

引用格式: 路妍, 李明, 陈晓娟. 盐碱胁迫对‘赤霞珠’葡萄幼苗生长及相关生理指标的影响[J]. 西北植物学报, 2024, 44(2): 0182-0193. [LU Y, LI M, CHEN X J. Effect of saline-alkali stress on the growth and related physiological indicators of ‘Cabernet Sauvignon’ grape seedlings [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2024, 44(2): 0182-0193.] DOI: 10.7606/j.issn.1000-4025.20221066

盐碱胁迫对‘赤霞珠’葡萄幼苗生长及相关生理指标的影响

路妍¹, 李明^{1,2,3*}, 陈晓娟¹

(1 宁夏大学 葡萄酒与园艺学院, 银川 750021; 2 宁夏大学 葡萄与葡萄酒研究院, 银川 750021; 3 宁夏大学 葡萄与葡萄酒教育部工程研究中心, 银川 750021)

摘要 【目的】了解不同盐分配比和不同浓度梯度复合盐碱胁迫对‘赤霞珠’葡萄(*Vitis vinifera* ‘Cabernet Sauvignon’)幼苗生长和抗逆生理指标的影响, 确认其耐盐碱性范围及耐盐碱能力。【方法】以1年生‘赤霞珠’自根苗为试材, 用 NaCl、Na₂SO₄、NaHCO₃、Na₂CO₃ 按不同比例混合配制中性盐、弱碱性盐、强碱性盐3组复合盐溶液, 每组各设置 50, 100, 150 mmol/L 3 个浓度梯度, 以不做处理的溶液作为对照, 于幼苗生长期进行定期浇灌处理, 通过室内盆栽试验模拟不同类型、不同程度盐碱胁迫, 在处理后不同时期测定幼苗生长形态、生理及光合指标。【结果】(1)‘赤霞珠’幼苗茎粗和叶面积随盐碱胁迫浓度增大呈现先增大后减小的趋势, 而株高基本呈现下降趋势。幼苗株高在强碱性盐组 150 mmol/L 胁迫处理 10 d 和 40 d 时都较同期中性、弱碱性组相应浓度显著降低。(2)随着盐碱浓度的增大, ‘赤霞珠’幼苗叶片的 SOD 活性及 MDA 含量呈先增大后减小的趋势, 而 POD 活性呈现缓慢增加的趋势; 强碱性盐组叶片 POD 活性在胁迫处理 30~50 d 时均高于相应浓度的中性、弱碱性盐组, 但到处理 60 d 后逐渐低于相应浓度其他两处理组, 并以 150 mmol/L 浓度表现得更明显。(3)‘赤霞珠’幼苗叶片胞间 CO₂ 浓度、净光合速率、蒸腾速率随着盐碱浓度的增加主要呈下降趋势, 其胞间 CO₂ 浓度和净光合速率均为 50 mmol/L 浓度处理时较高; 在同期相同盐碱浓度处理下, 叶片净光合速率在强碱性盐 150 mmol/L 胁迫处理 75 d 时显著低于中性、弱碱性处理组。【结论】‘赤霞珠’幼苗株高、叶面积、胞间 CO₂ 浓度、净光合速率、蒸腾速率在 50 mmol/L 浓度处理下均呈现较好的增长趋势, 而其株高及茎粗在 150 mmol/L 强碱性盐胁迫处理下增长不明显; 一定范围内低浓度(50 mmol/L)盐碱胁迫有利于‘赤霞珠’葡萄幼苗生长。

关键词 ‘赤霞珠’葡萄; 盐碱胁迫; 理化性质; 贺兰山东麓

中图分类号 Q945.78; S663.1 **文献标志码** A

Effect of saline-alkali stress on the growth and related physiological indicators of ‘Cabernet Sauvignon’ grape seedlings

LU Yan¹, LI Ming^{1,2,3*}, CHEN Xiaojuan¹

(1 College of Enology and Horticulture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2 Grape and Wine Research Institute, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3 Engineering Research Center of Grape and Wine, Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract [Objective] The study aims to understand the effects of the combined saline and alkaline stress

收稿日期: 2022-12-14; 修改稿收到日期: 2023-11-28

基金项目: 宁夏自然科学基金项目(2021AAC03090); 国家自然科学基金项目(41967040)

作者简介: 路妍(1998-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事土壤微生物研究。E-mail: LY03052021@163.com

* 通信作者: 李明, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事土壤微生物研究。E-mail: lm_y096@126.com

with different salt distribution ratios and different concentration gradients on the growth and physiological indexes of ‘Cabernet Sauvignon’ grape (*Vitis vinifera* ‘Cabernet Sauvignon’) seedlings, and confirm the range of salinity tolerance and its ability to tolerate salinity. [Methods] One-year-old ‘Cabernet Sauvignon’ seedlings were used as test materials. Three groups, including neutral, weak alkaline, and strong alkaline salt solutions, were mixed with NaCl, Na₂SO₄, NaHCO₃, and Na₂CO₃ in different ratios, with a concentration gradient of 50, 100, and 150 mmol/L, and with no treatment solution as control. The seedlings were watered regularly during the growth period. Different types and degrees of saline and alkaline stress were simulated with pot experiments in the lab, and the growth morphology, physiology and photosynthetic indexes were measured. [Results] (1) Stem diameter and leaf area of ‘Cabernet Sauvignon’ seedlings was increased first and then decreased with the increase in salt concentration, while plant height showed a decreasing trend. Plant height was significantly lower at 150 mmol/L for 10 days and 40 days for the strong alkaline group compared with the neutral and weak alkaline groups. (2) SOD activity and MDA content in the leaves of ‘Cabernet Sauvignon’ seedling was increased first and then decreased with the increase in salt concentration, while POD activity was increased slowly. The POD activity of leaves in the strong alkaline salt stress group was higher than that of the neutral and weak alkaline salt stress group for 30–50 days, while the strong group was lower than the neutral and weak groups for 60 days, where 150 mmol/L treatment was more obvious. (3) Intercellular CO₂ concentration, net photosynthetic rate and transpiration rate of ‘Cabernet Sauvignon’ seedlings showed a decreasing trend with the increase in salinity concentration, and their intercellular CO₂ concentration and net photosynthetic rate were higher at 50 mmol/L. Under same salt treatment, the net photosynthetic rate in leaves of neutral and weak alkaline groups were lower than the strong group at 150 mmol/L for 75 days. [Conclusion] The plant height, leaf area, intercellular CO₂ concentration, net photosynthetic rate and transpiration rate of ‘Cabernet Sauvignon’ seedlings showed a good growth trend at 50 mmol/L, while plant height and stem diameter was the least obvious at 150 mmol/L saline solution for the strong alkaline salt stress; low saline treatment (50 mmol/L) was favorable to the growth of ‘Cabernet Sauvignon’ seedlings.

Key words ‘Cabernet Sauvignon’ grape; saline-alkali stress; physical and chemical properties; Eastern foothills of Helan Mountain

中国的盐碱土总面积约 9 913.3 万 hm²,且分布广泛,主要集中在分布于西北、华北、东北地区及沿海等地区^[1-4],而西部的陕西、甘肃、宁夏、青海、内蒙古、新疆等六省(区)盐渍土地总面积占全国的 69.03%^[5]。作为重要的土地资源之一,盐碱土具有广阔的治理空间和应用前景。

葡萄是中国重要的经济类果树,不论是鲜食还是酿酒葡萄,其产量在国内的需求量都非常大^[6]。而土地盐渍化造成的盐碱胁迫对葡萄生长的危害包括离子毒害、渗透胁迫、活性氧胁迫、高 pH 胁迫^[7]等多方面,严重降低了自根系葡萄果树的生长发育,导致果实产量下降,品质不佳。‘赤霞珠’(Cabernet Sauvignon)是世界范围内主要的红色酿酒葡萄品种,相比于其他品种,它对于干旱和贫瘠土地有更强的适应性,在世界各地广泛种植^[8-9]。宁夏是国内‘赤霞珠’葡萄主产区之一,该区域盐碱地面积大,且分布广泛,严重制约了酿酒葡萄产业可持续发展。据国家统计局不完全统计,宁夏全区现有不同程度

盐渍化耕地 16.58 万 hm²,其中轻度盐渍化耕地(土壤含盐量 1.5~3 g/kg)占总面积的 56%,中度盐渍化耕地(土壤含盐量 3~6 g/kg)占总面积的 30%,重度盐渍化耕地(土壤含盐量在 6 g/kg 以上)占总面积的 14%。因此,改善盐碱化土壤和加强盐碱地综合利用是‘赤霞珠’葡萄栽培中亟待解决的问题^[10],而深入了解‘赤霞珠’葡萄对土壤盐碱胁迫的耐受性以及响应特征是解决这一问题的基础之一。

目前,国内外关于葡萄砧木耐盐碱研究主要集中在耐中性盐方面,关于复合盐碱胁迫的研究较少^[11-12],并且较少关注不同盐分配比和不同浓度梯度盐碱胁迫对‘赤霞珠’幼苗生长的影响,而实际生产中土壤盐分组成及其浓度配比往往较为复杂,单一盐胁迫或碱胁迫的研究不能最大程度地体现原位大田土壤盐碱环境对植株影响的真实状况。因此,本试验以‘赤霞珠’幼苗为供试材料,模拟进行 4 种盐碱配比胁迫处理,通过测定不同时期不同胁迫下幼苗生长形态、生理指标的变化规律,确认‘赤霞珠’葡萄的耐

盐碱性范围及其耐盐碱能力,为进一步完善优化‘赤霞珠’葡萄大田栽培措施提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于宁夏贺兰园艺产业园,地理位置为东经 $105^{\circ}45'$ — $106^{\circ}27'$,北纬 $27^{\circ}43'$ — $39^{\circ}05'$ 。年有效积温达到 $3\ 000\ ^{\circ}\text{C}$,病害少,年降水量 $180\sim 200\ \text{mm}$,光照充足,全年日照时间达 $3\ 100\ \text{h}$ 。

1.2 材料及处理

试验以 1 年生‘赤霞珠’葡萄幼苗进行盆栽试验。种植基质由草炭、珍珠岩、蛭石按照 $3:1:1$ 体积配比拌匀而成,采用 $4.79\ \text{g/L}$ 的 SM 培养液作补肥,将其分装至花盆中。

由于土壤盐碱毒害不可能为单一胁迫,往往是复合盐碱,且通过前期试验明确了复合盐碱成分高低与植物受到毒害大小的关系。在此基础上,依据贺兰山东麓葡萄产区土壤的盐碱组成,选用 2 种中性盐 NaCl 、 Na_2SO_4 和 2 种碱性盐 NaHCO_3 、 Na_2CO_3 模拟不同盐碱混合环境条件,将 4 种盐分按不同的摩尔比例混合,并按碱性盐比例逐步增大顺序分为 I ($\text{NaCl}:\text{Na}_2\text{SO}_4=1:1$)、II ($\text{NaCl}:\text{Na}_2\text{SO}_4:\text{NaHCO}_3=1:2:1$)、III ($\text{NaCl}:\text{Na}_2\text{SO}_4:\text{NaHCO}_3:\text{Na}_2\text{CO}_3=1:1:1:1$) 3 个处理组,分别为中性盐胁迫、弱碱性盐胁迫及强碱性盐胁迫。每组盐处理各设置 $50(T_{50})$ 、 $100(T_{100})$ 和 $150(T_{150})\ \text{mmol/L}$ 3 个浓度梯度,模拟不同盐渍化程度的盐碱环境,并以常规培养不添加任何盐处理为共同对照(CK),共计 10 个处理。

盐碱处理液和 SM 培养液于‘赤霞珠’幼苗培育 10 d 后统一依次施用,每隔 10 d 重新浇灌目标浓度处理溶液,以保持盐分浓度恒定,共施用 7 次。每盆盐溶液用量按照 $100\ \text{mL}$ 计算。由于试验操作误差、温度和土壤基质的影响,各处理梯度溶液浇灌后采用 pH 计进行实测,确定最终 pH 值, I、II、III 组各浓度梯度盐处理 pH 值实测值分别在 $7.2\sim 7.8$ 、 $8.3\sim 8.6$ 、 $9.5\sim 9.6$ 之间。每处理组每个浓度梯度设置 6 个重复(株)。

1.3 测定指标及方法

盆栽植株地上部分用于测定不同时期葡萄幼苗的生长形态、生理指标及光合指标。生长形态指标测定时,随机选取 3 株幼苗,定期(盐处理 10, 20, 30, 40, 50, 60 d)测定各项指标,并定期采集叶片测定生理生化指标:按不同时期(处理 30, 40, 50, 60,

70 d)采集若干叶片,将各发育期低温处理后的叶片剪成 $2\sim 3\ \text{mm}$ 小段,用液氮冷冻后迅速用药品粉碎机粉碎,置于 $-80\ ^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱保存,用于测定叶片的抗逆性指标,每个处理 3 个重复。

其中,形态指标株高、茎粗(距离土表 $1\ \text{cm}$)、叶面积采用游标卡尺、卷尺测定;生理指标过氧化物酶(POD)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性和丙二醛含量分别采用愈创木酚法^[13]、氮蓝四唑法(NBT)^[14]和双组分分光光度计法^[15]测定;光合相关指标叶片叶绿素相对含量(SPAD 值)使用便携式叶绿素仪器于处理 10, 20, 30, 40, 50, 60 d 测定,叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和胞间二氧化碳浓度(C_i)于处理 45, 60, 75 d 的晴天选取功能叶采用便携式光合仪活体测定,每个处理选 5 株,每株 6 个重复,最后取平均值。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2013 对数据进行整理,利用 SPSS 19.0 和 Origin 2018 进行数据分析和制图。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫对‘赤霞珠’幼苗生长的影响

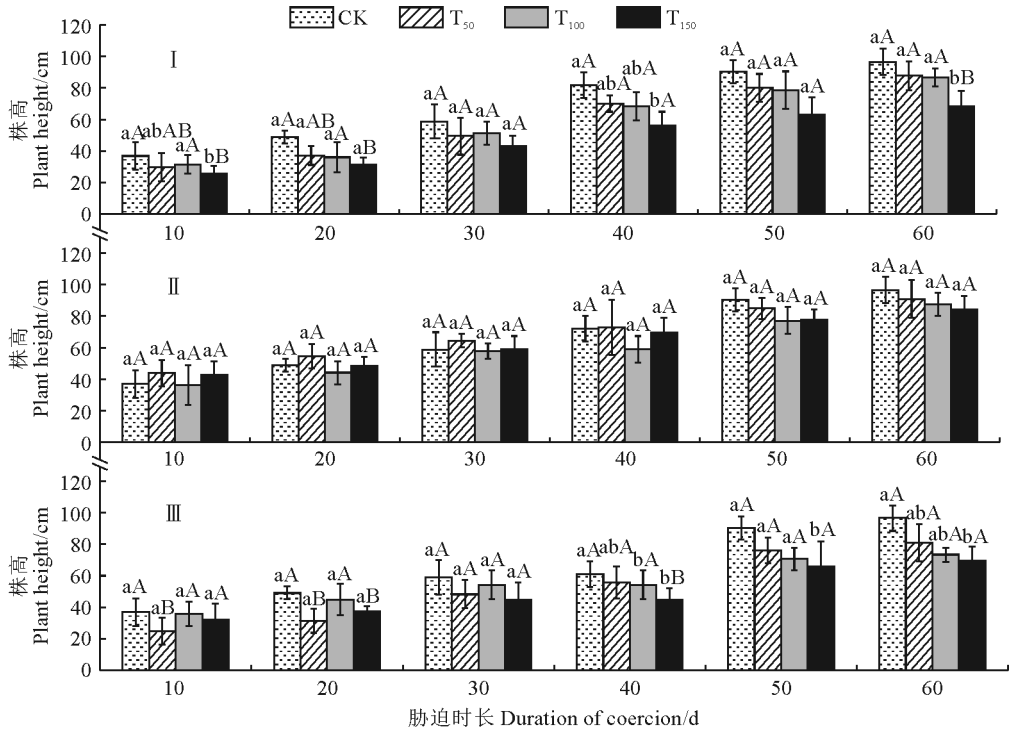
2.1.1 株高

图 1 显示,随着胁迫时间延长,各处理‘赤霞珠’幼苗株高均呈现出逐渐增加的趋势,但处理间的增长变化存在明显差异,各组盐碱浓度处理的增长量均显著低于 CK,并以中性盐组(I 组) T_{50} 处理下表现更为突出,增长量显著低于 CK 组 24%。

同时,在相同盐碱处理组(I、II、III)内,‘赤霞珠’幼苗株高均随盐碱胁迫浓度的增大基本呈下降的趋势,且幼苗长势在 I、II 组内均以 T_{50} 处理较好,在 III 组内 T_{50} 处理自 40 d 后逐渐优于相应的 T_{100} 处理。I、II、III 组间相比,‘赤霞珠’幼苗株高除在 III 组 T_{50} 处理 10 d、 T_{150} 处理 40 d 都较同期 I、II 组相应浓度显著降低外,其他浓度下 3 组间均无显著差异。

2.1.2 茎粗

葡萄幼苗茎粗在各处理下的变化规律性不明显,其受盐碱胁迫的影响较小(图 2)。其中,在处理 30 d 和 40 d 2 个时期,3 个处理组‘赤霞珠’幼苗茎粗均随盐碱浓度增加主要呈现先增大后减小趋势,并以 T_{50} 、 T_{100} 浓度下较大,但仅 II 组 T_{50} 处理下显著高于对照;同时,在相同盐碱浓度下,幼苗茎粗在同期 I、II、III 组之间无显著性差异。



I、II、III 分别表示中性盐、弱碱性盐及强碱性盐胁迫处理组,CK、T₅₀、T₁₀₀、T₁₅₀ 分别表示 0、50、100、150 mmol/L 盐浓度处理;同期组内不同小写字母表示浓度间存在显著性差异($P < 0.05$),同期浓度内不同大写字母表示处理组间存在显著性差异($P < 0.05$)。下同。

图 1 不同时期不同盐碱胁迫处理‘赤霞珠’葡萄幼苗株高变化

I, II, and III represent salt-alkali stress groups with neutral salt, weak alkaline salt, and strong alkaline salt, while CK, T₅₀, T₁₀₀, and T₁₅₀ stand for 0, 50, 100, and 150 mmol/L salt treatments, respectively. The different lowercase letters represent the significant difference among concentrations within the same group and stage ($P < 0.05$), and different uppercase letters represent the significant difference between the groups within the same concentration and stage ($P < 0.05$). The same as below. Fig. 1 Change of plant height of ‘Cabernet Sauvignon’ grape seedlings under salt-alkali stress at different stages

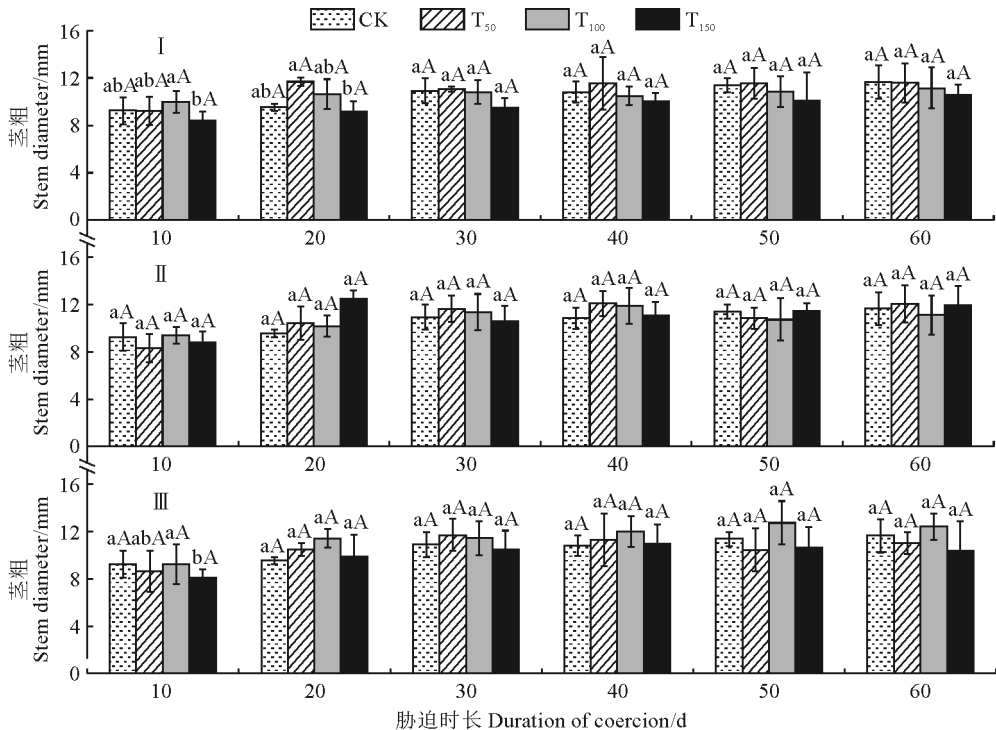


图 2 不同时期不同盐碱胁迫处理‘赤霞珠’葡萄幼苗茎粗变化

Fig. 2 Change of stem diameter of ‘Cabernet Sauvignon’ grape seedlings under salt-alkali stress at different stages

与处理 10 d 相比,盐碱胁迫处理 60 d 时,葡萄幼苗茎粗增长量在 CK 组为 26.6%,在 I 组(T_{50} 、 T_{100} 、 T_{150})分别为 43.9%、13%、30%,II 组分别为 53%、15%、30%,III 组处理下分别为 31%、49%、21%,即弱碱性盐组 T_{50} 胁迫处理的增长值最大。

2.1.3 最大叶面积

如图 3 所示,在 I 组中,‘赤霞珠’幼苗最大叶面积在不同时期随盐碱胁迫浓度的增高大多呈先增后减的趋势,且各个时期大多在 T_{50} 处理下最大,但多

与同期对照无显著性差异,其在处理 60 d 时较 CK 提高 3.38%。在 II 组中,各浓度处理幼苗最大叶面积在胁迫 10~40 d 时多高于对照并达到显著水平,在胁迫 50~60 d 时均稍低于对照。在 III 组中,各浓度处理最大叶面积在胁迫 10~40 d 时与对照均无显著差异,在胁迫 50~60 d 时随着浓度的增加而减小,且多差异显著。在相同盐碱浓度处理下,‘赤霞珠’幼苗最大叶面积增长幅度表现为中性和弱碱性盐胁迫组高于强碱性盐胁迫组。

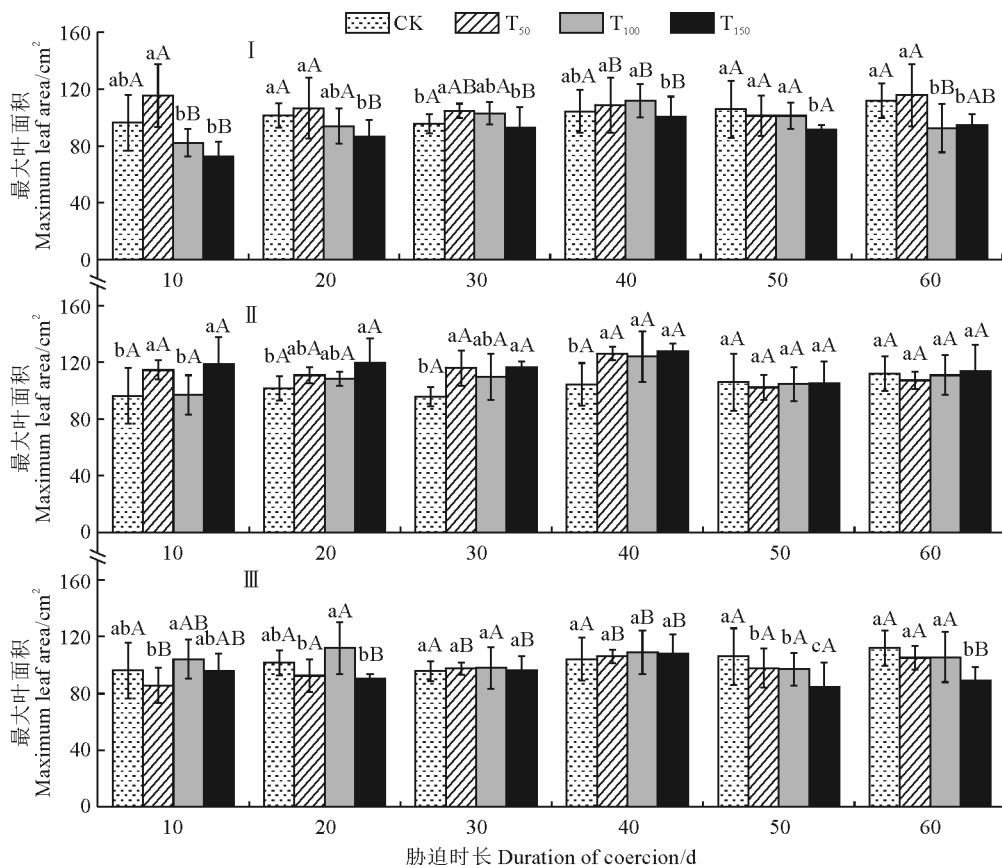


图 3 不同时期不同盐碱胁迫处理‘赤霞珠’葡萄幼苗最大叶面积变化

Fig. 3 Changes of maximum leaf area of ‘Cabernet Sauvignon’ grape seedlings under salt-alkali stress at different stages

2.2 盐碱胁迫对‘赤霞珠’幼苗叶片抗氧化酶活性和丙二醛含量的影响

2.2.1 过氧化物酶(POD)活性

由图 4 可知,各组盐碱处理‘赤霞珠’幼苗的叶片 POD 活性随着盐碱胁迫时间的增加基本呈先减弱后增强再减弱的趋势。与对照相比,各组幼苗 POD 活性在不同浓度盐碱胁迫下大多不同程度升高,基本都在浓度 T_{150} 时达到最大值, I、II、III 组 POD 活性在 T_{150} 浓度处理 50 d 时分别比 CK 提高 13%、3.1%、42%,且 I、III 组增幅达显著水平。处理组间相比较,III 组叶片 POD 活性在处理 30~50

d 时均高于相同浓度的 I、II 组,但随着时间处理延长,到处理 60 d 后逐渐低于同浓度 I、II 组,其中 T_{150} 浓度表现得更为明显。由此可见,‘赤霞珠’幼苗叶片中 POD 活性在盐碱胁迫下升高,且在高浓度处理下活性仍显著高于对照,说明它在一定范围内能够有效抵抗盐碱胁迫引起的氧化胁迫。

2.2.2 超氧化物歧化酶(SOD)活性

图 5 显示, I、II、III 组‘赤霞珠’幼苗的叶片 SOD 活性在胁迫 30~60 d 期间整体随着盐碱浓度的增加而变化不明显,各浓度处理及 CK 之间多无显著差异,此时同期相同浓度的处理组间也均无显著差异。

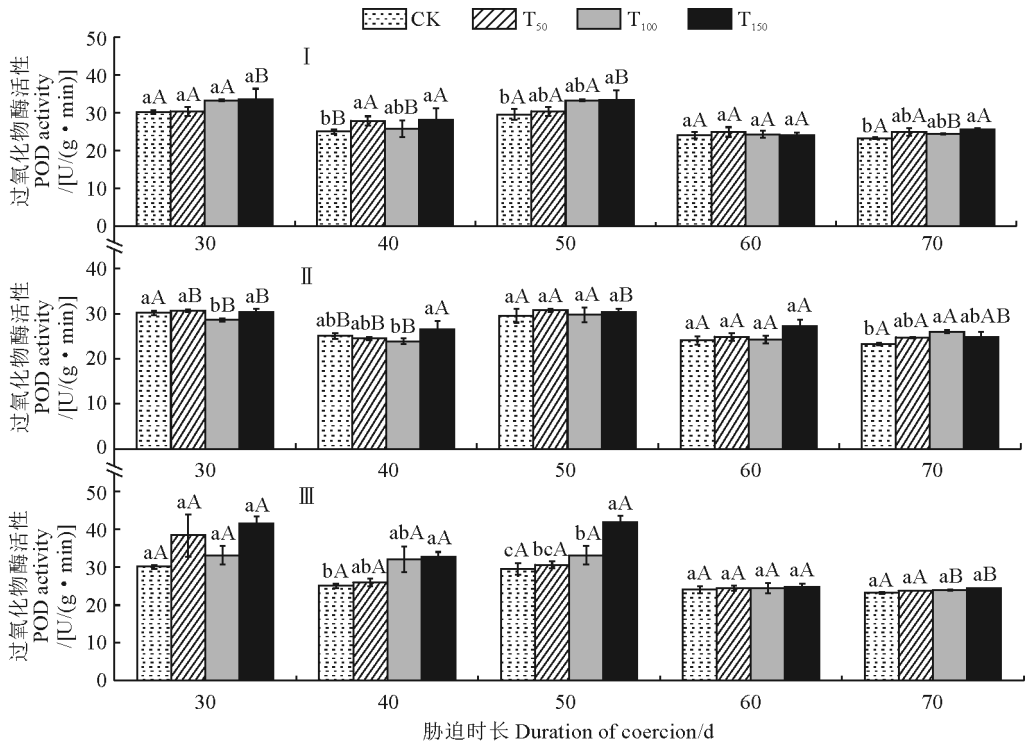


图 4 不同时期不同盐碱胁迫处理‘赤霞珠’葡萄幼苗叶片过氧化物酶活性变化

Fig. 4 Changes of peroxidase activity in leaves of ‘Cabernet Sauvignon’ grape seedlings under salt-alkali stress at different stages

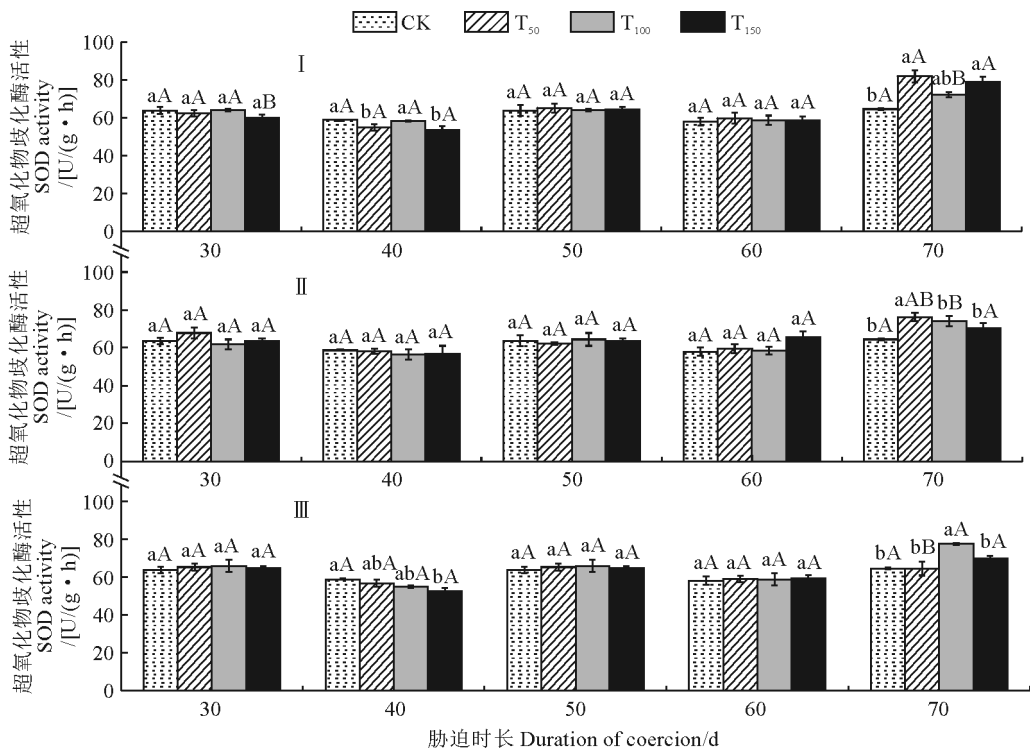


图 5 不同时期不同盐碱胁迫处理‘赤霞珠’葡萄幼苗叶片超氧化物歧化酶活性变化

Fig. 5 Changes of superoxide dismutase activity in leaves of ‘Cabernet Sauvignon’ grape seedlings under salt-alkali stress at different stages

在盐碱胁迫处理 70 d 时,各组叶片 SOD 活性随盐碱浓度增加呈现先增大后减小的趋势,但均不同程度高于对照,其中 I 和 II 处理组均在 T_{50} 浓度下达到最高值,比相应 CK 分别显著提高 27% 和 18%,而 III 组在 T_{100} 浓度时达到最大值,并显著高于其他浓度处理;处理组间相比, I 组 SOD 活性在 T_{50} 浓度下与 II 组相近,而显著高于 III 组; I 组在 T_{100} 浓度时仍与 II 组相近,但两者均显著低于 III 组;3 组处理间在 T_{150} 浓度时无显著差异。可见,‘赤霞珠’幼苗叶片 SOD 活性在不同组、不同浓度盐碱胁迫下变化不如 POD 活性明显。

2.2.3 丙二醛(MDA)含量

由图 6 可知,3 个处理组‘赤霞珠’幼苗叶片 MDA 含量随着盐碱浓度的增加主要呈先升再降趋势,且均不同程度高于相应对照,同期 I 组多

在盐碱浓度 T_{100} 时达到峰值,II、III 组多在 T_{50} 时最高。

在处理 70 d 时,I 组叶片 MDA 含量在 T_{100} 时达到峰值,而 II、III 组均在 T_{50} 时最高,分别为 4.60,4.55,4.06 mmol/g,且此时 MDA 含量在 T_{100} 浓度下表现为 II 组显著高于 I、III 组,在 T_{150} 浓度下则表现为 I、II 组显著高于 III 组。

由此可见,在盐碱胁迫下,‘赤霞珠’幼苗叶片中 SOD、POD 的活性升高,减轻了活性氧自由基的伤害,并且它们活性在高盐碱混合胁迫处理下仍显著高于对照,说明在一定盐碱胁迫范围内,‘赤霞珠’幼苗能够有效抵抗盐胁迫引起的氧化胁迫;而在高浓度盐碱胁迫下,‘赤霞珠’幼苗叶片中 MDA 积累增多,其细胞膜脂质的氧化程度增高,幼苗受到的损伤更严重。

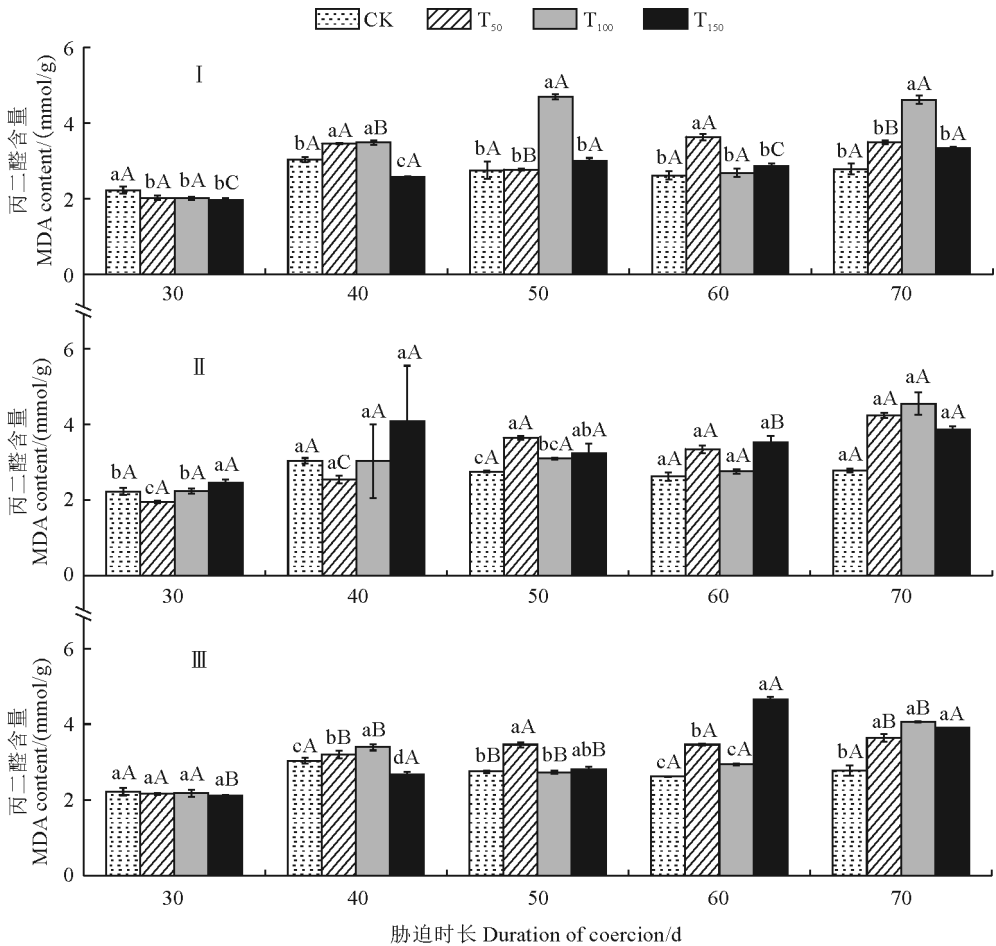


图 6 不同时期不同盐碱胁迫处理‘赤霞珠’葡萄幼苗叶片丙二醛含量变化

Fig. 6 Changes of malondialdehyde content in leaves of ‘Cabernet Sauvignon’ grape seedlings under salt-alkali stress at different stages

2.3 盐碱胁迫对‘赤霞珠’葡萄幼苗叶片光合指标的影响

2.3.1 叶绿素相对含量

从图 7 可以看出,‘赤霞珠’葡萄叶片不同时期叶绿素相对含量 (SPAD) 在不同组、不同浓度盐碱胁迫下基本保持不变,在盐碱浓度间、盐碱组之间均无显著差异。

2.3.2 净光合速率 (P_n)

如表 1 所示,在盐碱胁迫处理 45 d 时,各组‘赤霞珠’葡萄幼苗叶片 P_n 随着盐碱浓度增加呈先上升后下降的趋势,且均在 T_{50} 浓度下达到最高,但各浓度处理均与对照无显著差异;在盐碱胁迫 60 d 时,各组盐处理叶片 P_n 均随着浓度的上升整体呈下降趋势,在各浓度处理下均低于对照,但仅 II 组 T_{150} 浓度和 III 组 T_{50} 、 T_{150} 浓度降幅达到显著水平;在胁迫 75 d 时,各组盐碱处理叶片 P_n 与对照相比均无显著变化。同时,在同期相同盐碱浓度处理下,叶片 P_n 在 3 个盐碱处理组间多无显著差异,仅 III 组 T_{50} 浓度处理 75 d 时显著低于同期 I、II 处

理组。

2.3.3 蒸腾速率 (T_r)

由表 1 可知,各组‘赤霞珠’幼苗叶片 T_r 随着胁迫处理时间的延长有先增后减的趋势,而随盐碱浓度的增加有逐渐下降趋势,但叶片 T_r 在同期盐碱浓度及对照之间、同浓度处理组之间均无显著差异。

2.3.4 胞间 CO_2 浓度 (C_i)

胞间 CO_2 浓度常用来判断光合速率变化的主要原因是否为气孔因素导致的一个必不可少的依据。如表 1 所示,各盐碱胁迫组‘赤霞珠’幼苗叶片 C_i 随着盐碱浓度的上升主要呈下降趋势。在胁迫 45 d 时, I 组各浓度处理叶片 C_i 均与 CK 无显著差异, II 和 III 组叶片 C_i 均仅在 T_{150} 浓度下显著低于 CK ($P < 0.05$),而相同盐碱浓度下叶片 C_i 在 3 组处理之间均差异不显著;在盐碱胁迫处理 60 和 75 d 时,‘赤霞珠’幼苗叶片 C_i 在同期组内不同浓度之间、相同浓度 3 组盐碱处理之间均差异不显著。

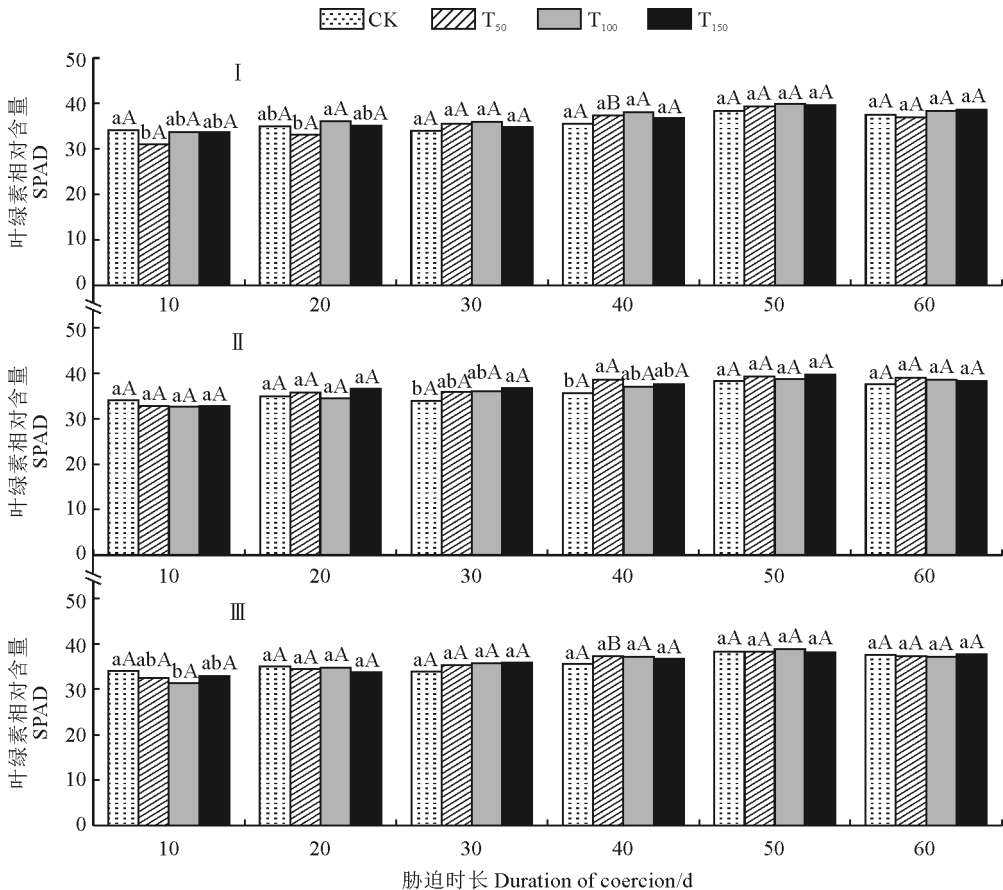


图 7 不同时期不同盐碱胁迫处理‘赤霞珠’葡萄幼苗叶片的 SPAD 变化

Fig. 7 Changes of SPAD in leaves of ‘Cabernet Sauvignon’ grape seedling under salt-alkali stress at different stages

表 1 不同时期不同盐碱胁迫处理‘赤霞珠’葡萄幼苗叶片净光合速率、蒸腾速率和胞间二氧化碳浓度
 Table 1 Net photosynthetic rate, transpiration rate, and intercellular CO₂ concentration in leaves of ‘Cabernet Sauvignon’ grape seedling under salt-alkali stress at different stages

胁迫时间及浓度 Time and concentrations	净光合速率 $P_n/[\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$			蒸腾速率 $T_r/[\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$			胞间 CO ₂ 浓度 $C_i/(\mu\text{mol}/\text{mol})$			
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
45 d	CK	4.14±1.20abA	4.14±1.20abA	4.14±1.20abA	3.76±0.26aA	3.76±0.26aA	3.76±0.26aA	85.28±22.64aA	85.28±22.64aA	85.28±22.64aA
	T ₅₀	4.80±0.81aA	4.52±0.28aA	4.98±0.68aA	3.59±0.66aA	3.59±0.40aA	3.82±0.63aA	70.69±25.32aA	80.13±9.39aA	72.82±19.42abA
	T ₁₀₀	4.03±0.09abA	3.95±0.73aA	4.71±0.37aA	2.97±0.72aA	3.11±0.44aA	3.98±0.65aA	83.43±18.88aA	69.44±29.11aA	57.88±10.43abA
	T ₁₅₀	3.22±1.30bA	3.80±0.47aA	3.59±0.55bA	2.73±0.93aA	3.13±1.26aA	2.78±0.85aA	64.56±16.36aA	46.71±20.13bA	51.62±8.97bA
60 d	CK	4.06±0.51aA	4.06±0.51aA	4.06±0.51aA	3.31±0.72aA	3.31±0.72aA	3.31±0.72aA	82.96±18.16aA	82.96±18.16aA	82.96±18.16aA
	T ₅₀	3.67±1.02aA	3.73±0.82aA	2.45±0.86bA	3.80±1.07aA	3.84±1.64aA	3.77±1.12aA	87.83±22.84aA	101.45±37.38aA	89.41±16.63aA
	T ₁₀₀	3.01±0.71aA	3.7±1.01aA	3.33±0.87abA	3.47±0.20aA	3.82±0.64aA	4.39±1.89aA	79.02±21.62aA	88.29±16.07aA	74.17±23.49aA
	T ₁₅₀	3.14±1.15aA	2.81±1.29bA	2.50±1.14bA	3.52±1.40aA	3.61±0.87aA	3.31±1.32aA	79.29±23.87aA	78.16±28.42aA	74.29±16.19aA
75 d	CK	2.88±1.10aA	2.88±1.10aA	2.88±1.10aA	3.22±1.33aA	3.22±1.33aA	3.22±1.33aA	84.08±24.57aA	84.08±24.57aA	84.08±24.57aA
	T ₅₀	4.11±0.07aA	4.03±0.17aA	2.29±0.74aB	2.07±0.81aA	2.73±0.63aA	3.16±1.02aA	90.91±26.31aA	85.82±17.79aA	87.96±19.96aA
	T ₁₀₀	3.52±0.71aA	3.89±1.97aA	2.91±0.63aA	2.50±0.60aA	2.53±0.84aA	3.84±0.71aA	89.85±24.90aA	71.57±44.27aA	80.00±18.66aA
	T ₁₅₀	3.35±0.85aA	3.47±0.69aA	3.04±0.27aA	2.30±0.70aA	3.57±1.66aA	2.99±1.48aA	68.03±18.88aA	72.82±14.61aA	81.35±18.05aA

注: 同期同列不同小写字母表示组内不同浓度间差异显著 ($P < 0.05$), 同期同行不同大写字母表示同浓度内组间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different normal letters in the same column in the same period indicate significant differences between different concentrations within the same group ($P < 0.05$), and different capital letters in the same row in the same period indicate significant differences between groups within the same concentration ($P < 0.05$).

3 讨 论

植物耐盐碱性是对逆境响应和植物生长状况的综合反映。通常在盐碱胁迫下植株会通过调节根际的渗透压,从而改变细胞膜脂结构,以此影响根系对水分和养分的吸收,进而影响植株的生长^[16]。在植物遭受盐碱胁迫时,植物的形态指标^[17]、生理代谢^[18]和光合作用^[19]等都会随着盐碱胁迫浓度的提高而受到不同程度的影响。形态变化和生长指标是反映植物受盐害程度的重要指标^[20],在盐胁迫下植物的株高、茎粗和单株叶面积等均会发生变化^[21]。

本研究发现,‘赤霞珠’葡萄的株高随盐碱胁迫程度不同而发生变化,但各处理均显著低于对照,并以 T₁₅₀ 处理表现最为明显,这与于天一等^[22-23]的研究结果一致。植物受混合盐碱胁迫后会导致生长发育缓慢,也有研究表明一些植物耐盐碱指数呈正态分布,低浓度盐碱胁迫促进其生长,而高浓度抑制生长^[24-25],本研究中‘赤霞珠’幼苗茎粗的表现基本与之一致,即其茎粗随盐碱胁迫浓度增大整体呈现先增大后减小趋势。

同时,本研究结果表明各组盐碱胁迫浓度对‘赤霞珠’葡萄叶片叶绿素相对含量无显著影响,在发育前期叶面积对盐碱浓度的响应与叶绿素较为相似,其可能因为盐碱胁迫对植物的抑制作用与盐碱组成、浓度及植物受盐碱环境胁迫时间等密切相关^[26]。而在处理后期,‘赤霞珠’叶面积随着盐碱浓度的增长呈减小趋势,与秦景等^[27]的研究结果一致。随着盐碱浓度增加,本研究中‘赤霞珠’单株总叶面积显著下降,这可能是混合盐碱胁迫不仅破坏了植物叶片叶绿体结构,引起光合能力的减弱,同时造成植物生理干旱,引起植物吸水困难,进而导致生理代谢的紊乱。另外,在盐胁迫后期,相同盐碱浓度下Ⅲ组‘赤霞珠’幼苗的叶面积明显较Ⅰ、Ⅱ组低,进一步说明不同盐碱成分对比对幼苗叶面积具有显著的影响。

另外,植物通常通过自身活性氧清除体系来响应非生物胁迫,常伴随着抗氧化酶活性的增加,如 SOD、POD 等^[28]。SOD、POD 活性和 MDA 含量都属于植物抗氧化系统中主要指标,其水平变化反映植物遭受逆境胁迫的过程。葡萄为多年生植物,自身对混合盐碱胁迫承受能力较强,本试验中‘赤霞珠’幼苗叶片 POD 活性随着盐碱浓度的增大呈现不同程度升高的趋势,在处理 30~50 d 时,强碱性盐胁迫 T₁₅₀ 浓度下叶片的 POD 活性显著高于其他

浓度处理,而马宝贵等^[29]研究发现 POD 活性随着盐碱浓度的升高呈先升高后下降的趋势,造成这种差异的原因可能与本试验所设浓度不同及所设置盐碱组成成分相关。此外,本试验还发现在 T₁₅₀ 浓度处理下,Ⅲ处理组 POD 活性在处理 30~50 d 时显著高于同浓度其他两组处理,但到处理 60 d 后逐渐低于其他两处理组,说明复杂的盐碱胁迫使‘赤霞珠’幼苗更具抗性,但胁迫时间过长会使‘赤霞珠’葡萄抗逆性有一定的下降。另外,有研究表明,盐碱胁迫下作物的 SOD 活性会随 NaCl 浓度增加而上升^[30]。本试验中‘赤霞珠’幼苗叶片 SOD 活性在盐碱胁迫处理 70 d 后呈现先增大后减小的趋势,造成该现象出现的原因除了试验设计中的盐碱组成不同之外,还可能与植物自身的抗氧化能力有关^[31]。而‘赤霞珠’幼苗的叶片 MDA 含量随着盐碱浓度的升高主要呈先上升再下降趋势,这与李贵吉等^[32]的研究结果一致。整体而言,本研究中‘赤霞珠’幼苗表现出较好的耐盐碱胁迫能力,其中度盐碱胁迫下适应性较强,这与唐榕等^[33]的研究结果一致。

此外,本研究中各组盐碱胁迫下‘赤霞珠’葡萄叶片的净光合速率较低,但光合潜能受到的影响不显著。叶片光合速率下降的原因可能有以下几方面:细胞膜脱水降低了对 CO₂ 的渗透性,盐毒害,气孔主动关闭引起的 CO₂ 供应量减少,盐分引起衰老叶片增多,细胞质结构改变引起的酶活性发生变化,以及库活力降低引起的负反馈等。

综上所述,本试验通过对盐碱胁迫‘赤霞珠’幼苗生长参数及生理指标的分析,发现随着盐碱浓度的增加,幼苗的生长受到显著抑制,如叶片萎蔫发黄、植株生长受到抑制、生物量积累减少等。同时,赤霞珠幼苗的 SOD、POD 的活性随盐碱浓度的增加呈现先增加后降低的趋势,叶片的光合作用也随盐碱胁迫浓度的增加受到不同程度的影响。本试验虽以模拟贺兰山东麓土壤环境来设计浓度梯度,盆栽试验与大田试验相比,外界的影响因素较少,但‘赤霞珠’葡萄的耐盐碱性是由多个基因共同表达或拮抗所综合展示的结果,其耐盐碱机理也尚未完全明了,今后应该从更多的方面综合分析耐盐性,并对‘赤霞珠’葡萄耐盐碱机理进行更深入研究,以便对酿酒葡萄耐盐碱性在实践中应用提供一定的理论参考。

4 结 论

通过盆栽试验测定不同时期、类型、浓度盐碱胁

迫下‘赤霞珠’葡萄的形态指标、叶片抗逆生理指标和光合指标。

(1)‘赤霞珠’幼苗株高随处理时间不断增长,盐胁迫处理的生长量显著低于对照,且株高随胁迫浓度的增大基本呈下降趋势,茎粗随盐碱浓度增长主要呈现先增大后减小趋势。

(2)‘赤霞珠’幼苗的叶片 POD 活性随着盐碱浓度的增大呈现先缓慢增长继而减弱的趋势,SOD 活性在处理 70 d 后随盐碱浓度的增加呈现先增大

后减小的趋势,叶片 MDA 含量随着盐碱浓度的升高主要呈先上升再下降趋势。

(3)胞间 CO₂ 浓度亦随着盐碱浓度的上升呈下降趋势并主要以 T₅₀ 浓度较高,净光合速率、蒸腾速率随着盐碱浓度的上升主要呈先上升后下降趋势。

(4)在 T₅₀ 浓度处理下,‘赤霞珠’幼苗的株高、最大叶面积、胞间 CO₂ 浓度、净光合速率、蒸腾速率均呈现较好的增长趋势。

参考文献:

- [1] 张西年,裴骝云,王存志,等. 甘肃河西走廊平川灌区盐碱地综合治理[J]. 土壤肥料, 1988(4): 8-12.
ZHANG X N, PEI L Y, WANG C Z, *et al.* Comprehensive control of saline-alkali land in Pingchuan irrigation area of Hexi Corridor in Gansu Province[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 1988(4): 8-12.
- [2] 胡一,韩雾昌,张扬. 盐碱地改良技术研究综述[J]. 陕西农业科学, 2015, 61(2): 67-71.
HU Y, HAN J C, ZHANG Y. Summary of research on improvement technology of saline-alkali land[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 61(2): 67-71.
- [3] 邵雪娟. 盐碱地改良技术研究综述[J]. 种子科技, 2021, 39(6): 71-72.
SHAO X J. Summary of research on improvement technology of saline-alkali land[J]. *Seed Science & Technology*, 2021, 39(6): 71-72.
- [4] 王佳丽,黄贤金,钟太洋,等. 盐碱地可持续利用研究综述[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 673-684.
WANG J L, HUANG X J, ZHONG T Y, *et al.* Review on sustainable utilization of salt-affected land [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(5): 673-684.
- [5] 鲁艳,雷加强,曾凡江,等. NaCl 处理对胡杨生长及生理生态特征的影响[J]. 干旱区研究, 2015, 32(2): 279-285.
LU Y, LEI J Q, ZENG F J, *et al.* Effects of NaCl treatments on growth and ecophysiological characteristics of *Populus euphratica* [J]. *Arid Zone Research*, 2015, 32(2): 279-285.
- [6] 古丽内尔·亚森,杨瑞端,曾幼玲. 混合盐碱胁迫对灰绿藜 (*Chenopodium glaucum* L.) 种子萌发的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(1): 76-82.
Gulnar Yasin, YANG R R, ZENG Y L. Effects of salt-alkali mixed stresses on seed germination of the halophyte *Chenopodium glaucum* L. [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(1): 76-82.
- [7] 魏嘉,蔡勤安,李源,等. 植物对盐碱胁迫响应机制的研究进展[J]. 山东农业科学, 2022, 54(4): 156-164.
WEI J, CAI Q A, LI Y, *et al.* Research progress on response mechanism of the plant to saline-alkali stress[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2022, 54(4): 156-164.
- [8] 陈晓娟. 盐碱胁迫对‘赤霞珠’葡萄幼苗生长及根际土壤微生物多样性影响的研究[D]. 银川:宁夏大学, 2022.
- [9] YAO Z Y, WANG Z, LI J, *et al.* Screen for sustainable cropping systems in the rain-fed area on the Loess Plateau of China [J]. *Soil & Tillage Research*, 2018, 176: 26-35.
- [10] GARCÍA-SÁNCHEZ F, PEREZ-PEREZ J G, BOTIA P, *et al.* The response of young mandarin trees grown under saline conditions depends on the rootstock [J]. *European Journal of Agronomy*, 2006, 24(2): 129-139.
- [11] VERMA S K, SINGH S K, KRISHNA H. The effect of certain rootstocks on the grape cultivar ‘Pusa Urvashi’ (*Vitis vinifera* L.) [J]. *International Journal of Fruit Science*, 2010, 10(1): 16-28.
- [12] MEHNAAN H T, FAYED T A, RASHEDY A A. Response of two grapevine rootstocks to some salt tolerance treatments under saline water conditions [J]. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 2010, 2(2): 93-106.
- [13] CHANCE B, MAEHLY A C. Assay of catalases and peroxidases [J]. *Methods in Enzymology*, 1955(2): 764-775.
- [14] BEAUCHAMP C, FRIDOVICH I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels [J]. *Analytical Biochemistry*, 1971, 44(1): 276-287.
- [15] 张丽平,王秀峰,史庆华,等. 黄瓜幼苗对氯化钠和碳酸氢钠胁迫的生理响应差异[J]. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1854-1859.
ZHANG L P, WANG X F, SHI Q H, *et al.* Differences of physiological responses of cucumber seedlings to NaCl and NaHCO₃ stress [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(8): 1854-1859.
- [16] 王隽珍,刘倩,高娅妮,等. 植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(16): 5565-5577.
WANG Q Z, LIU Q, GAO Y N, *et al.* Review on the mechanisms of the response to salinity-alkalinity stress in plants [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(16): 5565-5577.
- [17] NASR S M H, PARSAKHOO A, NAGHAVI H, *et al.* Effect of salt stress on germination and seedling growth of

- Prosopis juliflora* (Sw.) DC. [J]. *New Forests*, 2012, 43(1): 45-55.
- [18] WANG X Q, XIE X L, CHEN N N, *et al.* Study on current status and climatic characteristics of wine regions in China [J]. *Vitis: Journal of Grapevine Research*, 2018, 57(1): 9-16.
- [19] JIANG B, ZHANG Z W. Free radical-scavenging activity and anthocyanin profiles of Cabernet Sauvignon and Merlot wines from four wine grapegrowing regions in China[J]. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 2019, 40(1): 1-10.
- [20] LIANG Q Y, WU Y H, WANG K, *et al.* Chrysanthemum WRKY gene *DgWRKY5* enhances tolerance to salt stress in transgenic *Chrysanthemum*[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 4799.
- [21] 佟倩. 盐胁迫下番茄苗期生理特性研究[J]. *农业科技与装备*, 2021(4): 12-14.
TONG Q. Study on physiological characteristics of tomato seedlings under salt stress[J]. *Agricultural Science & Technology and Equipment*, 2021(4): 12-14.
- [22] 于天一, 王春晓, 孙学武, 等. 碱胁迫对花生幼苗根系形态及干物质累积的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2017, 39(2): 190-196.
YU T Y, WANG C X, SUN X W, *et al.* Effects of alkaline stress on root morphology and dry matter accumulation characteristics of peanut seedling [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2017, 39(2): 190-196.
- [23] 李霞, 曹昆, 阎丽娜, 等. 盐碱胁迫对不同水稻材料苗期生长特性的影响[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(8): 252-256.
LI X, CAO K, YAN L N, *et al.* Effect of the growth characteristics in seedling of different rice varieties under saline-alkali stress [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(8): 252-256.
- [24] 韩宇睿. NO₃⁻ 胁迫对草莓幼苗生理生化特性影响及 SNP 缓解效应[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
- [25] 慈敦伟, 张智猛, 丁红, 等. 花生苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选[J]. *生态学报*, 2015, 35(3): 805-814.
CI D W, ZHANG Z M, DING H, *et al.* Evaluation and selection indices of salinity tolerance in peanut seedling[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(3): 805-814.
- [26] 杨少辉, 季静, 王罡, 等. 盐胁迫对植物影响的研究进展[J]. *分子植物育种*, 2006, 4(增刊 1): 139-142.
YANG S H, JI J, WANG G, *et al.* Effects of salt stress on plants[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2006, 4(Suppl. 1): 139-142.
- [27] 秦景, 贺康宁, 谭国栋, 等. NaCl 胁迫对沙棘和银水牛果幼苗生长及光合特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(4): 791-797.
QIN J, HE K N, TAN G D, *et al.* Effects of NaCl stress on *Hippophae rhamnoides* and *Shepherdia argentea* seedlings growth and photosynthetic characteristics[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(4): 791-797.
- [28] 刘强, 周晓梅, 王占武. NaCl 处理对曼陀罗幼苗生长、光合、离子积累及抗氧化系统的影响[J]. *东北林业大学学报*, 2021, 49(1): 33-37.
LIU Q, ZHOU X M, WANG Z W. Effects of NaCl treatment on seedling growth, photosynthesis, ion accumulation and antioxidant system of *Datura stramonium* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2021, 49(1): 33-37.
- [29] 马宝贵, 乔枫. Na₂CO₃ 处理对裸燕麦相关生理指标的影响[J]. *青海科技*, 2022, 29(1): 48-52.
MA B G, QIAO F. Effects of Na₂CO₃ treatment on related physiological indexes of naked oat [J]. *Qinghai Science and Technology*, 2022, 29(1): 48-52.
- [30] 赵丽娜, 张芙蓉, 莫霏, 等. 甜瓜盐碱逆境生理响应及相关基因研究进展[J]. *上海农业学报*, 2016, 32(6): 176-180.
ZHAO L N, ZHANG F R, MO F, *et al.* Research progress on physiological responses of melon under saline stress and their related genes[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2016, 32(6): 176-180.
- [31] 吴羿, 高新雨, 凌子娟, 等. 野菊幼苗对盐胁迫的响应及其生理特征的探究[J]. *分子植物育种*, 2022, 46(5): 1-10
WU Y, GAO X Y, LING Z J, *et al.* Response of *Chrysanthemum indicum* seedlings to salt stress and its physiological characteristics[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2022, 46(5): 1-10.
- [32] 李贵吉, 杜洋洋. 马铃薯在盐胁迫下的响应研究[J]. *云南农业科技*, 2022(2): 9-11.
LI G J, DU Y Y. Study on the response of potato under salt stress[J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2022(2): 9-11.
- [33] 唐榕, 梁培鑫, 郭晨荔, 等. 盐碱胁迫对油莎豆幼苗生长和生理性状的影响[J]. *浙江农业科学*, 2022, 63(3): 528-533.
TANG R, LIANG P X, GUO C L, *et al.* Effects of saline-alkali stress on growth and physiological characters of *Cyperus esculentus* seedlings[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2022, 63(3): 528-533.