hazel[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences* (新疆农业科学), 2008, **45**(5): 828—834(in Chinese).
- [11] SHI Y J(史彦江), CUI P Y(崔培毅), SONG F H(宋锋惠), et al. Horticultural trail with *Corylus heterophylla* Fischl. ex Trautr $\times$  *Corylus avellana* under different local conditions[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences* (新疆农业科学), 2008, **45**(S3): 65—68(in Chinese).
- [12] WU ZH B(吴正保), SHI Y J(史彦江), SONG F H(宋锋惠), et al. A preliminary study on chill-resistance physiology of *Corylus heterophylla* Fischl. ex Trautr $\times$  *Corylus avellana*[C]//第六届全国林木遗传育种大会论文集, 2008.
- [13] 邹 琦. 植物生理学试验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 163—166.
- [14] 孙 群, 李合生, 赵世杰, 等. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134—137.
- [15] ZHANG D ZH(张殿忠), WANG P H(汪沛洪), ZHAO H X(赵会贤). Determination of the content of free proline in wheat leaves[J]. *Plant Physiology Communications* (植物生理学通讯), 1990, **26**(4): 62—65(in Chinese).
- [16] 王连君. 植物生物化学实验指导[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1986: 14—17.
- [17] BRADFORD M M. A rapid sensitive technique of determine protein concentration[J]. *Anal. Biochem.*, 1976, **72**(4): 248—254.
- [18] ZHAO SH J(赵世杰), XU CH CH(许长城), ZOU Q(邹 琦), et al. Improvement of method for measurement of malondialdehyde in plant tissue[J]. *Plant Physiology Communications* (植物生理学通讯), 1994, **30**(3): 207—210(in Chinese).
- [19] 乔富廉. 植物生理学实验分析测定技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 24—27.
- [20] CHEN ZH G(陈志刚), XIE Z Q(谢宗强), ZHENG H SH(郑海水). The research of heat tolerance of different provenances of *Betula alnoides* seedlings[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2003, **23**(11): 2 327—2 332(in Chinese).
- [21] ZHANG CH Y(张朝阳), XU G F(许桂芳). Comprehensive evaluation of heat tolerance of four ground covering plants by subordinate function values analysis[J]. *Pratacultural Science* (草业科学), 2009, **26**(2): 57—60(in Chinese).
- [22] 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: 260—262.
- [23] GONG M(龚 明). Relationship between oxidative damage and ultrastructural changes of lipid in barley and wheat leaves under salt stress[J]. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1989, **31**(11): 841—846(in Chinese).
- [24] 上海植物生理生态研究所. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 105—107.
- [25] DUAN J J(段九菊), GUO SH R(郭世荣). Effects of exogenous spermidine for salt tolerance under NaCl stress of cucumber seedlings[J]. *Chinese Vegetables* (中国蔬菜), 2005, (12): 8—10(in Chinese).
- [26] JIANAER · AHAN(贾娜尔·阿汗), YANG CH W(杨春武), et al. Physiological response of an alkali resistant hal-ophyte *Kochia iever-siana* to salt and alkali stresses[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.* (西北植物学报), 2007, **27**(1): 79—84(in Chinese).
- [27] DU ZH J(杜中军), ZHAI H(翟 衡), PAN ZH Y(潘志勇), et al. Change of photosynthetic capability and pigment content of apple root-stocks under salt-stress[J]. *Journal of Fruit Science* (果树学报), 2001, **18**(4): 200—203(in Chinese).