

# 盐碱胁迫对两个葡萄品种 光合作用-光响应特性的影响

王艳杰, 薛达元, 彭 羽

(中央民族大学 生命与环境科学学院, 北京 100081)

**摘 要:**在 3 种不同盐碱胁迫:低度、中度、重度盐碱胁迫条件下,分析了葡萄品种“克瑞森”和“青提”2 a 生叶片的光合作用-光响应特性、叶绿素含量及长势情况。结果表明:“克瑞森”、“青提”光合作用-光响应曲线符合非直角双曲线模型。盐碱胁迫没有降低 2 个葡萄品种的光合能力,而是增强其光合能力,表观量子效率 AQY 值的上升表明盐碱胁迫下 2 个葡萄品种对光的响应敏感性较强,对弱光的利用能力较高。净光合速率( $P_n$ )、暗呼吸速率( $R_d$ )、叶绿素含量及长势情况说明“青提”较“克瑞森”具有更强的盐碱适应性能力。同时,2 种葡萄在受到盐碱胁迫后其净光合速率的降低不是由于气孔的关闭引起  $CO_2$  供应不足造成的,而是受强光下光抑制的加强等非气孔限制因素的影响,包括叶肉阻力增大、羧化酶活性和 RuBP 再生速率降低等。

**关键词:**葡萄;“克瑞森”;“青提”;盐碱胁迫;光响应特性

**中图分类号:**S 663.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)16-0030-07

葡萄对多种土壤类型和气候条件有较强的适应性。葡萄的耐盐性(Salt-tolerance)是指葡萄植株对土壤盐渍环境的适应能力。葡萄属于对盐敏感的非盐生植物,但相对其它北方落叶果树而言,其耐盐极限度较大。葡萄耐盐能力依品种、砧木、树龄、生长期的不同而不同<sup>[1]</sup>。关于葡萄耐盐性研究,早在 20 世纪 60 年代以前就已开始,但主要集中在野生种和砧木品种方面研究,相关研究结果表明,葡萄的耐盐性较强。Gunning 指出葡萄、柑桔、枣等 19 种果树都能在盐碱

条件下生长<sup>[2]</sup>。W·拉夏埃尔指出<sup>[3]</sup>,葡萄是特别耐盐的果树。营口市对其滨海盐碱地区的栽培果树考察后,得出抗盐碱能力,葡萄>梨>苹果。霍丽云等<sup>[4]</sup>在盐对葡萄愈伤组织生理变化的影响中指出,耐盐细胞系对逆境的忍受能力远高于对照系。在葡萄砧木方面,刘三军等<sup>[5]</sup>对国家种质资源圃保存的葡萄砧木品种进行耐盐试验后,筛选出近 20 个品种;周万海等<sup>[6]</sup>以 NaCl 为胁迫因子,综合评价了 6 个葡萄砧木的耐盐性,筛选出砧木品种供嫁接后的砧穗互作。徐海英等<sup>[7]</sup>研究了水培条件下葡萄的耐盐性,马跃<sup>[8]</sup>、陈继峰<sup>[9]</sup>、高扬<sup>[10]</sup>、郭修武<sup>[11]</sup>等人的研究,为后期的葡萄耐盐研究提供了较多的试材和可供筛选的研究方法。但是,在盐碱过高的土壤中种植葡萄,会导致其生长不良。赵秀梅等<sup>[12]</sup>对中国野生葡萄试管苗进行耐盐性研究,发现其受害指数、胁迫敏感指数随着盐浓度的升高而增大。

**第一作者简介:**王艳杰(1987-),女,在读硕士,现主要从事植物逆境生理生态方向研究工作。E-mail:yanjie2005@126.com。

**责任作者:**薛达元(1955-),男,教授,现主要从事生物科学和生物多样性保护的研究工作。

**基金项目:**高等学校学科创新引智计划资助项目(2008-B08044)。

**收稿日期:**2011-05-04

## Analysis of Secondary Metabolites Blackberry Fruit Composition of Anthocyanin

LI Qian, LIU Yan-ji

(College of Biological Science and Technology, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

**Abstract:** Blackberry ‘Triple Crown’ varieties were used as material, by the methods of solvent extraction and mass spectrometry blackberry secondary structure of the material and identification of anthocyanins, to better development in the future and use of resources to provide theoretical support for the Blackberry. The results showed that, it contained phenols, tannins, polysaccharides and their glycosides, flavonoids and their glycosides, amino acid peptide and protein, volatile oil etc. Isolated and identified the components of blackberry anthocyanins by using mass spectrometry, it formed by Cy3-O-arabioside, Mv-3-arabioside, Cy3-O-rutinoside, Cy 3-O-dioxalylglucoside, Mv3-O-glucoside and Cy3-O-malonylglucoside, Cy3-O-glucoside.

**Key words:** blackberry; extraction of secondary metabolites; anthocyanins; mass spectrometry

研究葡萄抗盐碱特性、耐盐碱机理,筛选优良耐盐碱葡萄品种,对开发利用盐碱土地资源有重要意义。宁夏回族自治区干旱、盐碱的特殊自然地理环境条件决定了其葡萄种植的局限性。光合作用是葡萄生长发育的基础和生产力高低的决定性因素,葡萄的光合生理特性可作为评价葡萄生产力和适应性的重要指标<sup>[13-14]</sup>。为此,该试验通过在银川贺兰县大田试验条件下模拟不同程度土壤盐碱状况,分析2个葡萄品种在不同盐碱处理下光合作用-光响应特性变化特点,叶绿素含量及长势情况,旨在探讨盐碱胁迫对引种葡萄的影响,为选择合适的葡萄品种提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验基地位于宁夏回族自治区银川市贺兰县,属于中温带大陆性气候。主要气候特点是:四季分明,春迟夏短,秋早冬长,昼夜温差大,雨雪稀少,蒸发强烈,气候干燥,风大沙多等。年平均气温8.5℃左右,年平均日照时数2800~3000h,是中国太阳辐射和日照时数最多的地区之一。年平均降水量200mm左右,无霜期185d左右。土壤为长期引黄灌溉淤积和耕作交替而形成的灌淤土,局部低洼地区有湖土和盐土分布。灌淤土土质适中,理化性好,有机质含量高,保水保肥,适种性广。

### 1.2 试验材料

引入“克瑞森”和“青提”2个品种。“克瑞森”(Krison)别名淑女红、克里森、绯红无核,欧亚种,由美国加利福尼亚州戴维斯农学院与1983年培育成功,是一个集晚熟、丰产、抗病、外观美、品质极佳、耐贮藏、货架期长等优点于一身的优质葡萄品种<sup>[15]</sup>。适宜选择沙壤土、排水好、无公害土地,年无霜期160d以下、生长期有效积温3000℃以上、年降水量600mm以下等生态环境中建园<sup>[16]</sup>。“青提”(Grape white)别名森田尼无核,属欧亚种。1993年从美国加州引入河北涿鹿<sup>[17]</sup>,2001年引入河南省焦作市孟州黄河滩区栽培<sup>[18]</sup>。经多年栽培观察,表现树势强健,生长旺盛,抗病力强,生产能力较高,大粒,无核,品质好,耐贮藏,商品价值高,是一个市场前景广阔的优良无核中熟葡萄品种。

### 1.3 栽培管理方法

引进的品种于2009年春栽植,苗木均为2a生实生苗;采用平棚架、V型架式,双行栽植,株距60cm,行距110cm,面积1hm<sup>2</sup>。每行栽培50株,每个品种栽培4~10行不等,行向为南北方向。2个品种为露天栽培,其田间肥力、水分状况及栽前管理一致。

### 1.4 试验方法

为了比较2个葡萄品种耐盐碱的特征,设置不同盐碱浓度的比较试验。根据宁夏自治区银川贺兰县盐

碱地的盐碱组成,用硫酸钠、碳酸钠、氯化钠(组成比例为0.5:0.25:0.25),配制成3种不同浓度的盐碱溶液:400、200、100mmol/L,模拟重度盐碱、中度盐碱、轻度盐碱。每个品种设置3个处理,3次重复,以不进行盐碱处理为对照(CK)。观察记载不同盐碱处理的长势(嫩梢长度),测量叶绿素的含量。

叶绿素含量的测定方法用1:1的80%丙酮和95%乙醇混合,制成提取液在黑暗避光处提取24h后测定,3次重复。将叶绿素浸提液分别在400~700nm波段扫描吸收光谱,分别在波长为645、663nm下进行光密度值测定。

选择在2010年7月天气晴朗的23、26日,应用LI-6400便携式光合系统分析仪(LI-COR, Inc, USA)对“克瑞森”、“青提”2种葡萄及其处理的植株进行测定。叶片选取生长良好、中等成熟度的同龄向阳植物叶片。测定时,在自然CO<sub>2</sub>浓度条件下(约360μmol/mol),叶片温度控制在约30℃,利用仪器配备的红、蓝人工光源(LI6400-02B LED),设定光有效辐射强度(PAR)由高到低依次为2000、1800、1600、1400、1200、1000、800、600、400、200、100、50、0μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,每个光强下适应3~5min后测定,每个树种重复测定3组叶片;仪器自动记录净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci)等指标。

### 1.5 数据处理

用SPSS 17.0对测定的光合数据采用非直角双曲线方法进行拟合,得出相应的参数,并分别对每个品种的各个参数值求平均。非直角双曲线模型<sup>[19-20]</sup>:

$$Pn = (Light \cdot Q + Pn_{max} - \sqrt{(Q \cdot Light + Pn_{max}) \cdot (Q \cdot Light + Pn_{max}) - 4 \cdot Q \cdot Pn_{max} \cdot Light \cdot k}) / (2 \cdot k) - Rd \quad (1)$$

其中A:净光合速率, Pn<sub>max</sub>:最大净光合速率, K:曲角, Rd:光下呼吸速率, light:光合有效辐射, Q:表观量子效率;在拟合的光响应曲线中, A=0时的light值为光补偿点 Lcp(Light compensation point); Pn=Pn<sub>max</sub>时的light值为光饱和点 Lsp(Light saturation point)<sup>[21]</sup>; WUE(Water use efficiency)为水分利用效率,是净光合速率与蒸腾速率的比值。

参数初始值用Excel 2003按下面方程拟合: Pn=0时, light为光补偿点 LSP; Pn=Pn<sub>max</sub>时, light为光饱和点 LCP。

$$Pn = Q \cdot light - Rd \quad (2)$$

叶绿素含量用Amon法的修正公式<sup>[22]</sup>: 叶绿素a=(12.71A<sub>663</sub>-2.59A<sub>645</sub>)·V/1000s; 叶绿素b=(22.88A<sub>645</sub>-4.67A<sub>663</sub>)·V/1000s; 叶绿素总含量=(804A<sub>663</sub>+20.29A<sub>645</sub>)·V/1000s。其中V为提取液总体积(4mL), S为提取用叶面积(117.75mm<sup>2</sup>)。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐碱胁迫下 2 个葡萄品种的光响应特征拟合参数的比较

2.1.1 光补偿点与光饱和点 植物叶片的光饱和点与光补偿点反映了植物对光照条件的要求,光补偿点(LCP)是植物利用弱光能力的重要指标,该值越小表明利用弱光的能力越强;光饱和点(LSP)是植物利用强光能力的指标,LSP 越高说明植物利用强光能力越强,在受到强光刺激时不易发生抑制。具有高 LSP 与低 LCP 的植物,对光的生态适应能力强,而低 LSP 与高 LCP 的植物对光照的适应性较弱<sup>[23]</sup>。由表 1 可知,在葡萄的正常生长条件下,“青提”的 LSP 较“克瑞森”的高,且为所有盐胁迫处理中最高的,LCP 也较低,说明“青提”利用强光的能力较强,对光的生态适应性强;而“克瑞森”的 LSP 为所有处理中最低的,LCP 较小,说明其利用弱光的能力较强,对光的生态适应能力较弱。盐碱胁迫时,“克瑞森”的 LCP 降低,LSP 增大,且随着盐碱胁迫的加重,LCP 逐渐减小,而 LSP 逐渐增大,说明“克瑞森”在受到盐碱胁迫时,其对光的生态适应能力增强;“青提”在中度盐碱胁迫时,LCP 增大,LSP 随盐碱胁迫的增强逐渐减小,说明“青提”在受到盐碱胁迫时,对光的生态适应能力降低,不利于葡萄有

机物质的积累。

2.1.2 表观量子效率 表观量子效率(AQY)是光合作用中光能转化效率的指标之一,是净光合速率与相应光量子通量密度的比值<sup>[24]</sup>。AQY 也是植物对 CO<sub>2</sub> 同化的表观光量子效率,反映了植物光合作用的光能利用效率,尤其是对弱光的利用能力<sup>[25]</sup>。有研究表明,植物的最大初始量子效率理论上在 0.08~0.125,但在自然条件下的  $\alpha$  值远小于理论值,植物的  $\alpha$  值一般在 0.04~0.07<sup>[26-27]</sup>,该试验用拟合得出的表观量子效率在 0.016~0.047。由表 1 可知,在葡萄的正常生长条件下“克瑞森”的 AQY 为 0.047  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ ,明显高于“青提”的 0.016  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ 。在盐碱胁迫下,“克瑞森”的 AQY 值降低,而“青提”的 AQY 值升高,说明“青提”的叶片光能转化效率较高,对盐碱适应性较强,适宜在土壤盐碱高的地区生长。随着盐碱胁迫程度增加,2 个葡萄品种的 AQY 值都呈现上升趋势,“青提”较“克瑞森”的差异更显著,表明盐碱胁迫下 2 个葡萄品种对光的响应敏感性较强,对弱光的利用能力较高。虽然表观量子效率不如实际的光合量子效率准确,但对应该试验光合速率的测定结果,可以正确反映植物光合机构、光合功能的变化。

表 1 盐碱胁迫下葡萄光合作用-光响应曲线的特征参数

Table 1 Parameters of the photosynthesis-light response curve characteristics of grape under the stress of salinity-alkalinity

品种 Variety	处理 Treatment	最大净光合速率 $P_{n\max}$ $/\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	暗呼吸速率 $R_d$ $/\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	表观量子效率 AQY $/\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \mu\text{mol}^{-1}$	光补偿点 LCP $/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	光饱和点 LSP $/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	$R^2$
“克瑞森” Krisson	CK	14.380±2.236	1.438±0.115	0.036±0.004	40.172±0.979	440.213±19.567	0.9933
	Yh	22.261±2.818*	1.078±0.119*	0.042±0.001*	25.96±3.389*	562.20±81.313*	0.9977
	Yl	16.356±1.264	1.491±0.050	0.037±0.000	40.55±1.449	485.30±32.503	0.9993
	Ym	17.952±1.404	1.100±0.126*	0.038±0.004	28.86±1.084*	501.27±23.619	0.9917
“青提” Grape white	CK	12.241±1.312	0.720±0.296	0.016±0.007	56.89±45.920	961.91±556.634	0.8465
	Yh	22.983±2.998*	1.147±0.435	0.042±0.002*	26.96±9.206	571.11±57.207	0.9997
	Yl	23.870±1.894*	1.690±1.608	0.038±0.001*	40.370±14.581	673.725±44.583	0.9999
	Ym	20.190±1.954*	3.120±0.747*	0.040±0.002*	77.83±16.646	584.56±38.247	0.9997

注:盐碱处理组(Yh, Yl, Ym)相对于对照组(CK)的显著性( $P<0.05$ )。

Note: Significant at  $P<0.05$  of salt treatment group(Yh, Yl, Ym) relative to the control group(CK).

2.1.3 最大净光合速率 在适当的条件下得出的光饱和时的最大净光合速率( $P_{n\max}$ )是衡量叶片光合潜力的重要指标<sup>[28]</sup>。由表 1 可知,“克瑞森”和“青提”对照组的  $P_{n\max}$  在受到盐碱胁迫后,不但没有降低青提的  $P_{n\max}$ ,反而使其增大,说明“克瑞森”和“青提”对盐碱胁迫具有一定的适应性。“克瑞森”的重度盐碱处理与对照组差异显著( $P<0.05$ );“青提”的不同程度的盐碱处理与对照组均有显著性差异( $P<0.05$ )。盐碱胁迫没有降低 2 个葡萄品种的光合潜力,而是增强其光合潜力,这有利于干物质积累,为较高物质产量的形成奠定良好的生理基础。

2.1.4 暗呼吸速率 暗呼吸速率( $R_d$ )反映植物在黑暗条件下的呼吸速率<sup>[29]</sup>。暗呼吸速率小有利于植物

光合产物的积累。由表 1 可知,在正常生长条件下,“青提”的  $R_d$  明显低于“克瑞森”,说明“青提”的光合效率高,有利于光合产物的积累。在受到盐胁迫后,“克瑞森”随盐碱胁迫程度的增加  $R_d$  减小;而“青提”的  $R_d$  却增加了,在中度盐碱胁迫时最大( $P<0.05$ ),这不利于有机物的积累。暗呼吸速率小而  $P_n$  越大越有利于植物保持碳平衡,更好的适应盐碱胁迫。从这一点上来看,“青提”比“克瑞森”对重度盐碱胁迫的适应性表现得更强一些。

2.2 盐碱胁迫下 2 个葡萄品种光合生理参数的光响应变化

2.2.1 盐碱胁迫下“克瑞森”(a)和“青提”(b)净光合速率( $P_n$ )对光合有效辐射(PAR)的响应 光照强度对

葡萄的光合作用有显著影响,而不同葡萄品种在盐碱胁迫下对光照响应不同。图1为“克瑞森”和“青提”叶片光合参数的光响应曲线,这些曲线反映了在盐碱胁迫下光合参数随光照强度改变的变化规律。从图1 Pn- $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  响应曲线可见,在自然光强范围内,不同土壤盐碱条件下生长的“克瑞森”和“青提”净光合速率(Pn)随光合有效辐射(PAR)增加呈上升趋势<sup>[30]</sup>。在较低(PAR)(0~200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )时,Pn增幅最大;PAR达到一定数值,即达到2个葡萄品种的光饱和点时,Pn曲线渐趋平缓,出现光饱和现象。比较同一葡

萄品种在不同盐碱处理之间 Pn-PAR 曲线的差异可知,“克瑞森”Pn的大小为:Yh>Ym>Yl>CK;“青提”Pn的大小为:Yh>Yl>Ym>CK。2个葡萄品种在盐碱胁迫的条件下Pn没有降低,而是随着胁迫程度而升高。正常盐碱条件下,“青提”在较低PAR就达到光饱和,“克瑞森”则在较高PAR才达到光饱和;而在受到盐碱胁迫后,“克瑞森”在较低PAR时就达到光饱和,“青提”在较高PAR时才达到光饱和。说明“青提”在盐碱胁迫下光能利用效率明显高于“克瑞森”。

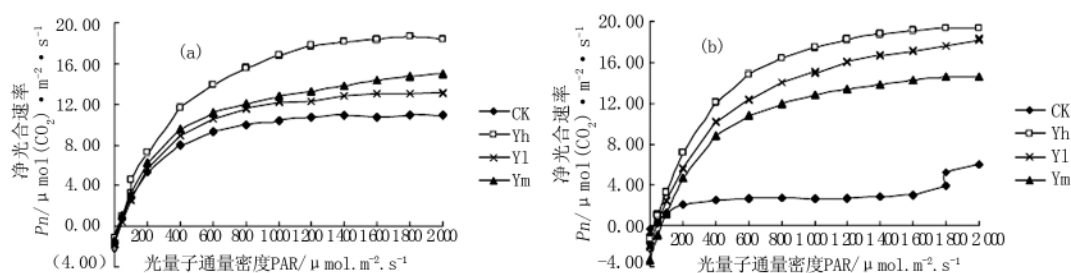


图1 盐碱胁迫下“克瑞森”(a)和“青提”(b)净光合速率(Pn)对不同光合有效辐射(PAR)的响应

Fig.1 Pn(Net Photosynthetic Rate)response to PAR(Photosynthetically Active Radiation)of Krison and Grape white under the stress of salinity-alkalinity

2.2.2 盐碱胁迫下“克瑞森”(a)和“青提”(b)气孔导度(Gs)对光合有效辐射(PAR)的响应 由图2可以看出,“克瑞森”和“青提”叶片的气孔导度(Gs)随光照强度增强均呈逐渐上升趋势。在光照强度较弱时,上升幅度较小;而光照强度较高时,上升幅度较大。2个葡

萄品种的Gs在受到盐碱胁迫时表现为,Yh>Yl>Ym>CK。说明在“克瑞森”和“青提”在受到盐碱胁迫时,气孔导度增加,CO<sub>2</sub>的利用效率增加,光能利用率提高,这与Pn的变化一致。

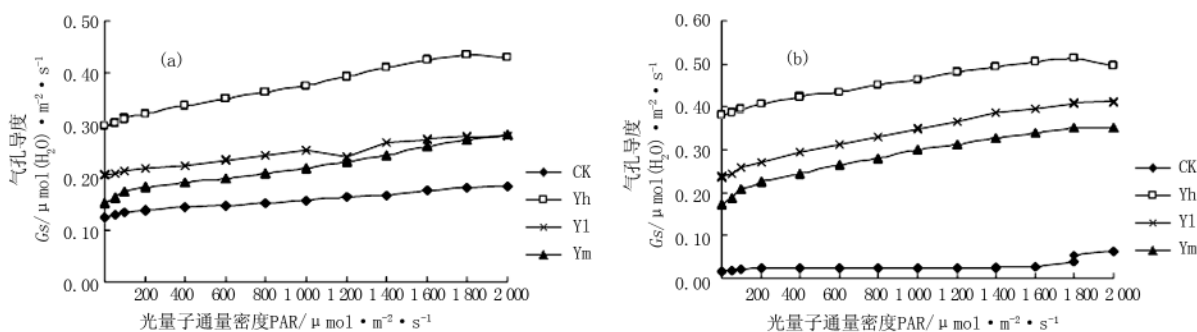


图2 盐碱胁迫下“克瑞森”(a)和“青提”(b)气孔导度(Gs)对不同光合有效辐射(PAR)的响应

Fig.2 Gs(Stomatal Conductance)response to PAR(Photosynthetically Active Radiation)of Krison and Grape white under the stress of salinity-alkalinity

2.2.3 盐碱胁迫下“克瑞森”(a)和“青提”(b)蒸腾速率(Tr)对光合有效辐射(PAR)的响应 由图3可知,“克瑞森”和“青提”的蒸腾速率(Tr)都随着光照强度的增加而升高。“克瑞森”在正常盐碱条件下的Tr较“青提”明显增加,而在受到盐碱胁迫时,“克瑞森”的Tr变化不大,“青提”的Tr则明显高于正常条件下,且Yl>Ym>Yh>CK。蒸腾速率小有利于植物储存水分,增加光能利用率,这与Pn和Gs的变化一致。

2.2.4 盐碱胁迫下“克瑞森”(a)和“青提”(b)胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci)对光合有效辐射(PAR)的响应 胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci)的变化趋势与上述光合参数不同。正常土壤盐碱的条件下,“克瑞森”的所有处理在PAR 0~1 200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,Ci随光强增强迅速变小;PAR 1 200~2 000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,Ci曲线变化较为平缓并表现出缓慢上升的趋势。“青提”的正常、中度及轻度处理在PAR 0~800  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,Ci随

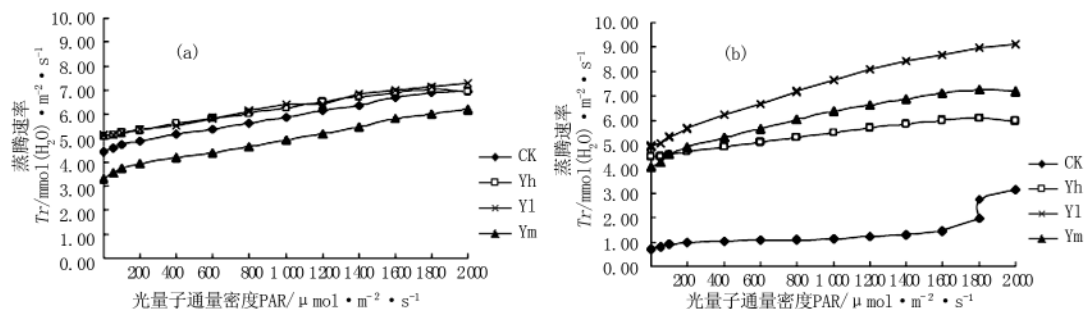


图3 盐碱胁迫下“克瑞森”(a)和“青提”(b)蒸腾速率(Tr)对不同光合有效辐射(PAR)的响应

Fig. 3 Tr (Transpiration rate) response to PAR of Krison and Grape white under the stress of salinity-alkalinity

光强增强迅速变小; PAR 800~2 000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $C_i$  曲线变化较为平缓并表现出缓慢上升的趋势,而重度盐碱胁迫下,“青提”的  $C_i$  曲线是逐步下降并缓慢趋于平缓(图4)。这是由于气孔导度( $G_s$ )在前期提高的幅度较小,而光合速率不断加强使  $C_i$  急剧降低,  $\text{CO}_2$  供应不能满足光合速率增加的需求所致。随光对气孔的刺激加强而导致气孔开张增大,  $C_i$  表现出上升趋势。盐碱胁迫下2种葡萄的  $C_i$  随光强变化的趋势与正常土壤盐碱条件下基本一致。“克瑞森” $C_i$  曲线的高低程度基本上表现为,  $Y_h > Y_l > Y_m > C_k$ ; “青提” $C_i$  曲线的高低程度基本上表现为  $Y_h > Y_m > Y_l > C_k$ 。胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) 高

为暗反应提供原料,积累有机物,提高光反应效率。

2.2.5 盐碱胁迫下“克瑞森”(a)和“青提”(b)水分利用效率(WUE)对光合有效辐射(PAR)的响应 由图5可知,在不同盐碱胁迫下,“青提”的水分利用效率(WUE)明显高于“克瑞森”,且2个品种的WUE均随PAR的增强而提高。表现为较低PAR时增幅较大,PAR达到一定强度后增幅变缓,甚至出现下降的趋势。不同盐碱胁迫下,“克瑞森”的WUE大小表现为  $Y_h > Y_m > Y_l > C_k$ , “青提”的WUE表现为  $Y_h > C_k$ 。说明2个葡萄品种在受到重度盐碱胁迫时WUE均提高,这与  $P_n$ 、 $G_s$  和  $Tr$  的变化一致,与  $C_i$  的变化相反。

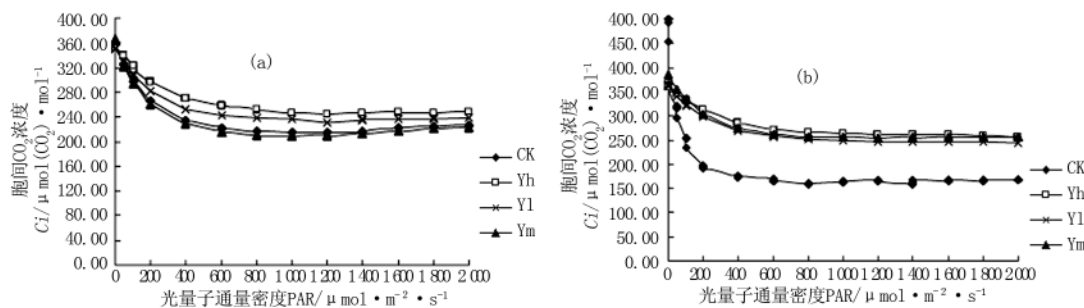
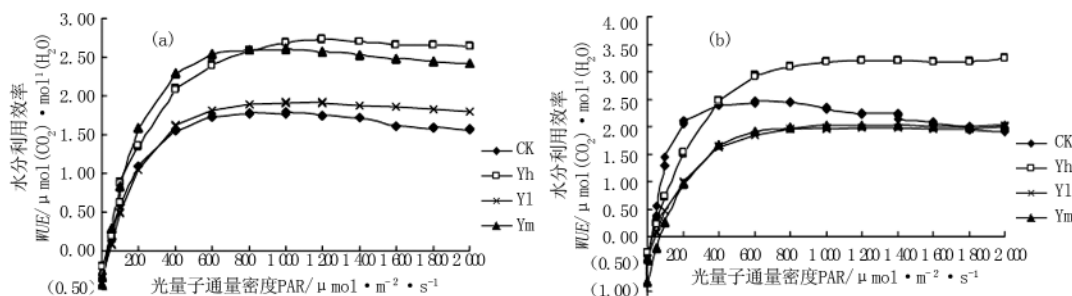
图4 盐碱胁迫下“克瑞森”(a)和“青提”(b)胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )对不同光合有效辐射(PAR)的响应Fig. 4  $C_i$  (Intercellular  $\text{CO}_2$  concentration) response to PAR of Krison and Grape white under the stress of salinity-alkalinity

图5 盐碱胁迫下“克瑞森”(a)和“青提”(b)水分利用效率(WUE)对不同光合有效辐射(PAR)的响应

Fig. 5 WUE (Water use efficiency) response to PAR of Krison and Grape white under the stress of salinity-alkalinity

2.3 盐碱胁迫下2种葡萄品种叶绿素含量比较  
植物的产量源于光合作用,光合作用的完成依赖

于叶绿素,叶绿素是位于叶绿体内的光合色素,直接参与光合作用中光能的吸收、传递、分配和转化等过程。

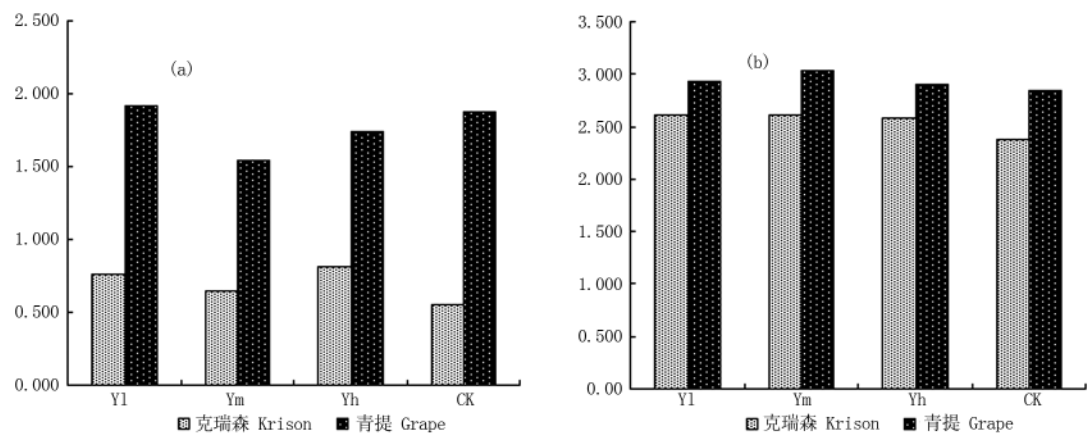


图 6 盐碱胁迫下克瑞森和青提的叶绿素 a+b 的含量(a)和叶绿素 a/b 的比较(b)  
Fig. 6 Comparison of the content of chlorophyll a + b(a)and chlorophyll a/b(b)of Krison and Grape white under the stress of salinity-alkalinity

叶片叶绿素 a+b 含量的多少直接影响着植物的光合速率<sup>[31]</sup>。根据叶绿素 a 和 b 在光合作用中的不同分工,叶绿素 a/b 也反映植物一定的光合速率<sup>[32]</sup>,其比值越大,表明叶绿素 a 直接被光能激发的分子较多,直接参与光化学反应的分子较多,光合活性高,有利于光合效率的提高。叶绿素 a/b 的比值增加,也表明叶绿素 a 在叶绿素中的比例增加,有利于更快的将 CO<sub>2</sub> 转化为光合产物,为植物体的营养积累作准备<sup>[33]</sup>。由图 6 可知,不同盐碱胁迫下“青提”的叶绿素 a+b 的含量都较“克瑞森”高,均高出 1 倍以上,对照组甚至高出了 2 倍。“青提”的叶绿素 a/b 也同样较“克瑞森”高。说明“青提”的光合效率显著高于“克瑞森”。

2.4 盐碱胁迫下 2 种葡萄品种的长势比较

在葡萄的生长季节,2 个葡萄品种各测量 10 个新梢的梢尖(梢冠)长度,每隔 1 周测量 1 次,历时 1 个月,计算平均每天嫩梢的长势(表 2),表明青提的长势较克瑞森好。

表 2 2 个葡萄品种的长势比较

Table 2 Growing condition comparison of two grape varieties

品种 Variety	长势 Growing condition/cm · d <sup>-1</sup>
克瑞森 Krison	2.54
青提 Grape white	2.85

3 结论与讨论

光合作用是植物体内重要的代谢过程,它的强弱对植物生长发育及抗逆性都有重要影响。因而可用光合作用参数作为判断植物生长和抗逆性强弱的指标之一。该试验应用非直角双曲线模型模拟了“克瑞森”、“青提”在不同土壤盐碱条件下的光合作用-光响应曲线,并以此模型为基础计算了 LSP、LCP、AQY、Pn、Rd 值。结果表明 2 个葡萄品种在受到盐碱胁迫后,光合

效率明显增加,特别是盐碱浓度越高光合效率越高。Pn、Gs、Tr、Ci、WUE 对不同光合有效辐射(PAR)的响应也表明盐碱胁迫增强了葡萄的光合效率。

植物出现光饱和点的实质是强光下暗反应跟不上光反应从而限制了光合速率随光强增加而提高<sup>[34]</sup>。据此,Farguhar 等将限制饱和阶段光合速率的因素归纳为两大类,一是与 CO<sub>2</sub> 供应有关的因素,主要包括界面层及气孔对 CO<sub>2</sub> 的扩散阻力,其中以气孔阻力影响最大,简称为气孔因素;二是与光能转化和碳同化有关的叶肉因素,受羧化酶活性和 RuBP 再生速率影响,统称为非气孔因素。许大全<sup>[35]</sup>认为,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的下降是判定光合作用受气孔限制不可缺少的条件,气孔导度值 Ci 的增加则是光合作用非气孔限制的最可靠判断。在光强达到光饱和点之前,随着净光合速率的增加,“克瑞森”和“青提”的所有处理的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 Ci 逐渐降低最后趋于平缓,结合气孔导度值来看,2 种葡萄在光合有效辐射达到饱和点之后气孔导度值仍然在升高,表明这 2 种葡萄在受到盐胁迫后其净光合速率的降低不是由于气孔的关闭引起 CO<sub>2</sub> 供应不足造成的,而是受强光下光抑制的加强等非气孔限制因素的影响,包括叶肉阻力增大、羧化酶活性和 RuBP 再生速率降低等<sup>[36]</sup>。

综合考虑 2 个品种的光和拟合曲线、光响应特征,“盐胁迫”没有降低 2 个葡萄品种的光合潜力,而是增强其光合能力,这有利于干物质积累,为较高物质产量的形成奠定良好的生理基础。AQY 值的上升表明盐碱胁迫下 2 个葡萄品种对光的响应敏感性较强,对弱光的利用能力也较高。净光合速率(Pn)、暗呼吸速率(Rd)叶绿素含量及长势情况也说明“青提”较“克瑞森”具有更强的盐碱适应性能力。

## 参考文献

- [1] 任玉华. 葡萄耐盐性研究进展[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2005(4): 31-33.
- [2] Gunning B E S, Hardham A R. Microtubules[J]. Ann. Rev. Plant Physiol, 1982, 33: 651-698.
- [3] W. 拉夏埃尔. 植物生理生态学[M]. 李博, 等译. 北京: 科学出版社, 1982: 154-155.
- [4] 霍丽云, 于惠敏. 盐对葡萄愈伤组织生理变化的影响[J]. 园艺学报, 1998, 23(2): 310-312.
- [5] 陈继峰, 刘三军, 孔庆山, 等. 葡萄砧木的抗逆性试验[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2000(2): 16-17.
- [6] 周万海, 王雅梅, 曹致义, 等. 葡萄砧木耐盐性及砧-穗特性研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 223: 202-206.
- [7] 徐海英, 张国军, 闫爱玲. 葡萄砧木及其品种[J]. 宁夏科技, 2002(1): 25-27.
- [8] 马跃. 葡萄砧木苗期耐盐试验初报[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 1991(3): 6-8.
- [9] 陈继峰. 葡萄抗逆性砧木品种与利用[J]. 山西果树, 2002, 57(1): 32-33.
- [10] 高扬, 高献亭. 葡萄砧木植物学性状及抗盐性的观察[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2005(1): 12-15.
- [11] 郭修武. 国内外葡萄砧木研究利用状况及我国新引进的葡萄砧木简介[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2002(1): 5-7.
- [12] 赵秀梅, 张剑侠, 王跃进. 葡萄组织苗耐盐性研究[J]. 果树学报, 2005, 22(3): 202-206.
- [13] 王连君, 王铭, 冯玉才. 盐碱胁迫对山葡萄光合特性的影响[J]. 北方园艺, 2008(1): 41-43.
- [14] 房玉林, 惠竹梅, 高邦军, 等. 盐胁迫下葡萄光合特性的研究[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 881-884.
- [15] 牛润民. 克瑞森无核葡萄在鲁西南地区的引种表现[J]. 安徽农业通报, 2007, 13(8): 89.
- [16] 严大义, 罗树祥, 赵常青. 克瑞森无核葡萄引种研究初报[J]. 中国果树, 2005(6): 42-43.
- [17] 李新峰. 森田尼无核葡萄引种试验报告[J]. 落叶果树, 2001, 33(1): 27-28.
- [18] 周玉奎, 王凤寅, 赵名花, 等. 森田尼无核葡萄的引种栽培[J]. 落叶果树, 2005, 37(5): 29-30.
- [19] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annu Rev Plant Physiol Mol Biol, 1982, 33: 317-345.
- [20] Walker. Automated measurement of leaf photosynthetic  $O_2$  evolution as a function of photon flux density[J]. Philosophical transactions of the Royal Society, 1989, 323: 313-326.
- [21] 吴家兵, 关德新, 孙晓敏, 等. 长白山阔叶红松林主要树种及群落冠层光合特征[J]. 中国科学 D 辑, 2006, 36(A01): 83-90.
- [22] 苏正淑, 张宪政. 几种测定植物叶绿素含量的方法比较[J]. 植物生理学通讯, 1989(5): 77-78.
- [23] 杨兴洪, 邹琦, 赵世杰. 遮荫和全光生长的棉花光合作用和叶绿素荧光特征[J]. 植物生态学报, 2005, 29(1): 8-15.
- [24] 王爱民, 祖元刚. 大兴安岭不同演替阶段白桦种群光合生理生态特征[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(2): 190-193.
- [25] 蹇洪英, 邹寿青. 地毯草的光合特性研究[J]. 广西植物, 2003, 23(2): 181-184.
- [26] 陆佩玲, 于强, 罗毅, 等. 冬小麦光合作用的光响应曲线的拟合[J]. 中国农业气象, 2001, 22(2): 12-14.
- [27] Long S P, Humphries S, Falkowski P G. Photoinhibition of photosynthesis in nature[J]. Annu Rev Plant Physiol Mol Biol, 1994, 45: 633-662.
- [28] 谢会成, 姜志林, 李际红. 栓皮栎林光合特性的研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2004, 28(5): 83-85.
- [29] Coley P D. Herbivory and defensive characteristics of tree species in a lowland tropical forest[J]. Ecological Monographs, 1983, 53(2): 209-233.
- [30] 郭春芳, 孙云, 张木清. 土壤水分胁迫对茶树光合作用-光响应特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1413-1418.
- [31] 曾骥. 果树生理学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992: 336-349.
- [32] 王中英. 矮化苹果树营养生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 113-128.
- [33] 周瑞金, 杜晓华, 刘遵春, 等. 金光照梅叶绿素含量变化规律研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(6): 201-203.
- [34] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 130-135.
- [35] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 241-244.
- [36] 张中峰, 黄玉清, 莫凌, 等. 岩溶区 4 种石山植物光合作用的光响应[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(1): 44-48.

## The Photosynthesis-light Response Characteristics Influence of Two Grape Varieties under the Stress of Soil Salinity-alkalinity

WANG Yan-jie, XUE Da-yuan, PENG Yu

(School of Life and Environment, the Minzu University of China, Beijing 100081)

**Abstract:** Under three different salinity-alkalinity stress; low-grade salinity-alkalinity stress, moderate salinity-alkalinity stress and severe salinity-alkalinity stress condition, analyzed the photosynthesis-light response characteristics, chlorophyll content and growing condition of leaves of 'Krison' and 'Grape white'. The results showed that the photosynthesis-light response curve of 'Krison' and 'Grape white' met the non orthogonal hyperbolic model. Salinity-alkalinity stress not reduced the photosynthetic potential of two grape varieties, but enhanced its photosynthetic capacity. The increase of AQY (Apparent Quantum Yield) showed that two grape varieties under the salinity-alkalinity stress were sensitive to the light, the use capacity of weak light was high. Net Photosynthetic Rate ( $P_n$ ), Dark Respiratory Rate ( $R_d$ ), chlorophyll content and growing condition were contribute to explain 'Grape white' had stronger salinity-alkalinity adaptive capacity. Meanwhile, the decrease of  $P_n$  of two kinds of grapes under salinity-alkalinity stress were not because of the closure of the stomata, caused by inadequate supply of  $CO_2$ , but by the strength of strong light photo inhibition result in the non stomatal limitation factors, including mesophyll resistance increases, carboxylase enzyme activity and RuBP regeneration rate, etc.

**Key words:** grapes; 'Krison'; 'Grape white'; salinity-alkalinity stress; light response characteristics