

加气滴灌对日光温室蓝莓叶绿素荧光特性的影响

乔建磊¹, 张冲¹, 徐佳¹, 王程翰¹, 赵振影¹, 肖英奎²

(1. 吉林农业大学 园艺学院, 长春 130118; 2. 吉林大学 生物与农业工程学院, 长春 130025)

摘要:为探讨加气滴灌对蓝莓叶绿素荧光特性的影响,以日光温室内种植的3 a生蓝莓幼苗为试验材料,研究分析了不同滴灌模式下蓝莓叶片PS II反应中心叶绿素荧光参数的响应机制。结果表明,采用加气滴灌可以提高蓝莓叶片PS II反应中心最大荧光产量(F_m),且不同加气频率对叶片最大荧光 F_m 值具有显著影响($P<0.05$);与常规滴灌相比,在试验处理初期,加气滴灌对应的植株叶片PS II反应中心潜在光化学活性(F_v/F_0)增幅较小,但随着时间的推移,其差异越来越明显;加气滴灌有利于提高蓝莓叶片PS II光能捕获效率(F_v'/F_m'),同时提高了叶片实际光化学效率(Yield)和光化学猝灭系数(qP),且加气频率不同,叶片PS II电子传递活性表现出较大的差异。加气处理对蓝莓叶片非光化学猝灭系数(NPQ)的影响较小,在整个试验期间均无显著差异。此外,根系活力分析结果表明,通过加气处理可以改善蓝莓根系生长环境,促进根系对养分的吸收。

关键词:蓝莓;日光温室;滴灌;叶绿素;荧光特性

中图分类号: S275.6; S663.1

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.12.003

乔建磊,张冲,徐佳,等. 加气滴灌对日光温室蓝莓叶绿素荧光特性的影响[J]. 灌溉排水学报,2017,36(12):14-19.

0 引言

蓝莓为杜鹃花科(Ericaceae)越橘属(*Vaccinium* spp.)植物,其果实风味独特,具有良好的营养保健功能,被联合国粮农组织列为人类五大健康食品之一。蓝莓根系纤细,呈纤维状且无根毛,主要通过菌根来吸收土壤养分。蓝莓根系的生长发育要求土壤疏松,透气性好。土壤氧气的供应直接关系着土壤肥力、根际微生物群落结构、根系分泌物组分以及根系活力等,进而影响植物的生长发育、产量及品质的形成。土壤长期处于缺氧状态,根际氧化还原电位降低,好氧微生物活动减弱,并且会引起土壤还原性物质和有毒物质的积累^[1-4]。而对于蓝莓这种主要依靠菌根共生体来吸收土壤养分的果树来说,其生长发育与土壤微生物群落结构及代谢活动之间的关系更为密切。因此,改善根际土壤氧环境对提高蓝莓产量及其品质具有重要的意义。

在栽培过程中,大水漫灌容易破坏土壤的团粒结构,使得土壤板结和透气性变差,土壤含氧量大幅降低,这不仅会直接影响蓝莓根系的生长发育,还会使土壤微生物的生长环境恶化,进而影响蓝莓菌根的形成及互利共生效应。因此,如何科学灌溉是蓝莓栽培过程中需要重点考虑的问题。采用滴灌进行灌溉,可以将水分适时适量地输送到作物根部附近,大幅提高水分利用效率,且不破坏土壤的团粒结构。研究^[5-7]表明,在滴灌条件下向土壤输入空气,可以显著提高甜瓜、番茄等作物的产量,表明加气滴灌可以有效改善根际土壤环境,进而为挖掘作物的高产潜能提供有利条件。

植物叶绿素荧光信号能够灵敏地反映植物生理状态及其与生长环境的关系,被称为测定叶片光合功能快速、无损伤的探针,近年来在植物生理学、生态学等研究领域被广泛应用^[8-10]。本研究结合蓝莓栽培试验,探讨加气滴灌对蓝莓叶绿素荧光特性的影响,重点分析加气滴灌条件下蓝莓叶片PS II反应中心叶绿素荧光参数的响应机制,旨在寻求适宜蓝莓生产的灌溉方式,为促进蓝莓的高产、高效生产提供科学依据。

收稿日期:2016-09-18

基金项目:吉林省科技发展规划项目(20140520161JH,20160412002XH);吉林省现代农业产业技术体系建设项目(2015022)

作者简介:乔建磊(1984-),男,博士,主要从事设施农业环境调控及植物生理信息检测研究。E-mail: Qiaojianlei918@163.com

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2016年在吉林省长春市净月区日光温室内进行。试验区地处松辽平原腹地,位于东经125°35',北纬43°82',属北温带大陆性季风气候区,年平均降水量为522~615 mm,无霜期为140~150 d,年平均日照时间为2 688 h。日光温室长度为50 m,跨度为8.0 m,脊高为3.6 m,其中有效栽培面积为292 m²。以组培繁殖绿枝扦插的3 a生蓝莓幼苗为试材,品种为北陆(Northland)。土壤pH值为5.6,土壤有机质量为27.8 g/kg,碱解氮、速效磷、速效钾质量分数分别为128.5、26.3、116.3 mg/kg。

1.2 试验方法

试验采用滴箭式滴灌系统进行灌溉,工作压力为100 kPa,滴头流量为1 L/h。为了使水和空气能够与根际土壤充分接触,将滴头埋入土壤中,埋置深度为10 cm,距离定植中心8 cm,每株对称布置2个。灌溉时采用微型充气泵(50 L/min)将空气注入到灌溉水中,然后水气混合体通过预埋的管路系统向根区输送。加气灌溉装置如图1所示,在主管道上采用45°斜三通管件分别连接供水管路和供气管路。从5月24日开始,每隔3 d采用上述加气灌溉系统灌水1次,灌水上限为田间持水率的85%,灌水量的计算方法参照文献[11]。加气频率通过时间继电器来控制,共设置3个水平,分别为不加气处理(对照,CK)、每间隔10 min 加气1 min、每间隔20 min 加气1 min,并在灌溉结束时停止加气,相应处理依次记为CK、T₁和T₂。于每次灌溉后的次日上午选取不同处理植株相同部位的功能叶片进行叶绿素荧光信息采集,并对不同处理植株的根系活力进行测定,测试时间分别为5月25日、29日、6月2日、6日和10日,共5个时期。

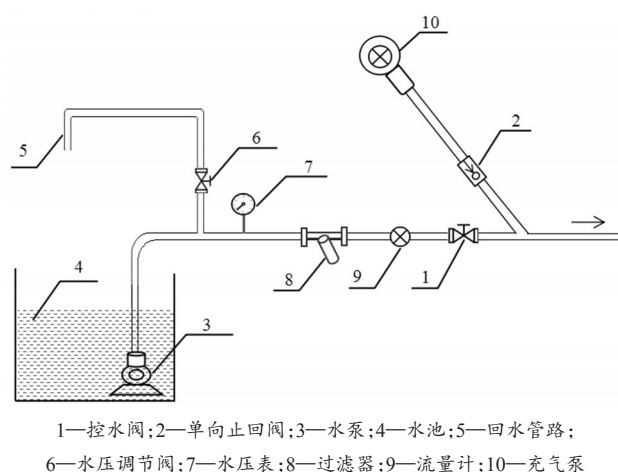


图1 加气灌溉装置示意图

1.3 叶绿素荧光参数测定

叶绿素荧光参数采用德国WALZ公司生产的调制式PAM叶绿素荧光仪进行测定。根据参考文献[12]中的方法,通过仪器测定和分析系统计算,获取的参数包括叶片暗适应下的初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)、PS II 潜在光化学活性(F_v/F_0)、PS II 光能捕获效率(F_v'/F_m')、PS II 实际光化学效率(Yield)、光化学猝灭系数(qP)和非光化学猝灭系数(NPQ)。在测定叶片初始荧光 F_0 和最大荧光 F_m 之前,先将叶片暗适应20 min。每个处理选取10片叶子进行测定,然后取其平均值作为该处理的测定结果。

1.4 根系活力指标测定

根系活力采用TTC染色法进行测定。

1.5 数据处理

试验数据采用SPSS 13.0统计软件进行分析和处理,用Duncan's新复极差法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 加气滴灌对蓝莓叶片初始荧光(F_0)和最大荧光(F_m)的影响

表1为加气滴灌对蓝莓叶片暗适应下初始荧光(F_0)和最大荧光(F_m)的影响,从表1可以看出,在5月25日,T₁处理和T₂处理植株叶片初始荧光较CK有所降低,但差异并未达到显著水平;在5月29日,T₁处理与CK之间存在显著性差异($P<0.05$),而T₂处理与CK之间的差异并不显著;在6月6日之后,3个处理间差异均达到显著水平,其中在6月10日,T₁处理和T₂处理植株叶片初始荧光分别较CK低27.26%和15.16%。

在5月25日,T₁处理和T₂处理植株叶片最大荧光均高于CK,其中T₁处理与CK之间存在显著性差异;在6月2日,T₁处理和T₂处理之间差异并不显著,但二者均显著高于CK,增幅分别达到13.01%和9.48%;在6月6日之后,T₁处理和T₂处理之间差异达到显著水平,表明不同加气频率对植株叶片 F_m 值具有显著影响。不同处理植株叶片初始荧光和最大荧光的变化规律表明,加气滴灌对提高叶片可变荧光的产量十分有利。

表1 加气滴灌对蓝莓叶片初始荧光(F_0)和最大荧光(F_m)的影响

荧光参数	处理	5月25日	5月29日	6月2日	6月6日	6月10日
初始荧光(F_0)	CK	0.150a	0.186a	0.204a	0.210a	0.198a
	T ₁	0.138a	0.150b	0.156b	0.157c	0.144c
	T ₂	0.144a	0.162ab	0.168b	0.174b	0.168b
最大荧光(F_m)	CK	0.702b	0.750b	0.823b	0.805c	0.763c
	T ₁	0.756a	0.846a	0.930a	0.917a	0.894a
	T ₂	0.738ab	0.792ab	0.901a	0.852b	0.827b

注 不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著($P<0.05$),下同。

2.2 加气滴灌对蓝莓叶片PS II最大光化学效率(F_v/F_m)和潜在光化学活性(F_v/F_0)的影响

表2为加气滴灌对蓝莓叶片PS II最大光化学效率(F_v/F_m)和潜在光化学活性(F_v/F_0)的影响,从表2可以看出,T₁处理植株叶片最大光化学效率(F_v/F_m)值最高,且较为稳定,处于0.81~0.84之间,在5月25日较CK、T₂处理分别高3.94%和1.50%,不同处理间差异并不显著,但随着时间的推移,差异越来越明显,在6月10日T₁处理较CK、T₂处理分别高13.38%和5.27%。此外,通过分析不同处理条件下叶片PS II潜在光化学活性(F_v/F_0)变化趋势可知,加气处理对蓝莓叶片潜在光化学活性影响较大,在试验处理初期,T₁处理与CK之间的差异就达到显著水平,随着时间的推移,在5月29日之后,T₂处理也显著高于CK,表明加气处理有利于提高蓝莓叶片PS II潜在光化学活性。

表2 加气滴灌对蓝莓叶片PS II最大光化学效率(F_v/F_m)和潜在光化学活性(F_v/F_0)的影响

荧光参数	处理	5月25日	5月29日	6月2日	6月6日	6月10日
最大光化学效率(F_v/F_m)	CK	0.786a	0.752b	0.751b	0.739c	0.740c
	T ₁	0.817a	0.823a	0.832a	0.830a	0.839a
	T ₂	0.805a	0.796ab	0.813a	0.795b	0.797b
潜在光化学活性(F_v/F_0)	CK	3.680b	3.032c	3.029b	2.829c	2.848c
	T ₁	4.478a	4.640a	4.962a	4.885a	5.207a
	T ₂	4.125ab	3.889b	4.357a	3.897b	3.928b

2.3 加气滴灌对蓝莓叶片PS II光能捕获效率(F_v'/F_m')和实际光化学效率($Yield$)的影响

表3为加气滴灌对蓝莓叶片PS II光能捕获效率(F_v'/F_m')和实际光化学效率($Yield$)的影响,由表3可知,T₁处理植株叶片PS II反应中心光能捕获效率显著高于CK,在6月10日其增幅达到20.89%;比较T₁处理和T₂处理发现,在处理前期二者之间差异不大,但在6月6日之后二者之间的差异开始达到显著水平。表3同时说明,在5月29日之后T₁处理和T₂处理均显著高于CK($P<0.05$),表明加气滴灌可以有效提高蓝莓叶片PS II反应中心实际光化学效率($Yield$)。

表3 加气滴灌对蓝莓叶片PS II光能捕获效率(F_v'/F_m')和实际光化学效率($Yield$)的影响

荧光参数	处理	5月25日	5月29日	6月2日	6月6日	6月10日
光能捕获效率(F_v'/F_m')	CK	0.701b	0.658b	0.629b	0.647c	0.627c
	T ₁	0.753a	0.792a	0.734a	0.781a	0.758a
	T ₂	0.740ab	0.727ab	0.706a	0.719b	0.695b
实际光化学效率($Yield$)	CK	0.462a	0.434b	0.392b	0.385c	0.369c
	T ₁	0.495a	0.519a	0.497a	0.526a	0.508a
	T ₂	0.473a	0.483a	0.452a	0.473b	0.461b

2.4 加气滴灌对蓝莓叶片光化学猝灭系数(qP)和非光化学猝灭系数(NPQ)的影响

表4为加气滴灌对蓝莓叶片光化学猝灭系数(qP)和非光化学猝灭系数(NPQ)的影响,由表4可以看出,T₁处理和T₂处理植株叶片光化学猝灭系数(qP)均高于CK,在5月29日之后,T₁处理与CK之间的差异达到显著水平($P<0.05$),其中在6月6日增幅最大,达22.43%;在6月2日之后,T₁处理与T₂处理之间差异也达到显著水平,该结果表明加气处理有利于提高叶片PS II反应中心光合电子传递活性,且加气频率不同,叶片PS II反应中心光合电子传递活性也有差异。分析蓝莓叶片非光化学猝灭系数(NPQ)变化趋势可知,不同灌溉处

理对蓝莓叶片非光化学猝灭系数(*NPQ*)的影响较小,在整个试验期间均无显著差异。

表4 加气滴灌对蓝莓叶片光化学猝灭系数(*qP*)和非光化学猝灭系数(*NPQ*)的影响

荧光参数	处理	5月25日	5月29日	6月2日	6月6日	6月10日
光化学猝灭系数(<i>qP</i>)	CK	0.692a	0.629b	0.653c	0.575c	0.630c
	T ₁	0.735a	0.694a	0.750a	0.704a	0.735a
	T ₂	0.724a	0.645ab	0.697b	0.643b	0.686b
非光化学猝灭系数(<i>NPQ</i>)	CK	2.078a	2.049a	2.261a	2.435a	2.334a
	T ₁	1.940a	2.016a	2.229a	2.326a	2.315a
	T ₂	2.067a	2.068a	2.257a	2.318a	2.297a

2.5 加气滴灌对蓝莓根系活力的影响

表5为加气滴灌对蓝莓根系活力的影响,由表5可以看出,与CK相比,不论是T₁处理还是T₂处理,蓝莓根系活力均有所升高,其中T₁处理最为明显,在5月25日就显著高于CK(*P*<0.05)。不同加气频率条件下蓝莓根系活力也表现出较大的差异,在6月2日之后,T₁处理与T₂处理之间的差异也达到显著水平,其中,在6月10日二者之间的差异最大,T₁处理较T₂处理高出16.65%。不同处理条件下蓝莓根系活力的变化趋势表明,适宜频率的加气处理可以有效地改善蓝莓根系生长环境,从而促进根系对养分的吸收。

表5 加气滴灌对蓝莓根系活力的影响

		μg/(g·h)			
处理	5月25日	5月29日	6月2日	6月6日	6月10日
CK	86.73b	94.38b	101.81c	102.78c	97.82c
T ₁	97.54a	109.72a	127.64a	133.52a	134.60a
T ₂	90.31ab	103.56ab	114.59b	117.49b	115.38b

2.6 根系活力与叶绿素荧光参数之间的相关性分析

表6给出了不同处理条件下蓝莓根系活力与叶绿素荧光参数之间的相关系数,由表6可以看出,在加气滴灌条件下,蓝莓根系活力与叶片PS II潜在光化学活性(*F_v/F₀*)、实际光化学效率(*Yield*)的相关系数明显增高,其中T₁处理植株根系活力与实际光化学效率(*Yield*)的相关系数最高,为0.876,相关性达到极显著水平;在3个处理中,根系活力与光化学猝灭系数(*qP*)的相关系数排序为T₁处理>T₂处理>CK,其中T₁处理植株根系活力与光化学猝灭系数(*qP*)呈显著正相关;在试验期间,各处理植株根系活力与PS II最大光化学效率(*F_v/F_m*)、非光化学猝灭系数(*NPQ*)之间的相关性均不显著。

表6 根系活力与叶绿素荧光参数之间的相关系数

处理	<i>F_v/F_m</i>	<i>F_v/F₀</i>	<i>F_v'/F_m'</i>	<i>Yield</i>	<i>qP</i>	<i>NPQ</i>
CK	0.463	0.627	0.621	0.754*	0.582	-0.137
T ₁	0.507	0.769*	0.769*	0.876**	0.758*	-0.165
T ₂	0.451	0.741*	0.638	0.805*	0.615	-0.203

注 *和**分别表示在0.05水平和0.01水平显著相关。

3 结论与讨论

植物根系的生长与地上器官的发育密切相关,二者之间相互影响^[13]。土壤低氧胁迫不仅会影响土壤酶活性和土壤微生物群落结构的分布,还会影响植物根系对养分和水分的吸收。因此,改善土壤氧环境对作物的生产具有重要的意义。叶绿素荧光参数是评价植物叶片PS II反应中心同化潜力的重要指标,通过叶绿素荧光特性分析可以从光能的吸收、传递、分配、耗散等方面快速灵敏地反映植物对生长环境的适应程度。本研究探讨了不同滴灌模式下蓝莓叶片PS II反应中心叶绿素荧光参数的响应机制。主要结论如下:

1)采用加气滴灌可以提高蓝莓叶片PS II反应中心最大荧光产量(*F_m*),且不同加气频率对叶片最大荧光*F_m*值具有显著影响(*P*<0.05)。

2)在加气滴灌条件下蓝莓叶片PS II反应中心光化学活性得到改善,尽管在试验处理初期,叶片PS II反应中心潜在光化学活性(*F_v/F₀*)增幅较小,但随着时间的推移,其与常规滴灌之间的差异越来越明显。

3)与常规滴灌相比,加气滴灌可以有效地提高蓝莓叶片PS II光能捕获效率(*F_v'/F_m'*),且加气频率不同,

叶片PS II实际光化学效率(*Yield*)也表现出较大的差异,当加气频率为每间隔10 min加气1 min时,其处理效果较佳。

4)在加气滴灌条件下蓝莓叶片光化学猝灭系数(*qP*)明显升高,PS II天线色素吸收的光能用于光化学传递的份额增加,但加气处理对叶片非光化学猝灭系数(*NPQ*)的影响较小。

5)在加气滴灌条件下蓝莓根系活力增强,且根系吸收活力指标与叶片PS II潜在光化学活性(F_v/F_0)、实际光化学效率(*Yield*)的相关系数明显增高。

植物叶片非光化学猝灭系数(*NPQ*)反映的是PS II天线色素吸收的光能但不能用于光化学传递而以热耗散形式释放的光能部分。前人研究指出,当光能过剩时,叶片PS II系统主要通过非光化学猝灭的形式来进行光能耗散,从而减少过剩光能对光合器官造成的伤害^[4]。本试验表明,在加气滴灌条件下蓝莓叶片光化学猝灭系数(*qP*)明显升高,但非光化学猝灭系数(*NPQ*)的变化并不大。由于非光化学猝灭系数还与试验期间的光照强度和光照时间等环境因素密切相关,当光照条件发生改变时,不同灌溉方式对蓝莓叶片非光化学猝灭系数的影响机制还有待于进一步研究。

蓝莓树体的生长是保证其产量和果实品质的前提。本研究结果表明,在加气滴灌条件下蓝莓叶片PS II反应中心光合电子传递能力增强,光合系统光能利用效率明显提高,且适宜频率的加气处理可以改善蓝莓根系生长环境,有效地促进根系对养分的吸收,这对促进蓝莓树体的生长具有积极意义。

本研究仅以3 a生蓝莓幼苗为试材,该阶段是培育健壮苗木的关键时期,研究结果对指导生产具有一定的理论意义和参考价值。在今后的研究中还需进行长期跟踪试验,探讨加气滴灌对蓝莓枝条发育、果实产量和品质的影响,并将水肥管理与果实发育相结合,开展更加深入和系统的研究。

参考文献:

- [1] BHATTARAI S P, PENDERGAST L, MIDMORE D J. Root aeration improves yield and water use efficiency of tomato in heavy clay and saline soils[J]. *Scientia Horticulturae*, 2006, 108(3): 278-288.
- [2] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(3): 277-280.
- [3] NIU W Q, GUO Q, ZHOU X B, et al. Effect of aeration and soil water redistribution on the air permeability under subsurface drip irrigation[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2012, 76(3): 815-820.
- [4] BHATTARAI S P, MIDMORE D J, PENDERGAST L. Yield, water-use efficiencies and root distribution of soybean, chickpea and pumpkin under different subsurface drip irrigation depths and oxygenation treatments in vertisols[J]. *Irrigation Science*, 2008, 26(5): 439-450.
- [5] NIU W Q, FAN W T, PERSAUD N, et al. Effects of post-irrigation aeration on growth and quality of greenhouse cucumber[J]. *Pedosphere*, 2013, 23(6): 790-798.
- [6] 尹晓霞, 蔡焕杰. 加气灌溉对温室番茄根区土壤环境及产量的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2014, 33(3): 33-37.
- [7] 谢恒星, 蔡焕杰, 张振华. 温室甜瓜加氧灌溉综合效益评价[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(11): 79-83.
- [8] 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.
- [9] CORNEY H J, SASSE J M, ADES P K. Assessment of salt tolerance in eucalypts using chlorophyll fluorescence attributes[J]. *New Forests*, 2003, 26(3): 233-246.
- [10] 杨晓青, 张岁歧, 梁宗锁, 等. 水分胁迫对不同抗旱类型冬小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. *西北植物学报*, 2004, 24(5): 812-816.
- [11] 李元, 牛文全, 张明智, 等. 加气灌溉对大棚甜瓜土壤酶活性与微生物数量的影响[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(8): 121-129.
- [12] 宋莉英, 孙兰兰, 舒展, 等. 干旱和复水对入侵植物三裂叶蟛蜞菊叶片叶绿素荧光特性的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(7): 713-721.
- [13] 邢英英, 张富仓, 张燕, 等. 膜下滴灌水肥耦合促进番茄养分吸收及生长[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(21): 70-80.
- [14] 王群, 李潮海, 栾丽敏, 等. 不同质地土壤夏玉米生育后期光合特性比较研究[J]. *作物学报*, 2005, 31(5): 628-633.

The Effects of Aeration Irrigation on Chlorophyll Fluorescence in Blueberry Cultivated in Greenhouse

QIAO Jianlei¹, ZHANG Chong¹, XU Jia¹, WANG Chenghan¹, ZHAO Zhenying¹, XIAO Yingkui²

(1.College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

2.College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract: We took a three-year old blueberry as a model plant and studied the effects of aeration irrigation on chlorophyll fluorescence in the plant leaves. Irrigation with different aeration frequencies were examined and the response of the chlorophyll fluorescence parameters were analyzed and compared with those under conventional drip irrigation. The results showed that the maximum fluorescence yield (F_m) of PS II reaction center of blueberry leaves increased with aeration irrigation, and that different aeration frequencies had significant effect on the maximum fluorescence yield in the leaves. Compared with conventional drip irrigation, aeration irrigation improved the potential photochemical activity (F_v/F_0) and maximal photochemical efficiency (F_v/F_m) of PS II reaction center. Although the potential photochemical activity increased slightly in the early stage under aeration irrigation, the difference became increasingly noticeable as plant grew. Aeration irrigation also improved the light capture efficiency (F_v'/F_m'), actual photochemical efficiency (*Yield*) and light chemical quenching coefficient (qP) of PS II reaction center. However, its effect on coefficient of non-photochemical quenching (NPQ) was insufficient and there was no significant difference between the aeration irrigation and conventional drip irrigation ($P>0.05$) during the testing period. In addition, an appropriate aeration frequency could improve the environment for root growth and nutrient acquisition.

Key words: blueberry; sunlight greenhouse; drip irrigation; chlorophyll; fluorescence characteristics

责任编辑:赵宇龙