

高温高湿对设施葡萄 叶片气孔和光合特性的影响

朱雨晴, 杨再强

(南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044)

摘 要:以设施葡萄“红提”为试材,利用人工控制环境试验,设置昼温 30 ℃,空气相对湿度(70±5)%(T1),35 ℃、(80±5)%(T2),40 ℃、(90±5)%(T3)为处理。以昼温 25 ℃,空气相对湿度(60±5)%为对照(CK),所有处理夜温为 18 ℃。测定了不同处理的葡萄叶片气孔和光合参数,分析了高温高湿复合灾害对设施葡萄叶片气孔和光合特性的影响。结果表明:气孔特征在高温高湿的处理下发生变化,T1、T2 的气孔尺寸、开度等指标随着高温高湿的加剧略有下降,气孔密度则相反;T3 变化最为明显,叶片气孔尺寸,气孔开度和气孔开张比等指标在 8 d 时比 CK 分别减小了约 20%、60%和 50%,气孔密度增加了 40%。叶片净光合速率的大小顺序为 CK>T1>T2>T3。其中,叶片气孔导度和蒸腾速率的变化随着高温高湿的加剧呈现正相关关系。处理 T3 的气孔导度和蒸腾速率最小,分别为 0.026 mol·m⁻²·s⁻¹、0.72 g·m⁻²·h⁻¹。因此,过高的温度和湿度会导致气孔导度、净光合速率和蒸腾速率的大幅下降,该研究结果可为设施葡萄温湿度调控提供参考依据。

关键词:气孔特性;设施葡萄;气孔导度;净光合速率;蒸腾速率

中图分类号:S 663.101 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)23-0094-08

葡萄(*Vitis vinifera* L.)是重要果品之一,其植株适应能力强,早期产量高,果实营养价值丰富。据世界农组织(FAO)统计,2014 年全世界葡萄的总栽培面积为755.4 万 hm²,产量 27 520 万 t,我国占世界葡萄栽培总面积和产量的 10.6%和 4.6%。据美国农业部预计,2017 年全球葡萄产量略有下降,但仍高达21 900 万 t。为了调节果实产期,提高果实品质和防治病虫害,我国大多采取设施栽培的方式栽培葡萄。在设施栽培中,高温高湿是设施栽培中春夏季的主要气象灾害,已

有研究表明,高温高湿环境会严重影响植株的生长和果实品质^[1-2]。同时,高温高湿复合灾害对作物的果实品质^[3]、生理生化指标^[4]、抗氧化性^[5]以及叶片光合参数产生^[6]严重影响。SHIN 等^[7]发现,高温高湿会降低草莓果实的品质,使其硬度,色泽降低,同时高温高湿也会使草莓果实的花青素含量和抗氧化活性升高。目前,关于高温或者高湿单一因素影响气孔特性方面有较多研究,而在高温高湿复合灾害对设施作物生理特性的影响鲜有报道。因此,该研究拟通过人工控制环境试验,研究高温高湿复合灾害对设施葡萄叶片气孔及光合特性的影响,以期减少设施葡萄气象灾害防御提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试葡萄为 1 年生“红提”(*Vitis vinifera* L.

第一作者简介:朱雨晴(1993-),女,硕士研究生,研究方向为设施农业气象。E-mail:2806217750@qq.com.

责任作者:杨再强(1967-),男,博士,教授,硕士生导师,现主要从事设施环境调控等研究工作。E-mail:yzq@nuist.edu.cn.

基金项目:江苏省科技支撑计划资助项目(BE2015693)。

收稿日期:2017-07-13

cv. Hongti), 由南京信息工程大学农试站提供。

1.2 试验方法

试验于 2016 年 10—11 月在南京信息工程大学农业气象试验站进行。在葡萄伸蔓期选取生长状态良好且发育状况相近的葡萄苗移至人工气候箱(TPG1260, Australian)内进行高温高湿处理。参考舒英杰等^[8]和潘文等^[9]的试验方法, 设置昼温 30 ℃, 空气相对湿度(70±5)%(T1)、35 ℃, (80±5)%(T2)、40 ℃, (90±5)%(T3)为处理。以昼温 25 ℃, 相对空气湿度(60±5)%为对照(CK), 每处理重复 3 次。所有处理均在人工气候箱内进行, 夜温为 18 ℃, 光合有效辐射为 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 昼夜时长均设置为 12 h。

连续处理 2、4、6、8 d 后测定气孔长度、宽度、开度、开张比、密度、面积、周长等气孔特征指标及净光合速率、气孔导度、蒸腾速率等光合特性指标。在高温高湿处理前(第 0 天), 在温度 20 ℃, 湿度(60±5)%条件下测定各项指标。

1.3 项目测定

1.3.1 气孔特征的测定

在 10:00—12:00 选取 3 盆葡萄植株主茎中部健康、大小一致的功能嫩叶叶片, 每盆选取一片, 每片选择 2 个取样部位, 用脱脂棉轻轻拭去叶片表面的灰尘, 将无色速干指甲油均匀涂抹在葡萄叶片下表面, 待指甲油干透后, 用无色胶带纸将其轻轻撕下, 覆于载玻片上作为样本。将完成的取样放置于 40 倍的光学显微镜(Olympus CX-31)下, 观察叶片下表皮的气孔特征。

利用数码测距软件 Motic Images Advanced 观察气孔特征, 随机选取 3 个不同视野, 每个视野

内随机选择 5 个开放气孔作为测量对象。测量视野内的气孔数目与视野面积, 求算单位面积内气孔数量; 测量气孔两侧的保卫细胞横轴长度为气孔宽度, 纵轴长度为气孔长度; 两侧保卫细胞所围的阴影最宽处为气孔开度; 保卫细胞与其所围的阴影总面积为气孔面积; 保卫细胞外围总长度为细胞周长; 开放的气孔与总气孔之比为气孔开张比。

1.3.2 光合特性的测定

在 10:00—12:00 选取葡萄植株中部健康, 成熟的叶片, 用脱脂棉轻轻拭去叶片表面的灰尘。利用便携式光合测定系统 LI-6400 测定叶片光合特性。

1.4 数据分析

采用 Excel 和 DPS 软件对试验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 高温高湿处理对葡萄叶片气孔参数的影响

2.1.1 叶片气孔长度及宽度

由图 1a 可知, 随高温高湿胁迫时间的延长和胁迫程度的增加, 气孔长度明显减小, 且随着胁迫程度的增加, 气孔长度的下降趋势也愈加明显。3 个处理的气孔长度均在胁迫的第 8 天达到最小值, 此时 T1、T2、T3 处理的气孔长度分别为 11.29、10.74、10.30 μm , 比 CK 降低 9.39%、13.80%、17.34%。与处理前的初始长度相比, 分别降低了 9.75%、16.22%、19.47%。CK 处理叶片气孔长度最大, 为 12.46 μm 。

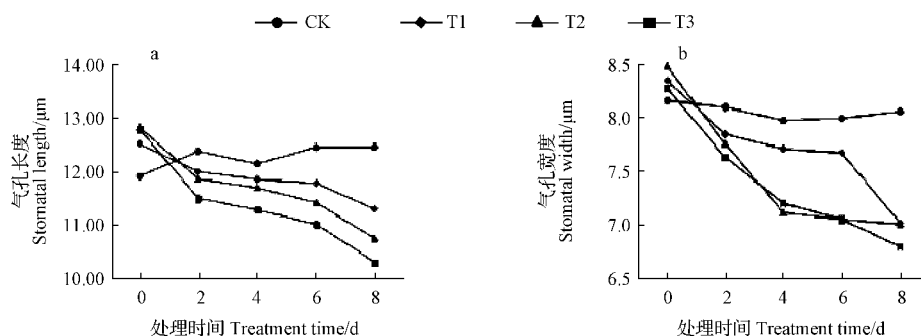


图 1 高温高湿对葡萄叶片下表皮气孔长度、宽度的影响

Fig. 1 Effect of high temperature and high humidity on stomatal length and stomatal width of lower epidermis on grape leaf

由图 1b 可知,叶片气孔宽度随胁迫的变化与气孔长度相似。不同处理的气孔宽度随胁迫程度的加重而减小,在处理第 8 天时,以 T3 处理的气孔宽度最小,为 $6.79\ \mu\text{m}$;以 CK 最大,为 $8.47\ \mu\text{m}$;各处理的气孔宽度随胁迫时间延长而下降,在处理 8 d 时,3 个胁迫处理间的气孔宽度相差不大,但均与 CK 差异显著,T1、T2、T3 处理的气孔宽度分别比 CK 降低了 12.92%、13.16%、15.65%。

2.1.2 叶片气孔开度及开张比

从图 2a 可以看出,各处理叶片下表皮气孔开度随着高温高湿胁迫程度的增加,而呈现减小的趋势,并且随着胁迫时间的增加,其减小幅度增大。CK 叶片下表皮气孔开度围绕 $2.70\ \mu\text{m}$ 波动,所有处理在处理 2 d 之后气孔开度下降加快,其中,T3 处理的气孔开度最小,且在第 2、4、6、

8 天时气孔开度分别比 CK 减小了 39.47%、43.23%、53.76%。

由图 2b 可知,在正常情况下,气孔开张比范围在 75%~85%,而高温高湿处理的叶片气孔开张比随着处理时间延长而明显下降,且随着胁迫程度的加深,下降趋势更加明显。高温高湿胁迫则会降低气孔开张比,即叶片中关闭的气孔比例增加。T1 处理下气孔开张比随胁迫时间的变化幅度较小,与 CK 相比差异并不显著。T3 处理下气孔开张比与 CK 差异最为显著。在胁迫第 2、4、6、8 天时分别降低到对照的 89.24%、76.09%、58.43%、51.42%。高温高湿处理的叶片气孔开张比随着处理时间延长而明显下降,且随着胁迫程度的加深,下降趋势更加明显。

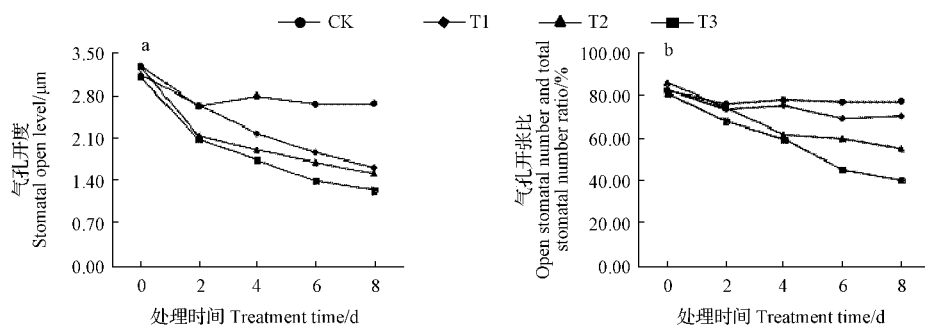


图 2 高温高湿对葡萄叶片下表皮气孔开度、开张比的影响

Fig. 2 Effect of high temperature and high humidity on stomatal open level and open stomata number and total stomatal number ratio of lower epidermis on grape leaf

2.1.3 叶片下表皮气孔密度

由图 3 可知,高温高湿复合灾害对叶片的气孔密度也有着一定的影响。3 个高温高湿胁迫处理的叶片气孔密度随胁迫时间的延长而增大,并且随着胁迫程度的加深,其增大幅度呈现增加的趋势。其中,T1 处理与 CK 差异较小,在处理第 8 天为 $593.04\ \text{个} \cdot \text{mm}^{-2}$,与 CK 相比增加了 1.19%;T3 处理与 CK 差异最为显著,与 CK 相比增加了 15.69%。气孔密度的变化范围在 $450 \sim 700\ \text{个} \cdot \text{mm}^{-2}$,第 8 天,T3 最大值为 $669.57\ \text{个} \cdot \text{mm}^{-2}$,且 T1、T2、T3 处理气孔密度比 CK 分别增加了 1.19%、14.16%、15.69%。

2.1.4 叶片下表皮气孔面积和周长

从图 4a 可以看出,高温高湿胁迫后,气孔面积开始减小,且各处理均与 CK 差异显著。第 0

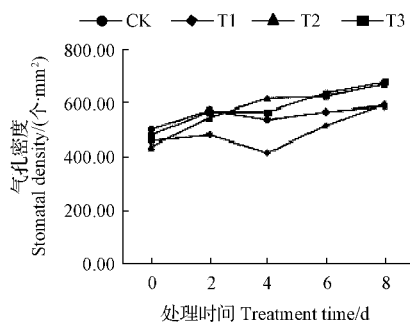


图 3 高温高湿对葡萄叶片下表皮叶片气孔密度的影响

Fig. 3 Effect of high temperature and high humidity on stomatal density of lower epidermis on grape leaf

天时 T2 处理气孔面积最大,为 $92.45\ \mu\text{m}^2$,第 8 天时 T3 处理气孔面积最小,为 $47.61\ \mu\text{m}^2$ 。从胁迫第 2 天开始,气孔面积的减小幅度从大到小依

次为 $T3 > T2 > T1$, 且随着处理天数的增加和胁迫程度的加深, 这种差异也在逐渐增大。直至胁迫第 8 天, 3 个胁迫处理的叶片气孔面积均减小至最低值, 且 3 个处理间差异减小, $T1$ 、 $T2$ 、 $T3$ 处理的气孔面积比 CK 分别下降了 39.02%、35.37%、42.68%。

从图 4b 可以看出, 在高温高湿胁迫下, 气孔的周长随着胁迫时间的延长呈减小的趋势, 而与

气孔面积不同的是, 高温高湿的胁迫程度对气孔周长的减小程度影响不大。在胁迫第 2 天, $T3$ 处理气孔周长最大, 为 $34.90 \mu\text{m}$, 比 CK 增加了 6.07%; 在胁迫 2 d 之后, 3 个处理的气孔周长均随着处理时间的增加而减小, 且均显著低于 CK。在胁迫第 8 天时, $T1$ 、 $T2$ 、 $T3$ 处理的气孔周长分别比 CK 减小了 18.75%、14.47%、14.84%。

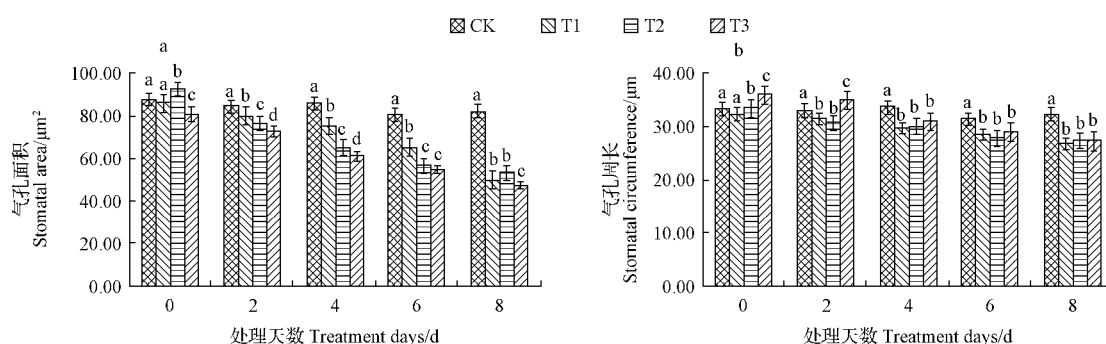


图 4 高温高湿对葡萄叶片下表皮气孔面积、周长的影响

Fig. 4 Effect of high temperature and high humidity on the stomatal area and stomatal circumference of lower epidermis on grape leaf

2.2 高温高湿处理对葡萄叶片光合特性的影响

2.2.1 叶片净光合速率

由图 5 可知, 在不同处理天数上, 净光合速率整体表现为 $CK > T1 > T2 > T3$, 随着处理时间的延长, 3 个处理组的光响应曲线与 CK 的差距逐渐增大, 因此, 处理时间越长, 高温高湿胁迫程度越深, 葡萄叶片的净光合速率越低。在光量子通量密度范围在 $0 \sim 800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 叶片的净光合速率呈现随光量子通量密度增大而升高的趋势, $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以后, 随着光量子通量密度的增加, 净光合速率基本不再增加, 随着胁迫程度的加深, 甚至出现随之减小的趋势。4 个处理的光饱和点范围在 $700 \sim 900 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 内。2 d 时, CK 光饱和点最大, 为 $7.33 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $T3$ 处理最小, 为 $2.79 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。8 d 时, 光饱和点的数值大幅下降, $T1$ 、 $T2$ 、 $T3$ 分别为 5.88 、 3.20 、 $1.84 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。其中 CK、 $T1$ 、 $T2$ 处理的光补偿点范围为 $0 \sim 25 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $T3$ 处理的光补偿点范围为 $20 \sim 50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2.2.2 叶片气孔导度与蒸腾速率

由图 6a 可以看出, $T1$ 处理的气孔导度随着

处理时间的增加而不断上升, 但 $T1$ 处理的上升幅度要明显小于 CK, CK 在第 8 天时气孔导度达到最大, 为 $0.230 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。 $T2$ 处理的气孔导度随胁迫时间的延长呈先上升后下降的趋势, 在胁迫第 6 天时 $T2$ 处理气孔导度达到最大值, 为 $0.096 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 此后缓慢下降, 至胁迫第 8 天时, 气孔导度为 $0.089 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; $T3$ 处理的气孔导度则随着处理时间的增加呈现明显的下降趋势, 气孔导度在胁迫至第 8 天时达到最小值, 为 $0.026 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。经过 8 d 的处理, 与初始气孔导度相比, $T1$ 、 $T2$ 处理分别增加了 203.12%、23.94%, 而 $T3$ 处理则减少了 66.27%。

高温高湿处理下, 叶片蒸腾速率变化趋势与气孔导度类似。3 个胁迫处理均显著改变了叶片蒸腾速率的变化趋势。 $T1$ 、 $T2$ 处理的蒸腾速率随胁迫时间的延长先是不断增加, 并在胁迫第 6 天达到最大值, 此时 $T1$ 、 $T2$ 处理的蒸腾速率分别为 1.44 、 $1.54 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 但均显著低于 CK, 之后 $T1$ 、 $T2$ 处理的蒸腾速率均迅速降低。而在 $T3$ 处理中, 随着胁迫时间的增加, 叶片蒸腾速率明显下降, 并在胁迫第 8 天达到最小值 $0.72 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

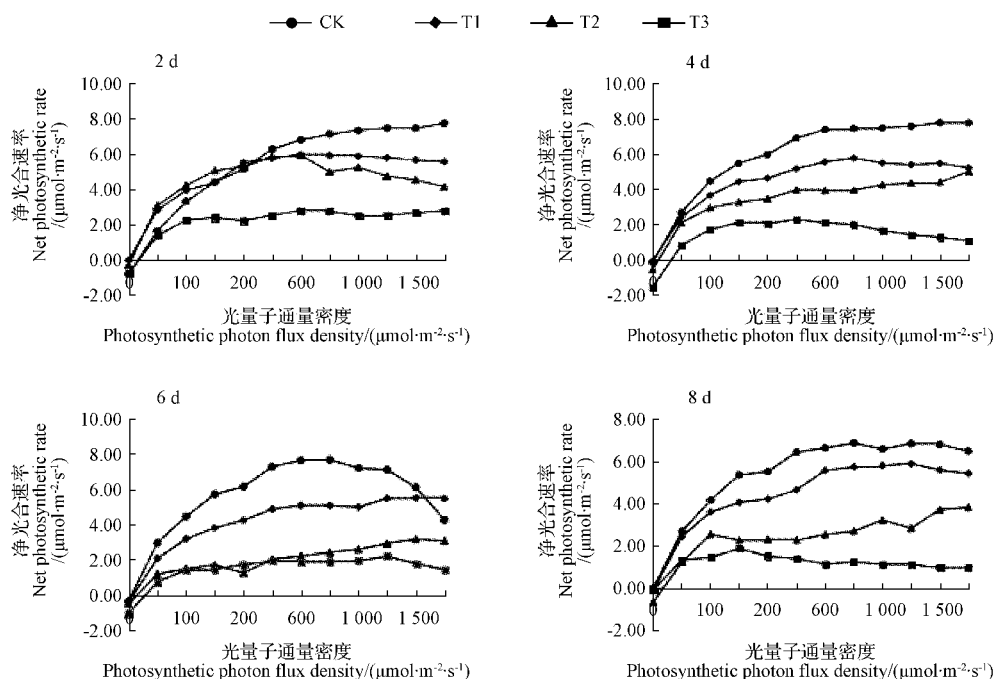


图5 高温高湿对葡萄叶片净光合速率的影响

Fig. 5 Effect of high temperature and high humidity on net photosynthetic rate on grape leaf

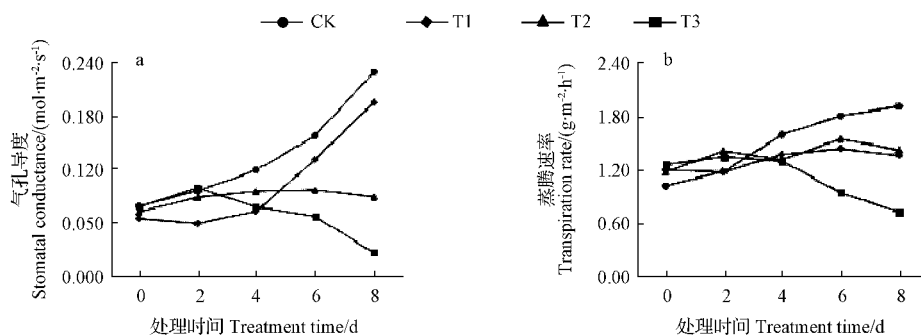


图6 高温高湿对葡萄叶片叶片气孔导度、蒸腾速率的影响

Fig. 6 Effect of high temperature and high humidity on stomatal conductance and transpiration rate on grape leaf

2.3 光合参数与气孔特征间的相关分析

温度和湿度的改变对于葡萄叶片的气孔导度,蒸腾速率和气孔特征有着很大的影响。气孔特征改变的同时也影响了气孔导度和蒸腾速率的变化。由表1可以看出,光合速率、气孔导度、气孔长度、气孔开张比与温湿度呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.989 、 -0.983 、 -0.971 和 -0.989 ($P < 0.01$)。蒸腾速率、气孔开度与温湿度的相关性系数分别为 -0.927 和 -0.904 ,均达到显著性水平 ($P < 0.05$)。光合速率与气孔导

度、气孔开张比的相关系数分别为 0.995 和 0.999 ,为极显著相关 ($P < 0.01$),而与蒸腾速率和气孔长度的相关系数为 0.903 和 0.928 ,达到显著性水平 ($P < 0.05$)。气孔长度、气孔开张比均与气孔导度分别呈显著或极显著正相关关系 ($P < 0.05$, $P < 0.01$),相关系数分别为 0.924 和 0.994 。叶片蒸腾速率与气孔长度、气孔开度、气孔开张比间均呈显著正相关关系 ($P < 0.05$),相关系数分别为 0.907 、 0.892 和 0.906 ,但与气孔导度间关系并不显著。

表 1
Table 1
Correlation analysis among temperature, humidity and stomatal conductance,
transpiration rate and stomatal characteristics

	温湿度 Temperature and humidity	光合速率 Pn	气孔导度 Cs	蒸腾速率 Tr	气孔长度 SL	气孔宽度 SW	气孔开度 SOL	气孔密度 SD	气孔开张比 SOR	气孔周长 SC
温湿度	1.000									
光合速率 Pn	-0.989 **	1.000								
气孔导度 Cs	-0.983 **	0.995 **	1.000							
蒸腾速率 Tr	-0.927 *	0.903 *	0.862	1.000						
气孔长度 SL	-0.971 **	0.928 *	0.924 *	0.907 *	1.000					
气孔宽度 SW	-0.863	0.781	0.768	0.865	0.954 *	1.000				
气孔开度 SOL	-0.904 *	0.832	0.820	0.892 *	0.976 **	0.996 **	1.000			
气孔密度 SD	0.538	-0.635	-0.683	-0.261	-0.382	-0.093	-0.173	1.000		
气孔开张比 SOR	-0.989 **	0.999 **	0.994 **	0.906 *	0.926 *	0.780	0.832	-0.632	1.000	
气孔周长 SC	-0.720	0.612	0.601	0.740	0.860	0.971 **	0.947 *	0.103	0.610	1.000
气孔面积 SA	-0.811	0.718	0.701	0.837	0.919 *	0.995 **	0.983 **	0.006	0.717	0.987 **
相关系数临界值	$R_{0.05}=0.878, R_{0.01}=0.959$									

3 结论与讨论

气孔是作物与大气间进行气体和水分交换的重要通道,它能够在高温、高湿等条件下做出适应性调节,以减轻植物在逆境条件下受到的伤害^[10-14]。在受到高温胁迫时,植物一般通过改变叶片气孔大小、密度、开张度以及开张比等来优化气体交换的效率^[15-16],但也有学者认为高温并不会造成植株叶片气孔密度等特性的变化^[17-18];而植株在高湿条件下则会出现叶片气孔密度减小、长宽增加、叶片气孔导度和蒸腾速率提高、关闭速度减缓等一系列变化^[8-9]。在温度适当增高的情况下,植株叶片的气孔指数和气孔大小增加^[19],从而增加了净光合速率、气孔导度与蒸腾速率^[20]。该试验研究发现,相比于 CK,叶片的气孔长度、宽度、开度、周长和面积均随着高温高湿胁迫程度和处理天数的增加而呈现明显减小的趋势,气孔的开张比也随着胁迫程度和处理天数而不断下降,气孔的密度则随着胁迫程度的增加而升高。

气孔与植物的光合作用和蒸腾作用等关系密切^[21]。杜尧东等^[22]研究认为,水稻剑叶遭受高温胁迫后气孔导度减小,净光合速率减小,这在对棉花^[23]和豌豆^[24]的研究中也得到了相似的结论。石雪晖等^[25]研究发现葡萄的叶片气孔导度和蒸腾速率均随空气湿度的增大呈先减小后增加的趋势,但也有研究认为较高的空气湿度并不会

导致叶片气孔导度的变化^[26]。该试验研究发现,在高温高湿处理下,叶片的气孔导度与蒸腾速率呈现相似的变化趋势,在昼温 30 ℃,空气相对湿度(70±5)%处理下气孔导度随天数上升的趋势减缓,在昼温 35 ℃,(80±5)%处理下气孔导度则现增加后降低,而在昼温 40 ℃,(90±5)%处理下呈现随着处理天数下降的明显趋势,这是因为植物能够对较低程度的高温高湿胁迫做出适应性调节,气孔形态特征变化较小,能够保证 CO₂ 进入植物细胞的正常数量以及进行有效的光合作用^[27];但随着高温高湿胁迫程度的加重以及胁迫时间的延长,叶片活力受到抑制^[28],进而导致气孔导度和蒸腾速率的下降,这与王斌等^[2]的研究结果近似。在高温胁迫下,植物叶片内的叶绿体和细胞质结构受到破坏,呼吸速率加快,从而使叶片的净光合速率受到明显抑制^[27]。叶片气孔导度和蒸腾速率的变化与高温高湿处理有着明显的相关性,其中,对照与昼温 30 ℃,空气相对湿度(70±5)%处理和高温高湿处理呈现显著正相关,昼温 40 ℃,(90±5)%处理与高温高湿处理呈现显著负相关,昼温 35 ℃,(80±5)%处理则对气孔导度与蒸腾速率的影响不大,这说明,一定程度的高温高湿可以增加葡萄叶片的气孔导度和蒸腾速率,但高温高湿超过临界值后则会使叶片气孔导度和蒸腾速率下降。根据杨再强等^[29]研究高温对叶片衰老的影响,可知温度较低限制了叶片中抗氧化酶活性,因此适当提高温度会增加叶片活力。

参考文献

- [1] 陈伊娜,卢章明,谢静杰,等. 高温高湿生态区稻谷储存期间品质变化研究[J]. 粮食储藏, 2015(5): 31-36.
- [2] 王斌,赵慧娟,巨波,等. 高温高湿对沼泽小叶桦光合和生理特征的影响及其恢复效应[J]. 中国农学通报, 2011(28): 47-52.
- [3] 曹志洋,韦志彦,李兴军. 高温高湿处理对稻谷发芽率与糖类、蛋白质及氨基酸含量的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2009, 30(1): 22-28.
- [4] 李荣冲,沈亮余,梁晶龙,等. 高温高湿胁迫下茉莉酸甲酯对紫苏种子萌发及生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(2): 312-317.
- [5] 徐小万,曹必好,陈国菊,等. 高温高湿对辣椒抗氧化系统的影响及不同品种抗氧化性差异研究[J]. 华北农学报, 2008, 23(1): 81-86.
- [6] SHU X, ZHANG Q F, WANG W B. Effects of temperature and light intensity on growth and physiology in purple root water hyacinth and common water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2014, 21(22): 12979-12988.
- [7] SHIN Y, LIU R H, NOCK J F, et al. Temperature and relative humidity effects on quality, total ascorbic acid, phenolics and flavonoid concentrations, and antioxidant activity of strawberry [J]. Postharvest Biology & Technology, 2007, 45(3): 349-357.
- [8] 舒英杰,王爽,陶源,等. 生理成熟期高温高湿胁迫对春大豆种子活力、主要营养成分及种皮结构的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(5): 1380-1386.
- [9] 潘文,张方秋,张卫强,等. 高温高湿胁迫对红花荷等植物生理生化指标的影响及评价[J]. 广东林业科技, 2012, 26(3): 1-8.
- [10] JIN B, WANG L, WANG J, et al. The effect of experimental warming on leaf functional traits, leaf structure and leaf biochemistry in *Arabidopsis thaliana* [J]. BMC Plant Biology, 2011, 11(1): 1-10.
- [11] 刘明虎,辛智鸣,徐军,等. 干旱区植物叶片大小对叶表面蒸腾及叶温的影响[J]. 植物生态学报, 2013(5): 436-442.
- [12] 井上君夫,邵碧云. 辐射强度和空气湿度对水稻叶片气孔阻力的影响[J]. 气象科技, 1987(6): 74-78.
- [13] 杨再强,张静,江晓东,等. 不同 R: FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(7): 2135-2141.
- [14] 王春艳,庞艳梅,李茂松,等. 干旱胁迫对大豆气孔特征和光合参数的影响[J]. 中国农业科技导报, 2013(1): 109-115.
- [15] 张之为,李晓静,白金瑞,等. 高温条件下 CO₂ 对黄瓜叶片光合速率和气孔特性的影响[J]. 作物杂志, 2016(5): 81-86.
- [16] HU J, YANG Y Q, HUANG W, et al. Effects of temperature on leaf hydraulic architecture of tobacco plants [J]. Planta, 2014, 240: 489-496.
- [17] KOUWENBERG L L R, KURSCHNER W M, MCELWAIN J C. Stomatal frequency change over altitudinal gradients: Prospects for paleoaltimetry [J]. Reviews in Mineralogy & Geochemistry, 2007, 66: 215-241.
- [18] FRASER L H, GREENALL A, CARLYLE C, et al. Adaptive phenotypic plasticity of *Pseudoroegneria spicata*: Response of stomatal density, leaf area and biomass to changes in water supply and increased temperature [J]. Annals of Botany, 2009, 103: 769-775.
- [19] 朱玉,黄磊,党承华,等. 高温对蓝莓叶片气孔特征和气体交换参数的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 218-225.
- [20] ZHENG Y, MING X, SHEN R, et al. Effects of artificial warming on the structural, physiological, and biochemical changes of maize (*Zea mays* L.) leaves in northern China [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2013, 35(10): 2891-2904.
- [21] 周云龙. 植物生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [22] 杜尧东,李键陵,王华,等. 高温胁迫对水稻剑叶光合和叶绿素荧光特征的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 31(10): 2541-2548.
- [23] BIBI A C, OOSTERHUIS D M, GONIAS E D. Photosynthesis, quantum yield of photosystem II and membrane leakage as affected by high temperatures in cotton genotypes [J]. The Journal of Cotton Science, 2008(12): 150-159.
- [24] HALDIMANN P, FELLER U. Growth at moderately elevated temperature alters the physiological response of the photosynthetic apparatus to heat stress in pea (*Pisum sativum* L.) leaves [J]. Plant, Cell and Environment, 2005, 28: 302-317.
- [25] 石雪晖,陈祖玉,刘昆玉,等. 空气相对湿度对野生葡萄的生理影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(4): 65-67.
- [26] 刘世平,邓雄,蔡楚雄,等. 4 种木瓜新品种光合作用日变化以及气孔导度—VPD 响应 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42(S1): 215-218.
- [27] 吴韶辉,蔡妙珍,石学根. 高温对植物叶片光合作用的抑制机理[J]. 现代农业科技, 2010(15): 16-18.
- [28] 杨阿利,成自勇,薛燕翎,等. 张掖市设施葡萄延后栽培温湿度调控[J]. 农业科学, 2011, 39(2): 136-139.
- [29] 杨再强,朱静,张波,等. 高温处理对结果期草莓叶片衰老特征的影响[J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 512-518.

Effects of High Temperature and High Humidity on Stomatal and Photosynthesis Characteristics of Grape Leaves in Greenhouse

ZHU Yuqing, YANG Zaiqiang

(Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044)

Abstract: *Vitis vinifera* L. cv. Hongti was used as material. Three levels of daily maximum temperature and relative humidity were set, 30 °C and (70±5)% (T1), 35 °C and (80±5)% (T2), as well as 40 °C and (90±5)% (T3). 25 °C and (60±5)% was as CK. The stomatal and photosynthesis characteristics of grape leaves were measured to study the effects of high temperature and high humidity on stomata characteristics and photosynthesis characteristics of grape leaves. The results showed that the stomata size and stomatal opening in the treatment of high temperature and high humidity under T1, T2 had increased slightly, and the change of stomatal density were opposited. The stomata characteristics of T3 changed obviously, the stomata size, stomatal opening, and ratio of stomatal opening and closure reduced by about 20%, 60% and 50%, respectively, at 8 days, while the stomatal density increased by 40%, compared to CK. The order of the net photosynthetic rate on grape leaf was CK > T1 > T2 > T3. The changes of stomatal conductance and transpiration rate were positively correlated with the increase of high temperature and humidity. Meanwhile, the stomatal conductance and transpiration rate of T3 was the lowest, they were 0.026 mol · m⁻² · s⁻¹ and 0.72 g · m⁻² · h⁻¹, respectively. Therefore, high temperature and high humidity could cause stomatal conductance, transpiration rate and net photosynthetic rate dropped significantly. The results provided an evidence for the control of temperature and humidity in greenhouse grapes.

Keywords: stomatal characteristics; grape; stomatal conductance; photosynthesis characteristics; transpiration rate

欢迎订阅 2018 年《北方园艺》

主管: 黑龙江省农业科学院

主办: 黑龙江省农业科学院、黑龙江省园艺学会

刊号: CN 23-1247/S

邮发代号: 14-150

半月刊 每月 15、30 日出版 单价: 15.00 元 全年: 360.00 元

投稿网址: www.haasep.cn

全国各地邮局均可订阅, 或直接向编辑部汇款订阅。

自 2017 年 13 期起,《北方园艺》栏目改版,设有研究论文、研究简报、设施园艺、园林花卉、资源环境生态、贮藏加工检测、中草药、食用菌、专题综述、产业论坛、不定期刊登栏目(农业经纬、农业经济、农业信息技术)、实用技术、新品种(彩版);刊载文章力求体现科研—生产—技术服务的全产业链,汇聚园艺行业最新科研成果,跟踪园艺学科最新研究热点,期待广大作者、读者、编委一如既往的支持我们。

中文核心期刊(1992—2014)

中国农业核心期刊

美国化学文摘社(CAS)收录期刊

2015、2016 年期刊数字影响力 100 强

地址: 黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路 368 号《北方园艺》编辑部

邮编: 150086 电话: 0451-86674276 信箱: bfybjb@163.com

