

葡萄品种“红地球”光合作用对短期不同梯度水分处理的响应

马 帅¹, 冯金朝¹, 任蓝天¹, 李征珍¹, 李昱娴¹, 赵慧卿²

(1. 中央民族大学 生命与环境科学学院, 北京 100081; 2. 青州市中医院, 山东 青州 262500)

摘 要:对4年生“红地球”葡萄叶片进行为期1个月的4个梯度水分处理:L1(田间最大持水量(50±3)%、L2(田间最大持水量(60±3)%、L3(田间最大持水量(70±3)%、L4(田间最大持水量(80±3)%),在8月测量各处理的植物水势、光合作用日变化、光响应、荧光以及叶绿素含量。结果表明:4个处理方式下Pn日变化均呈单峰曲线,趋势基本一致,8:00时Pn达到最高,之后下降,L1下降的原因是非气孔因素,L2~L4下降的原因主要是气孔因素。日变化Pn平均值按顺序分别为4.61、8.20、7.76、7.60 CO₂ μmol·m⁻²·s⁻¹,在P<0.05水平上L1显著低于另外3个处理。光响应的数据发现最大光合速率Pn_{max}则是(L2、L3)>L4>L1。通过比较4个处理Fv/Fm以及叶绿素含量,发现L1和L4的Pn_{max}降低的主要原因是叶绿素含量的降低,与光系统II(PSII)光化学效率无关,因为4个处理Fv/Fm没有显著差异(P<0.05)。因此适度的灌水对于“红地球”保持高Pn是必要的,过量或者不足的灌水都会导致Pn的下降。

关键词:“红地球”葡萄;水势;水分利用效率;叶绿素荧光;叶绿素含量

中图分类号:S 663.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)14-0011-05

水是干旱区植物生长最重要的限制因子之一,而全球气候变暖则正在加剧水资源亏缺^[1-3]。我国是一个水资源严重匮乏且分配严重不均的国家,而农业方面粗放的用水方式又使有限的水资源难以得到充分的利用^[4]。葡萄是宁夏地区最为重要的经济果树之一,在贺兰山东麓,水热系数、温度、湿度等方面,该地区比法国的波尔多地区更胜一筹^[5]。这里种植葡萄含糖量高,含酸量适中,产量高,是一个得天独厚的绿色食品基地,但是关于当地葡萄灌水量方面相对系统的研究很少。很多研究表明,不同品种葡萄不同生长时间对水分的敏感程度存在很大的差异。只有适度的水分才会有利于植物生长和发育,干旱胁迫或者过量的水分都会影响和抑制植物发育。水分亏缺会导致植物细胞渗透压失衡,细胞永久性损伤,叶片净光合速率下降,光系统损伤,进而导致经济型作物长势和产量明显的下降^[6-9]。水分过度会导致

植物根系变浅,抗逆性降低,光合作用水分利用效率降低,果实含糖量下降等一系列后果^[10-13]。因此,通过不同梯度灌溉水平来处理葡萄品种“红地球”,观测“红地球”光合作用日变化、光响应、荧光以及光合色素的变化,筛选最优灌溉方案,以期当地葡萄生产以及节水农业提供技术支持及参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于宁夏回族自治区银川市贺兰县中央民族大学“民族生物学引智创新基地”(东经106°25',北纬38°48'),该地四季分明,属于温带大陆性气候,年均温8.5℃,平均日照时数2 800~3 000 h,年降水量200 mm,降水稀少,气候干燥,无霜期185 d。土壤类型为灌淤土,土壤有机质含量约15 g/kg,最大田间持水量46.52%。

1.2 试验材料

供试材料为4年生葡萄品种“红地球”,露天栽培,株距1.20 m,行距1.50 m,行向为南北方向。

1.3 试验方法

试验时间为2012年7—8月。按照葡萄需水特点,共设置4个梯度,L1(田间最大持水量(50±3)%、L2(田间最大持水量(60±3)%、L3(田间最大持水量(70±3)%、L4(田间最大持水量(80±3)%。从2012年7月2日开始每个处理选取1行(至少10株)“红地球”葡萄进行灌溉并将土壤体积含水量保持在所设定的梯度上,

第一作者简介:马帅(1986-),男,博士研究生,研究方向为植物生理生态学。E-mail:402241274@qq.com

责任作者:冯金朝(1964-),男,博士,教授,现主要从事荒漠化防治等工作。E-mail:fengjinchao@muc.edu.cn

基金项目:国家外专局和教育部高等学校学科创新引智计划(111计划)资助项目(2008-B08044);中央民族大学自主科研资助项目(MUC2011ZDKT09);中央民族大学一流大学一流学科建设资助项目(YLDX01013)。

收稿日期:2015-03-15

每5 d用TDR-300土壤水分测定仪测量20 cm深度土壤体积含水量并适度补水以保持土壤含水量。处理1个月于2012年8月初每个处理选取4株植物进行光合等各个指标的测量,所有指标均至少选取3株植物,每株植物至少测量3个叶片,每个叶片至少记录3个平行样。

1.4 项目测定

1.4.1 光合作用日变化 2012年8月上旬在晴朗无云的天气,选定事先标记的健康成熟的叶片利用LI-6400便携式光合测定仪从6:00—18:00每隔2 h测定1次叶片净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、胞间二氧化碳浓度(Ci)等指标,同时记录当天的光量子通量(PPFD)和空气温度(Ta)等环境指标。水分利用效率 $WUE = Pn/Tr$;气孔限制值 $Ls = 1 - Ci/Ca$ 。

1.4.2 光合作用光响应 利用LI-6400便携式光合测定仪自带的红蓝光源叶室(6400-02 LED Light source)在不同光量子通量密度下(PPFD, 1 800、1 600、1 400、1 200、1 000、800、600、400、200、100、50、0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)测

定叶片的净光合速率,测定时采用钢瓶供给 CO_2 , CO_2 浓度设定为350 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

1.4.3 叶片水势 利用WP-4露点水势仪测定葡萄叶片的黎明水势(3:00)和正午水势(14:00)。

1.4.4 叶绿素荧光 在光合作用日变化当天3:00利用PAM-2100调制叶绿素荧光测定仪测定各处理梯度下已标记葡萄叶片光系统II(PSII)最大光化学效率(Fv/Fm)。

1.4.5 叶绿素含量 叶绿素含量采用80%丙酮提取比色法测定。

1.5 数据分析

光合作用光响应模拟使用光合助手(Photosynthesis assistant),方差分析采用SPSS 19,作图采用Excel 2010。

2 结果与分析

2.1 不同梯度水分处理“红地球”光合作用日变化

图1-A、B反映测量当天的光强和温度。由图1-C可以

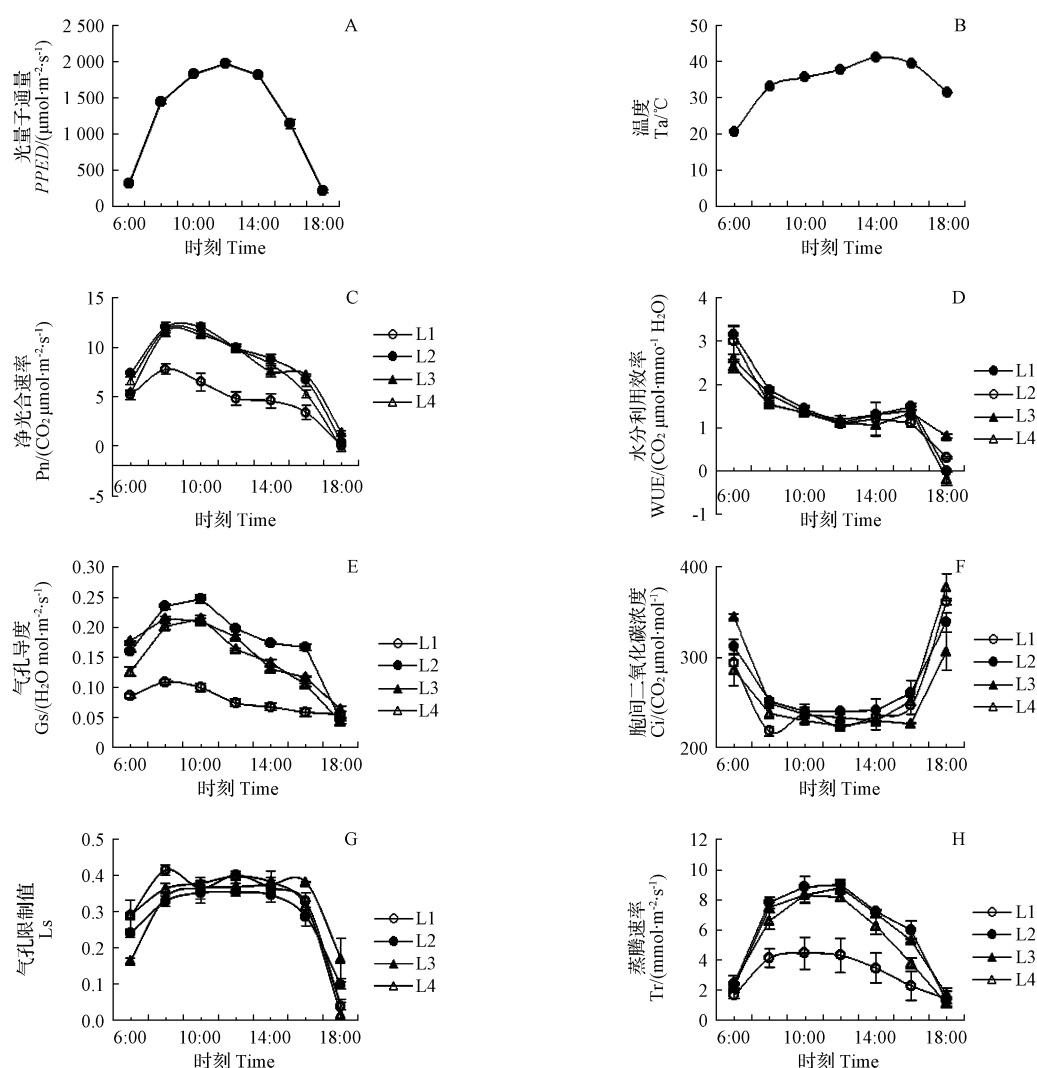


图1 不同梯度水分处理“红地球”重要光合指标日变化

Fig. 1 Diurnal variety of important photosynthesis index under different irrigation level of 'Red Global'

看出,4个处理方式下 P_n 变化均呈单峰曲线,趋势基本一致,8:00时 P_n 达到最高,峰值 L1、L2、L3、L4 分别为 7.79、12.04、11.58、11.82 $\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, P_n 平均值 L1~L4 分别为 4.61、8.20、7.76、7.60 $\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,从平均值和峰值均可以发现 L2、L3、L4 净光合速率基本一致,L1 的 P_n 明显低于其它3个处理,由于 L1~L4 灌水量逐渐增加,直至过量,所以可知水分胁迫会降低“红地球” P_n ,同时由于 L2~L4 的 P_n 区别不大,因而可以推断过量灌水对日平均 P_n 并没有积极的影响。6:00—8:00 P_n 升高的主要原因是随着时间的推移,光合有效辐射增加。8:00—10:00 L1 的 P_n 呈现下降的趋势,L2~L4 的 P_n 基本保持一致,直到 10:00 开始才出现下降的趋势。FARQUHAR 等^[14]认为 P_n 和 C_i 同时降低,同时 L_s 升高才能判断净光合速率的降低是气孔因素造成的。综合图 1-F 和图 1-G,发现 L2~L4 在午间 P_n 的降低符合这一论断,光合速率降低是由于气孔因素所导致,而 L1 午间时 P_n 降低, L_s 降低, C_i 升高,不符合这一论断,所以 L1 午间光合速率的下降是非气孔因素导致的。

WUE 反映的是单位水分消耗下植物干物质的积累能力,是评价植物耐旱程度的一个重要指标。由图 1-D 可以看出,L1~L4 的 WUE 早上较高,过 10:00 后一直降低。L1~L4 的 WUE 平均值分别为 1.49、1.38、1.38、1.36 $\text{CO}_2 \mu\text{mol}/\text{mmol H}_2\text{O}$,水分较亏缺的 L1 的 WUE 较高一些,表明适度的水分亏缺会提高植物水分利用效率。很多前人的研究发现适宜的水分胁迫会提高水分利用效率,过量的水分会降低水分利用效率^[15]。L1 水分利用效率高于另外3个处理,支持这一结论,同时发现 L2~L4 的 WUE 基本一致,即过高的供水量没有降低水分利用效率,表明“红地球”水分耐受阈值能力很广。

2.2 不同梯度水分处理“红地球”水势的变化

叶片水势的高低常被用来判断植物的水分状况。从表 1 可以看出,清晨水势 L1 低于另外3个处理,但是

在正午时 $(L3, L2) > (L1, L4)$ 。从清晨至正午植物细胞通过蒸腾作用来规避高光高温的环境,所以叶片水势会出现下降。下降幅度 L1~L4 分别为 -32.03%、-33.14%、-28.96%、-46.06%。L4 水势下降最为明显,而水分最为亏缺的 L1 无论是清晨还是正午水势都是最低。

表 1 不同梯度水分处理“红地球”叶片水势的变化

Table 1 The variety of ‘Red Global’

water potential under different irrigation levels

处理	清晨水势	正午水势
Treatment	Water potential at early morning/MPa	Water potential at noon/MPa
L1	-2.06±0.15a	-2.72±0.12a
L2	-1.72±0.09b	-2.29±0.11b
L3	-1.83±0.11b	-2.36±0.08b
L4	-1.65±0.08b	-2.41±0.14ab

注:同列不同字母表示不同处理间具有显著性差异($P < 0.05$),以下同。

Note: Different letter show significant difference at $P < 0.05$, the same below.

2.3 不同梯度水分处理“红地球”光响应参数变化

由表 2 可以看出,L1 处理的 $P_{n\max}$ 在 $P < 0.05$ 水平上低于另外3个处理,与 L2 相比,L1 降低了 35.68%,表观量子效率(AQY)也遵循同样的规律,表明干旱胁迫会导致 $P_{n\max}$ 和 AQY 的降低,即理想状况下的光合速率和对弱光的利用能力都会因水分胁迫而出现下降。值得注意的是 R_d 的数据 L4 显著低于另外3个处理,进而导致 LCP 也显著高于另外3个处理。于晓娜等^[15]观测到当浇水量超过紫花苜蓿适宜的范围时,植物呼吸作用会增强,因而植物净光合速率会降低。葡萄也遵循同样的规律,过量灌水会通过提高 R_d 来对 $P_{n\max}$ 造成消极影响。

2.4 不同梯度水分处理“红地球”荧光参数变化

F_v/F_m 主要反映 PSII 最大光化学效率,L1~L4 最大光化学效率无显著差异($P < 0.05$),表明干旱胁迫没有降低 PSII 光化学效率,植物的 PSII 并没有因干旱胁迫而受损,“红地球”抗旱能力很强,而导致日均 P_n 锐减的应该是其它的因素。

表 2 不同梯度水分处理“红地球”光响应曲线参数变化

Table 2 Parameters of the photosynthesis-light response curve characteristics of ‘Red Global’ under different irrigation levels

处理	最大光合速率	暗呼吸速率	表观量子效率	光补偿点
Treatment	$P_{n\max}/(\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$R_d/(\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$AQY/(\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1})$	$LCP/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$
L1	13.100±0.781a	-1.470±0.083a	0.057±0.003a	26.000±0.950a
L2	20.367±0.318b	-1.790±0.082a	0.0677±0.006b	26.766±1.805a
L3	20.567±1.033b	-1.723±0.178a	0.070±0.004b	25.066±3.956a
L4	18.300±0.321b	-2.637±0.266b	0.066±0.006b	41.200±2.702b

2.5 不同梯度水分处理“红地球”叶绿素含量变化

叶绿素含量是光合色素中重要的色素分子,参与光合作用中光能的吸收、传递和光能转化^[17]。从图 2 可以

看出,叶绿素 a(Chl a)和叶绿素 b(Chl b)变化规律相同, $(L2, L3) > L1 > L4$,表明过高或者过低的水分处理都会降低叶片叶绿素含量。叶绿素变化的趋势与 $P_{n\max}$ 基本

一致,而且存在显著差异,可以推测叶绿素含量是造成 Pn_{max} 变化的主要原因。

表 3 不同水分梯度处理对“红地球”叶片 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 的影响

Table 3 Parameters of the photosynthesis-light response curve characteristics of ‘Red Global’ under different irrigation levels

处理 Treatment	初始荧光 F_o	最大量子效率 F_v/F_m	最大荧光 F_m
L1	0.109±0.001a	0.801±0.002a	0.538±0.005a
L2	0.106±0.002a	0.802±0.006a	0.544±0.009a
L3	0.103±0.006a	0.800±0.008a	0.519±0.026a
L4	0.104±0.001a	0.792±0.006a	0.527±0.016a

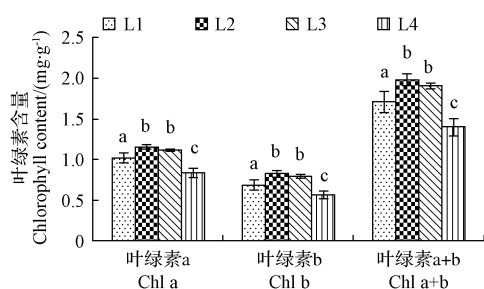


图 2 不同梯度水分处理对“红地球”叶片叶绿素含量的影响

Fig. 2 ‘Red Global’ leaf chlorophyll content under different irrigation levels

3 讨论

水分胁迫对植物光合作用影响的一直广泛的受到研究者的重视。水分是影响植物光合作用的因素之一,水分胁迫引起净光合速率降低,主要通过 2 个方面,第一是气孔因素。午间高温、高光强致使植物叶片蒸腾作用剧烈,植物为避免过度失水损伤叶肉细胞而关闭气孔,由于气孔同时也是外界 CO_2 进入细胞进行光合作用的通道,关闭的气孔阻碍 CO_2 进入叶片,致使 CO_2 向叶绿体的供应减少;第二是非气孔因素,主要是 2 种光抑制的作用,可逆的光抑制是对多余光能消耗的保护措施,不可逆的光抑制说明光合系统受到伤害^[18]。由图 1 发现 L1 午间 Pn 的降低主要是由于非气孔因素的作用,而 L2~L4 午间 Pn 降低则是由于气孔因素。李娟等^[19]发现干旱处理超过 21 d 的黄条金刚竹在生理形态上出现叶片内卷下垂等,而且 Pn 的限制因素也由气孔因素变为非气孔因素。“红地球”呈现出了相同的规律,表明干旱胁迫会对葡萄叶肉细胞造成损伤,进而造成 Pn 的下降。光响应的数据也支持这个论断, Pn_{max} 的数据 L1 低于 L2~L4。L2~L4 日变化 Pn 变化不明显,张淑勇等^[20]通过不同梯度水分处理黄刺玫研究发现,较高的土壤水分有利于叶片水势的提高,但是并没有提高植物净光合速率,该试验结果也支持这个结论,过量的灌水会提高清晨水势,但是不会提高葡萄的光合速率,因此适量的灌水可以在节省水资源的同时保证葡萄的正常生

长发育。

许大全等^[21]认为,葡萄光合日变化曲线可以呈现 2 种趋势,干旱区植物可以是双峰曲线,即在中午出现光合午休,原因是为了提高水分利用效率,降低中午失水;光合作用日变化也会呈现单峰曲线,单峰曲线的形成有 2 种情形,第一种是水分充足,限制因素是仅仅是光强,中午光最强,因而 Pn 最高,很明显该试验不是这种情形。第二种是植物利用早上的低温适宜光强 ($1\ 500\ \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 左右)进行光合作用,到 10:00 温度太高水分消耗加剧时即已经开始关闭气孔,维持水分,该数据符合这种论断,图 1-B 支撑了这个说法,8:00—16:00 环境温度均在 $35^\circ C$ 以上,植物为保水而关闭气孔, CO_2 摄入量降低,因而 Pn 从 8:00 开始下降,呈现单峰曲线。

光响应数据基本验证日变化均值的变化规律,L1 小于另外 3 个处理,值得注意的是 L4 过量灌水也会降低 Pn_{max} ,而降低的主要原因是 Rd 过高,跟许多前人的研究结果相同^[22],表明过度的灌水虽然不会降低葡萄日变化速率,但是会降低单位面积葡萄叶片的光合潜力。适度灌水有利于植物的净光合潜力。

叶绿素荧光作为一种快速、灵敏、无伤、大数据量的方法被广泛的应用于植物抗逆性的试验。前人很多研究均发现干旱胁迫导致 PSII 系统受到不同程度的损坏^[7],非光化学猝灭(NPQ)保护功能变弱,天线色素的热耗散功能受到抑制。该试验结果与前人结果不太相同, F_v/F_m 随着灌水水平的降低没有出现显著差异,表明 PSII 系统的损伤并不是 L1 的日均 Pn 较低的原因。 F_v/F_m 未随着干旱胁迫出现变化可能的原因是“红地球”较为耐旱,处理时间较短或者处理条件不够极端,而证实这个猜测需要进一步的试验。

大量的研究表明,叶绿素含量的降低会对叶片净光合作用产生直接的影响^[7,9],L1 和 L4 叶绿素总量均低于 L3,与日变化 Pn 和光响应均值数据趋势相一致,表明叶绿素梯度的变化很可能是造成 Pn_{max} 的最主要的因素。过量灌水和干旱胁迫都会降低叶片的净光合速率,周江等^[23]的研究表明,干旱胁迫会造成植物叶片黄化、脱落等,叶片叶绿素含量也会下降,与“红地球”的试验结果相一致,而过量的水分会影响光合产物的分配,造成植物疯长,叶绿素原料供应不足,进而导致叶绿素总量降低^[17]。

综上,不同梯度水分处理“红地球” Pn 呈单峰曲线,8:00 之后开始下降,灌水量最少的 L1 午间 Pn 降低的原因是非气孔因素,L2~L4 为气孔因素。干旱胁迫同时会提高葡萄的水分利用效率;通过光响应曲线发现干旱

胁迫会将降低葡萄 Pn_{max} ,而过量的水分会提高 Rd ,同样不利于葡萄有机物的积累;通过叶绿素荧光和叶绿素含量的数据发现干旱胁迫和灌水过量降低 Pn_{max} 的主要原因是叶绿素含量的降低,与 $PSII$ 无关。

(该文作者还有冯亚磊,单位同第一作者。)

参考文献

- [1] ZONG Y, SHANGGUAN Z. Nitrogen deficiency limited the improvement of photosynthesis in maize by elevated CO_2 under drought[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(1): 73-81.
- [2] MIYASHITA K, TANAKAMARU S, MAITANI T, et al. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress[J]. Environmental and Experimental Botany, 2005, 53(2): 205-214.
- [3] 王艳杰, 彭羽, 薛达元, 等. 七个引种葡萄的生理生态特征的比较研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2012(6): 6-13.
- [4] 李秋燕, 何雪焯. 宁夏贺兰山东麓葡萄产业的资源优势及发展对策探讨[J]. 宁夏农林科技, 2009(3): 80-81.
- [5] 赵润良, 何万丽. 宁夏葡萄生产机械化现状及发展对策[J]. 中国农机化, 2012(6): 15-17.
- [6] 孟林, 陈淑燕, 毛培春, 等. 3种薰衣草光合生理特性对干旱胁迫的响应[J]. 草地学报, 2014(3): 653-656.
- [7] 王振兴, 陈丽, 艾军, 等. 不同干旱胁迫对山葡萄的光合作用和光系统 II 活性的影响[J]. 植物生理学报, 2014(8): 1171-1176.
- [8] 于惠琳, 史振声, 丛玲, 等. 干旱胁迫下甜高粱和粒用高粱光合及生理响应比较[J]. 江苏农业科学, 2014(2): 72-75.
- [9] GU J, QIU M, YANG J. Enhanced tolerance to drought in transgenic rice plants overexpressing C4 photosynthesis enzymes[J]. The Crop Journal, 2013, 1(2): 105-114.

- [10] 马帅, 冯金朝, 李熙盟, 等. 土壤盐胁迫对葡萄光合作用特性的影响[J]. 北方园艺, 2012(12): 4-8.
- [11] 陈翠琴, 吕洪飞, 黄四娣, 等. 三白草科 2 种植物光合作用和叶绿素荧光特性的比较研究[J]. 浙江农业学报, 2011(4): 725-730.
- [12] 赵宝平, 庞云, 曾昭海, 等. 有限灌溉对燕麦产量和水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007(1): 105-108.
- [13] 邱权, 潘昕, 李吉跃, 等. 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率[J]. 生态学报, 2014(6): 1401-1410.
- [14] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33: 317-345.
- [15] 于晓娜, 赵杰, 祁瑜, 等. 羊草和紫花苜蓿生长特征及光合特性对不同土壤水分的响应[J]. 生态学报, 2014(21): 6067-6075.
- [16] 李志军, 罗青红, 伍维模, 等. 干旱胁迫对胡杨和灰叶胡杨光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 干旱区研究, 2009(1): 45-52.
- [17] 胡继超, 姜东, 曹卫星, 等. 短期干旱对水稻叶水势、光合作用及干物质分配的影响[J]. 应用生态学报, 2004(1): 63-67.
- [18] POMPELLI M F, BARATA -LUÍS R, VITORINO H S, et al. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery[J]. Biomass and Bioenergy, 2010, 34(8): 1207-1215.
- [19] 李娟, 彭镇华, 高健, 等. 干旱胁迫下黄条金刚竹的光合和叶绿素荧光特性[J]. 应用生态学报, 2011(6): 1395-1402.
- [20] 张淑勇, 夏江宝, 张光灿, 等. 黄刺玫叶片光合生理参数的土壤水分阈值响应及其生产力分级[J]. 生态学报, 2014(10): 2519-2528.
- [21] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.
- [22] 闫萌萌, 王铭伦, 王洪波, 等. 光质对花生幼苗叶片光合色素含量及光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2014(2): 483-487.
- [23] 周江, 胡佳佳, 裴宗平, 等. 干旱胁迫下两种岩石边坡修复植物的抗旱性[J]. 北方园艺, 2014(24): 70-73.

The Reaction of Grape ‘Red Global’ Photosynthesis Rate on Short Term Different Level Irrigation Treatments

MA Shuai¹, FENG Jinchao¹, REN Lantian¹, LI Zhengzhen¹, LI Yuxian¹, ZHAO Huiqing², FENG Yalei¹

(1. College of Life and Environment Science, Minzu University of China, Beijing 100081; 2. Traditional Chinese Medical Hospital of Qingzhou City, Qingzhou, Shandong 262500)

Abstract: 4-year-old ‘Red Global’ grapes were watered in 4 levels in a month: L1 (50 ± 3)% maximum soil moisture capacity), L2 (60 ± 3)% maximum soil moisture capacity), L3 (70 ± 3)% maximum soil moisture capacity, L4 (80 ± 3)% maximum soil moisture capacity. Water potential, diurnal variety of photosynthesis, light response curve, chlorophyll fluorescence and chlorophyll content were measured after the treatment. The results showed that, diurnal variety of net photosynthesis rate (Pn) showed a one peak curve with a significant decrease after 8:00 am of all 4 treatments. The decrease reason for L1 was non-stomatal reason, but L2, L3 and L4 were stomatal reason. The average value of Pn from L1 to L4 was $4.61 CO_2 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, $8.20 CO_2 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, $7.76 CO_2 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ and $7.60 CO_2 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, the average value for L1 was smaller than other treatments ($P < 0.05$). After compared maximum net photosynthesis rate by using light response curve, Pn_{max} showed $(L2, L3) > L4 > L1$ ($P < 0.05$). The chlorophyll fluorescence and chlorophyll content data showed the decreasing of Pn_{max} in L1 and L4 was decreased of chlorophyll content and had no relationship with chlorophyll fluorescence. Above all, moderate irrigation was necessary for ‘Red Global’ to keeping high Pn .

Keywords: ‘Red Global’ grape; water potential; water use efficiency; chlorophyll fluorescence; chlorophyll content