

水分胁迫对加工番茄光系统Ⅱ的影响

冯胜利^{1,2}, 马富裕¹, 方志刚¹, 王冀川¹

(1. 石河子大学新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆 石河子 832003; 2. 新疆鄯善县农业局, 新疆 鄯善 838200)

摘 要: 利用 JIP-测定分析方法, 研究水分胁迫对加工番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill) 叶片快速叶绿素荧光诱导动力学参数的影响。结果表明, 随土壤水分的下降, 最大荧光 (F_m)、PSⅡ 光化学活性 (F_v/F_m)、量子产额或能量分配比率 (Φ_{Po} 、 Φ_o 和 Φ_{Eo})、单位横截面积的比活性 (RC/CS_M 、 ABS/CS_M 、 TR_o/CS_M 和 ET_o/CS_M)、单位 PSⅡ 反应中心耗散掉的能量 (DI_o/RC)、反应中心密度 (RC/CS_M)、性能指数 (PI_{ABS} 和 PI_{CSM})、推动力 (DF_{ABS}) 均降低, 初始荧光 (F_o)、热耗散的量子比率 (Φ_{Do})、单位面积的热耗散 (DI_o/CS_M)、单位 PSⅡ 反应中心的比活性 (ABS/RC 、 DI_o/RC) 均升高; 性能指数 (PI_{ABS} 、 PI_{CSM}) 和推动力 (DF_{ABS}) 对水分胁迫更为敏感。总之, 水分胁迫下, 加工番茄叶片发生光抑制, PSⅡ 的受体侧受到伤害, PSⅡ 反应中心降解或失活。认为性能指数 (PI_{ABS}) 和推动力 (DF_{ABS}) 可以作为光抑制指标。

关键词: 加工番茄; 叶绿素荧光参数; 水分胁迫; JIP-测定

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0163-05

加工番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill) 是一年生喜温植物, 是加工番茄汁制品的上等原料, 适宜在新疆干旱半干旱的生态环境下生长, 已成为新疆农业发展和区域经济发展的支柱产业。新疆干旱少雨, 水分因子是加工番茄生长发育生态因子中一个关键因子和限制因子, 干旱条件下光合作用信息可以通过叶绿素荧光参数的变化来反映^[1]。

Kautsky 和 Hirsh 最先认识到光合原初反应和叶绿素荧光存在着密切关系^[2], 随着深入研究, 人们逐步认识到荧光诱导动力学曲线中蕴藏着丰富的信息, 利用叶绿素荧光作为天然探针^[3], 可以快速、灵敏和非破坏性地分析逆境因子对光合作用的影响。Strasser^[4,5] 在生物膜能量流动基础上建立了针对快速叶绿素荧光诱导曲线的数据分析和处理方法——JIP-测定 (JIP-test), 为深入研究光合作用原初反应提供了有力而便捷的工具。目前, 对植物体内叶绿素荧光动力学的研究已形成热点, 在强光、高温、低温、干旱等逆境生理研究中得到广泛应用。有关利用 JIP-测定分析方法对加工番茄叶绿素荧光参数随土壤水分变化的研究不多, 因此, 本试验研究加工番茄的快速叶绿素荧光诱导动力学参数对土壤水分的响应, 以探索加工番茄的光合生理机制, 为加工番茄高产节水提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2006 ~ 2007 年在石河子大学试验站进行, 试验地前茬棉花, 土质重壤, 含有机质 1.963%, 碱解氮 56.65 mg/kg, 速效磷 15.50 mg/kg, 速效钾 194.67 mg/kg, 田间持水量 24.1%, 供试品种为新疆主栽品种里格尔 87-5。试验设 3 个处理, A (相对田间持水量的 70% ~ 75%), B (相对田间持水量的 60% ~ 65%), C (相对田间持水量的 50% ~ 55%), 随机排列, 重复 3 次。用时域反射仪 (TDR) 监测 0 ~ 60 cm 土层的土壤水分, 每天测量 3 次, 当土壤含水量达到水分控制下限值时即开始灌溉, 每次滴水量为 22.5 mm。在每处理间用宽为 45 cm 的 PVC 聚酯板插入土壤隔离, 以防止水分互渗。采用膜下滴灌栽培技术, 一膜二行, 一膜一管, 毛管放置在行距中间, 滴头间距为 30 cm, 株距 30 cm, 平均行距 45 cm, 每小区种植 6 行番茄, 小区两边设 2 行保护行。4 月 20 日人工膜上点播, 5 月 2 日出苗, 其它农艺措施按大田管理。

1.2 测定方法

叶绿素快速荧光诱导参数用植物效率分析仪 (Handy PEA Hansatech, 英国) 测定并计算。叶绿素快速荧光诱导曲线, 记录从 10 μ s ~ 1 s 时间间隔中

收稿日期: 2008-01-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30560068); 兵团科技攻关项目 (04GG06); 石河子大学高层次人才科研启动资金专项 (RCZX200522)

作者简介: 冯胜利 (1978-), 男, 新疆和静人, 硕士研究生, 从事作物生理生态研究。E-mail: fsl30@163.com, fsl30@126.com。

通讯作者: 马富裕, 男, 教授, 博士生导师, 从事作物生理生态研究。E-mail: mafuyu403@msn.com。

的叶绿素荧光诱导参数,将叶绿素荧光变化的时间坐标改为对数坐标,呈现出一个多相上升的曲线,称为O-J-I-P诱导曲线^[6,7]。在加工番茄成熟期(7月30日),当土壤含水量达到水分控制下限值时即开始灌溉前进行测定,每处理重复测定3株,每株测成熟健康叶片50片。测定前,离体叶片暗处理15~20 min。

1.3 数据处理

采用 Handy PEA 自带计算软件 Biolyzer HP3、Microsoft Excel 和 DPS 软件进行数据处理,结果以平均值±标准误差表示,并对差异显著指标进行 Duncan 新复极差法多重比较。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对加工番茄叶片 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 和 F_v/F_o 的影响

初始荧光(F_o)的大小主要与PSⅡ天线色素内的最初激子密度、天线色素到PSⅡ反应中心的激发能传递速率的结构状态及叶绿素含量有关,而与光合作用光化学无关^[8]。随土壤相对含水量的降低,加工番茄PSⅡ反应中心受到破坏或可逆失活,导致

F_o 增加(表1),B与C处理依次增加0.82%、2.25%,但增加趋势缓慢,A、B与C处理间差异显著($P<0.05$),A与B处理间差异不显著。 F_o 增加幅度小,对其反应中心破坏程度也小。

最大荧光(F_m)是PSⅡ反应中心完全关闭时的荧光产量,反映了PSⅡ的电子传递情况^[9]。随土壤相对含水量的降低,加工番茄的 F_m 均降低(表1),B与C处理依次降低4.69%、10.48%,各处理间差异达极显著($P<0.01$)水平。

F_v/F_m 为PSⅡ最大光化学效率,反映PSⅡ反应中心原初光能转化效率, F_v/F_o 则反映了PSⅡ的潜在活性^[10]。土壤相对含水量逐渐降低, F_v/F_m 和 F_v/F_o 均显著降低(表1),B与C处理依次降低1.25%、3.27%和6.44%、16.81%,各处理间差异达极显著水平($P<0.01$),表明水分胁迫使PSⅡ受到了伤害,降低了PSⅡ原初光能转化效率,使加工番茄PSⅡ潜在活性中心受损,光合作用原初反应过程受抑制,光合电子由PSⅡ反应中心向 Q_A 、 Q_B 及 P_Q 库传递过程受到影响。水分胁迫使植物体内发生光抑制,光合结构遭到一定程度的破坏。

表 1 水分胁迫对加工番茄叶片 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 和 F_v/F_o 的影响
Table 1 The effect of water stress on F_o , F_m , F_v/F_m and F_v/F_o in tomato leaves

处理 Treatments	F_o	F_m	F_v	F_v/F_m	F_v/F_o
A	488±61Ab	2749±243Aa	2261±191Aa	0.8228±0.0109Aa	4.66±0.33Aa
B	492±61Aab	2620±243Ab	2128±196Bb	0.8125±0.0132Bb	4.36±0.36Bb
C	499±76Aa	2461±339Cc	1962±294Cc	0.7959±0.0258Cc	3.97±0.55Cc

注:不同大写字母代表 $P<0.01$,小写字母代表 $P<0.05$,表中的数据为“平均数±标准误”($n=150$),下同。
Note: Different capital letters represent significance $P<0.01$, while small letters show significance $P<0.05$. Data in the table were “mean±std. error”($n=150$). The same as below.

2.2 水分胁迫对加工番茄叶片 φP_o 、 φ_o 、 φE_o 和 φD_o 的影响

φP_o 、 φ_o 、 φE_o 和 φD_o 属于量子产额或能量分配比率参数,其中 φP_o 反映了暗适应后的最大光化学效率; φ_o 反映了在反应中心捕获的激子中(激子是指由高能电子激发的量子,它能转移能量但不能转移电荷),用来推动电子传递到电子传递链中超过 Q_A 的其它电子受体的激子占用来推动 Q_A 还原激子的比率,即照光2 ms时有活性的反应中心的开放程度; φE_o 反映了反应中心吸收的光能用于电子传递的量子产额,即反应中心吸收的光能将电子传递到电子传递链中超过 Q_A 的其它电子受体的概率, φD_o 反映了用于热耗散的量子比率^[4~7]。从表2和图1中可以看出,随土壤相对含水量的降低, φP_o 、 φ_o 和 φE_o 均降低, φD_o 升高,B与C处理 φP_o 降低1.25%、

3.91%, φ_o 降低5.98%、12.87%, φE_o 降低7.11%、15.88%, φD_o 升高4.72%、14.75%。A、B和C处理间的 φP_o 差异显著($P<0.05$),A和B处理间的 φ_o 和 φE_o 差异不显著,A和B处理与C处理间的 φ_o 和 φE_o 差异极显著($P<0.01$),A、B和C处理间的 φD_o 差异显著($P<0.05$),表明随土壤相对含水量的降低,最大光化学效率(φP_o)降低,随水分胁迫加重, Q_A 传递电子的能力下降,表现为2 ms时有活性的反应中心的开放程度(φ_o)下降,反应中心吸收的光能用于电子传递的量子产额(φE_o)下降,而热耗散的量子比率(φD_o)显著提高,表现出加工番茄叶片的自我保护机制启动。其中 φE_o 的下降幅度较大,这一事实说明,导致光化学活性下降的主要因素不是天线的光能转换而是PSⅡ反应中心活性的下降。

表 2 水分胁迫对加工番茄叶片 φP_o 、 ψ_o 、 φE_o 和 φD_o 的影响

Table 2 The effect of water stress on φP_o , ψ_o , φE_o and φD_o in tomato leaves

处理 Treatments	φP_o	ψ_o	φE_o	φD_o
A	0.7905 ± 0.0195Aa	0.6309 ± 0.1071Aa	0.5006 ± 0.0940Aa	0.2095 ± 0.0195Bc
B	0.7806 ± 0.0198Ab	0.5932 ± 0.1214Aa	0.4650 ± 0.1027Aa	0.2194 ± 0.0198Bb
C	0.7596 ± 0.0335Bc	0.5497 ± 0.1347Bb	0.4211 ± 0.1150Bb	0.2404 ± 0.0335Aa

2.3 水分胁迫对加工番茄叶片 RC/CS_M 、 ABS/CS_M 、 TR_o/CS_M 、 ET_o/CS_M 和 DI_o/CS_M 的影响

RC/CS_M 属于反应中心密度参数, ABS/CS_M 、 TR_o/CS_M 、 ET_o/CS_M 和 DI_o/CS_M 属于单位横截面积的比活性参数, 其中 RC/CS_M 反映了单位面积内反应中心的数量, ABS/CS_M 反映了单位面积吸收的光能, TE_o/CS_M 反映了单位面积捕获的光能, ET_o/CS_M 反映了单位面积电子传递的量子产额, DI_o/CS_M 反映了单位面积的热耗散^[4~7]。从表 3 和图 1 中可以看出, 随土壤相对含水量的降低, RC/CS_M 、 ABS/CS_M 、 TR_o/CS_M 和 ET_o/CS_M 均显著降低, DI_o/CS_M 呈上升趋势, 增加幅度不大。B、C 处理与 A 处理相比较, RC/CS_M 降低 5.58%、12.08%, ABS/CS_M 降低 6.29%、10.48%, TR_o/CS_M 降低 7.46%、13.86%, ET_o/CS_M 降低 13.16%、24.78%, DI_o/CS_M 上升 -2.07%、1.90%。各处理间

ABS/CS_M 、 TR_o/CS_M 和 ET_o/CS_M 差异达极显著 ($P < 0.01$) 水平, RC/CS_M 差异显著 ($P < 0.05$), 而 DI_o/CS_M 差异不显著。结果表明, 随土壤相对含水量的降低, 单位叶面积上有活性的反应中心的比例 (RC/CS_M) 下降, 单位叶面积吸收的光能 (ABS/CS_M) 下降, 可能由于水分胁迫使反应中心降解或失活, 或导致天线色素结构的改变以及迫使天线色素降解, 从而引起捕获的光能下降, 进而导致单位面积上用来还原 Q_A 的激发能 (TR_o/CS_M) 及进入超过 Q_A 的电子传递链中的还原能 (ET_o/CS_M) 减少, 同时, 水分胁迫导致单位叶面积热耗散 (DI_o/CS_M) 增加, 表明叶片遭受水分胁迫后启动了相应的防御机制, 使得叶片中的过刺激发能得以及时耗散。由于水分胁迫使单位叶面积上有活性的反应中心数目下降, 可能迫使剩余的有活性的反应中心效率提高, 从而消耗掉叶片中过剩的激发能。

表 3 水分胁迫对加工番茄叶片 RC/CS_M 、 ABS/CS_M 、 TR_o/CS_M 、 ET_o/CS_M 和 DI_o/CS_M 的影响

Table 3 The effect of water stress on RC/CS_M , ABS/CS_M , TR_o/CS_M , ET_o/CS_M and DI_o/CS_M in tomato leaves

处理 Treatments	RC/CS_M	ABS/CS_M	TR_o/CS_M	ET_o/CS_M	DI_o/CS_M
A	1200 ± 97Aa	2749 ± 243Aa	2171 ± 167Aa	1360 ± 205Aa	579 ± 94Aa
B	1133 ± 113Bb	2576 ± 254Bb	2009 ± 180Bb	1181 ± 218Bb	567 ± 91Aa
C	1055 ± 170Cc	2461 ± 339Cc	1870 ± 272Cc	1023 ± 267Cc	590 ± 112Aa

2.4 水分胁迫对加工番茄叶片 ABS/RC 、 TR_o/RC 、 ET_o/RC 和 DI_o/RC 的影响

ABS/RC 、 TR_o/RC 、 ET_o/RC 和 DI_o/RC 属于单位 PS II 反应中心的比活性参数, 其中 ABS/RC 反映了单位反应中心吸收的光能, TR_o/RC 反映了单位反应中心捕获的用于还原 Q_A 的能量, ET_o/RC 反映了单位反应中心捕获的用于电子传递的能量, DI_o/RC 反映了单位反应中心耗散掉的能量^[4~7]。随土壤相对含水量的降低, ABS/RC 、 DI_o/RC 均呈升高趋势, TR_o/RC 和 ET_o/RC 呈降低趋势(表 4, 图 1)。结果表明, 随土壤相对含水量的降低, 单位反应中心吸收的光能 (ABS/RC) 增加, 但用来还原 Q_A 的激发能 (TR_o/RC) 降低, 电子传递的能量 (ET_o/RC) 也降

低, 热耗散 (DI_o/RC) 增加, 水分胁迫导致叶片单位面积部分反应中心失活或裂解后, 剩余的有活性的反应中心的活性未增强, 使剩余的有活性的反应中心效率降低, 从而降低了电子传递链中能量的传递。

2.5 水分胁迫对加工番茄叶片 PI_{ABS} 、 PI_{CSM} 和 DF_{ABS} 的影响

PI_{ABS} 指以吸收光能为基础的性能指数, PI_{CSM} 指以单位面积为基础的性能指数, DF_{ABS} 指以吸收光能为基础的推动力^[4~7]。从表 5 和图 1 中可以看出, 随土壤相对含水量的降低, PI_{ABS} 、 PI_{CSM} 和 DF_{ABS} 均下降, 降低幅度较大, B、C 处理与 A 处理相比较, PI_{ABS} 分别下降 19.12% 和 35.71%, PI_{CSM} 分别下降 24.22% 和 42.17%, DF_{ABS} 分别下降 6.43% 和 16.23%。A 处理与 B 处理间 PI_{ABS} 和 DF_{ABS} 差异不显著, A 处理和 B 处理与 C 处理间差异极显著 (P

< 0.01), 各处理间的 PI_{CSM} 差异极显著 ($P < 0.01$), 说明, 性能指数 (PI_{ABS} 、 PI_{CSM}) 和推动力 (DF_{ABS}) 对水分胁迫比较敏感, 能更好地反映胁迫对光合机构的影响。

表 4 水分胁迫对加工番茄叶片 ABS/RC 、 TR_o/RC 、 ET_o/RC 和 DI_o/RC 的影响
Table 4 The effect of water stress on ABS/RC , TR_o/RC , ET_o/RC and DI_o/RC in tomato leaves

处理 Treatments	ABS/RC	TR_o/RC	ET_o/RC	DI_o/RC
A	$2.2994 \pm 0.2158Bb$	$1.8141 \pm 0.1307Aa$	$1.1353 \pm 0.1584Aa$	$0.4853 \pm 0.0908Bb$
B	$2.2804 \pm 0.1648ABb$	$1.7782 \pm 0.1081Aa$	$1.0536 \pm 0.2182Aa$	$0.5022 \pm 0.0739Bb$
C	$2.3570 \pm 0.2705Aa$	$1.7829 \pm 0.1403Aa$	$0.9691 \pm 0.2104Bb$	$0.5741 \pm 0.1471Aa$

表 5 水分胁迫对加工番茄叶片 PI_{ABS} 、 PI_{CSM} 和 DF_{ABS} 的影响
Table 5 The effect of water stress on PI_{ABS} , PI_{CSM} and DF_{ABS} in tomato leaves

处理 Treatments	PI_{ABS}	PI_{CSM}	DF_{ABC}
A	$34.16 \pm 17.25Aa$	$91098 \pm 42754Aa$	$3.3626 \pm 0.6384Aa$
B	$27.63 \pm 14.33Aa$	$69035 \pm 33598Bb$	$3.1464 \pm 0.6430Aa$
C	$21.96 \pm 14.70Bb$	$52683 \pm 34018Cc$	$2.8169 \pm 0.8104Bb$

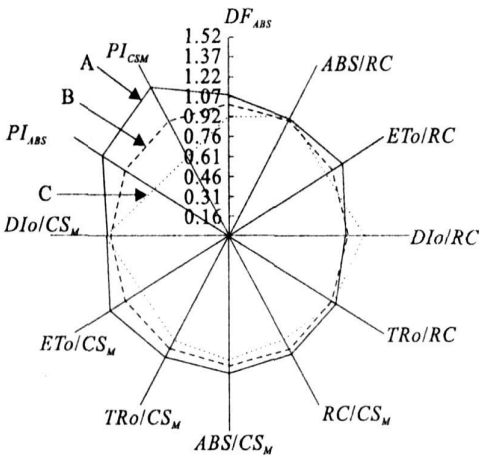


图 1 水分胁迫对加工番茄叶片光系统 II 影响的雷达图
Fig. 1 The plots of effect of water stress on the chlorophyll a fluorescence some parameters in tomota leaves

3 讨 论

水分胁迫影响了植物光合电子传递、光合磷酸化等过程, 表现出植物对环境变化的调节适应能力, 但在严重水分胁迫情况下, 会引发光合机构的损伤。利用叶绿素荧光动力学方法可以快速、灵敏、无损伤探测水分胁迫对植物光合作用的影响^[8]。试验表明, 水分胁迫下, 加工番茄的 F_m 、 F_v/F_m 和 F_v/F_o 降低, 表明 PS II 的光能转换和电子传递效率降低, 这与慕伟^[8]对葡萄砧木叶的研究结果基本一致。 F_o 升高、 F_m 下降, 这两个参数的变化认为与 PS II 反应中心 D1 蛋白失活或降解有关, 而 D1 蛋白的可逆失活可起到耗散过剩光能的作用^[10], F_o 上升, 说明 PS II 内色素吸收的能量流向光化学的部分减少, 并

以热和荧光形式散失的能量增加, 从而避免或减轻光合机构的破坏。

水分胁迫下, ΦP_o 和 Φ_o 降低, 导致 Q_A 传递电子的能力下降, 引起 ΦE_o 下降, 但 ΦD_o 显著提高, 表现出加工番茄叶片的自我保护机制的启动; ΦE_o 明显下降也表明了水分胁迫抑制 Q_A^- 的电子传递。水分胁迫对 PSII 电子传递受体侧的影响可能是由于胁迫导致 Q_B 位点的改变而降低了其与质体醌结合的亲和力。

研究表明, 反应中心的失活可能也是一种保护机制^[6,11]。试验表明, RC/CS_M 、 ABS/CS_M 、 TR_o/CS_M 和 ET_o/CS_M 都下降, 而 DI_o/CS_M 增加, 表明水分胁迫可能一方面使反应中心降解或失活, 另一方面改变了天线色素的结构或者使天线降解, 从而使捕获的光能下降, 进而导致单位面积上用来还原 Q_A 的激发能及进入超过 Q_A^- 的电子传递链中的还原能减少, 同时, 胁迫导致单位叶面积热耗散增加, 说明叶片遭受水分胁迫后启动了相应的防御机制, 使得叶片中的过刺激能得以及时耗散。

Q_A 处在可还原态时, ABS/RC 和 DI_o/RC 增加, TR_o/RC 和 ET_o/RC 降低, 说明胁迫导致叶片单位面积部分反应中心失活或裂解后, 使剩余的有活性的反应中心负担加重, 迫使剩余的有活性的反应中心效率提高, 以更好地耗散电子传递链中的能量。

在快速叶绿素荧光诱导动力学参数中, F_v/F_m 和 ΦP_o 都反映了暗适应后的最大光化学效率, 在本研究中 F_v/F_m 值为 $0.7 \sim 0.8$, ΦP_o 值在 0.7 左右, 随土壤相对含水量的降低, F_v/F_m 和 ΦP_o 两者变化幅度一致, 说明这两个参数都可以有效地反映最大

光化学效率下降趋势,其结果是一致的。在众多的参数中(见图1),随土壤相对含水量的降低, PI_{CSM} 和 DF_{ABS} 下降幅度大于 Fv/Fm 降低幅度,表明性能指数(PI_{ABS} 、 PI_{CSM})和推动力(DF_{ABS})变化幅度大,对水分胁迫比较敏感,比 Fv/Fm 更敏感,能更好地反映胁迫对光合机构的影响,这与 Appenroth^[12]、Van Heerden^[13,14]和许珍^[15]的研究结果一致。

由以上分析可以看出,水分胁迫下,加工番茄叶片发生光抑制,PSⅡ的受体侧受到伤害,PSⅡ反应中心降解或失活,迫使加工番茄启动了相应的防御机制。性能指数(PI_{ABS})和推动力(DF_{ABS})可以作为光抑制指标。

参考文献:

- [1] Krause G H, Weis F. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics[J]. Ann Rev Plant Mol Biol, 1991, 42: 313—349.
- [2] Kausky H, Hirsch A. Neue Versuche zur Kohlenstoff-ureassimilation[J]. Naturwissenschaften, 1931, 19: 96.
- [3] 朱新广,王强,张其德,等.冬小麦光合功能对盐胁迫的响应[J].植物营养与肥料学报,2002,8(2):177—180.
- [4] Strasser B J, Strasser R J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP test [M]//Mathis P. Photosynthesis: from Light to Biosphere. Dordrecht: KAP Press, 1995: 977~980.
- [5] Strasser R J, Srivastava A, Govindjee. Polyphasic chlorophyll a fluorescence transients[J]. Photosynth Res, 1997, 52: 147—155.
- [6] Strasser R J, Srivastava A, Tsimilli-Michael M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples[M]. Yunus M, Pathre U, Mohanty P. Probing Photosyn-

- thesis: Mechanism, Regulation and Adaptation. London: Taylor and Francis Press, chapter, 2000, 25: 445—483.
- [7] Strasser R J, Tsimilli-Michael M, Srivastava. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient [M]//Papageorgiou G, Govindjee. Advances in Photosynthesis and Respiration. Netherlands: KAP Press, 2004: 1—47.
- [8] 綦伟,谭浩,翟衡.干旱胁迫对不同葡萄砧木光合特性和荧光参数的影响[J].应用生态学报,2006,17(5):835—838.
- [9] XB J i, Hollocher T C. Reduction of nitrite to nitric oxide by enteric bacteria[J]. Biochem Biophys Res Commun, 1988, 157: 106—108.
- [10] 许大全,张玉全.植物光合作用的光抑制[J].植物生理学通讯,1992,28(4):237—243.
- [11] Lee H Y, Hong Y N, Chow W S. Photoinactivation of photosystem II complexes and photoprotection by non-functional neighbours in Capsicum annuum L. leaves [J]. Planta, 2001, 212: 332—342.
- [12] Appenroth K J, Stöckel J, Srivastava A, et al. Multiple effects of chromate on the photosynthetic apparatus of Spirodela polyrhiza as probed by OJIP chlorophyll a fluorescence measurements[J]. Environ Pollut, 2001, 115: 49—64.
- [13] Van Heerden PDR, Strasser RJ, Krieger GHJ. Reduction of dark chilling stress in N_2 -fixing soybean by nitrate as indicated chlorophyll a fluorescence kinetics[J]. Physiol Plant, 2004, 121: 239—249.
- [14] Van Heerden PDR, Tsimilli-Michael M, Krieger GHJ, et al. Dark chilling effects on soybean genotypes during vegetative development: parallel studies of CO_2 assimilation, chlorophyll a fluorescence kinetics OJIP and nitrogen fixation [J]. Physiol Plant, 2003, 117.
- [15] 许珍,李鹏民,高辉远,等.玉米不同朝向叶片原初光化学反应日变化的差异[J].作物学报,2007,33(8):1375—1379.

Effects of water stress on photosystem II in tomato

FENG Sheng-li^{1,2}, MA Fuyun¹, FANG Zhi-gang¹, WANG Ji-chuan¹

(¹. Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Bingtuan, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China;

². Agricultural Bureau of Shanshan, Shanshan, Xinjiang 838200, China)

Abstract: Experiments were made to study the effect of water stress on changes of chlorophyll fluorescence parameter of tomato by applying the chlorophyll fluorescence technique. The results indicated that, along with the decrease of soil moisture, all the maximal recorded fluorescence intensity (F_m), the ratio of variable to maximum fluorescence (Fv/Fm), yields or flux ratios (Φ_{Po} 、 ψ_o and Φ_{Eo}), phenomenological energy fluxes per CS (RC/CS_M 、 ABS/CS_M 、 TR_o/CS_M and ET_o/CS_M), dissipated energy flux per RC (DI_o/RC), density of RCs (RC/CS_M), performance indexes (PI_{ABS} and PI_{CSM}), (DF_{ABS}) decreased, minimal recorded fluorescence intensity (F_o), quantum yield for energy dissipation (Φ_{Do}), dissipated energy flux per CS (DI_o/CS_M), per Q_A -reducing PSII reaction center (ABS/RC and DI_o/RC) increased. Among the numerous JIP-test expression, performance indexes (PI_{ABS} and PI_{CSM}) and driving forces (DF_{ABS}) were the most sensitive. All results indicated that under water stress tomato leaves appeared light inhibition, inactivation of reaction centers and inhibition of the electron transport at the acceptor side of PSII. Performance indexes (PI_{ABS}) and driving forces (DF_{ABS}) were used as targets of light inhibition.

Key words: tomato; chlorophyll fluorescence parameter; water stress; JIP-test