

doi:10.11937/bfyy.20173675

昼夜温差对果实膨大期番茄光合作用、PS II 光化学活性及能量耗散的影响

袁小康^{1,2}

(1. 南京信息工程大学 应用气象学院, 江苏 南京 210044; 2. 湖南省气象科学研究所, 湖南 长沙 410118)

摘要:为研究昼夜温差对果实膨大期番茄光合作用和 PS II 光化学活性及能量耗散的影响,在人工气候箱对果实膨大期番茄进行昼夜温差处理,设置 25 ℃ 日平均温度下 5 个昼夜温差(DIF)水平,即-18 ℃(16 ℃/34 ℃)、-12 ℃(19 ℃/31 ℃)、0 ℃(25 ℃/25 ℃)、+12 ℃(31 ℃/19 ℃)、+18 ℃(34 ℃/16 ℃)。结果表明:正昼夜温差使净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、叶绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)、最大光化学效率(F_v/F_m)、电子传递速率(ETR)、光化学猝灭系数(qP)等增大,但其均在+18 ℃ DIF 处理下低于+12 ℃ DIF 处理,且随昼夜温差的增大而减少。昼夜温差也影响了 PS II 能量耗散机制,非调节性能量耗散 $Y(NO)$ 、调节性能量耗散 $Y(NPQ)$ 和光量子过剩程度(EPD)在负昼夜温差下增大,在正昼夜温差下减少。正昼夜温差促进光合作用,而负昼夜温差抑制光合作用,并导致一定程度光抑制,光合速率在负昼夜温差下下降主要是非气孔限制作用。

关键词:昼夜温差;番茄;果实膨大期;光合作用;能量耗散

中图分类号:S 641.201 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2018)12-0067-06

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)是全球设施栽培面积最大、产量最多的蔬菜之一。在设施栽培种,番茄的生长发育与昼夜温差(DIF)有紧密的关系^[1-2]。作物生长发育与叶片光合作用密切相关。目前,昼夜温差对作物光合作用的影响有一些报道,但结论并不一致。有报道指出正昼夜温差促进光合速率^[3-5],但也有昼夜温差对光合

作用没有显著影响的报道^[6]。在昼夜温差对番茄光合作用的影响方面,毛丽萍等^[7]研究发现,在日平均温度为 20 ℃ 时,番茄幼苗叶片叶绿素含量和净光合速率随正昼夜温差的增大而增大;杨再强等^[8]研究了 18 ℃ 日平均气温下,+6 ℃ 昼夜温差能够有效地促进番茄的光合作用。已有的研究昼夜温差处理时间大多较短,且未考虑负昼夜温差,而负昼夜温差时常出现在寒潮天气中。因此,昼夜温差对番茄光合作用的影响仍待深入研究。光合作用速率和效率决定作物产量和品质,果实膨大期是番茄产量和品质形成的关键生育期。因此,以番茄为试材,研究正、负昼夜温差对果实膨大期不同阶段番茄光合作用、PS II 光化学活性和

作者简介:袁小康(1987-),女,博士,工程师,研究方向为应用气象。E-mail:yxknuist@126.com.

基金项目:江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(KYLX_0847)。

收稿日期:2018-02-24

strong differentiation ability and strong resistance to disease. The new type of agronomic traits was superior than *V. adenoclona* Hand. -Mazz. The new type which used efficient and pollution-free cultivation technique was beneficial to promote planting in Hunan.

Keywords: wild grape; *Vitis adenoclona* Hand. -Mazz; agronomic characteristic

能量耗散的影响,对于优化设施环境、提高番茄产量和品质具有重要理论和实践意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄为“金冠5号”,属无限生长型,由辽宁省农业科学院提供。

1.2 试验方法

试验在南京信息工程大学进行,在温室采用50孔穴盘基质育苗,番茄苗长至三叶期时,选取生长一致的幼苗,将其移栽至直径25 cm、高30 cm的塑料花盆,每盆1株,具体培养方法参考文献[9]。番茄生长至现果时(花后10 d左右),将番茄在人工气候箱(TPG-2900,澳大利亚)进行昼夜温差处理,共设置25℃日平均温度下-18、-12、0、+12、+18℃共5个昼夜温差处理,即各处理昼/夜温度分别为16℃/34℃、19℃/31℃、25℃/25℃、31℃/19℃、34℃/16℃,具体处理见文献[9]。

1.3 项目测定

试验期间,在第一穗果果实膨大前期(花后11 d)、膨大中期(花后18 d)和膨大后期(花后22 d)分别采用便携式光合仪(LI-6400)测定上数5~8片叶的气体交换参数: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(Tr)。同时采用FMS-2便携调制式荧光仪(Hansatech, UK)测定上述叶片的叶绿素荧光参数。最大光化学效率(F_v/F_m)、电子传递速率

(ETR)、光化学猝灭系数(q_P)、非光化学猝灭系数(NPQ)和实际光化学效率(Φ_{PSII})均由仪器自动计算得出。光合功能相对限制值($L_{(PFD)}$)、PSII处调节性能量耗散 $Y(NPQ)$ 、PSII处非调节性能量耗散 $Y(NO)$ 和光量子过剩程度(EPD)计算公式参考文献[10]。番茄叶片叶绿素含量测定参考文献[11]的方法测定。

1.4 数据分析

采用Excel软件对试验数据进行分析,采用LSD方法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 昼夜温差对叶片气体交换参数的影响

由表1可知,在整个果实膨大期,在负昼夜温差下,番茄净光合速率与零昼夜温差相比显著降低。在果实膨大前期,-18℃DIF和-12℃DIF处理与零昼夜温差相比,净光合速率分别下降了26.3%和14.4%,而+12℃DIF和+18℃DIF处理分别增加了48.5%和26.8%。与零昼夜温差相比,气孔导度和蒸腾速率也在负昼夜温差下显著降低,在正昼夜温差下显著增加,但其并未随着正昼夜温差的增大而增大,+12℃DIF处理均大于+18℃DIF处理。而胞间 CO_2 浓度与零昼夜温差相比,在负昼夜温差下显著增加,在正昼夜温差下显著降低。与果实膨大前期相比,净光合速率、蒸腾速率在果实膨大中期有所增加,但在果实膨大后期又降低。

表1 昼夜温差对番茄果实膨大期气体交换参数的影响

Table 1 Influence of DIF on gas exchange of tomato during fruit expanding stage

项目 Item	时期 Period	昼夜温差处理 DIF treatment/℃				
		-18	-12	0	+12	+18
净光合速率 P_n /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	膨大前期	5.98±0.16d	6.94±0.34d	8.11±0.55c	12.04±0.79a	10.28±0.86b
	膨大中期	6.20±0.25d	7.32±0.52d	9.45±0.62c	14.34±0.64a	12.16±0.25b
	膨大后期	5.95±0.24d	7.22±0.39d	9.21±0.76c	13.47±0.84a	11.14±0.76b
气孔导度 G_s /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	膨大前期	0.13±0.01c	0.15±0.01c	0.17±0.02b	0.22±0.02a	0.19±0.03a
	膨大中期	0.15±0.01a	0.16±0.02a	0.20±0.02b	0.24±0.02c	0.22±0.01c
	膨大后期	0.15±0.02a	0.18±0.02a	0.21±0.03b	0.26±0.03c	0.23±0.03c
胞间 CO_2 浓度 C_i /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	膨大前期	356.34±8.43a	348.23±7.82a	324.56±5.41b	288.24±4.56d	304.87±4.91c
	膨大中期	354.96±8.55a	338.64±7.43a	310.08±6.48b	281.52±4.84d	301.92±8.55a
	膨大后期	358.25±9.49a	353.10±7.94a	330.45±7.48b	292.25±4.37d	308.50±4.53c
蒸腾速率 Tr /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	膨大前期	2.59±0.19d	2.84±0.13c	3.12±0.26c	4.15±0.32a	3.61±0.27b
	膨大中期	2.70±0.19d	2.93±0.13c	3.38±0.28c	4.22±0.34a	3.86±0.27b
	膨大后期	2.65±0.19d	2.89±0.13c	3.24±0.24c	4.18±0.33a	3.76±0.27b

注:同行不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上存在显著性差异,下同。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant difference between treatments at 0.05 level. The same below.

2.2 昼夜温差对叶片叶绿素含量的影响

由表 2 可知,在整个果实膨大期,在负昼夜温差下叶绿素 a 含量与零昼夜温差相比显著降低。在果实膨大前期,−18 ℃ DIF 和 −12 ℃ DIF 处理与零昼夜温差相比,叶绿素 a 含量分别下降了 14.6%和 7.3%,而+12 ℃ DIF 和+18 ℃ DIF 处理分别增加了 19.1%和 9.6%。在整个果实膨大期,叶绿素 b 含量在负昼夜温差下显著降低,在正昼夜温差下显著增加,但其并未随着正昼夜温

差的增大而增大,+12 ℃ DIF 处理大于+18 ℃ DIF 处理。与零昼夜温差处理相比,叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值(Chl a/Chl b)在负昼夜温差下增大,在正昼夜温差下减少,在果实膨大前期,−18 ℃ DIF 和 −12 ℃ DIF 处理与零昼夜温差相比,Chla/Chlb 分别增加了 11.9%和 7.3%,而+12 ℃ DIF 和+18 ℃ DIF 处理分别降低了 7.6%和 5.0%。与果实膨大前期相比,叶绿素 a、叶绿素 b 在果实膨大中期及后期呈增加趋势。

表 2 昼夜温差对番茄果实膨大期叶绿素含量的影响

Table 2 Influence of DIF on chlorophyll content of tomato during fruit expanding stage

项目 Item	时期 Period	昼夜温差处理 DIF treatment/℃				
		−18	−12	0	+12	+18
叶绿素 a 含量 Chl a content/(mg · g ^{−1} FW)	膨大前期	1.52±0.04d	1.65±0.04d	1.78±0.05c	2.12±0.07a	1.95±0.06b
	膨大中期	1.63±0.04d	1.72±0.05d	1.81±0.07c	2.20±0.11a	2.01±0.09b
	膨大后期	1.66±0.05d	1.82±0.05d	1.93±0.07c	2.37±0.11a	2.16±0.09b
叶绿素 b 含量 Chl b content/(mg · g ^{−1} FW)	膨大前期	0.45±0.03d	0.51±0.04d	0.59±0.04c	0.76±0.06a	0.68±0.05b
	膨大中期	0.48±0.02d	0.54±0.03d	0.63±0.04c	0.81±0.07a	0.72±0.05b
	膨大后期	0.50±0.02d	0.56±0.03d	0.69±0.04c	0.88±0.07b	0.79±0.05a
叶绿素 a/叶绿素 b Chl a/Chl b	膨大前期	3.38±0.14a	3.24±0.13a	3.02±0.11b	2.79±0.10c	2.87±0.09c
	膨大中期	3.40±0.14a	3.19±0.13a	2.87±0.11b	2.72±0.08c	2.79±0.09c
	膨大后期	3.32±0.13a	3.25±0.13a	2.80±0.10b	2.69±0.08c	2.73±0.09c

2.3 昼夜温差对叶片 PSⅡ 光化学活性的影响

最大光化学效率(F_v/F_m)反映开放的 PSII 反应中心捕获激发能的效率。从表 3 可以看出,在整个果实膨大期,与零昼夜温差相比,F_v/F_m 在负昼夜温差下减少,在正昼夜温差下增大。在果实

膨大前期,与零昼夜温差相比,−18 ℃ DIF 和 −12 ℃ DIF 处理 F_v/F_m 分别减少了 4.82%和 2.41%,+12 ℃ DIF 和+18 ℃ DIF 处理分别增加了 3.61%和 1.20%,+12 ℃ DIF 处理大于+18 ℃ DIF 处理。

表 3 昼夜温差对番茄果实膨大前期 PSII 光化学活性的影响

Table 3 Influence of DIF on parameters of PSⅡ photochemical activity of tomato during fruit expanding stage

项目 Item	时期 Period	昼夜温差处理 DIF treatment/℃				
		−18	−12	0	+12	+18
最大光化学效率 F _v /F _m	膨大前期	0.79±0.04b	0.81±0.05b	0.83±0.05a	0.86±0.06a	0.84±0.06a
	膨大中期	0.81±0.04a	0.83±0.04a	0.85±0.05b	0.87±0.06c	0.86±0.05b
	膨大后期	0.80±0.04b	0.82±0.05b	0.84±0.05a	0.86±0.06a	0.85±0.06a
实际光化学效率 Φ _{PSII}	膨大前期	0.54±0.03c	0.57±0.03c	0.62±0.04b	0.71±0.05a	0.66±0.04b
	膨大中期	0.56±0.03a	0.60±0.04a	0.63±0.04b	0.72±0.05c	0.67±0.05c
	膨大后期	0.55±0.03c	0.57±0.03c	0.61±0.04b	0.70±0.05a	0.66±0.04b
电子传递速率 ETR	膨大前期	136.08±0.03a	146.16±0.03a	153.72±0.03a	178.92±0.03a	163.80±0.03a
	膨大中期	142.08±0.03a	150.16±0.03a	162.72±0.03a	182.92±0.03a	168.80±0.03a
	膨大后期	139.12±0.03a	148.26±0.03a	156.72±0.03a	181.42±0.03a	166.70±0.03a
光化学淬灭系数 qP	膨大前期	0.63±0.04d	0.68±0.04c	0.73±0.05b	0.80±0.05a	0.76±0.05b
	膨大中期	0.64±0.04d	0.70±0.04c	0.77±0.05b	0.83±0.05a	0.80±0.05b
	膨大后期	0.63±0.04d	0.67±0.04c	0.74±0.05b	0.81±0.05a	0.78±0.05b
光合功能相对限制值 L _(PFD)	膨大前期	0.43±0.06a	0.38±0.05a	0.31±0.04b	0.28±0.03b	0.33±0.03b
	膨大中期	0.41±0.06a	0.36±0.05a	0.29±0.04b	0.26±0.03b	0.31±0.03b
	膨大后期	0.42±0.06a	0.37±0.05a	0.30±0.04b	0.27±0.03b	0.31±0.03b

实际光化学效率(Φ_{PSII})是在光合作用进程中,PSII 每获得一个光量子所能引起的总的光化学反应。从表 3 可以看出,在整个果实膨大期,与零昼夜温差相比, Φ_{PSII} 在负昼夜温差下显著减少,在正昼夜温差下显著增加。在果实膨大前期, $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF和 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理与零昼夜温差相比,实际光化学效率分别减少了 12.9%和 8.1%,而 $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF和 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理分别增加了 14.5%和 6.5%, $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理大于 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理。

电子传递速率(ETR)反映实际光强条件下的电子传递效率。在整个果实膨大期,ETR 在负昼夜温差下显著减少,在正昼夜温差下显著增加。在果实膨大前期, $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 和 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理与零昼夜温差相比,ETR 分别减少了 11.5%和 4.9%,而 $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 和 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理分别增加了 16.4%和 6.6%, $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理大于 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理。光化学猝灭系数(qP)反映了 PSII 反应中心的开放程度。在整个果实膨大期, qP 在负昼夜温差下显著减少,在正昼夜温差下增

加, $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理大于 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理。光合功能相对限制值($L_{(PFD)}$)为光合作用相对其最适状态受到的限制程度。在整个果实膨大期, $L_{(PFD)}$ 在负昼夜温差下显著增大,而在 $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理下减少,在 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理下增大(表 3)。

2.4 昼夜温差对叶片 PS II 能量耗散机制的影响

非调节性能量耗散(Y(NO))表示因 PSII 反应中心关闭引起的以热和荧光的形式耗散掉的过剩光能所占的比例,是光伤害的重要指标。由图 1(a)可以看出,在整个果实膨大阶段,与零昼夜温差处理相比,Y(NO)在负昼夜温差下增加,而 $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF处理减少, $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理增大。在果实膨大前期,Y(NO)在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 和 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理分别增加了 36.1%和 16.0%,而 Y(NO)在 $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理下减少了 12.0%,在 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 下增加了 8.2%。调节性能量耗散(Y(NPQ))表示通过光保护途径以热的形式耗散掉的光能所占的比例。与零昼夜温差相比,Y(NPQ)在负昼夜温差下增大,而 $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理减少, $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF 处理增加。在果实膨大前

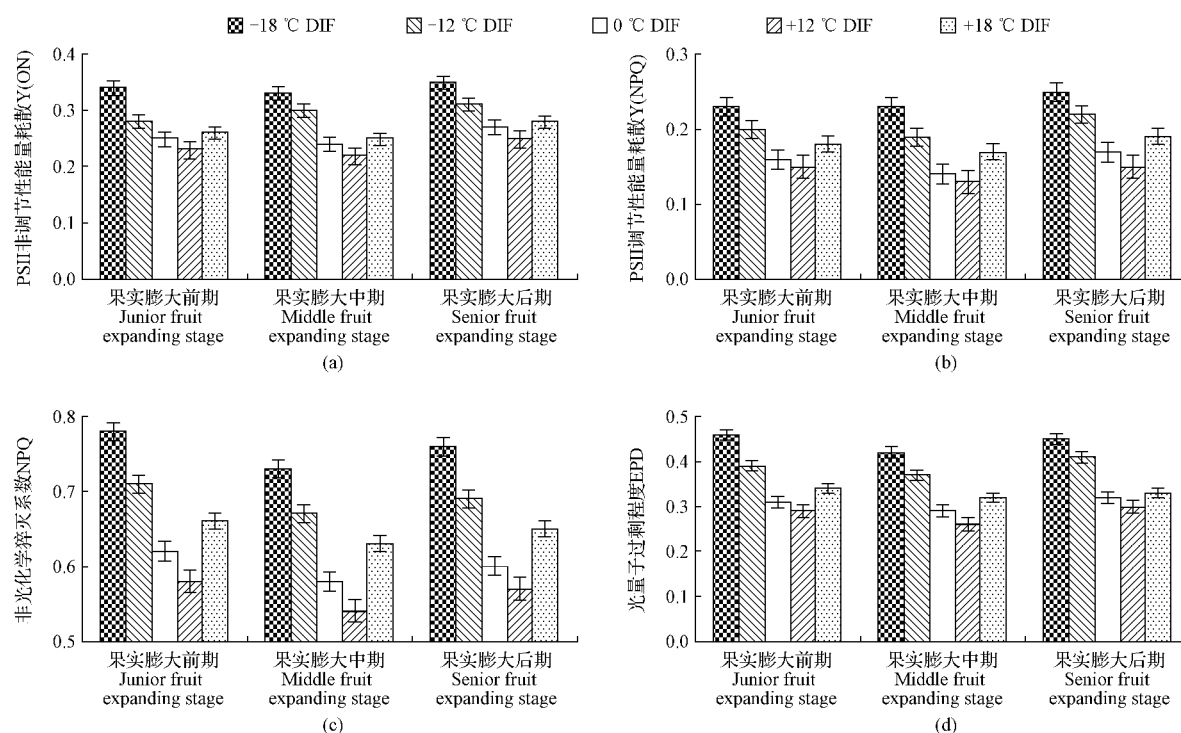


图1 昼夜温差对果实膨大期番茄 PSII 非调节性能量耗散的量子产额、调节性能量耗散的

量子产额、非光化学淬灭系数和光量子过剩程度的影响

Fig. 1 Influence of DIF on Y(NO), Y(NPQ), NPQ and EPD of tomato PSII during fruit expanding stage

期,与零昼夜温差相比, $Y(NPQ)$ 在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF和 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF处理下分别增加了43.8%和25.0%,而 $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF处理减少了6.3%,在 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF处理下增加了12.5%。非光化学淬灭系数(NPQ)反映的是PSII天线色素吸收的光是否用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分。在整个果实膨大期,与零昼夜温差相比,NPQ在负昼夜温差下显著增加,而 $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF处理减少,在 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF处理下增加。光量子过剩程度(EPD)是一个反映可能发生光抑制的指标。在整个果实膨大期,与零昼夜温差相比,EPD在负昼夜温差下显著增加,在 $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF处理下减少,在 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF处理下有所增加。

3 结论与讨论

该研究结果表明,与零昼夜温差处理相比,净光合速率在正昼夜温差下升高,在负昼夜温差下降低,这与BUNCE^[3]、AGRAWAL等^[5]、毛丽萍等^[7]的研究结果一致。正昼夜温差促进光合速率增加的原因可能是正昼夜温差下的较大昼温激活了光合作用关键酶—Rubisco的活性或者增加了其数量,提高了叶肉细胞光合活性,从而促进光合速率的增加。 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF下净光合速率比 $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF下小,与CHABOT等^[12]研究结果一致,原因可能是 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF下昼温过高($34\text{ }^{\circ}\text{C}$)所致。与零昼夜温差处理相比,气孔导度在负昼夜温差下稍微降低,在正昼夜温差下稍微增加,这与毛丽萍等^[7]的研究结果一致。大量研究表明^[13-16],正昼夜温差促进叶绿素含量的增加,负昼夜温差使叶绿素含量减少,该研究结果也证实了这一发现。在负昼夜温差下,Chl b减少幅度比Chl a大,从而Chl a/Chl b在负昼夜温差下增大,与VAGENA等^[15]的研究结果一致。原因可能是植物对环境的适应,植物在负昼夜温差下通过降低光捕获量来避免发生光抑制。

叶绿素荧光信号能快速灵敏地反映植物生理状态及其与环境的关系,包含了十分丰富的光合作用过程变化的信息。与零昼夜温差相比,负昼夜温差下 F_v/F_m 显著降低,而正昼夜温差下无明显变化甚至稍微升高。 Φ_{PSII} 是一个重要的荧光指标,较高的 Φ_{PSII} 值,有利于提高光能转化效率。

Φ_{PSII} 在负昼夜温差下减少,而在正昼夜温差下增加,说明光能转化效率在负昼夜温差下受到抑制,而正昼夜温差对其有促进作用。许多研究把 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 视作植物在逆境下发生光抑制的指标^[16]。在负昼夜温差下,番茄 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 降低,说明在负昼夜温差下番茄发生了一定程度光抑制。ETR在负昼夜温差下降低,而正昼夜温差下升高,说明负昼夜温差对表观电子传递速率有抑制作用,而正昼夜温差对其有促进作用。与零昼夜温差处理相比,qP随负昼夜温差的增大而减少,在正昼夜温差下增加,说明PSII反应中心的开放程度在负昼夜温差下减少,在正昼夜温差下增大。 $L_{(PFD)}$ 在负昼夜温差下增大,但在正昼夜温差下减少,说明负昼夜温差对光合作用有一定程度抑制。 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF下 $L_{(PFD)}$ 比 $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF大,说明 $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF处理相对 $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ DIF处理对光合作用有一定抑制。

$Y(NPQ)$ 反映PSII处理过剩光能的能力,是NPQ保护机制的组成部分。与零昼夜温差处理相比, $Y(NPQ)$ 在负昼夜温差下增大,且负昼夜温差越大, $Y(NPQ)$ 越大,说明负昼夜温差下光能过剩,出现了一定程度光抑制。NPQ随负昼夜温差下增大而增大,原因是番茄叶片在负昼夜温差下通过热耗散的途径散失更多能量,从而尽量避免发生光抑制。与零昼夜温差处理相比,光量子过剩程度在负昼夜温差下显著增加,且随负昼夜温差的增大而增大,在正昼夜温差下变化较小,说明负昼夜温差下发生了光抑制。与零昼夜温差处理相比, $Y(NO)$ 在负昼夜温差的增大而增大,而 $Y(NO)$ 在正昼夜温差无明显变化,说明负昼夜温差下番茄叶片可能受到一定程度伤害。

参考文献

- [1] GRIMSTAD S O, FRIMANSLUND E. Effect of different day and night temperature regimes on greenhouse cucumber young plant production, flower bud formation and early yield[J]. *Scientia Horticulturae*, 1993, 53: 191-204.
- [2] MORTENSEN L M. Effect of day/night temperature variations on growth, morphogenesis and flowering of *Kalanchoe blossfeldiana* v. Poellin. at different CO_2 concentrations, day-lengths and photon flux densities[J]. *Scientia Horticulturae*, 1994, 59: 233-241.
- [3] BUNCE J A. Effects of day and night temperature and temperature variation on photosynthetic characteristics[J]. *Photo-*

synth Res, 1985(6):175-181.

[4] BERGHAGE R D, FLORE J A, HEINS R D, et al. The relationship between day and night temperature influences photosynthesis but not light compensation point or flower longevity of Easter lily, *Lilium longiflorum* Thunb[J]. Acta Hort, 1990, 272:283-292.

[5] AGRAWAL M, KRIZEK D T, AGRAWAL S B, et al. Influence of inverse day/night temperature on ozone sensitivity and selected morphological and physiological responses of cucumber[J]. J Am Soc Hort Sci, 1993, 118:649-654.

[6] CHABOT B F, LEWIS A R. Thermal acclimation of photosynthesis in northern red oak[J]. Photosynthetica, 1976(10):130-135.

[7] 毛丽萍, 李亚灵, 赵军良, 等. 昼夜温差对番茄幼苗光合作用和物质积累的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(1):128-133.

[8] 杨再强, 朱凯, 彭晓丹, 等. 昼夜温差对设施番茄叶片光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12):3190-3196.

[9] 袁小康, 杨再强. 昼夜温差对番茄果实品质动态变化的影响及模拟[J]. 中国农业气象, 2017, 38(6):353-360.

[10] 孙键, 郑有飞, 吴荣军, 等. 高浓度 O₃ 及太阳辐射减弱对冬

小麦 PSII 光合活性及光能耗散的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(10):2548-2558.

[11] 袁小康, 杨再强, 邱译萱, 等. 番茄叶片叶绿素含量光谱估算模型[J]. 中国农业气象, 2014, 35(6):700-707.

[12] CHABOT B F, CHABOT J F. Effects of light and temperature on leaf anatomy and photosynthesis in *Fragaria vesca* [J]. Oecologia, 1977(26):363-377.

[13] 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.

[14] 郑卫杰, 郭子霞, 王政, 等. 昼夜温差对文心兰试管苗生长的影响[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(4):137-141.

[15] VAGENA I M, MOEB R, RONLAN E. Diurnal temperature alternations (DIF/drop) affect chlorophyll content and chlorophyll a/chlorophyll b ratio in *Melissa officinalis* L. and *Ocimum basilicum* L., but not in *Viola × wittrockiana* Gams[J]. Sci Hort, 2003, 97:153-162.

[16] WAGNER P A, DREYER E. Interactive effects of waterlogging and irradiance on the photosynthetic performance of seedlings from three oak species displaying different sensitivities (*Quercus robur*, *Q. petraea* and *Q. rubra*) [J]. Ann Sci Forest, 1997, 54:409-429.

Effect of Day and Night Temperature Difference on Photosynthesis, Photosynthetic Activity and Energy Dissipation of Tomato During Fruit Expanding Stage

YUAN Xiaokang^{1,2}

(1. School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044; 2. Hunan Research Institute of Meteorological Sciences, Changsha, Hunan 410118)

Abstract: In order to study the effect of day and night temperature difference on photosynthesis, photosynthetic activity and energy dissipation of tomato during fruit expanding stage, one experiment was conducted in climate chambers. Five day/night temperature regimes 16 °C/34 °C, 19 °C/31 °C, 25 °C/25 °C, 31 °C/19 °C and 34 °C/16 °C with respective DIF of -18 °C, -12 °C, 0 °C, +12 °C and +18 °C at a common 25 °C mean daily temperature were used. The results showed that chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b), net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), maximum quantum yield of PSII photochemistry (F_v/F_m) and photochemical quenching (qP) and so on, significantly increased under positive DIF while decreased with negative DIF, which were larger under +12 °C DIF than that of +18 °C DIF. DIF also influenced energy dissipation, the non-regulation of energy dissipation, regulation of energy dissipation and photo excess degree increased under negative DIF while decreased under positive DIF. Therefore, positive DIF promoted photosynthesis while negative DIF inhibited photosynthesis and led to photoinhibition. P_n decreased under negative DIF due to non-stomatal limitation.

Keywords: day and night temperature difference; tomato; fruit expanding stage; photosynthesis; energy dissipation