



盐碱胁迫对山葡萄光合特性及生长发育的影响

王振兴,吕海燕,秦红艳,赵滢,刘迎雪,
艾军*,曹建冉,杨义明,沈育杰

(中国农业科学院特产研究所,长春 130112)

摘要:以棚内盆栽山葡萄品种‘双优’(抗逆性弱)和‘左山一’(抗逆性强)扦插苗为材料,利用气体交换分析和叶绿素荧光诱导动力学分析手段,研究了轻度、中度和重度盐碱胁迫对不同抗逆性山葡萄品种的光合特性及PSⅡ活性以及生长发育的影响,为山葡萄耐盐碱品种的评价提供理论依据。结果显示:(1)‘双优’各胁迫程度下的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和重度胁迫下的蒸腾速率(T_r)显著低于对照,而‘左山一’重度胁迫下的 P_n 和 T_r 、中重度胁迫下的 G_s 、各胁迫程度下的胞间二氧化碳浓度(C_i)显著低于对照,净光合速率下降主要归因于气孔限制和非气孔限制。(2)轻度、中度盐碱胁迫‘双优’叶片单位反应中心吸收的光能(ABS/RS)、单位面积内有活性反应中心数目(RS/CS)和吸收光能为基础的性能指数(PI_{ABS}),以及重度盐碱胁迫下‘左山一’的ABS/RS、RS/CS、用于电子传递的光能(ET_o/CS)均显著低于相对照,其余均无显著变化。(3)2品种山葡萄植株茎流率及株高、叶片数和根系生物量等生长指标在不同盐碱胁迫水平下均比对照显著降低,并以‘双优’品种降低幅度更大。研究表明,盐碱胁迫对山葡萄‘左山一’的叶片净光合速率、PSⅡ光能吸收和传递效率以及生长的抑制作用均小于‘双优’,‘左山一’的耐盐碱性更强。

关键词:山葡萄;光合作用;JIP test;盐碱胁迫

中图分类号:Q945.79

文献标志码:A

Photosynthetic Characteristics and Growth Development of Amur Grape (*Vitis amurensis* Rupr.) under Saline-Alkali Stress

WANG Zhenxing, LÜ Haiyan, QIN Hongyan, ZHAO Ying, LIU Yingxue,
AI Jun*, CAO Jianran, Yang Yiming, SHEN Yujie

(Institute of Special Wild Economic Animal and Plant Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130112, China)

Abstract: Cutting seedlings of amur grape (*V. amurensis* Rupr.) cultivars ‘Shuangyou’ (weak resistance) and ‘Zuoshanyi’ (strong resistance) were grown in plastic pots in shelter greenhouse. The effects of different saline-alkali stress levels (light stress, moderate stress and severe stress) on photosynthetic characteristics and activities of photosystem Ⅱ (PS Ⅱ) in amur grape were studied using gas exchange and chlorophyll fluorescence induction dynamics analysis technology, and we surveyed their growth development.

收稿日期:2016-08-15;修改稿收到日期:2017-01-08

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(nycytx-30-01);农业部作物种质资源保护项目(NB 2016-2130135-36);吉林省科技发展计划(20140101152JC)

作者简介:王振兴(1982—),男,在读博士研究生,主要从事果树生理研究。E-mail: zhenxinghd@aliyun.com

*通信作者:艾军,博士,研究员,主要从事果树生理生化研究。E-mail: aijun1005@163.com

The results showed: (1) the net photosynthetic rate (P_n) and stomatal conductance (G_s) decreased significantly in lightly, moderately and severely stressed for ‘Shuangyou’ seedlings compared to control plants, but the transpiration rate (T_r) decreased significantly only under severe stress treatment. For ‘Zuoshanyi’ seedlings, P_n and T_r decreased significantly only under severe stress treatment, G_s decreased significantly under moderate and severe stress treatments, and intercellular CO_2 concentration (C_i) decreased significantly under different stress treatments. The reduction of P_n was mainly caused by stomatal limitation and non-stomatal limitation. (2) The specific energy fluxes for absorption (ABS/RS), the density of QA^- reducing PS II reaction centers per cross section (RS/CS) and performance index (PI_{ABS}) decreased significantly in lightly and moderately stressed for ‘Shuangyou’ seedlings compared to control plants. For ‘Zuoshanyi’ seedlings, ABS/RS, RS/CS and the specific energy fluxes for electron transport (ET_o/CS) decreased significantly only under severe stress treatment, other parameters under different stress treatments were similar to control plants. (3) Sap flow rate, plant height, leaf number and root biomass had significant decrease under different treatments, and decrease rate of ‘Shuangyou’ was higher. In conclusion, for ‘Zuoshanyi’ seedlings, saline-alkali stress has relatively little effect on P_n , light energy absorption, electron transport efficacy and growth compared to ‘Zuoshanyi’, so ‘Zuoshanyi’ cultivar was more resistant to saline-alkali than ‘Shuangyou’. For evaluation and detection of saline-alkali tolerance in amur grape, we not only need to evaluate some physiological parameters such as photosynthetic function, but also to evaluate comprehensive growth indexes.

Key words: *Vitis amurensis* Rupr.; photosynthesis; JIP test; saline-alkali stress

土壤盐碱化是影响世界农业生产最主要的非生物胁迫之一,已成为限制农作物生长的一个主要因素^[1]。中国松嫩平原西部有大面积的盐碱地,是世界三大苏打盐碱地集中分布区之一^[2]。由于区域内独特的地貌条件、气候条件、成土母质组成、地下水位及其含盐量等因素作用,尤其是近几十年人为因素的干扰,盐碱地面积增加,盐碱化程度加剧,重度盐碱化土地以每年1.4%的速度扩展,生态环境恶化,成为制约区域农业发展的重要因素^[3]。以吉林省大安市为例,盐碱化土地面积约占土地面积的59.0%,其中重度盐碱化土地占盐碱化土地的74.1%^[4]。盐碱地作为潜在耕地的重要后备资源,存在巨大的开发潜力,充分利用盐碱化边际性土地种植经济作物,对于提高边际土壤的利用效率、发展农村区域经济和提高农民收入等都具有重要意义。

光合作用是植物最重要的生理过程之一,盐碱胁迫条件下,光合功能的强弱直接影响植物的生长发育,是评价植物耐盐碱能力的重要生理指标。前人研究表明土壤盐碱胁迫主要由3种胁迫因子组成:渗透胁迫、离子胁迫以及高pH引起的盐碱胁迫^[5],最终导致植物细胞结构破坏。长时间高浓度盐碱胁迫会抑制光合电子传递和气孔开度,降低碳同化关键酶活性,致使光合机构发生不可逆伤害^[6-7]。进一步的研究也证实,当强光与盐碱胁迫互作用时,会导致光系统II(PS II)迅速失活,进而发生光抑制及光破坏,严重的甚至会致使植株

死亡^[8]。

山葡萄(*Vitis amurensis* Rupr.)是葡萄科(Vitaceae)葡萄属(*Vitis*)多年生落叶藤本浆果类经济作物,主要分布于中国东北、俄罗斯远东地区及朝鲜半岛。山葡萄是优良酿酒原料,可以酿造干红酒、利口酒及冰酒等,其酒为宝石红色,鲜艳透明,风味独特,营养丰富,深受国内外广大消费者的欢迎^[9-10]。吉林省西部地区,日照充足,降水量少,昼夜温差比较大,有利于山葡萄糖分的积累,能够大大改善葡萄酒的品质^[11]。然而,由于吉林西部土壤盐碱程度较为严重,对开发利用山葡萄自然资源十分不利,需要选育耐盐碱的山葡萄品种。但是目前对山葡萄种质资源耐盐碱的机制了解非常有限,而且山葡萄耐盐碱性缺少有效检测和评价方法。前人虽然研究了“山欧杂种”葡萄与山葡萄在盐碱胁迫下光合特性,然而基于研究手段的限制,并未阐明盐碱胁迫对山葡萄叶片光系统活性的影响,也未对山葡萄种内品种进行耐盐碱评价^[12-13]。基于此,本研究探讨了盐碱胁迫程度对2种抗逆性不同山葡萄品种光合作用参数、光系统II活性及生长指标的影响,以期为山葡萄耐盐碱科学评价提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

实验于2015年在中国农业科学院特产研究所国家葡萄体系左家试验站避雨大棚内进行,盆栽基

质由山葡萄基地土壤与中国大安盐碱地生态试验站的重度苏打盐碱土按一定比例混配而成,选取山葡萄(*Vitis amurensis* Rupr.)品种中抗逆性较好的‘左山一’和抗逆性较差的‘双优’扦插苗为试材。4月中旬将‘双优’和‘左山一’扦插苗栽植于高23 cm,盆口直径32 cm,盆底直径18 cm的塑料花盆中,在前期预实验的基础上,按盐碱土:腐殖土0:10(对照,CK)、0.1:9.9(轻度盐碱胁迫,LS)、0.4:9.6(中度盐碱胁迫,MS)、0.8:9.2(重度盐碱胁迫,SS)质量比进行混合,每盆基质10.5 kg,栽植扦插苗2株,每处理重复6次,每处理共12株山葡萄。肥水管理参照山葡萄基地大田管理方法。选择晴朗天气,于7月10日上午9时,开展茎流率、气体交换参数及荧光参数等项目的测定。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 茎流率 采用植物生理生态测定系统(PTM-48M, Cyprus)测定了‘双红’和‘左山一’不同盐碱处理的茎流率,使用适用于直径为4~10 mm茎的感应器SF-5P。感应器安装在距基质20 cm的茎上,传感器外包裹2~3层铝箔以防止外界热源的影响,测定时同一处理选择3株山葡萄,重复3次。

1.2.2 气体交换参数 净光合速率(P_n)、细胞间隙二氧化碳浓度(C_i)、气孔导度(G_s)以及蒸腾速率(T_r)采用便携式光合仪(CIRAS-2, USA)于晴天上午进行测定,选取第5~6节位(从顶部幼叶起从上往下数)功能叶进行测定。光源为LED,光合有效辐射(PAR)为1 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, CO_2 浓度为360 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,相对湿度为70%,气体流速为196 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$,测定时同一处理选择4株山葡萄,每株山葡萄测定1片叶,同一处理测定4片叶(重复4次)。

1.2.3 叶绿素荧光参数 选取第5~6节位(从顶部幼叶起从上往下数)功能叶,于晴天上午利用植物效率仪(Pocket-PEA, UK)进行快速荧光诱导动力学曲线的测定。测定时先用暗适应夹夹住叶片,暗适应20 min,测定时同一处理选择9株山葡萄,重复9次。然后根据Strasser等^[14-15]和李鹏民等^[16]的JIP-test方法,对获得的OJIP荧光诱导动力学曲线进行分析。主要得到以下参数:

$$\text{最大光化学效率: } F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m;$$

$$\text{单位反应中心吸收的能量: } ABS/RC = M_o(1/V_J) \cdot (1/\varphi_{po});$$

$$\text{单位面积有活性的反应中心的数目: } RC/CS =$$

$$\varphi_{po} \cdot (V_J/M_o) \cdot (ABS/CS);$$

$$\text{用于电子传递的能量: } ET_o/CS_o = [1 - (F_o/F_m)] \cdot \varphi_o \cdot (ABS/CS_o);$$

$$\text{以吸收光能为基础的光化学性能指数: } PI_{ABS} = (RC/ABS)[\varphi_{po}/(1 - \varphi_{po})][\varphi_o/(1 - \varphi_o)].$$

1.2.4 生长指标 测定株高、植株叶片总数及根鲜重等生长指标时同一处理选择3株山葡萄,每个指标重复3次。株高的测定方法为土表以上当年生新稍基部到稍顶端的长度。植株叶片总数为从当年生新稍基部第一片叶开始,到稍顶端最后一片叶的叶片数总和。根鲜重的测定方法是将扦插苗土表以下所有根取出后,清洗干净,用滤纸将根表面水吸干后称重。

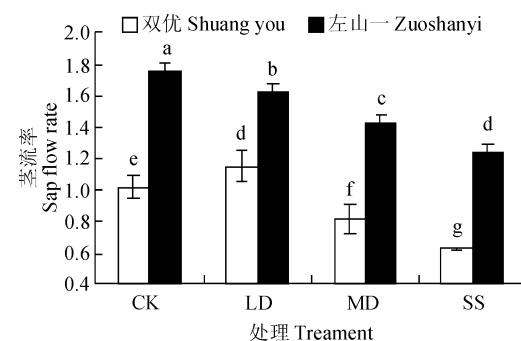
1.3 数据分析

测定的数据采用Excel 2010和SAS 6.0进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫对山葡萄茎流率的影响

茎流率能够反映盐碱胁迫对山葡萄植株水分状况的影响。图1显示,随着盐碱胁迫程度的加重,‘双优’植株茎流率呈现先升高后降低的趋势,而‘左山一’植株茎流率则呈现逐渐降低的趋势。在相同处理下,两品种间茎流率均差异显著,且‘左山一’的茎流率始终显著高于‘双优’,在对照、轻度、中度和重度盐碱胁迫下分别较‘双优’显著提高了74.2%、39.7%、74.1%和98.4%。这些结果说明经不同程



CK, LS, MS, SS 分别表示对照、轻度、中度和重度盐碱胁迫处理;不同小写字母表示不同品种不同处理间存在显著差异($P < 0.05$)

图1 盐碱胁迫下不同品种山葡萄植株茎流率的变化
CK, LS, MS and SS stand for control, light, moderate and severe saline-alkali stress, respectively; The different normal letters indicate significant difference among treatments and cultivars at 0.05 level

Fig. 1 The sap flow in stem of different amur grape cultivars under saline-alkali stress

表1 盐碱胁迫对不同品种山葡萄净光合速率,气孔导度,胞间CO₂浓度和蒸腾速率的影响

Table 1 Effects of saline-alkali stress on net photosynthetic rate, stomatal conductance, intercellular CO₂ concentration and transpiration rate in leaves of different amur grape cultivars

品种 Cultivar	处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate(P_n)/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 Stomatal conductance(G_s)/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间CO ₂ 浓度 Intercellular CO ₂ concentration (C_i)/($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate(T_r)/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
双优 Shuangyou	CK	10.5±1.6a	197.5±72.7a	240.8±13.6ab	1.4±0.3a
	LS	7.7±2.7b	92.3±33.9b	200.3±19.2b	1.2±0.4ab
	MS	2.2±0.5c	41.8±25.6b	243.0±42.7a	0.9±0.6 ab
	SS	4.2±1.6c	49.8±22.4b	206.0±10.2b	0.6±0.2b
左山一 Zuoshanyi	CK	11.0±2.0a	328.8±79.4a	290.8±14.7a	1.7±0.2b
	LS	10.6±1.4a	262.8±54.9ab	235.0±11.9b	2.8±0.7a
	MS	11.0±2.4a	194.7±42.0b	239.3±8.2b	1.6±0.2bc
	SS	4.9±0.9b	48.0±10.6c	174.5±30.5c	0.9±0.5c

注:不同小写字母表示同一品种不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同

Note: The different normal letters within the same cultivar indicate significant difference among treatments at 0.05 level. The same as below
度盐碱胁迫后,山葡萄品种‘左山一’比‘双优’具有
更强的水分利用能力,表现出更强的耐盐碱性。

2.2 盐碱胁迫对山葡萄叶片气体交换参数的影响

表1显示,随着土壤盐碱胁迫的加重,两个品种的山葡萄叶片的净光合速率(P_n)变化趋势和幅度均不同;与对照相比,‘双优’叶片 P_n 在轻度(LS)、中度(MS)和重度(SS)盐碱胁迫下分别显著下降了27.1%、79.5%、59.8%,‘左山一’叶片 P_n 则仅在SS下才显著降低了55.5%,在LS和MS下无显著变化;‘左山一’叶片 P_n 在LS和MS下均显著高于‘双优’。‘双优’的胞间CO₂浓度(C_i)在LS和SS分别比对照显著下降了16.8%和14.4%,而在MS下稍高于对照;‘左山一’的 C_i 在LS、MS和SS下分别比对照显著下降了19.0%、17.7%和39.9%。同时,2个品种叶片的气孔导度(G_s)随盐碱胁迫加重而逐渐显著降低,‘双优’在LS、MS和SS下较对照分别降低了53.3%、78.8%和74.8%,‘左山一’分别降低了19.9%、40.9%和85.4%。另外,‘双优’叶片的蒸腾速率(T_r)随着盐碱胁迫加重而逐渐降低,而‘左山一’则先升高后降低,但两品种仅在SS下显著低于对照(表1)。可见,山葡萄品种‘左山一’的净光合速率仅在重度盐碱胁迫下显著下降,而品种‘双优’则在轻度盐碱胁迫下已显著下降,‘左山一’比‘双优’具有更强的抗盐碱性。

2.3 盐碱胁迫对山葡萄叶片PSⅡ能量分配的影响

依据JIP-test分析得到的叶绿素荧光诱导动力学曲线参数(表2)表明,2个山葡萄品种的最大光化学效率(F_v/F_m)在不同盐碱胁迫程度下均没有显著

变化,其他荧光参数在轻度胁迫(LS)下也均无显著变化,而在中度(MS)和重度(SS)胁迫下与对照相比品种间表现不同。其中,在中度和重度胁迫下,‘双优’叶片的单位反应中心吸收的光能(ABS/RS)比对照分别显著上升了16.5%和34.5%,单位面积内有活性反应中心数目(RS/CS)分别降低了13.4%和21.4%,用于电子传递的光能(ET_{\circ}/CS)均无显著变化,吸收光能为基础的性能指数(PI_{ABS})分别显著下降了28.6%和33.4%;而‘左山一’叶片上述各荧光参数在中度胁迫下也与对照无显著差异,其 ABS/RS 在重度胁迫下较对照显著上升了25.4%,而其 RS/CS 、 ET_{\circ}/CS 和 PI_{ABS} 在重度胁迫下则分别显著降低了18.3%、16.4%和37.5%。以上结果表明,2个品种山葡萄叶片各荧光参数在轻度盐碱胁迫下均无显著变化,‘左山一’品种甚至在中度胁迫下也无显著变化,中度盐碱胁迫对‘左山一’,PSⅡ光能吸收和传递效率的影响要小于对‘双优’,‘左山一’表现出较强的耐盐碱性。

2.4 盐碱胁迫对山葡萄生长的影响

表3显示,2品种山葡萄株高、叶片数目和根鲜重均随着盐碱胁迫程度的增加而逐渐显著降低,但品种‘左山一’在相同胁迫水平下均高于品种‘双优’,且降低的幅度也较小,如在中度干旱胁迫下,‘左山一’的株高、叶片数目和根鲜重分别比对照显著降低了30.7%、41.9%、57.3%,‘双优’则相应地分别显著降低了55.5%、53.6%、67.2%。可见,盐碱胁迫对不同抗性品种山葡萄植株地上部和地下部的生长均有显著抑制,且对品种‘双优’和地下部生长抑

表2 不同盐碱胁迫对不同品种山葡萄叶片PSII活性和PSII光能吸收和传递的影响

Table 2 Effects of saline-alkali stress on the activity of PSII and the absorption and transfer of light energy in leaves of different amur grape cultivars

品种 Cultivar	处理 Treatment	最大光化学效率 The maximal efficiency of PSII photochemistry (F_v/F_m)	单位反应中心吸收的光能 The relative activities in absorption flux per reaction center (ABS/RC)	单位面积内有活性的反应中心数目 Density of QA ⁻ reducing PSII reaction centers (RS/CS)	单位面积内用于电子传递的光能 Absorption flux per CS(ET _o /CS)	以收光能为基础的性能指数 Performance index (PI _{ABS})
双优 Shuangyou	CK	0.8±0.0a	1.1±0.1a	329±13a	181.7±4.2a	6.1±0.8a
	LS	0.8±0.0a	1.1±0.1a	329±27a	177.0±12.2a	6.2±1.6a
	MS	0.8±0.0a	1.3±0.2b	285±29b	163.2±6.4a	4.4±1.3b
	SS	0.8±0.0a	1.5±0.2c	259±31b	182.4±16.8a	4.3±1.5b
左山一 Zuoshanyi	CK	0.8±0.0a	1.2±0.2a	325±27a	185.1±11.9a	6.2±2.1ab
	LS	0.8±0.0a	1.1±0.1a	327±12a	176.0±5.9ab	7.4±3.5a
	MS	0.8±0.0a	1.2±0.1a	307±27a	176.0±6.0ab	5.6±1.3ab
	SS	0.8±0.0a	1.5±0.3b	272±38b	173.0±11.1b	3.9±1.8b

表3 不同盐碱胁迫对不同品种山葡萄生长指标的影响

Table 3 Effects of saline-alkali stress on growth indexes in leaves of different amur grape cultivars

品种 Cultivar	处理 Treatment	株高 Plant height/cm	叶片数 Leaf number	根鲜重 Root fresh weight/g
双优 Shuangyou	CK	222.0±13.7a	28.0±3.0a	333.1±17.9a
	LS	185.7±8.6b	22.0±1.0b	213.7±13.7b
	MS	98.7±3.5c	13.0±1.0c	109.3±15.0c
	SS	16.0±7.2d	5.0±1.0d	27.7±5.5d
左山一 Zuoshanyi	CK	250.0±10.4a	31.0±3.0a	315.3±23.0a
	LS	233.7±6.7a	21.0±2.0b	252.6±27.2b
	MS	173.3±10.0b	18.0±1.0c	134.7±18.6c
	SS	32.7±7.4c	6.0±1.0d	40.0±10.8d

制更严重,品种‘左山一’在盐碱胁迫条件下的生物量积累优于品种‘双优’,具有比‘双优’更强的耐盐碱性。

3 讨 论

本研究结果表明,‘左山一’品种在轻度及中度胁迫下保持了比‘双优’品种更高的净光合速率,同时,‘左山一’叶片在轻度及中度盐碱胁迫下单位反应中心吸收的光能(ABS/RC)、单位面积内有活性反应中心密度(RC/CS)、单位面积内用于电子传递能力(ET/CS)及以吸收光能为基础的性能指数(PI_{ABS})均与对照无显著差异。这些结果同以往在盐胁迫及干旱胁迫研究中所得出的结论一致,即‘左山一’较‘双优’具有更强的抗逆性^[17]。在重度胁迫条件下,尽管气孔导度及胞间隙CO₂浓度的急剧下降,造成净光合速率较对照显著降低,但气孔导度的

下降程度远高于胞间隙CO₂浓度的下降程度,因此山葡萄净光合速率降低的原因可能是由于长时间高浓度盐碱胁迫抑制了气孔开度、光合电子传递、碳同化关键酶活性^[18],这点从气孔导度和胞间隙CO₂浓度同步下降、光能吸收和电子传递效率的显著降低等结果中得到印证,是气孔及非气孔因素共同作用的结果。

许多研究表明,干旱、盐碱等逆境胁迫会抑制植物PSII活性,严重的会产生光破坏,导致植物整株死亡。大量研究认为叶绿素荧光参数能有效地对逆境胁迫进行检测和评价^[18-20]。然而本研究结果表明,2品种叶片的光合作用气体交换参数和叶绿素荧光参数在不同盐碱胁迫水平下均表现出不同程度的不敏感性,这可能是由于盐碱胁迫条件下植物光合器官的光合作用过程产生了适应性^[21-23]。前人的研究显示,这种适应性主要表现为两个方面,一是

盐碱胁迫通过提高PSⅠ组分及其活性,进而耗散在PSⅡ积累的激发能,减轻PSⅡ的损伤程度^[21-22];二是盐碱胁迫还显著提高了叶黄素组分中玉米黄质的含量,有助于消耗过剩光能,防止了活性氧的大量积累^[23]。在本研究中,除重度盐碱胁迫外,山葡萄叶片PSⅡ活性在轻度和中度盐碱胁迫下均高于对照,可能也印证了上述结论。

从光合气体交换参数和叶绿素荧光参数的测定结果来看,尽管山葡萄抗性品种在轻度及中度盐碱胁迫下其光合器官的光合作用过程产生了一定的适应性,然而通过对茎流率及生物产量的测定发现,不

同抗性品种及同一品种不同胁迫程度下仍然存在显著差异,这说明尽管光合器官的光合作用过程对盐碱胁迫产生了适应性,其叶片单位面积维持了较高的光合性能,但不同程度的盐碱胁迫之所以会影响山葡萄的生长,主要由于盐碱胁迫后根的生物量、叶面积以及叶片数量均变少,致使植株根吸收养分能力变差、总光合面积减小,最终造成总的生物产量的降低。因此,山葡萄对盐碱胁迫的抗性评价,不仅需要从光合功能方面评价,还需要从株高及生物量积累等生长指标方面进行综合评价。

参考文献:

- [1] QADIR M, NOBLE A D, SCHUBERT S, et al. Sodicity-induced land degradation and its sustainable management: problems and prospects[J]. *Land Degradation and Development*, 2006, **17**: 661-676.
- [2] 吕丙盛. 水稻应对盐碱胁迫的生理及分子机制研究[D]. 长春: 中国科学院大学, 2014.
- [3] 李秀军, 李取生, 王志春, 等. 松嫩平原西部盐碱地特点及合理利用研究[J]. *农业现代化研究*, 2002, **23**(5): 361-364.
- LI X J, LI Q S, WANG Z C, et al. A research on characteristics and rational exploitation of soda saline land in the western songnen plain[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2002, **23**(5): 361-364.
- [4] 吕海燕. 盐碱胁迫对水稻根系形态特征及产量的影响[D]. 长春: 中国科学院大学, 2014.
- [5] 戴凌燕. 甜高粱苗期对苏打盐碱胁迫的适应性机制及差异基因表达分析[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- [6] MISHRA S K, SUBRAHMANYAM D, SINGHAL G S. Interaction between salt and light stress on the primary process of photosynthesis[J]. *Journal of Plant Physiology*, 1991, **138**: 92-96.
- [7] BELKHODJA R, MORALES F, ABADIA A, et al. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in barley (*Hordeum vulgare L.*) [J]. *Plant Physiology*, 1994, **104**: 667-673.
- [8] MELGAR J C, GUIDI L, REMORINI D, et al. Antioxidant defenses and oxidative damage in salt-treated olive plants under contrasting sunlight irradiance [J]. *Tree Physiology*, 2009, **29**(9): 1 187-1 198.
- [9] 沈育杰, 赵淑兰, 杨义明, 等. 我国山葡萄种质资源研究与利用现状[J]. *特产研究*, 2006, (3): 53-57.
- SHEN Y J, ZHAO S L, YANG Y M, et al. The research and utilization on Amur Grape (*V. Amurensis Rupr.*) germplasm resources in China [J]. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 2006, (3): 53-57.
- [10] 宋润刚, 艾军, 李晓红, 等. 中国山葡萄产业的发展及对策[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2009, **11**: 64-69.
- SONG R G, AI J, LI X H, et al. Development and countermeasure on Amur Grape (*V. Amurensis Rupr.*) industry in China [J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2009, **11**: 64-69.
- [11] 王连君, 冯玉才, 王铭. 盐碱胁迫对山葡萄生理特性的影响[J]. *吉林农业大学学报*, 2008, **30**(2): 157-160.
- WANG L J, FENG Y C, WANG M. Effect of saline-alkali stress on the physiological characteristics of *Vitis amurensis* [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2008, **30**(2): 157-160.
- [12] 王连君, 冯玉才, 王铭. 盐碱胁迫对山葡萄光合特性的影响[J]. *北方园艺*, 2008, **1**: 41-43.
- WANG L J, FENG Y C, WANG M. Effect of saline-alkali stress on photosynthesis characteristic of *Vitis Amurensis Rupr.* [J]. *Northern Horticulture*, 2008, **1**: 41-43.
- [13] 秦红艳, 艾军, 许培磊, 等. 盐胁迫对山葡萄叶绿素荧光参数及超微结构的影响[J]. *西北植物学报*, 2013, **33**(6): 1 159-1 164.
- QIN H Y, AI J, XU P L, et al. Chlorophyll fluorescence parameters and ultrastructure in Amur Grape (*Vitis Amurensis Rupr.*) under salt stress [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2013, **33**(6): 1 159-1 164.
- [14] STRASSER RJ, SRIVASTAVA A, TSIMILL-MICHAEL M. The Fluorescence Transient as a Tool to Characterize and Screen Photosynthetic Samples [M]. UK: Taylor and Fran-

- cis,2000;445-483.
- [15] STRASSER R J, TSIMILL-MICHAEL M, SRIVASTAVA A. Analysis of the Chlorophyll a Fluorescence Transient [M]. UK: Taylor and Francis,2004;1-47.
- [16] 李鹏民,高辉远,STRASSER RJ. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用[J]. 植物生理学与分子生物学学报,2005,31(6):559-566.
- LI P M, GAO H Y, STRASSER R J. Application of the chlorophyll fluorescence induction dynamics in photosynthesis study[J]. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2005, **31**(6): 559-566.
- [17] WANG Z X, CHEN L, AI J, et al. Photosynthesis and activity of photosystem II in response to drought stress in amur grape (*Vitis amurensis* Rupr.) [J]. *Photosynthetica*, 2012, **50**(2): 189-196.
- [18] 王 鑫,李志强,谷卫彬,等. 盐胁迫下高粱新生叶片结构和光合特性的系统调控[J]. 作物学报,2010,36(11):1 941-1 949.
- WANG X, LI Z Q, GU W B, et al. Systemic regulation of anatomic structure and photosynthetic characteristics of developing leaves in sorghum seedlings under salt stress[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, **36**(11): 1 941-1 949.
- [19] 陈 丽,王振兴,艾 军,等. 干旱胁迫对山葡萄左山二幼苗叶片光系统II活性的影响[J]. 果树学报,2011,28(6): 977-983.
- CHEN L, WANG Z X, AI J, et al. Effects of drought stress on activities of photosystems? in leaves of young plants of amur grape Zuoshan 2[J]. *Journal of Fruit Science*, 2011, **28**(6): 977-983.
- [20] CHRISTEN D, SCHONMANN S, JERMINI M, et al. Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to esca disease by *in situ* chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, **60**: 504-514.
- [21] WEN X G, QIU N W, LU Q T, et al. Enhanced thermotolerance of photosystem II in salt-adapted plants of the halophyte *Artemisia anethifolia*[J]. *Planta*, 2005, **220**: 486-497.
- [22] 朱新广,张其德. NaCl对光合作用影响的研究进展[J]. 生物物理学报,1999,15(4):789-791.
- ZHU X G, ZHANG Q D. Effects of NaCl stress on light utilization and dissipation of PS II [J]. *Acta Biophysica Sinica*, 1999, **15** (4): 789-791.
- [23] 张 娟,姜闯道,平吉成. 盐胁迫对植物光合作用影响的研究进展[J]. 农业科学,2008,29(3):74-80.
- ZHANG J, JIANG C D, PING J C. Research advances about the effect of salt stress on photosynthesis of plant[J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2008, **29**(3): 74-80.

(编辑:裴阿卫)