

土壤水分对新疆加工番茄叶绿素荧光参数 日变化的影响

冯胜利, 马富裕, 方志刚, 王冀川

(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)

摘要: 在新疆气候生态条件下, 以加工番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill) 为材料, 研究土壤水分对加工番茄叶片叶绿素荧光参数日变化的影响。结果表明, 最大荧光 (F_m), 可变荧光 (F_v), 最大光化学效率 (F_v/F_m), PS II 的潜在活性 (F_v/F_o) 日变化均呈高-低-高的变化趋势, 固定荧光 (F_o) 和表观光合电子传递速率 (ETR) 日变化均呈低-高-低的变化趋势, 其中 F_m , F_v , F_v/F_o , F_v/F_m 在 16:00 时降到最低, F_o 在 16:00 时达到最高, ETR 在 13:00 时达到最高。随着土壤水分的降低, F_m , F_v , F_v/F_o , F_v/F_m 降低, F_o 和 ETR 增加, 表明水分胁迫使加工番茄叶片光系统 II 受到伤害, 光系统 II 原初光能转换效率, 光系统 II 潜在活性受到抑制。

关键词: 加工番茄; 叶绿素荧光; 日变化; 土壤水分; 新疆

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2007)05-0071-05

Effect of Soil Water Content on Diurnal Changes of Chlorophyll Fluorescence Parameter of Tomato in Xinjiang

FENG Sheng-li, MA Fu-yu, FANG Zhi-gang, WANG Ji-chuan

(Shihezi University, Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Bingtuan, Shihezi 832003, China)

Abstract: The experiments were made with tomato. It was studied that effect of soil water content on diurnal changes of chlorophyll fluorescence parameter of tomato. The results indicated that maximum fluorescence (F_m), variable fluorescence (F_v), the ratio of the variable to maximum fluorescence (F_v/F_m), the ratio of the variable to minimal fluorescence (F_v/F_o) varied in a high-low-high shape manner, while the minimal fluorescence (F_o) and the electron transport rate (ETR) varied in a low-high-low shape manner, F_m , F_v , F_v/F_m , F_v/F_o reached their lowest points at 16:00, F_o reached its highest point at 16:00, ETR reached its highest point at 13:00. Under water stress, F_m , F_v , F_v/F_m , F_v/F_o decreased, while F_o and ETR raise. Analysis indicated that photosystem II damaged, and primary light energy conversion of PS II (F_v/F_m), potential activities of PS II (F_v/F_o) decreased, photosynthetic primary action inhibited.

Key words: Tomato; Chlorophyll fluorescence; Diurnal Changes; Soil water content; Xinjiang

叶绿素荧光动力学是以光合作用理论为基础, 利用体内叶绿素 a 荧光, 研究和探测植物光合生理与逆境胁迫关系的理想探针^[1]。叶绿素荧光动力学技术在测定叶片光合作用过程中, 光系统对光能的吸收、传递、耗散、分配等方面具有独特的作用, 与“表现性”的气体交换指标相比, 叶绿素荧光参数更具有反映“内在性”特点, 被称为测定叶片光合功能快速、无损伤的探针^[2], 因而在作物各种抗性生理^[3,4]中得到了广泛的应用, 显示出广阔的应用前

景。

水分是植物生长发育的必要条件之一, 有关水分胁迫对甘蔗^[4]、小麦^[3,5]和玉米^[6]等植物的叶绿素荧光动力学参数的影响已有研究报道。但有关土壤水分对加工番茄荧光参数影响的研究报道较少。新疆地处亚欧内陆, 属典型大陆性干旱气候, 气候干燥, 降雨量少, 年平均降雨量不足 150 mm, 日照充足, 热量丰富, 有利于加工番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill) 生长, 具有鲜明的地区特色。新疆是全

收稿日期: 2007-06-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30560068); 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, 在读硕士, 主要从事作物生理生态研究

通讯作者: 马富裕(1967-), 男, 甘肃环县人, 教授, 博导, 主要从事作物生理生态研究。

球最适合番茄生长的地区之一,新疆加工番茄的番茄红素、维生素含量高,霉菌少,粘度好,是加工番茄汁制品的上等原料^[7]。因此,在前人对番茄单叶光合特性研究的基础上^[8,9],结合新疆地区光热条件,利用叶绿素荧光技术测定加工番茄的主要荧光参数,探讨土壤水分对加工番茄叶片荧光动力学参数及日变化动态的影响,以期加工番茄高产节水栽培提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于2006年4~9月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19.63 mg/g,碱解氮56.65 mg/kg,速效磷15.50 mg/kg,速效钾194.67 mg/kg,供试品种为北疆主栽品种里格87-5。试验设3个处理,W1(相对田间持水量的50%~55%),W2(相对田间持水量的60%~65%),W3(相对田间持水量的70%~75%),随机排列,重复3次。各处理在靠近滴灌带5 cm处安装TDR进行监测土壤水分,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,每次滴灌水量为15 m³。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2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,行距45 cm,小区两边设保护行。4月20日,人工膜上点播,5月2日出苗,其他农艺措施按大田管理。

1.2 测定项目及方法

叶绿素荧光参数测定采用OS5-FL调制式叶绿素荧光仪(美国Opti-science公司生产)。叶片暗适应15~20 min后,采用Kinetic模式测定暗适应下加工番茄叶片(第三分枝从上往下数第三羽状复叶的中部裂叶)的荧光参数,用弱测量光测定初始荧光(F_0),随后给一个强闪光(1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,脉冲时间0.8 s)测得最大荧光(F_m),当荧光产量从 F_m 快速下降到 F_0 时,打开作用光(200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$),当荧光恒定时(120 s),测得稳态荧光(F_s),加上一个强闪光(1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,脉冲时间0.8 s)后测定光下的最大荧光(F'_m),关闭作用光使叶片暗适应3 s后,打开远红光,5 s后测得光下的最小荧光(F'_0),计算可变荧光($F_v = F_m - F_0$),PS II最大光化学效率(F_v/F_m),PS II潜在活性(F_v/F_0),并计算PS II电子传递速率($\text{ETR}) = (F'_m - F_s)/F'_m \times \text{PAR} \times 0.5 \times 0.84$ 。在加工番茄的开花坐果期,选择晴天测定,每处理测定8~10片叶,重复3次,取平均值分析。

2 结果与分析

2.1 固定荧光(F_0)的日变化

固定荧光(F_0)又称为最小荧光、初始荧光产量,是光系统II(PS II)反应中心处于完全开放时的荧光产量,理论上指反应中心恰未能发生光化学反应时的叶绿素荧光^[1],初始荧光 F_0 的大小主要与PS II天线色素内的最初激子密度、天线色素到PS II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^[3]。 F_0 的减少表明天线色素的热耗散增加^[10], F_0 的增加则表明PS II反应中心破坏或可逆失活^[2]。从图1可以看出,在一天中,各处理间 F_0 的日变化均表现从早晨开始逐渐上升,午间达到高峰,随之开始下降,到傍晚恢复到早晨水平。不同处理间,W1和W2表现为16:00达到最高峰,呈现低、高、低的单峰曲线变化,W3表现为10:00和16:00达到最高峰,呈双峰曲线变化。在16:00时,各处理间 F_0 的表现为W1>W2>W3,各处理间差异达显著水平($P < 0.01$),其余时刻各处理间差异不显著。16:00与7:00的 F_0 比较,W1、W2和W3处理分别升高47.8%,20.7%和17.5%。可见,在午间16:00时,在水分胁迫下(W1处理)番茄叶片的PS II反应中心破坏或可逆失活最为严重。

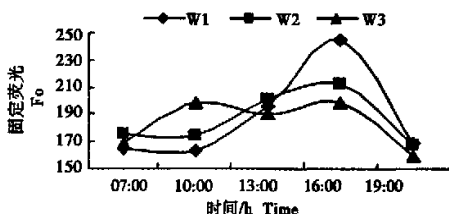
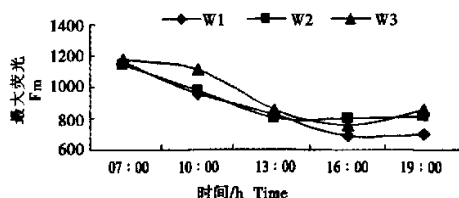


图1 不同处理加工番茄叶片 F_0 日变化

Fig.1 Daily changes of F_0 of tomato leaves in different treatments

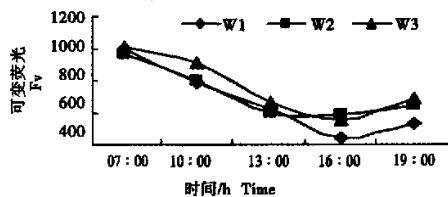
2.2 最大荧光(F_m)的日变化

最大荧光(F_m)为最大荧光产量,是PS II反应中心处于完全关闭时的荧光产量,可反映通过PS II的电子传递情况^[1],强光下 F_m 的下降是光抑制的一个特征。图2表明, F_m 在一天中的变化表现高、低、高的趋势,即早晨较大,之后逐渐降低,到16:00时达到低谷,而后又逐渐缓慢升高。不同处理间 F_m 差异不大,在16:00表现为W2>W3>W1。16:00与7:00的 F_m 比较,W1、W2和W3处理分别降低40.9%,30.3%和36.1%。在16:00时,各处理都受到光抑制,W1处理受到光抑制程度最大,其次W3处理,W2处理最小。随着土壤水分的降低,到午间水分胁迫加大了光抑制程度,到傍晚恢复缓慢,表明光合结构遭到一定程度的破坏。

图2 不同处理加工番茄叶片 F_m 日变化Fig.2 Daily changes of F_m of tomato leaves in different treatments

2.3 可变荧光(F_v)的日变化

可变荧光(F_v)则反映 PS II 原初电子受体 Q_A 的还原情况,与 PS II 的原初反应过程有关,代表着 PS II 光化学活性的大小^[3]。可变荧光 F_v 与最大荧光的 F_m 变化规律总体上一致,表现高、低、高的趋势(图3),随着土壤水分的降低,午间时 PS II 原初电子受体 Q_A 的还原能力下降,PS II 光化学活性下降明显,到傍晚恢复缓慢,说明 PS II 原初电子受体 Q_A 的还原能力未完全恢复,PS II 的结构与功能受到不同程度的损伤与破坏。

图3 不同处理加工番茄叶片 F_v 日变化Fig.3 Daily changes of F_v of tomato leaves in different treatments

2.4 F_v/F_m 和 F_v/F_o 的日变化

F_v/F_m 指 PS II 最大光化学效率,反映了 PS II 反应中心内原初光能转化效率, F_v/F_o 则反映了 PS II 的潜在活性^[1]。它们是表明光化学反应状况的 2 个重要参数。非环境胁迫条件下叶片的荧光参数 F_v/F_m 极少变化,不受物种和生长条件的影响。遭受光抑制的叶片其参数变化明显,可表示光抑制程度的良好指标和探针^[11]。图 4 和图 5 表明,番茄叶片 F_v/F_m 和 F_v/F_o 从 7:00 开始逐渐下降,在 16:00 达到低谷,之后升高,傍晚 19:00 未恢复到早晨 7:00 水平。从一天的变化曲线看,除 16:00 和 19:00 外,各处理 F_v/F_m 和 F_v/F_o 差异较小,在 16:00 时,表现为 $W_3 \approx W_2 > W_1$, W_1 与 W_2 , W_3 差异显著 ($P < 0.01$),在 19:00 时,表现为 $W_3 > W_2 > W_1$, W_1 与 W_2 , W_3 处理间差异不显著。16:00 与 7:00 的 F_v/F_o 比较, W_1 , W_2 和 W_3 处理分别降低 70.2%, 48.8% 和 53.5%。16:00 与 7:00 的 F_v/F_m 比较, W_1 , W_2 和 W_3 处理分别降低 25.1%, 13.2% 和 14.2%。随

着土壤水分的降低, F_v/F_m 与 F_v/F_o 比值均显著降低,表明水分胁迫使 PS II 受到了伤害,降低了 PS II 原初光能转化效率,使加工番茄叶片 PS II 潜在活性中心受损,午间光合作用原初反应过程受抑制加重,光合电子由 PS II 反应中心向 Q_A , Q_B 及 PQ 库传递过程受到影响。同时减少了叶绿体激发能从捕光色素蛋白复合体(LHC II)向 PS II 传递,这可能与水分胁迫使 PS II 捕光色素蛋白复合体(LHC II)的含量降低有关^[12],叶绿素衰减和光合膜的功能失调也导致 PS II 光化学活性下调^[13]。而适水(相对田间持水量的 70% ~ 75%)可维持较高的 PS II 潜在活性和 PS II 光化学最大效率,有利于光合色素把所捕获的光能以更高的速度和效率转化为化学能,从而为 C 同化提供更加充足的能量,有利于光合速率的提高。

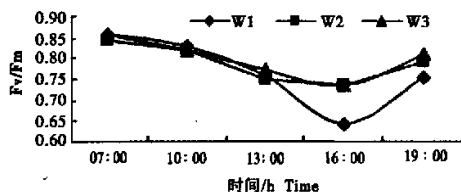
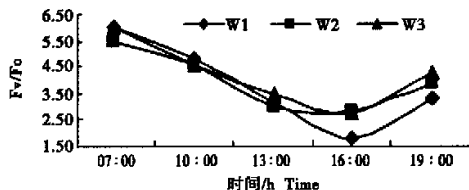
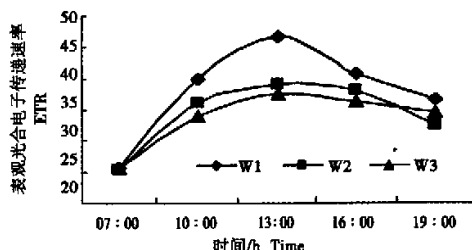
图4 不同处理加工番茄叶片 F_v/F_m 日变化Fig.4 Daily changes of F_v/F_m of tomato leaves in different treatments图5 不同处理加工番茄叶片 F_v/F_o 日变化Fig.5 Daily changes of F_v/F_o of tomato leaves in different treatments

图6 不同处理加工番茄叶片 ETR 日变化

Fig.6 Daily changes of ETR of tomato leaves in different treatments

2.5 ETR 的日变化

ETR 为表观光合电子传递速率,其测定结果表明(图6),ETR 一天的变化呈现出低、高、低的趋势,在 13:00 时达到最高峰。各处理的 ETR 在各个时刻(除 19:00 外)均表现为 $W_1 > W_2 > W_3$,在 19:00 时,

表现为 $W1 > W3 > W2$, 在 13:00 时, $W1$ 与 $W2$, $W3$ 处理差异显著 ($P < 0.01$), $W2$ 与 $W3$ 处理差异均不显著。轻度和中度干旱时, ETR 值升高, 表明虽然日间强光会降低 PS II 反应中心的开放程度, 但是植物可以提高开放的反应中心的电子捕获效率, 从而维持较高的电子传递速率, 增强光呼吸作用以保护光合机构。

3 讨论

加工番茄是一年生喜温植物, 在新疆干旱半干旱区的气候生态条件下, 土壤水分对加工番茄叶绿素荧光动力学参数影响是不同的。干旱胁迫对植物的光合作用的影响是多方面的, 不仅直接引发光合机构的异常, 同时也影响光合电子传递^[14]。水分胁迫导致叶绿体光合机构的破坏^[4], PS II 放氧复合物的损伤^[15], PS II 捕光色素蛋白复合物 (LHC II a, LHC II b, LHC II c) 各组成成分的变化, 引起光合 CO_2 同化效率的降低等^[16]。

试验结果表明, 随着土壤水分的降低, 加工番茄的荧光参数 F_m , F_v , F_v/F_m , F_v/F_o 均降低, 说明叶绿素荧光对水分胁迫非常敏感, 水分胁迫可抑制 PS II 的光化学活性, 使加工番茄叶片 PS II 的原初光能转化效率、PS II 潜在活性、PS II 潜在在光合作用活力受到抑制。

初始荧光 (F_o) 的变化是判断 PS II 反应中心运转状况的重要指标, 根据 F_o 的变化可推测反应中心的破坏或可逆失活; PS II 反应中心的热耗散增加常导致 F_o 的降低, F_o 上升表明 PS II 反应中心受到破坏或失活; F_o 下降与叶黄素循环有关^[17,18]。试验表明, 水分胁迫下, 在 10:00 ~ 16:00 时, F_o 明显上升, 这可能是因叶黄素循环被抑制, 而不能耗散过多光能, 导致 PS II 反应中心的破坏或失活。在清晨和傍晚明显较低, 说明叶黄素循环加快, 热耗散加大, 及时有效地利用和耗散掉吸收的光能。

依赖叶黄素循环的热耗散被认为是保护光合机构免受过刺激发能破坏的主要途径。试验观察到水分胁迫下, 加工番茄叶片的 F_o 升高、 F_m 下降, 这 2 个指标的这种变化据认为与 PSII 反应中心 D1 蛋白失活或和降解有关^[19,20], D1 蛋白的可逆失活可起到耗散过剩光能的作用^[19,21]。 F_m 到傍晚未恢复到接近早晨的水平, 表明光合机构发生了破坏。

F_v/F_m 的降低被认为是反映光抑制程度的指标^[17,22]。Schansker 等^[22]发现, 当 F_v/F_m 大于 0.44 时, PS II 活性随着 F_v/F_m 的降低而降低, 当小于 0.44 时就完全失去活性, 表现出反应中心的破坏。

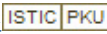
试验表明, 加工番茄的 F_v/F_m 大于 0.6, 水分胁迫降低了光合作用中心 PS II 原初光能转化效率, 且随着水分胁迫加剧, PS II 原初光能转化效率降低, 这不仅与土壤的水分胁迫状态有关, 还与随光照强度增加而引发的光合作用“光抑制”加剧有关。PS II 光化学活性下降, 光捕获蛋白复合物吸收过剩光能以热的形式进行耗散。叶绿素衰减和光合膜的功能失调导致 PS II 光化学活性下调^[13]。

水分胁迫下, 光合电子传递速率 (ETR) 升高, ETR 在正午前后一直保持在较高的状态, 这与王可盼等^[23]研究结果不一致, 这可能由于加工番茄的光合速率在午间出现显著的降低^[8], 大量的电子被传递到光呼吸链上^[24]。

参考文献:

- [1] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444 - 448.
- [2] 林世青, 许春晖, 张其德, 等. 叶绿素荧光动力学在植物抗性生理生态学和农业现代化中的应用[J]. 植物学通报, 1992, 9(1): 1 - 16.
- [3] 卢从明, 张其德, 匡廷云. 水分胁迫对小麦光系统的影响[J]. 植物学报, 1994, 36(2): 93 - 98.
- [4] 罗俊, 张木清, 吕建林, 等. 水分胁迫对不同甘蔗品种叶绿素 a 荧光动力学的影响[J]. 福建农业大学学报, 2000, 29(1): 18 - 22.
- [5] 张秋英, 李发东, 刘孟雨. 不同水分条件下小麦旗叶叶绿素 a 荧光参数与子粒灌浆速率[J]. 华北农学报, 2003, 18(1): 26 - 28.
- [6] 王建程, 严昌荣, 卜玉山. 不同水分与养分水平对玉米叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农业气象, 2005, 26(2): 95 - 98.
- [7] 喻树龙, 王健, 杨晓光. 新疆加工番茄适生种植气候区划[J]. 中国农业气象, 2005, 26(4): 268 - 271.
- [8] 郭泳, 李天来, 黄广学. 环境因素对番茄单叶净光合速率的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1998, 29(2): 127 - 131.
- [9] 孙治强, 张强, 张惠梅. 低温弱光对番茄叶绿素含量变化的影响[J]. 华北农学报, 2005, 20(1): 82 - 85.
- [10] 许长成, 李德全, 邹琦, 等. 干旱条件下冬小麦不同叶龄叶绿素荧光及叶黄素循环组分的变化[J]. 植物生理学报, 1999, 25(1): 29 - 37.
- [11] 许大全, 张玉全. 植物光合作用的光抑制[J]. 植物生理学报, 1992, 28(4): 237 - 243.
- [12] 卢从明, 张其德, 匡廷云, 等. 在水分胁迫对小麦 SP II 的光能转换效率和激发能分配的影响[J]. 生物物理学报, 1995, 11(1): 82 - 86.
- [13] Ladjal M, Epron D, Ducrey M. Effects of drought preconditioning on thermotolerance of photosystem II and susceptibil-

- ity of photosynthesis to heat stress in cedar seedlings[J]. *Tree Physiol*, 2000, 20: 1235 - 1241.
- [14] 罗 俊, 张木清, 林彦铨, 等. 甘蔗叶绿体荧光参数、MDA 含量及膜透性与耐旱性的关系[J]. *福建农业大学学报*, 1999, 28(3): 257 - 262.
- [15] LU C M, ZHANG J H. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants[J]. *J Exp of Bot*, 1999, 50(336): 1199 - 1206.
- [16] 韦振泉, 林宏辉, 何军贤, 等. 水分胁迫对小麦捕光色素蛋白复合物的影响[J]. *西北植物学报*, 2000, 20(4): 555 - 560.
- [17] Demmig-Adams B, Adams III W W. Photoprotection and other responses of plants to high light stress[J]. *Annu Rev Plant Physiol J-Plant Mol Biol*, 1992, 43: 599 - 626.
- [18] Krause G H, Weis E. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology. II. Interpretation of fluorescence signals[J]. *Photosynth Res*, 1984, 5: 139 - 157.
- [19] 杨兴洪, 邹 琦, 王 伟. 遮荫棉花转入强光后光合作用的光抑制及其恢复[J]. *植物学报*, 2001, 43(12): 1255 - 1259.
- [20] 许大全. 光系统 II 反应中心的可逆失活及其生理意义[J]. *植物生理学通讯*, 1999, 35(4): 273 - 276.
- [21] 姜闯道, 高辉远, 邹 琦. D1 蛋白周转及其对能量耗散的调节[J]. *植物生理学通讯*, 2002, 38(3): 207 - 212.
- [22] Schan sker G, Van Rensen J S V. Performance of active photosystem II centers in photoinhibition pea leaves[J]. *Photosynth Res*, 1999, 62: 175 - 184.
- [23] 王可盼, 许春晖, 赵福洪, 等. 水分胁迫对小麦旗叶某些体内叶绿素 a 荧光参数的影响[J]. *生物物理学报*, 1997, 13(2): 273 - 278.
- [24] Muraoka H, Tan g Y, Terashima I, et al. Contributions of diffusional limitation, photoinhibition and photorespiration to midday depression of photosynthesis in *Arisaema heterophyllum* in natural high light[J]. *Plant Cell and Environment*, 2000, 23: 235 - 250.

作者: 冯胜利, 马富裕, 方志刚, 王冀川, FENG Sheng-li, MA Fu-yu, FANG Zhi-gang, WANG Ji-chuan
作者单位: 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
刊名: 华北农学报 
英文刊名: ACTA AGRICULTURAE BOREALI-SINICA
年, 卷(期): 2007, 22 (5)
被引用次数: 4次

参考文献(24条)

1. 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[期刊论文]-植物学通报 1999(04)
2. 林世青;许春晖;张其德. 叶绿素荧光动力学在植物抗性生理学生态学和农业现代化中的应用 1992(01)
3. 卢从明;张其德;匡廷云. 水分胁迫对小麦光系统的影响 1994(02)
4. 罗俊;张木清;吕建林. 水分胁迫对不同甘蔗品种叶绿素a荧光动力学的影响[期刊论文]-福建农业大学学报 2000(01)
5. 张秋英;李发东;刘孟雨. 不同水分条件下小麦旗叶叶绿素a荧光参数与子粒灌浆速率[期刊论文]-华北农学报 2003(01)
6. 王建程;严昌荣;卜玉山. 不同水分与养分水平对玉米叶绿素荧光特性的影响[期刊论文]-中国农业气象 2005(02)
7. 喻树龙;王健;杨晓光. 新疆加工番茄适生种植气候区划[期刊论文]-中国农业气象 2005(04)
8. 郭泳;李天来;黄广学. 环境因素对番茄单叶净光合速率的影响 1998(02)
9. 孙治强;张强;张惠梅. 低温弱光对番茄叶绿素含量变化的影响[期刊论文]-华北农学报 2005(01)
10. 许长成;李德全;邹琦. 干旱条件下冬小麦不同叶龄叶绿素荧光及叶黄素循环组分的变化[期刊论文]-植物生理学报 1999(01)
11. 许大全;张玉全. 植物光合作用的光抑制 1992(04)
12. 卢从明;张其德;匡廷云. 在水分胁迫对小麦SP II的光能转换效率和激发能分配的影响 1995(01)
13. Ladjal M;Epron D;Ducrey M. Effects of drought preconditioning on thermotolerance of photosystem II and susceptibility of photosynthesis to heat stress in cedar seedlings 2000
14. 罗俊;张木清;林彦铨. 甘蔗叶绿体荧光参数、MDA含量及膜透性与耐旱性的关系[期刊论文]-福建农业大学学报 1999(03)
15. LU C M;ZHANG J H. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants[外文期刊] 1999(336)
16. 韦振泉;林宏辉;何军贤. 水分胁迫对小麦捕光色素蛋白复合物的影响[期刊论文]-西北植物学报 2000(04)
17. Oemmig-Adams B;Adams III W W. Photoprotection and other responses of plants to high light stress 1992
18. Krause G H;Weis E. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology. II. Interpretation of fluorescence signals[外文期刊] 1984
19. 杨兴洪;邹琦;王伟. 遮荫棉花转入强光后光合作用的光抑制及其恢复[期刊论文]-植物学报 2001(12)
20. 许大全. 光系统II反应中心的可逆失活及其生理意义[期刊论文]-植物生理学通讯 1999(04)
21. 姜闯道;高辉远;邹琦. D1蛋白周转及其对能量耗散的调节[期刊论文]-植物生理学通讯 2002(03)
22. Schan sker G;Van Rensen J S V. Performance of active photosystem II centers in photoinhibition pea

23. 王可盼;许春晖;赵福洪 [水分胁迫对小麦旗叶某些体内叶绿素a荧光参数的影响](#) 1997(02)
24. Muraoka H;Tan g Y;Terashima I [Contributions of difusional limitation, photoinhibition and photorespiration to midday depression of photosynthesis in Arisaerna heterophyllum in natural high light](#) 2000

本文读者也读过(10条)

1. 于拴仓,柴敏,姜立纲, YU Shuan-cang, Chai Min, JIANG Li-gang [10个加工番茄品种的分子鉴别](#)[期刊论文]-西北农业学报2005, 14(1)
2. 高鑫, 马荣, 朱贤花 [番茄不同生育期对气象条件的要求](#)[期刊论文]-河南气象2006(4)
3. 张丽, 何先进, 石萍, ZHANG Li, HE Xian-Jin, SHI Ping [太行山山前平原半干旱区深层土壤水分含量特征分析](#)[期刊论文]-节水灌溉2008(9)
4. 余庆辉, 冯红英, 帕提姑丽, 杨生保, 王柏柯, 张贵仁, 段生莲, YU Qing-hui, FENG Hong-ying, Patiguli, YANG Sheng-bao, WANG Bo-ke, ZHANG Gui-ren, DUAN Sheng-lian [耐贮运加工番茄新品种长红的选育](#)[期刊论文]-新疆农业科学2005, 42(5)
5. 武立权, 沈圣泉, 王荣富, 舒庆尧, Wu Li-quan, Shen Sheng-quan, Wang Rong-fu, Shu Qing-yao [水稻黄叶突变体光合特性的日变化](#)[期刊论文]-核农学报2007, 21(5)
6. 李百凤, 冯浩, 吴普特, 范兴科, Li Baifeng, Feng Hao, Wu Pute, Fan Xingke [土壤水分下限对番茄光合速率、品质及产量的影响](#)[期刊论文]-中国农学通报2007, 23(5)
7. 郑健, 蔡焕杰, 王燕, 陈新明, Zheng Jian, Cai Huanjie, Wang Yan, Chen Xinming [不同灌水方式下番茄产量构成因素分析及耗水规律研究](#)[期刊论文]-塔里木大学学报2008, 20(3)
8. 刘明池, 刘向莉, Liu Mingchi, Liu Xiangli [亏缺灌溉对番茄果实品质和产量的影响](#)[期刊论文]-中国蔬菜2005(z1)
9. 刘海涛, 齐红岩, 刘洋, 石广鑫, LIU Hai-tao, QI Hong-yan, LIU Yang, SHI Guang-xin [不同水分亏缺程度对番茄生长发育、产量和果实品质的影响](#)[期刊论文]-沈阳农业大学学报2006, 37(3)
10. 陈秀香, 马富裕, 褚贵新, 薛琳, 李燕, 王建江, Chen Xiuxiang, Ma Fuyu, Chu Guixin, Xue Lin, Li Yan, Wang Jianjiang [加工番茄水分生理研究进展](#)[期刊论文]-中国农学通报2006, 22(2)

引证文献(4条)

1. 黄伟, 张俊花, 陈建新, 张立峰 [不同种植密度对薄皮甜瓜品质及产量的影响](#)[期刊论文]-北方园艺 2008(10)
2. 梁玉芹, 严慧玲, 刘云, 宋秀兰, 宋炳彦 [亏缺灌溉对日光温室番茄叶绿素荧光参数及产量的影响](#)[期刊论文]-河北农业科学 2011(12)
3. 黄伟, 张晓光 [钾素对薄皮甜瓜光合作用和产量的影响](#)[期刊论文]-中国土壤与肥料 2009(2)
4. 肖庆红, 马倩, 张燕, 蒙静 [S-秀抗素和新奥霉素在日光温室番茄栽培上的应用研究](#)[期刊论文]-北方园艺 2013(22)