

DOI: 10.5846/stxb201409141821

李学孚,倪智敏,吴月燕,李美芹,刘蓉,饶慧云.盐胁迫对‘鄞红’葡萄光合特性及叶片细胞结构的影响.生态学报,2015,35(13):4436-4444.

Li X F, Ni Z M, Wu Y Y, Li M Q, Liu R, Rao H Y. Effects of salt stress on photosynthetic characteristics and leaf cell structure of ‘Yinhong’ grape seedlings. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(13): 4436-4444.

盐胁迫对‘鄞红’葡萄光合特性及叶片细胞结构的影响

李学孚^{1,2}, 倪智敏², 吴月燕^{2,*}, 李美芹¹, 刘蓉², 饶慧云²

1 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306

2 浙江万里学院生物与环境学院, 宁波 315100

摘要:采用水培法,研究了不同浓度(0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%) NaCl 处理对 1 年生‘鄞红’葡萄幼苗生长、光合特性及叶片细胞结构的影响,为盐碱地‘鄞红’葡萄的栽培提供参考。结果表明:低浓度盐分(NaCl≤0.4%)对葡萄生长、叶绿素含量、叶片细胞结构、气体交换参数以及叶绿素荧光参数影响不显著。随着盐浓度增大,葡萄生长受到抑制,叶片表皮层、栅栏组织、海绵组织变厚,海绵组织和栅栏组织细胞间隙变大,栅栏组织细胞叶绿体肿胀,内含淀粉粒和嗜银颗粒变大且增多;同时,叶绿素含量、净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)、PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)、PS II 潜在活性(F_v/F_o)、光化学电子传递效率(ETR)、光化学猝灭系数 qP 以及栅栏组织/海绵组织比逐渐下降,非光化学猝灭系数 qN 逐渐上升;尤其在 0.8% NaCl 浓度胁迫下,葡萄生长、叶绿素含量、叶片细胞结构、气体交换参数以及叶绿素荧光参数均发生显著性变化。由此表明,‘鄞红’葡萄能在较低含盐量(NaCl≤0.4%)的基质中正常生长。

关键词:葡萄;盐胁迫;光合特性;叶绿素荧光;叶片细胞结构

Effects of salt stress on photosynthetic characteristics and leaf cell structure of ‘Yinhong’ grape seedlings

LI Xuefu^{1,2}, NI Zhimin², WU Yueyan^{2,*}, LI Meiqin¹, LIU Rong², RAO Huiyun²

1 College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

2 College of Biology and Environment, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China

Abstract: Salt stress is one of the major environmental factors affecting plants; it causes many changes in plant metabolism, such as decreasing the capacity and efficiency of photosynthesis and inhibiting growth. Salt stress also changes leaf cell structure. Therefore, plant growth, photosynthesis, and leaf cell structure are often used as indicators of salt stress injury in plants. In response to salt stress, plants have evolved diverse mechanisms that can mitigate the effects of stress and lead to improved plant tolerance. In this study, 1-year-old potted seedlings of ‘Yinhong’ grape were used to examine their changes in growth, photosynthetic characteristics, and leaf cell structure under different levels of salt stress, ranging from NaCl concentrations of 0% to 0.8%. The goal of this experiment was to provide reference information for grape cultivation in salty soils. Because of the complexity of the soil composition in the natural state, the actual salt concentration of soil is difficult to control. Thus, to investigate the responses of grape seedlings to specific and precise salt concentration conditions, a total of 100 potted seedlings were divided into five groups, and 20 seedlings each were placed into Hoagland hydroponic culture with one of five salt concentrations, specifically 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, and 0.8% NaCl. The chlorophyll content, gas exchange parameters, and chlorophyll fluorescence parameters of the grape seedlings were measured every 15 days, and the characteristics of the growth and leaf cell structure were measured after 45 days. In this

基金项目:宁波市科技创新团队项目(2011B82019);浙江省科技厅项目(2011C32008);宁波市科技项目(2013C10009)

收稿日期:2014-09-14; 网络出版日期:2015-01-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wy2000@zww.edu.cn

study, the LA-S plant image analysis system was used to measure the growth traits, such as the length, average diameter, surface area, volume of the root system, and leaf area. Chlorophyll content was measured with a SPAD-502 PLUS chlorophyll meter. The GFS-3000 portable photosynthesis system was used to measure gas exchange parameters, such as the net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (Tr), and intercellular CO_2 concentration (C_i). The JUNIOR-PAM chlorophyll fluorometer was employed to measure chlorophyll fluorescence parameters, such as the maximum photochemical efficiency of photosystem II (PS II) (F_v/F_m), PS II potential activity (F_v/F_o), electron transport rate (ETR), photochemical quenching (qP), and non-photochemical quenching (qN). Finally, leaf cell microstructure and palisade tissue chloroplast ultrastructure were observed with an OLYMPUS optical microscope and a HITACHI-7650 transmission electron microscope. Grape seedlings in the low salt treatments (0.2% and 0.4% NaCl) grew normally, and the chlorophyll content, leaf cell structure, gas exchange parameters, and chlorophyll fluorescence parameters were not significantly different in these treatments from those of the control (0% NaCl). At higher NaCl concentrations (0.6% and 0.8% NaCl), plant growth was significantly constrained. The epidermis cells, palisade tissue, and spongy tissue in the leaves were thicker, the intercellular space within the palisade tissue and spongy tissue was larger, the chloroplasts became swollen, and the numbers and sizes of starch grains and plastoglobules were greater compared with the control. In addition, the chlorophyll content, P_n , G_s , Tr , C_i , F_v/F_m , F_v/F_o , ETR , qP , and thickness ratio of the palisade/spongy tissue were lower and qN was higher relative to the control. In particular, compared with the control, significant changes in plant growth status, chlorophyll content, leaf cell structure, gas exchange parameters, and chlorophyll fluorescence parameters were observed under high salt stress (0.8% NaCl). Therefore, 1-year-old potted seedlings of grape ‘Yinghong’ could grow normally under low salinity stress ($NaCl \leq 0.4\%$).

Key Words: grape; salt stress; photosynthetic characteristic; chlorophyll fluorescence; leaf cell structure

葡萄 (*Vitis vinifera* L.) 为葡萄科葡萄属植物, 目前是我国浙东沿海地区十分重要的经济栽培果树种类之一。我国浙东沿海地区葡萄设施栽培十分发达, 但是, 由于不适当的灌溉和使用化肥使土壤次生盐碱化日趋加重, 有些葡萄栽植地土壤含盐量可以达到 0.2%—0.8%, 盐害成为限制葡萄生产的主要问题之一^[1-2]。在盐胁迫的研究中, 人们较多关注盐胁迫后叶肉细胞中的叶绿体、线粒体以及其它细胞器的变化。然而这方面的研究多集中在草本植物, 如: 水稻^[3-4]、高粱^[5-6]、大豆^[7-8]等。在葡萄盐胁迫的研究中, 研究较多为盐胁迫对葡萄各种营养器官细胞质膜透性、保护酶活性以及叶片光合作用特性的影响。如房玉林等^[9]发现盐胁迫抑制葡萄光合作用, 樊秀彩等^[10]发现盐胁迫引起葡萄叶片膜透性增加, 丙二醛 (MDA) 和游离脯氨酸含量显著升高, 李会云等^[11]发现盐胁迫引起超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 和过氧化物酶 (POD) 活性先升高后降低, 报道表明不同品种对盐胁迫的生理反应差异明显。但盐胁迫下葡萄叶片组织结构变化研究报道较少。‘鄞红’葡萄为浙东沿海地区主要栽培的品种之一, 尤在浙江省宁波市沿海地带栽植为多, 但其耐盐性尚不明确。本研究以‘鄞红’葡萄的生长变化, 并结合其叶片细胞结构及光合特性等生理指标的变化, 以探讨不同盐浓度处理下‘鄞红’葡萄的盐胁迫反应及耐盐性, 为该品种在沿海地区的栽培管理提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以一年生‘鄞红’葡萄幼苗为试验材料。材料来自浙江万里学院葡萄大棚栽培试验地, 试验时间为 2014 年 5 月—2014 年 8 月。

1.2 试验处理和设计

试验设计 5 个 NaCl 盐胁迫浓度 (0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%)。2014 年 5 月 15 日, 选取 100 株生长健壮、长势一致的 1 年生‘鄞红’葡萄幼苗, 移栽到盆高 24.5 cm、长 53.5 cm、宽 19.5 cm 的塑料水培盆中, 每盆 5

株,每个处理 4 盆,每盆装营养液 15 L。采用霍格兰改良培养液(Hoagland)培养 45 d,具体方案如下:CK 为 1/15 Hoagland 营养液;处理 I 为 1/15 Hoagland+0.2%NaCl;处理 II 为 1/15 Hoagland+0.4%NaCl;处理 III 为 1/15 Hoagland+0.6% NaCl;处理 IV 为 1/15 Hoagland+0.8%NaCl。实验期间营养液用充气泵连续通气,每天补充水培盆中散失的水分至 15 L 刻度线,每 5 d 更换 1 次营养液。每隔 15d 进行采样,每个处理随机选取 3 株、每株任选功能叶片 2 张,用以测定葡萄的叶绿素含量、叶片气体交换参数及叶绿素荧光参数。

盐胁迫 45d 时,每个处理随机选取 3 株植株用于根系和叶片生长指标的观测;每个处理随机选取 3 株、每株任选功能叶片 2 张,用于叶片组织显微和栅栏组织细胞叶绿体超微结构的观测。

1.3 测定方法

1.3.1 叶绿素含量、叶片气体交换参数及叶绿素荧光参数的测定

采用 SPAD-502+PLUS 叶绿素仪进行叶绿素含量的测定。采用 GFS-3000 便携式光合测定仪于 10:00—14:00 在有充足阳光下随机测定植株叶片的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度。

采用 JUNIOR-PAM 叶绿素荧光计进行叶绿素荧光参数的测定。待测叶片选择健壮功能叶,遮光处理 30min 后,测定 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)、PS II 潜在活性(F_v/F_o)、光化学电子传递效率(ETR)、光化学猝灭系数(qP)、非光化学猝灭系数(qN)。

1.3.2 根系和叶片生长指标及叶片组织细胞显微、叶绿体超微结构的观测

采用万深 LA-S 全能型植物图像分析系统统计根系长、根直径、根表面积、根体积和叶片面积,重复 3 次,记录平均值。

从葡萄叶片中部主脉两侧取材(4mm×6mm)做石蜡切片,用 FAA[福尔马林(38%甲醛溶液)5 mL,冰醋酸 5 mL,50%乙醇 90 mL]固定,乙醇和二甲苯系列脱水,石蜡包埋,横切片厚度 10 μm ,番红-固绿染色。OLYMPUS 光学显微镜下用测微尺测量叶表皮、栅栏组织和海绵组织厚度,并照相^[12]。各处理观测 15 个视野,取均值。

葡萄叶片中部主脉两侧取材(2mm×4mm),2.5%戊二醛前固定,0.1mol/L 磷酸缓冲液(pH7.2)冲洗,1%锇酸固定,乙醇梯度脱水,丙酮置换浸透,Epon-812 环氧树脂包埋,在 70℃下聚合 24h 后,LEICA EM UC7 型超薄切片机中获得 70—90nm 的切片,醋酸双氧铀和柠檬酸铅双染色,HITACHI-7650 型透射电镜观察,选取典型视野照相^[13]。各处理选取 15 个视野,观测葡萄叶片栅栏组织细胞叶绿体超微结构。

1.4 统计分析

试验原始数据处理和绘图采用 Excel 软件完成,差异显著性分析采用 SPSS 19.0 软件。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对‘鄞红’葡萄生长的影响

如表 1 所示,处理 I 根系和叶片的生长状况良好,各指标均与对照差异不显著($P>0.05$);处理 II 根系和

表 1 盐胁迫对‘鄞红’葡萄生长的影响

Table 1 Effects of NaCl stress on the growth of ‘Yinhong’ grape

处理 Treatments	根系 Root system				叶片 Leaves	
	长度 Length/cm	平均直径 Average diameter/mm	表面积 Surface area/cm ²	体积 Volume/cm ³	叶面积 Leaf area/cm ²	形态特征 Morphological characteristics
CK	1900.6±5.3a	1.01±0.04a	636.2±4.4a	15.2±0.6a	390.2±3.1a	正常 浓绿
I	1953.2±4.6a	1.00±0.05a	655.3±5.2a	15.3±0.5a	385.0±3.8a	正常 浓绿
II	1835.6±4.5ab	0.97±0.04ab	598.3±4.2ab	13.9±0.6ab	368.6±3.2ab	一般 少量黄斑
III	1402.0±3.5b	0.86±0.06b	446.2±3.8b	8.8±0.3b	296.8±2.8b	弯曲 较多黄斑
IV	999.4±3.7c	0.76±0.04c	318.2±3.2c	4.5±0.4c	152.2±2.7c	大量弯曲 大量黄斑

同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)

叶片的生长状况一般,叶片出现少量黄斑,但仍能正常生长,各指标均与对照差异不显著($P>0.05$)。随着盐浓度加大,盐胁迫对‘鄞红’葡萄的伤害增强,处理Ⅲ叶片开始弯曲,并出现较多黄斑,各指标均显著低于对照($P<0.05$);处理Ⅳ叶片大量弯曲,并出现大量黄斑,生长受阻,各指标均显著低于对照($P<0.05$)。

2.2 盐胁迫对‘鄞红’葡萄叶绿素含量的影响

如图 1 所示,‘鄞红’葡萄的叶绿素相对含量随着盐浓度的增强而减少,且随着处理时间的增长而下降增大。试验结束时,处理 I 和处理 II 与对照相比分别下降 4.2%、7.2%,均与对照差异不显著($P>0.05$);而处理 III 和处理 IV 与对照相比分别下降 19.3%、27.5%,均显著低于对照($P<0.05$)。

2.3 盐胁迫对‘鄞红’葡萄叶片气体交换参数的影响

如图 2 所示,盐胁迫对葡萄叶片气体交换参数有显著的影响。试验结束时,处理 I 和处理 II 叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和气孔导度(G_s)与对照相比均差异不显著($P>0.05$);但随盐浓度的进一步增强,各指标均显著下降,处理 III 和处理 IV 叶片 P_n 、 Tr 、 C_i 、 G_s 与对照相比分别下降 26.1%、21.1%、10.7%、30.0%和 38.7%、29.9%、14.5%、50.0%,均显著低于对照($P<0.05$)。

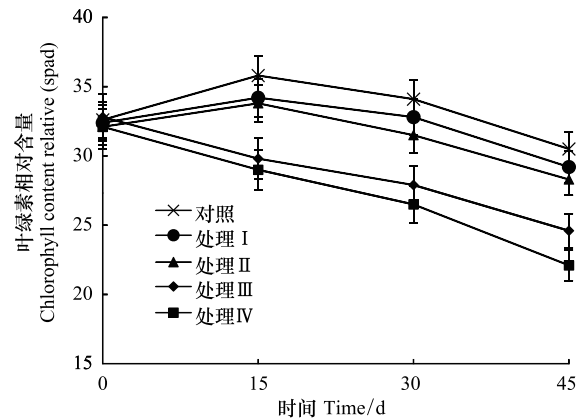


图 1 盐胁迫对‘鄞红’葡萄叶片中叶绿素相对含量的影响

Fig.1 Effects of NaCl stress on the chlorophyll relative content in ‘Yinhong’ grape leaves

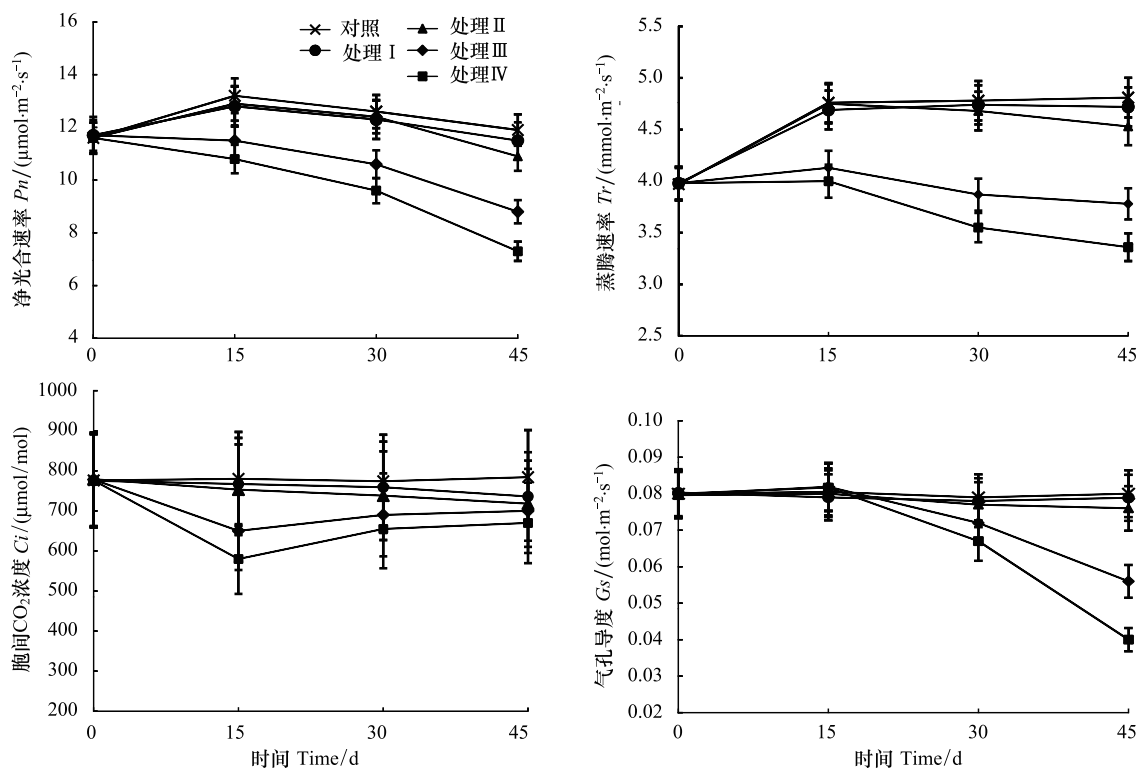


图 2 盐胁迫对‘鄞红’葡萄叶片气体交换参数影响

Fig.2 Effects of NaCl stress on gas exchange parameters in ‘Yinhong’ grape leaves

2.4 盐胁迫对‘鄞红’葡萄叶片叶绿素荧光参数的影响

如图 3 所示,盐胁迫下,葡萄叶片 F_v/F_o 、 F_v/F_m 、 ETR 、 qP 值均不同程度下降,而 qN 值升高。试验结束时,处理 I 和处理 II 各指标均与对照差异不显著($P>0.05$);处理 III 和处理 IV 叶片 F_v/F_o 、 F_v/F_m 、 ETR 、 qP 与对

照相比分别下降 56.3%、19.8%、27.0%、34.6% 和 63.3%、24.7%、44.4%、45.2%，均显著低于对照 ($P<0.05$)，而 qN 分别升高 65.7% 和 122.9%，均显著高于对照 ($P<0.05$)。可能高盐胁迫降低了葡萄叶片 PS II 反应中心的潜在活性、光能转化效率和电子传递，增加了通过非光化学途径的能量耗散^[14]。

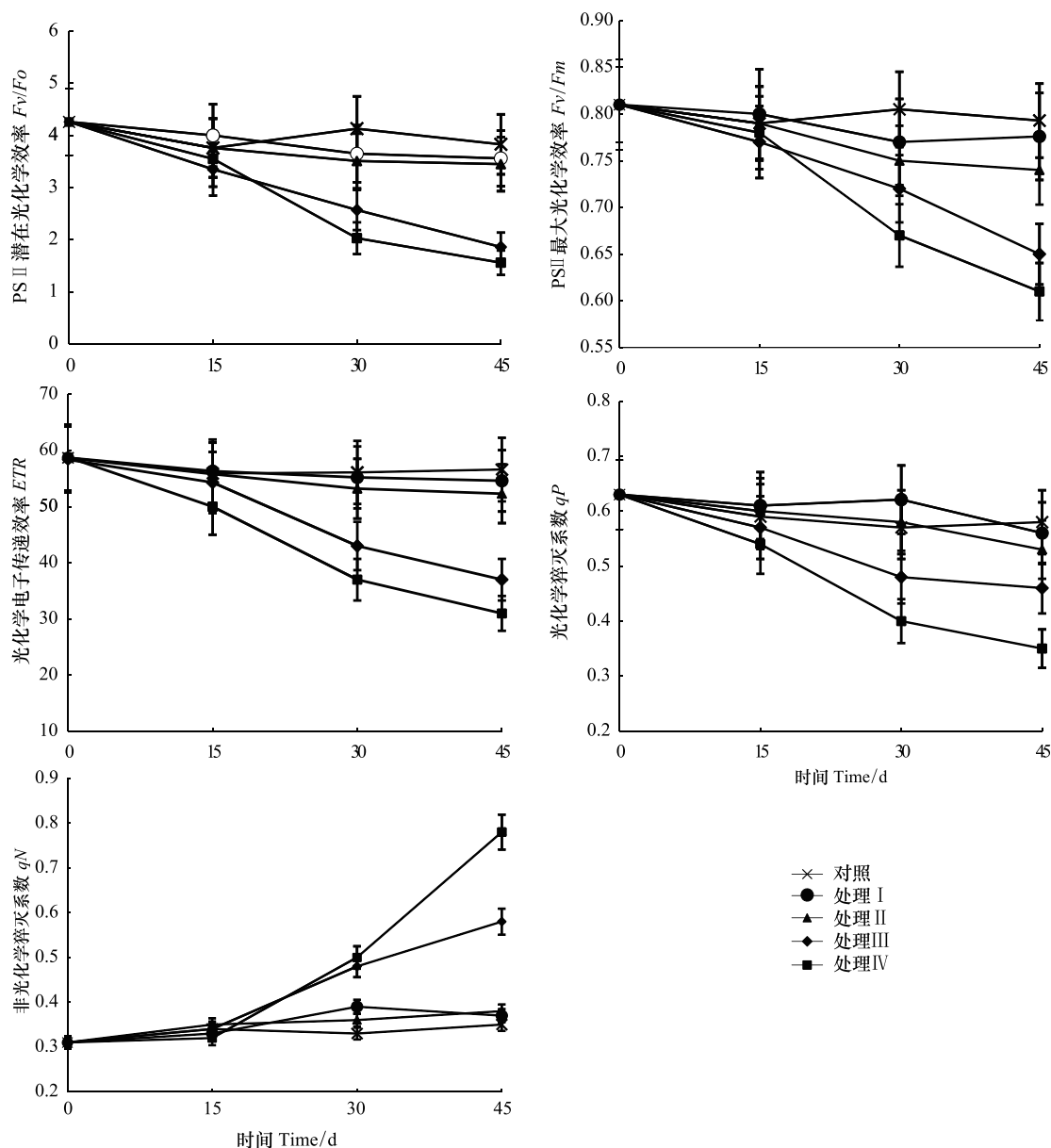


图 3 盐胁迫对‘鄞红’葡萄叶绿素荧光参数的影响

Fig.3 Effects of NaCl stress on chlorophyll fluorescence parameters in 'Yinhong' grape

2.5 盐胁迫对‘鄞红’葡萄叶片组织显微结构的影响

正常无盐胁迫时,栅栏组织细胞为长柱状,排列较整齐,海绵组织细胞排列较紧凑,细胞内富含叶绿体(图 4A)。处理 I 和处理 II 叶片组织显微结构与对照差异不显著(图 4B、C)。随着盐浓度持续增大,栅栏组织细胞开始积累大量沉积物,形状变得不规则,海绵组织和栅栏组织细胞数目都减少,细胞间隙变大,叶绿体在细胞内不规则分布且变少(图 4D、E)。对不同盐浓度处理 45d 后的叶片解剖结构定量测定发现:处理 I 和处理 II 叶片表皮层、栅栏组织、海绵组织厚度以及栅栏组织/海绵组织比与对照无显著差异 ($P>0.05$),处理 III 和处理 IV 葡萄叶片表皮层、栅栏组织、海绵组织厚度显著增大 ($P<0.05$),栅栏组织/海绵组织比显著减小 ($P<0.05$)(表 2)。

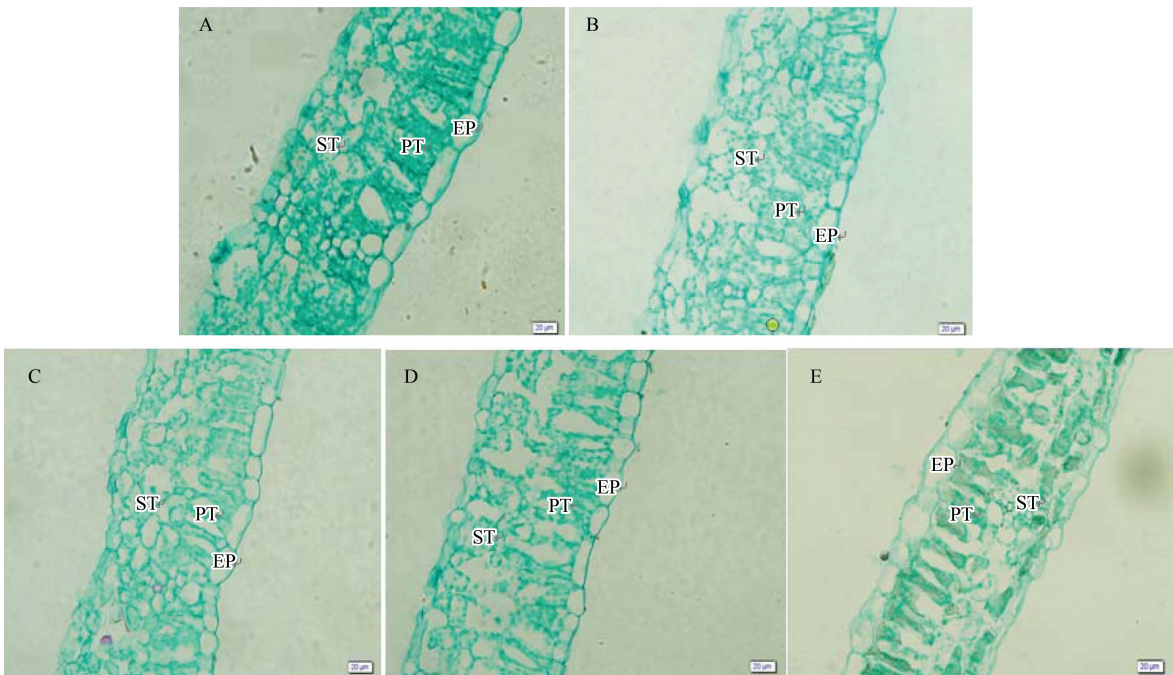


图 4 盐胁迫下‘鄞红’葡萄叶片横切面图

Fig.4 The cross-section of ‘Yinhong’ grape leaves under salt stress

A、B、C、D、E 分别为正常处理、0.2%NaCl 胁迫、0.4%NaCl 胁迫、0.6% NaCl 胁迫、0.8% NaCl 胁迫下‘鄞红’葡萄叶片横切面(标尺=20μm); EP:表皮细胞;PT:栅栏组织;ST:海绵组织

A, B, C, D, E show the cross-section of ‘Yinhong’ grape leaves under normal conditions, 0.2%NaCl stress, 0.4%NaCl stress, 0.6%NaCl stress, 0.8% NaCl stress (Bar=20μm); EP: Epidermal cell; PT: Palisade tissue; ST: Spongy tissue

表 2 盐胁迫下‘鄞红’葡萄叶片解剖结构变化

Table 2 Changes of anatomical structure of ‘Yinhong’ grape leaves under salt stress (n=15)

处理 Treatments	表皮厚度/μm Leaf skin thickness	栅栏组织厚度/μm Palisade tissue thickness	海绵组织厚度/μm Spongy tissue thickness	栅栏组织/海绵组织 Palisade tissue/Spongy tissue
CK	13.2±1.0c	30.2±1.3c	34.2±2.2c	0.93±0.04a
I	13.5±0.8c	30.5±1.6c	34.0±1.6c	0.92±0.06a
II	13.9±0.9bc	31.9±1.4bc	36.6±2.5bc	0.87±0.08b
III	14.6±1.2b	35.6±1.2b	43.3±1.8b	0.85±0.10bc
IV	16.4±1.1a	38.2±1.3a	51.6±2.3a	0.79±0.07c

同列不同字母表示差异显著(P<0.05)

2.6 盐胁迫对‘鄞红’葡萄葡萄叶片栅栏组织叶绿体超微结构的影响

正常情况下,葡萄栅栏组织细胞液泡膜完整,叶绿体呈扁平状,被液泡挤在细胞边缘,叶绿体基质片层和基粒片层与叶绿体长轴近似平行排列,基粒片层多,类囊体排列紧密而整齐,基质浓厚,内含淀粉粒与嗜银颗粒相对小且少(图 5A)。处理 I 与对照差异不显著(图 5B);处理 II 开始出现胁迫现象:叶绿体肿胀,内含淀粉粒和嗜银颗粒增多且变大(图 5C),但与对照差异不显著;随着盐浓度持续增大(处理 III 和处理 IV),胁迫显著:叶绿体明显肿胀变大,片层结构松散,基质稀薄,内含淀粉粒和嗜银颗粒显著增多且变大(图 5D、E)。

3 讨论

盐胁迫首先影响葡萄根系的生长,如葡萄生根率和生根数量^[15]。葡萄的耐盐能力种类和品种之间存在一定的差异^[16-17],本研究结果发现,‘鄞红’葡萄在 0.2%—0.4% 盐浓度范围内,其根系生长基本正常,由此表明该品种具有一定的耐盐性。

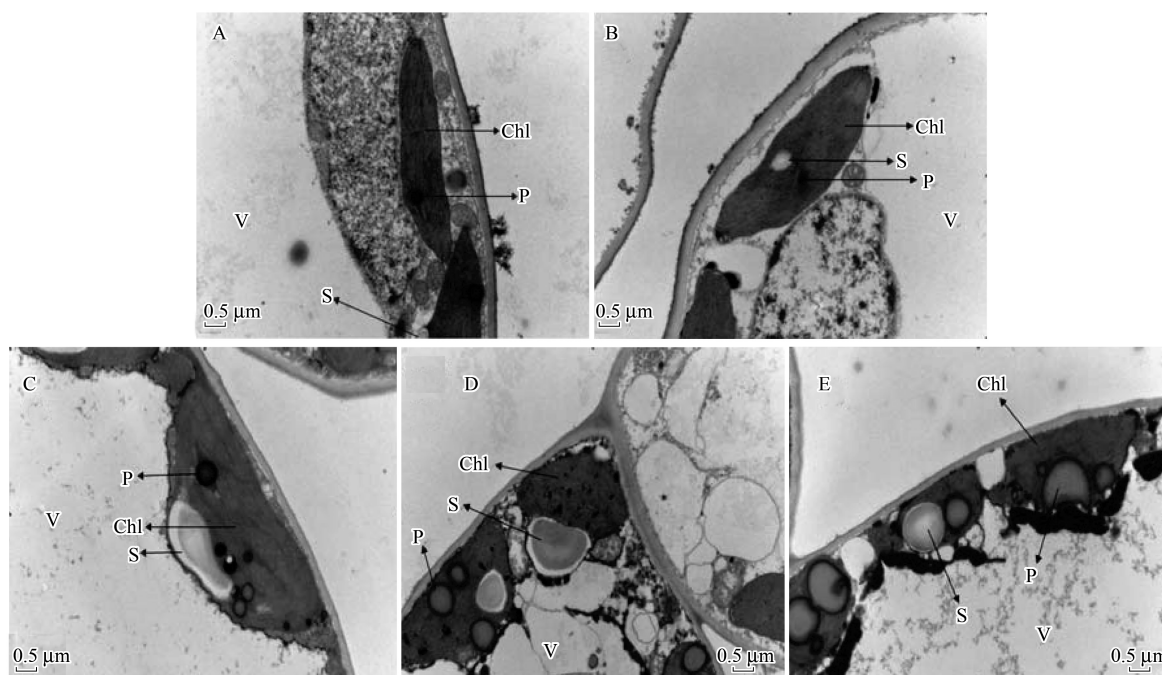


图5 盐胁迫对‘鄞红’葡萄叶片栅栏组织叶绿体超微结构的影响($\times 20000$)

Fig.5 Effects of salt stress on ultrastructure in palisade tissue chloroplast of ‘Yinhong’ grape leaves ($\times 20000$)

A、B、C、D、E 分别为正常处理、0.2%NaCl 胁迫、0.4%NaCl 胁迫、0.6%NaCl 胁迫、0.8%NaCl 胁迫下‘鄞红’葡萄叶片栅栏组织细胞叶绿体超微结构(标尺 = $0.5\mu\text{m}$)；Chl:叶绿体；V:液泡；S:淀粉粒；P:嗜锖颗粒

A、B、C、D、E show cell ultrastructure in palisade tissue of ‘Yinhong’ grape leaf under normal conditions, 0.2%NaCl stress, 0.4% NaCl stress, 0.6% NaCl stress, 0.8%NaCl stress (Bar= $0.5\mu\text{m}$)；Chl: chloroplast；V: vacuole；S: starch grain；P: plastoglobules

叶片是植物光合作用的器官,而叶绿体作为植物进行光合作用的场所,其结构的有序性和完整性决定了其光合生产能力的大小,完整的叶绿体结构是保证植物进行正常光合的前提,如果受到盐胁迫的伤害,就会导致叶绿体膜系统的紊乱和破坏,所以叶绿体是植物细胞中对盐分最敏感的细胞器^[14]。秦玲等^[18]发现高盐胁迫下叶片组织显微、叶绿体超微结构发生了显著变化。在本研究中,低盐胁迫下($\text{NaCl} \leq 0.4\%$),叶片组织显微、栅栏组织中叶绿体超微结构基本正常,表明‘鄞红’葡萄具有一定的耐盐性;而高盐胁迫下($\text{NaCl} > 0.4\%$),叶片组织显微、叶绿体超微结构发生显著变化,且随着盐浓度增加,胁迫越显著,可能是由于受到盐胁迫后,细胞的渗透压发生改变导致叶绿体膜系统的紊乱和破坏而造成叶绿体分解。另外,淀粉粒的变化可能是由于叶绿体结构受到破坏,光合作用合成的糖类无法输出或输出量降低而迅速转化成淀粉,导致淀粉在叶绿体中大量累积形成淀粉粒;而嗜锖颗粒的变化可能是由于叶绿体类囊体膜降解导致脂质类物质在叶绿体或液泡中大量聚集。

植物叶片叶绿素含量是衡量植物抗逆性的重要生理指标之一^[19]。大部分植物在盐胁迫下叶绿素含量降低^[20-22],一方面可能是叶绿体色素合成酶活性降低,叶绿素合成受阻而造成;另一方面也可能是盐胁迫引起了叶绿体功能的紊乱,或加速了叶绿素的分解和叶绿体形态结构的受损使植物叶片内含量减少^[22]。本研究发现,低盐胁迫下($\text{NaCl} \leq 0.4\%$),叶绿素含量无显著变化,表明‘鄞红’葡萄具有一定的耐盐性;而高盐胁迫下($\text{NaCl} > 0.4\%$)叶绿素含量显著下降,可能是由于叶绿体结构受损引起。

净光合速率是植株光合系统正常与否的指标^[23],而气孔对环境变化的协同响应是植物在盐胁迫条件下叶片净光合速率变化的主导因子^[22,24]。本研究发现,叶片净光合速率和气孔导度之间均存在高度的线性相关,而且随着盐浓度的增大, G_s 、 P_n 及 T_r 皆显著降低,表明盐胁迫下气孔限制是导致葡萄净光合速率降低的主要原因之一,这与前人研究高粱的结果一致^[5]。另外,在胁迫后期(胁迫后 30d 和 45d 时) C_i 有所升高,表明在胁迫后期,非气孔限制占了主导因素,这可能是随着胁迫加重,叶肉细胞受到损伤,叶绿体结构破坏等原

因造成的。

叶绿素荧光与光合作用效率密切相关,任何环境因素对光合作用的影响都可通过叶绿素荧光反映出来^[25]。 F_v/F_o 代表 PS II 的潜在活性; F_v/F_m 代表 PS II 的最大光化学效率,反映了当所有的光系统域(PS II)反应中心均处于开放态时的量子产量,可直接作为原初光化学效率的指标^[26]; ETR 代表光化学电子传递效率; qP 代表光化学猝灭系数,反映 PS II 天线色素捕获光能用于光化学电子传递的份额^[27]; qN 代表非光学猝灭系数,反映 PS II 天线色素吸收的光能以热能的形式耗散掉的部分^[21]。本研究发现,随着盐浓度的增加, F_v/F_o 、 F_v/F_m 、 ETR 和 qP 值降低,表明高盐胁迫($NaCl>0.4\%$)使 PS II 潜在活性中心受损,光化学电子传递效率和光能利用率降低,光反应受到抑制;而 qN 值显著升高,表明 PS II 天线色素吸收的光能以热能形式耗散掉的部分增加,而以用于光化学电子传递的份额减少,这与 qP 下降相吻合。由此表明,盐胁迫对葡萄幼苗的叶绿素荧光参数存在较大影响,这与其解剖结构、叶绿素含量、净光合速率的变化结果相吻合,进一步证实‘鄞红’葡萄有一定的耐盐性。

4 结论

综合以上研究结果发现,低浓度盐分($NaCl\leq 0.4\%$)处理下‘鄞红’葡萄生长基本正常,其叶片叶绿素含量、气体交换参数、叶绿素荧光参数、细胞组织显微和栅栏组织叶绿体超微结构均与对照差异不显著,高浓度盐分($NaCl>0.4\%$)抑制其生长,叶绿素含量、气体交换参数、叶绿素荧光参数、叶片细胞组织显微和栅栏组织叶绿体超微结构均发生了显著变化,表明‘鄞红’葡萄具有一定的耐盐性。

参考文献 (References):

- [1] Verma S K, Singh S K, Krishna H. The effect of certain rootstocks on the grape cultivar ‘Pusa Urvashi’ (*Vitis vinifera* L.). International Journal of Fruit Science, 2010, 10(1): 16-28.
- [2] Mehanna H T, Fayed T A, Rashedy A A. Response of two grapevine rootstocks to some salt tolerance treatments under saline water conditions. Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants, 2010, 2(2): 93-106.
- [3] Negrão S, Courtois B, Ahmadi N, Abreu I, Saibo N, Oliveira M M. Recent updates on salinity stress in rice: from physiological to molecular responses. Plant Sciences, 2011, 30(4): 329-377.
- [4] 徐晨, 凌风楼, 徐克章, 武志海, 刘晓龙, 安久海, 赵兰坡. 盐胁迫对不同水稻品种光合特性和生理生化特性的影响. 中国水稻科学, 2013, 27(3): 280-286.
- [5] 王鑫, 李志强, 谷卫彬, 石雷, 唐宇丹, 高辉远, 赵世杰, 姜闯道. 盐胁迫下高粱新生叶片结构和光合特性的系统调控. 作物学报, 2010, 36(11): 1941-1949.
- [6] 孙璐, 周宇飞, 李丰先, 肖木辑, 陶冶, 许文娟, 黄瑞冬. 盐胁迫对高粱幼苗光合作用和荧光特性的影响. 中国农业科学, 2012, 45(16): 3265-3272.
- [7] 任丽丽, 任春明, 张伟伟, 马波, 高辉远. 短期 $NaCl$ 胁迫对野生大豆和栽培大豆叶片光合作用的影响. 大豆科学, 2009, 28(2): 239-242.
- [8] 薛忠财, 高辉远, 柳洁. 野生大豆和栽培大豆光合机构对 $NaCl$ 胁迫的不同响应. 生态学报, 2011, 31(11): 3101-3109.
- [9] 房玉林, 惠竹梅, 高邦牢, 何建林, 陈洁. 盐胁迫下葡萄光合特性的研究. 土壤学报, 2006, 37(5): 881-884.
- [10] 樊秀彩, 张亚冰, 刘崇怀, 潘兴, 郭景南, 李民, 王姣. $NaCl$ 盐胁迫对葡萄幼苗叶片有机渗透调节物质和膜脂过氧化的影响. 果树学报, 2007, 24(6): 765-769.
- [11] 李会云, 郭修武. 盐胁迫对葡萄砧木叶片保护酶活性和丙二醛含量的影响. 果树学报, 2008, 25(2): 240-243.
- [12] 睦晓蕾, 毛胜利, 王立浩, 李伟, 张宝玺, 张振贤. 辣椒幼苗叶片解剖特征及光合特性对弱光的响应. 园艺学报, 2009, 36(2): 195-208.
- [13] 孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 李淑艳, 王彦杰. $NaCl$ 和 Na_2SO_4 盐胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构. 生态学报, 2011, 31(3): 0734-0741.
- [14] Yamane K, Kawasaki M, Taniguchi M, Miyake H. Correlation between chloroplast ultrastructure and chlorophyll fluorescence characteristics in the leaves of rice (*Oryza sativa* L.) grown under salinity. Plant Production Science, 2008, 11(1): 139-145.
- [15] 赵秀梅, 张剑侠, 王跃进. 葡萄组培苗耐盐性研究. 果树学报, 2005, 22(3): 202-206.

- [16] Troncoso de Troncoso A, Matte C, Cantos M, Lavee S. Evaluation of salt tolerance of in vitro-grown grapevine rootstock varieties. *Vitis*, 1999, 38 (2): 55-60.
- [17] 樊秀彩, 刘崇怀, 潘兴, 郭景南, 李民. 水培条件下葡萄砧木对氯化钠的耐性鉴定. *果树学报*, 2004, 21(2): 128-131.
- [18] 秦玲, 康文怀, 齐艳玲, 蔡爱军. 盐胁迫对酿酒葡萄叶片细胞结构及光合特性的影响. *中国农业科学*, 2012, 45(20): 4233-4241.
- [19] Ben-asher J, Tsuyuki I, Bravdo B A, Sagih M. Irrigation of grapevines with saline water: I. Leaf area index, stomatal conductance, transpiration and photosynthesis. *Agricultural Water Management*, 2006, 83(1/2): 13-21.
- [20] 于立杰, 梁春莉, 勾小平. 红提和夕阳红葡萄的抗盐性测定. *贵州农业科学*, 2012, 40(2): 139-141.
- [21] 杨淑萍, 危常州, 梁永超. 盐胁迫对不同基因型海岛棉光合作用及荧光特性的影响. *中国农业科学*, 2010, 43(8): 1585-1593.
- [22] 李旭新, 刘炳响, 郭智涛, 常越霞, 贺磊, 陈芳, 路丙社. NaCl 胁迫下黄连木叶片光合特性及快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的变化. *应用生态学报*, 2013, 24(9): 2479-2484.
- [23] Cha-Um S, Supaibulwattana K, Kirdmanee C. Comparative effects of salt stress and extreme pH stress combined on glycinebetaine accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of two rice genotypes. *Rice Science*, 2009, 16(4): 274-282.
- [24] Hatami E, Esna-ashari M, Javadi T. Effect of salinity on some gas exchange characteristics of grape (*Vitis vinifera*) cultivars. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2010, 12: 308-310.
- [25] 张振兴, 孙锦, 郭世荣, 童辉. 钙对盐胁迫下西瓜光合特性和果实品质的影响. *园艺学报*, 2011, 38(10): 1929-1938.
- [26] 秦红艳, 沈育杰, 艾军, 李昌禹, 王振兴, 杨义明, 范书田. 盐胁迫对不同葡萄品种叶片中叶绿素荧光参数的影响. *中外葡萄与葡萄酒*, 2010, (5): 35-38.
- [27] 秦红艳, 艾军, 许培磊, 王振兴, 赵滢, 杨义明, 范书田, 沈育杰. 盐胁迫对山葡萄叶绿素荧光参数及超微结构的影响. *西北植物学报*, 2013, 33(6): 1159-1164.