

卢江海,李洪任,邢文刚.根系分区交替滴灌周期对番茄叶绿素荧光动力学参数的影响[J].江苏农业科学,2015,43(2):150-153.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.02.047

# 根系分区交替滴灌周期对番茄叶绿素 荧光动力学参数的影响

卢江海<sup>1</sup>,李洪任<sup>1</sup>,邢文刚<sup>2</sup>

(1.江西省水利科学研究院,江西南昌 330029; 2.南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室/河海大学水利水电学院,江苏南京 210098)

**摘要:**在温室滴灌条件下,利用叶绿素荧光仪研究了交替滴灌周期对番茄叶绿素荧光动力学参数的影响。结果表明, $F_0$ 随着灌水量的减少呈上升趋势,同种灌水量条件下,3种交替周期处理的 $F_0$ 大小呈现6 d>18 d>12 d的趋势。 $F_m$ 、 $F_v$ 随着灌水量的减少而变小,同种灌水量条件下,12 d交替周期处理的 $F_m$ 和 $F_v$ 最大。 $F_v/F_m$ 与 $F_v/F_0$ 具有相同的趋势,在水分胁迫条件下比值显著降低,同种灌水量条件下都是12 d交替周期处理的比值最大。表明适宜的交替周期能减少对番茄PS II的伤害,减轻水分胁迫对PS II反应中心的电子传递的影响,从而达到节水不减产的效果。

**关键词:**番茄;根系分区交替滴灌;交替周期;叶绿素荧光动力学参数

**中图分类号:** S641.207 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)02-0150-03

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,快速、灵敏、无损伤地研究和探测各种逆境对植物光合生理影响的理想方法。近年来,随着叶绿素荧光理论和测定技术的进步,对植物体内叶绿素荧光动力学研究已经比较成熟,并在强光、高温、低温、干旱等逆境条件研究中得到广泛应用<sup>[1-2]</sup>。水分是植物生长发育的必要条件之一,植物体内叶绿素荧光动力学对植物水分亏缺十分敏感,有关水分胁迫对叶绿素荧光动力学参数的影响已有广泛研究报道<sup>[3-4]</sup>,但关于根系分区交替滴灌的研究较少。根系分区交替滴灌(alternate partial root-zone drip irrigation,简称APR-DI),是利用作物遗传和生态生理特性以及干旱胁迫信号(ABA)的响应机制,通过水分调控,以达到节水高效、高产优质和提高水分利用效率目的的控制灌溉技术。因此,本研究以温室番茄为对象,研究根系分区交替滴灌下不同的交替周期对番茄叶绿素荧光参数的影响,以期为根系分区交替滴灌最优模式的分析和确定提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验实施

试验于2013年2月至2014年8月在位于江苏省南京市江宁经济技术开发区的河海大学节水园区连栋玻璃温室内进行。试验土壤为原始土壤耕作层,属于人为土壤后熟土,质地为黏壤土,全氮含量0.612 g/kg,全磷含量10.289 mg/kg,速效磷含量2.927 mg/kg,速效氮含量88.810 mg/kg。番茄品种为金美来,于2013年2月22日在温室中覆膜育苗,每隔3 d用喷壶补充水分。4月2日移植。每小区种植1行,行距75 cm,株距50 cm,种植密度为3万株/hm<sup>2</sup>。小区长10 m、宽

0.75 m。在番茄全生育期进行施肥以满足番茄的生长需求,分别于4月2日施加复合肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O的含量均为15%)2.5 kg,6月3日施尿素(全氮含量46%)各2.8 kg。

采用滴灌技术,在滴灌系统支管前分别安装压力表和水表,毛管上布设压力补偿内镶式滴灌管(内径16 mm),流量1.6 L/h,滴头间距50 cm,滴灌管采用分支控制法,在每个毛管前加装阀门,灌水量由首部的水表控制。系统安装时将毛管铺设在距植株15 cm处进行灌溉。温室内设置水面蒸发计量设备,采用水面蒸发法计算植株腾发量,并根据腾发量确定灌水量。每隔3 d观测1次水面变化,根据腾发量确定灌水量,通过阀门控制进行灌水,以实现根系分区交替滴灌。

### 1.2 试验处理

试验区总面积约为63 m<sup>2</sup>,布置于温室内的蔬菜种植区。试验根据番茄生长规律,将番茄生育期划分为4个阶段,分别为苗期、开花坐果期、结果盛期、结果后期。试验的灌水方式为根系分区交替滴灌,灌水量分别为100% ET<sub>0</sub>、75% ET<sub>0</sub>、50% ET<sub>0</sub>。试验共设9个处理,1个对照,每个处理6个重复,对照(AB)灌水方式为传统的畦灌,每3 d灌水1次,灌水量为100% ET<sub>0</sub>。ET<sub>0</sub>为参考作物蒸发蒸腾量,根据每次灌水前的植株腾发量确定。试验期间温室内设置水面蒸发计量设备,采用水面蒸发法计算植株腾发量。番茄APRDI下不同交替周期处理设计见表1。

### 1.3 观测项目

在番茄4个生育阶段内选择典型时期、典型时段(于09:00—10:00晴朗无云天气)使用便携式叶绿素荧光仪OS5-FL(Opti-Sciences, Tyngsboro, MA, USA)测定各处理健康生长的第3片完全展开叶,打顶后为顶叶的初始荧光、最大荧光和可变荧光等指标。

## 2 结果与分析

### 2.1 APRDI下交替周期对番茄固定荧光( $F_0$ )的影响

固定荧光( $F_0$ )又称为最小荧光、初始荧光产量,是光系

收稿日期:2014-09-22

作者简介:卢江海(1988—),男,江西宜春人,硕士,助理工程师,从事农村水利研究。E-mail:787445225@qq.com。

通信作者:李洪任,硕士,高级工程师,从事农村水利研究。

表 1 番茄根系分区交替滴灌处理设计

处理	灌水量 ETO (%)	交替周期 (d)	交替 1 次间隔时间 (d)
AB (CK)	100	3	3
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	50	6	3
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	50	12	6
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	50	18	9
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	75	6	3
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	75	12	6
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	75	18	9
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	100	6	3
A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	100	12	6
A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	100	18	9

统 II (PS II) 反应中心处于完全开放时的荧光产量,  $F_o$  的大小直接可以反映外界不利因素对植物的叶片光系统造成的永久性伤害(图 1)。从总体上来看,  $F_o$  随着灌水量减少呈上升趋势, 表现为 50% ETO 处理 > 75% ETO 处理 > 100% ETO 处理 > 对照。从 4 个生育阶段看, 50% ETO 的 3 种交替周期处理与对照差异显著, 75% ETO 处理中 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub> 与对照显著性差异次数最少, 100% ETO 处理中 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub> 与对照显著性差异次数最少。每种灌水量条件下的 3 种交替周期处理之间  $F_o$  大小呈现 6 d > 18 d > 12 d 的趋势, 其中 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> 处理的  $F_o$  在所有处理中最大, 对照则最小, 不同处理在番茄生长 4 个时期内呈现出同样规律。表明在合理控水范围内, 适宜的交替周期可以减少对番茄 PS II 的伤害。

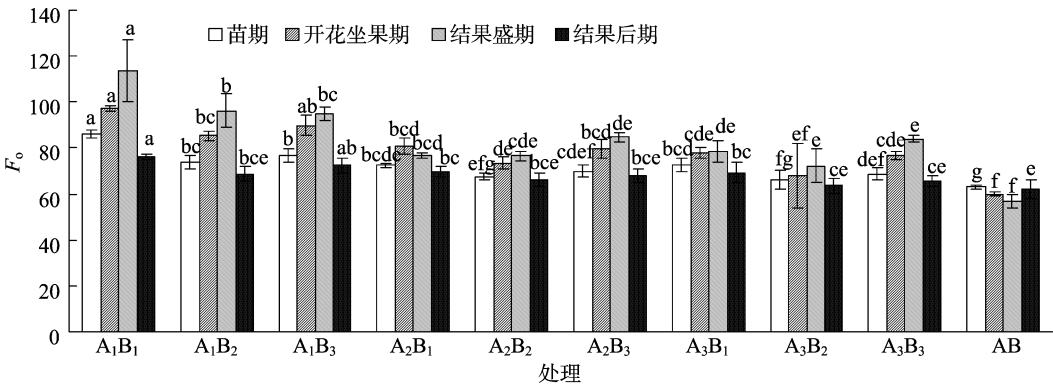


图 1 不同生育阶段土壤水分调控下番茄  $F_o$  的变化

2.2 APRDI 下交替周期对番茄最大荧光 ( $F_m$ ) 的影响

$F_m$  为最大荧光, 是 PS II 反应中心处于完全关闭时的荧光产量, 反映了通过 PS II 反应中心的电子传递情况。从图 2 可以看出,  $F_m$  与  $F_o$  二者变化趋势相反,  $F_m$  随着灌水量的减少而变小, 同种灌水处理中都是 12 d 交替周期处理的  $F_m$  最大, 从 4 个生育期来看, 12 d 交替周期处理与对照出现显著性

差异的次数最少, 100% ETO 处理 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub> 的  $F_o$  比对照提高。表明在合理的控水范围内选择适宜的交替周期, 可以减轻水分胁迫对 PS II 反应中心电子传递的影响, 与正常灌溉比较, 在不减少灌水的情况下合理的交替滴灌周期可以提高 PS II 反应中心的电子传递。

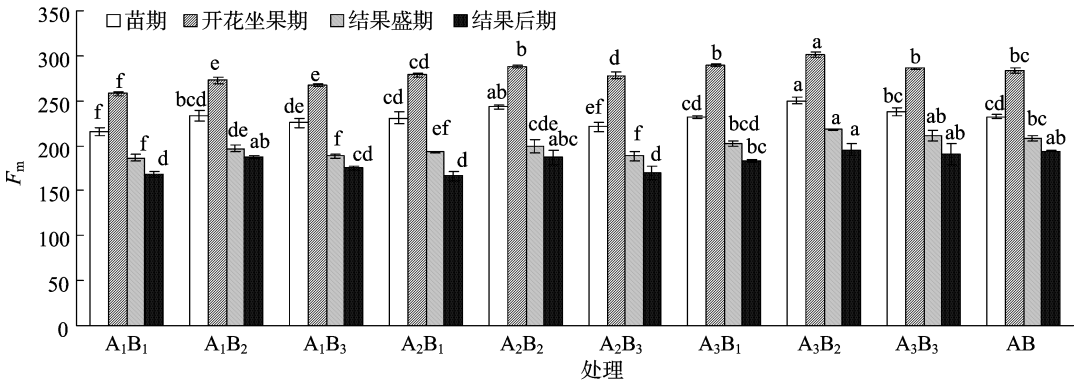


图 2 不同生育阶段土壤水分调控下番茄  $F_m$  的变化

2.3 APRDI 下交替周期对番茄可变荧光 ( $F_v$ ) 的影响

可变荧光 ( $F_v = F_m - F_o$ ) 与 PS II 原初电子受体的氧化还原状态有关, 反映了 PS II 活性的变化。通过对  $F_v$  研究发现,  $F_v$  与  $F_o$ 、 $F_m$  之间均存在显著的高度正相关。  $F_v$  与  $F_m$  的相关性 ( $r = 0.970$ ) 远大于  $F_v$  与  $F_o$  的相关性 ( $r = 0.525$ ) (图 3)。  $F_v$  的变化趋势基本与  $F_m$  的一致, 总体趋势上看  $F_v$  随着灌水量的减少而减少, 不同处理  $F_v$  对水分处理的敏感程度明显要大于  $F_m$ 。同种灌水处理下也都是 12 d 交替周期处理的

$F_v$  值最大, 从 4 个生育阶段来看, 12 d 交替周期处理与对照的显著性差异次数最少, 100% ETO 处理 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub> 的  $F_v$  比对照提高。表明在合理的控水范围内进行适宜的交替周期, 可以在一定程度上降低对 PS II 反应中心的电子传递的影响, 可把水分亏缺对植物代谢和光合的影响降到最低。

2.4 APRDI 下交替周期对番茄 PS II 活性变化的影响

$F_v/F_o$  可代表光系统 II (PS II) 潜在活性, 50% ETO 的 3 种交替周期处理在 4 个生育期内都与对照差异显著,  $F_v/F_o$

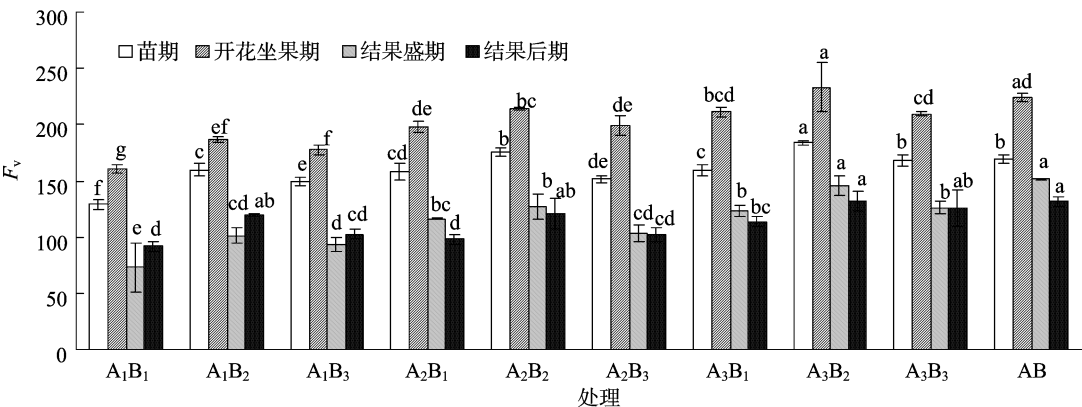


图3 不同生育阶段土壤水分调控下番茄  $F_v$  的变化

随着灌水量的减少显著降低,50% ETO 灌水量影响了电子的传递过程。在 4 个生育阶段内,75% ETO 和 100% ETO 灌水量处理都是 12 d 交替周期处理与对照差异显著次数最少,同种灌水量下都是 12 d 交替周期处理的值最大(表 2)。  $F_v/F_m$  是最大光化学量子产量,从  $F_v/F_m$  可以看出光能转换效率的高低,外界环境对植物生长不利的情况下,  $F_v/F_m$  会明显下降,植物的光合会受抑制(表 3)。  $F_v/F_m$  出现了与  $F_v/F_o$  相同的

趋势,在水分胁迫下比值显著降低,50% ETO 灌水量处理与对照差异显著,  $F_v/F_m$  值明显降低。同种灌水量下都是 12 d 的交替周期处理的比值最大,在 75% ETO 和 100% ETO 灌水处理中与对照出现显著性差异的次数最少。说明过度的水分亏缺和不适的交替周期都会影响到 PS II 反应中心的电子传递,降低光化学反应活性,最终影响到作物的光合速率。

表 2 不同生育阶段不同土壤水分调控下番茄  $F_v/F_o$  的变化

处理	$F_v/F_o$ 比值			
	苗期	开花坐果期	结果盛期	结果后期
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	1.494 ± 0.032e	1.648 ± 0.067d	0.669 ± 0.268f	1.206 ± 0.076g
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	2.166 ± 0.079c	2.180 ± 0.043bcd	1.058 ± 0.158e	1.760 ± 0.126bcde
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	1.946 ± 0.076d	1.988 ± 0.165cd	0.988 ± 0.097ef	1.424 ± 0.128efg
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	2.203 ± 0.092c	2.447 ± 0.191bcd	1.518 ± 0.043cd	1.408 ± 0.075fg
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	2.611 ± 0.111ab	2.914 ± 0.149ab	1.764 ± 0.201bc	1.831 ± 0.315abcd
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	2.174 ± 0.070c	2.503 ± 0.242bc	1.218 ± 0.115de	1.501 ± 0.083defg
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	2.199 ± 0.185c	2.708 ± 0.148bc	1.575 ± 0.166c	1.657 ± 0.185cdef
A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	2.780 ± 0.227a	3.682 ± 0.469a	2.045 ± 0.364b	2.080 ± 0.211ab
A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	2.455 ± 0.132b	2.737 ± 0.102bc	1.510 ± 0.040cd	1.942 ± 0.319abc
AB	2.689 ± 0.083a	3.734 ± 0.113a	2.678 ± 0.172a	2.120 ± 0.243a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。表 3 同。

表 3 不同生育阶段不同土壤水分调控下番茄  $F_v/F_m$  的变化

处理	$F_v/F_m$ 比值			
	苗期	开花坐果期	结果盛期	结果后期
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	0.599 ± 0.005e	0.622 ± 0.010f	0.389 ± 0.108e	0.546 ± 0.015e
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	0.684 ± 0.008c	0.685 ± 0.004de	0.512 ± 0.039d	0.637 ± 0.017abc
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	0.660 ± 0.009d	0.665 ± 0.019e	0.496 ± 0.025d	0.587 ± 0.022de
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	0.688 ± 0.009c	0.709 ± 0.016cd	0.603 ± 0.007bc	0.584 ± 0.013de
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	0.732 ± 0.008ab	0.744 ± 0.010bc	0.637 ± 0.028b	0.644 ± 0.037ab
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	0.685 ± 0.007c	0.714 ± 0.021cd	0.548 ± 0.024cd	0.600 ± 0.013cd
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	0.687 ± 0.019c	0.730 ± 0.011c	0.611 ± 0.025bc	0.622 ± 0.027bcd
A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	0.735 ± 0.016a	0.774 ± 0.060ab	0.668 ± 0.043ab	0.674 ± 0.022a
A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	0.710 ± 0.011b	0.732 ± 0.007c	0.601 ± 0.006bc	0.657 ± 0.040ab
AB	0.729 ± 0.006a	0.789 ± 0.005a	0.728 ± 0.013a	0.678 ± 0.024a

3 结论与讨论

试验研究了根系分区交替滴灌对生理指标叶绿素荧光动力学参数的作用,不同交替周期对番茄叶绿素荧光动力学参

数影响不同。研究结果表明,从总体上来看,  $F_o$  随着灌水量的减少呈上升趋势,同种灌水量下的 3 种交替周期处理之间  $F_o$  大小呈现 6 d > 18 d > 12 d 的趋势。  $F_m$  随着灌水量的减少而降低,同种灌水量下都是 12 d 交替周期处理的  $F_m$  最大。

吴红艳,冯 敏,王志学,等. 秸秆还田对辣椒根系活力和植株不同部位硅含量的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(2):153-155.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.02.048

# 秸秆还田对辣椒根系活力和植株不同部位硅含量的影响

吴红艳,冯 敏,王志学,于 森,郭玲玲

(辽宁省微生物科学研究院,辽宁朝阳 122000)

**摘要:**分析了秸秆还田后辣椒品种“北京红”生长过程中在不同取样时间不同部位硅含量与其根系活力的关系,以期为进一步研究秸秆还田对植株整个生长过程的影响机制提供理论依据;测定秸秆还田后不同取样时间的辣椒根系活力及不同部位硅含量,并将结果与无秸秆的空白对照区进行比较、分析。结果表明,秸秆还田能明显提高辣椒的根系活力,最高值达到 30%,约为同期空白对照的 2 倍;秸秆还田增加了叶片和果实中的硅含量,其中 9 月 11 日叶片中硅含量是空白对照的 2 倍,说明秸秆还田作用明显;根、茎部硅含量无明显变化,根系活力的提高促进了植株对硅的吸收,而足量的硅可刺激根系,使其活力增强。

**关键词:**秸秆还田;根系活力;硅含量;辣椒

**中图分类号:** S641.304 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)02-0153-03

根系是作物吸收水分、养分及固定植株的器官,它不仅具有吸收功能,而且具有重要的合成和代谢功能。根系活力是指根系新陈代谢活动的强弱,是反映根系吸收功能的一项综合指标<sup>[1]</sup>。根系作为植物重要的吸收器官和代谢器官,其生长发育直接影响到地上部茎叶的生长和作物产量的高低。越来越多的研究表明,根系对叶片衰老具有重要的调节作用,根系活力是根的吸收、合成与生长等生理活动的综合表现,因此旺盛的根系活力对作物的生长、产量形成以及肥料利用率的提高等具有重要意义<sup>[2-3]</sup>。随着作物生产水平的不断提高和栽培生理研究的不断深入,作物根系的研究已经成为作物栽培研究中的一个较活跃领域。

土壤营养元素含量高低可以调控作物根系的生长发育,并显著影响根系活力<sup>[4]</sup>。地壳中硅的含量丰富,生长在土壤中的植物体内都含有不同量的硅元素;然而由于硅的广泛存

在且植物缺乏硅时没有明显的症状,长期以来硅元素对植物生长的影响并没有引起人们的重视,与必需营养元素相比,作为有益元素的硅元素,在过去研究得不多<sup>[5]</sup>。随着全球气候的变化、科学技术的飞速发展,人们对硅元素的认识发生了转变,各国科学家对硅元素的研究产生了浓厚的兴趣,对于硅的有益作用有了更多的认识,例如硅对植物的形态结构会产生影响,吸硅充足的植株较健壮,能够增强植物对病原菌和害虫的抵抗能力,可以防止作物根系及输导组织在逆境条件下遭挤压,减轻由氮素过多引起的病虫害病症,调节植物的光合作用和蒸腾作用,增强植物的抗倒性和抗旱性。此外有研究表明,高浓度的硅对真菌孢子的萌发和菌丝的生长有抑制作用等等<sup>[6-7]</sup>。

目前对秸秆还田的研究大多局限于土壤理化性状,生物学性质及当季、后茬作物产量、质量方面,而从作物生理代谢角度探讨秸秆还田对植株生长发育影响的研究报道较少。本研究阐述了秸秆还田后辣椒植株生长过程中不同部位硅含量及根系活力的测定方法与结果,分析其对辣椒根系活力和硅含量的影响,以期为进一步研究秸秆还田对辣椒植株整个生长过程的影响机制提供理论依据。

收稿日期:2014-10-30

基金项目:辽宁省自然科学基金(编号:20102115)。

作者简介:吴红艳(1967—),女,辽宁朝阳人,研究员,主要从事微生物、土壤肥料、生物技术方向的研究与应用工作。E-mail:lnwuhy@163.com。

$F_v$  的变化趋势基本与  $F_m$  一致,总体趋势上看,  $F_v$  随着灌水量的减少而减少,不同处理  $F_v$  对水分处理的敏感程度明显要大于  $F_m$ 。  $F_v/F_m$  与  $F_v/F_0$  具有相同的趋势,在水分胁迫下比值显著降低,同种灌水量下都是 12 d 交替周期处理的比值最大。

在合理的控水范围内,选择适宜的交替滴灌周期可以减少对番茄 PS II 的伤害,减轻水分胁迫对 PS II 反应中心的电子传递的影响,从而把水分亏缺对植物代谢和光合作用影响降到最低,达到节水不减产的效果。与正常灌溉比较,在不减少灌水的情况下,适宜的交替滴灌周期可以提高 PS II 反应中心

的电子传递,提高光化学反应活性和作物的光合速率。

## 参考文献:

- [1] 邢文刚,俞双恩,安文钰,等. 鲁北盐渍土区棉花微咸水滴灌技术研究[J]. 河海大学学报:自然科学版,2003,31(2):140-143.
- [2] 华春莉,邢文刚,邵光成. 时空亏缺滴灌对青椒叶绿素荧光动力学参数影响的试验研究[J]. 节水灌溉,2011(4):1-3.
- [3] 卢江海,邢文刚,华春莉. 时空亏缺滴灌对番茄产量品质及水分利用效率的影响[J]. 节水灌溉,2013(8):28-31.
- [4] 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.