تاثیر تنش آهن بر کارایی و نقشه عملکرد فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ در گل رز با استفاده از روش تصویر برداری کلروفیل فلورسنس

شهرام کیانی[1]، کامران میرزاشاهی[2] و محمد علی خلج[3]

1- استادیار گروه خاک‌شناسی دانشگاه شهرکرد. شهرکرد، کیلومتر 2 جاده سامان، دانشگاه شهرکرد،
2- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد (دزفول).
3- عضو هیات علمی ایستگاه ملی تحقیقات گل و گیاهان زینتی محلات.

آدرس پست الکترونیکی مکاتبه‌کننده (shkiani2002@yahoo.com)

چکیده

به منظور بررسی تاثیر تنش آهن بر کارایی و نقشه عملکرد فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ رز (*Rosa hybrida* L.) با استفاده از روش تصویر برداری کلروفیل فلورسنس آزمایشی به صورت طرح بلوکهای کامل تصادفی با 5 تیمار شامل مقادیر 1/5، 3/0، 6/0، 12/0 و 24/0 میکرومولار آهن در محلول غذایی و با 4 تکرار در شرایط آبکشت انجام شد. نتایج نشان داد کاهش میزان آهن در محلول غذایی از 24/0 به 1/5 میکرومولار منجر به کاهش معنی‌دار ($P<0/01$) میانگین کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ رز از 0/590 به 0/062 شد که این امر در نقشه عملکرد فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ مشهود بود.
کلمات کلیدی: **آهن، سیستم فتوسنتزی II، کارایی فتوشیمیایی، کلروفیل فلورسنس، گل رز**.

مقدمه

یکی از فن‌آوریهای جدید برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیکی استفاده از حسگرهای تصویر برداری از قبیل کلروفیل فلورسنس است که به صورت غیرمخرب برای تحلیل تصاویر گیاهان از لحاظ کیفیت و شادابی به کار برده می‌شود. بخشی از انرژی نور جذب شده بوسیله مولکولهای کلروفیل برگ برای فتوسنتز مورد استفاده قرار گرفته، بخشی دیگر به صورت حرارت از سطح برگ منعکس شده و باقیمانده به شکل نور از سطح برگ منعکس می‌شود که به این پدیده کلروفیل فلورسنس اطلاق می‌شود. در این بین هر گونه تنشی که موجب شود انتقال الکترون در خلال واکنشهای مرحله نوری فتوسنتز مختل شود باعث افزایش کلروفیل فلورسنس و کاهش کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ می‌شود (دل و تووننن، 2003). در سالهای اخیر تصاویر رنگی کلروفیل فلورسنس برای تشخیص وضعیت عناصر غذایی در برگهای گیاهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (جونز و اسکوفیلد، 2008). به عنوان مثال، روش تصویر برداری کلروفیل فلورسنس قادر بوده است کمبود منیزیم را حداقل 3 روز قبل از ظهور علائم کمبود تشخیص دهد (چارلی و همکاران، 2007). همچنین تحقیقات لانگسدورف و همکاران (2000) نشان داد گیاهان چغندرقند تغذیه شده با سطح بالای نیتروژن به راحتی از گیاهان تغذیه شده با میزان کم نیتروژن با استفاده از روش کلروفیل فلورسنس قابل تشخیص بودند. تحقیقات بالاکریشنان و همکاران (2000) نشان داد کمبود عناصر غذایی آهن، منگنز و روی در انبه منجر به کاهش معنی‌دار کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ شد. نتایج تحقیقات مورالس و همکاران (1998) در چغندرقند نشان داد کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II در برگ گیاهان دارای کمبود آهن کمتر از گیاهان شاهد (بدون کمبود آهن) بود. بر اساس نتایج این تحقیق کلروفیل فلورسنس به عنوان یک ابزار برای آزمایش سلامت گیاهان می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به موارد فوق این پژوهش به منظور بررسی کارایی روش تصویر برداری کلروفیل فلورسنس بر چگونگی پاسخ گل رز به تنش آهن انجام شد.

مواد و روشها

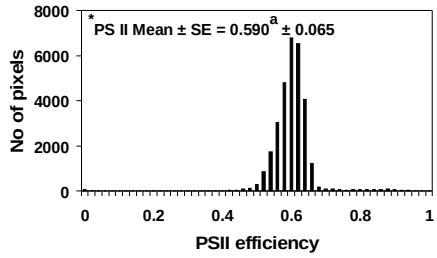
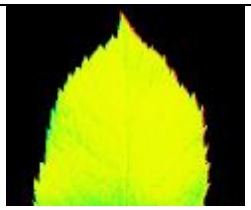
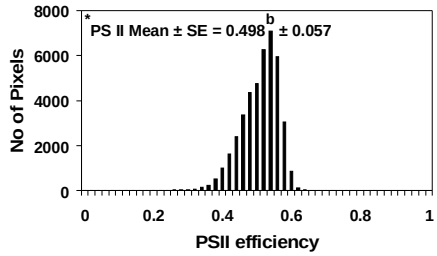
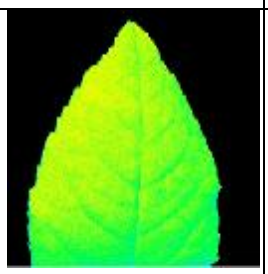
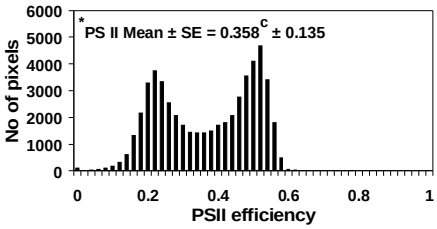
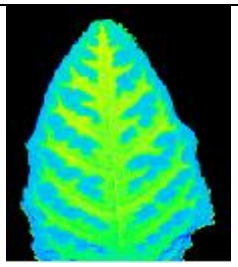
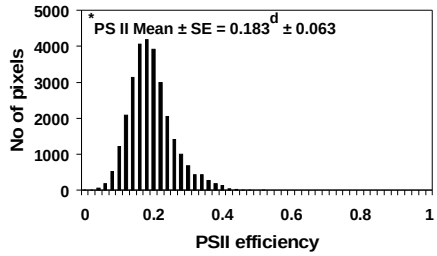
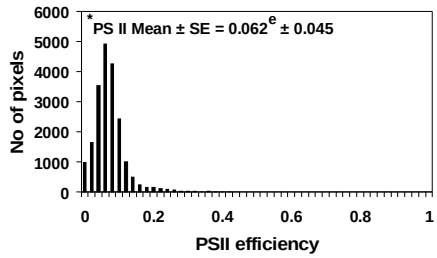
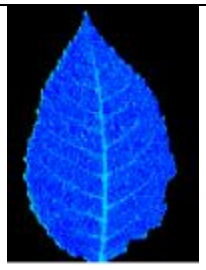
این آزمایش به صورت طرح بلوکهای کامل تصادفی با 5 تیمار و در 4 تکرار (هر پلات آزمایشی شامل 3 گلدان) در گلخانه آبکشت دانشگاه واگنینگن هلند بر روی گل رز رقم First Red انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل 5 غلظت 1/5، 3/0، 6/0، 12/0 و 24/0 میکرومولار آهن از منبع سکوسترین 138 آهن (Fe-EDDHA) بودند. به منظور اجرای آزمایش در تیرماه 1386 تعداد 60 قلمه پیوندی گل رز به گلدانهای 6 لیتری حاوی کوکوپیت منتقل شده و پس از انتقال به گلخانه با محلولهای غذایی حاوی مقادیر مختلف آهن تغذیه شدند. در اوایل دوره گلدهی گلدانها به آزمایشگاه منتقل و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II در اولین پنج برگچه‌ای ساقه گل‌دهنده (از بالا) با استفاده از دستگاه فلورکم (FluorCam 700MF, Photon Systems Instruments, 2001) اندازه‌گیری شد. بدین منظور برگ در داخل محفظه دستگاه فلورکم قرار داده شد. بالای محفظه برگ یک سیستم تصویر برداری کلروفیل فلورسنس مشتمل بر یک دوربین CCD فلورسنس جنبشی نصب شده بود. نور مورد نیاز توسط دو سری 235 تایی لامپهای نارنجی فوق العاده درخشان (LED's) تامین شد که تابشهای اشباعی و همچنین تابشهای پیوسته با مدت زمان قابل تعریف را ایجاد می‌کرد. با استفاده از نرم افزار فلورکم مدت زمان تابشهای اشباعی و همچنین شدت آنها و همچنین مدت زمان لازم برای تابش نور پیوسته در قالب پروتکل مربوطه برای دستگاه تعریف شد. تحت شدت تابش پیوسته تعریف شده در قالب پروتکل (100 میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) به هنگام اجرای آزمایش دو تصویر فلورسنس متوالی یکی درست قبل از تابش نور اشباعی با شدت 600 میکرومول بر متر مربع بر ثانیه (I_t) و دیگری بعد از تابش (I'_m) تهیه شد. شدتهای فلورسنس حاصله برای هر پیکسل مربوطه در تصاویر I_t و I'_m به طور مستقیم به عنوان اندازه‌گیری‌های نسبی عملکرد فلورسنس F_t و F'_m منظور شدند. برای هر پیکسل سطح برگ مقدار کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II (φ_{PsII}) بر اساس معادله زیر محاسبه شد.

$$\varphi_{PsII}=(F'_m- F_t)/ F'_m \qquad [1]$$

بدنبال آن نقشه پراکندگی φ_{PsII} در کل سطح برگ با استفاده از نرم افزار فلورکم رسم شد. لازم به ذکر است در این تحقیق کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II بین صفر تا 1 تنظیم شد. همچنین هیستوگرام توزیع فراوانی، مقدار متوسط و خطای استاندارد برای عملکرد فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II با استفاده از نرم افزار excel محاسبه شدند. نتایج حاصله با نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل شده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد کاهش غلظت آهن در محلول غذایی از حد استاندارد 24/0 میکرومولار منجر به کاهش معنی‌دار کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ در سطح آماری 1 درصد شد. به طوری که بالاترین میزان کارایی در سطح 24/0 میکرومولار آهن (0/590) و کمترین آن در سطح 1/5 میکرومولار آهن (0/062) دیده شد (شکل 1 الف). در این میان نقشه عملکرد فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ (شکل 2 ب) نشان داد در سطح 24/0 میکرومولار آهن کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II در تمامی پیکسلهای سطح برگ از حالت نسبتا یکنواختی برخوردار بود. اما با ایجاد تنش آهن در سطح 12/0 میکرومولار اکثر پیکسلهای سطح برگ دچار کاهش کارایی شدند. این در حالی بود که در این تیمار هیچ گونه زردی بین رگبرگی در زمان اندازه‌گیری قابل رویت نبود (شکل 3 ج) که این امر نشان‌دهنده وجود گرسنگی پنهان آهن در سطح 12/0 میکرومولار آهن بود.

غلظت آهن (میکرومولار)	الف	ب	ج
24/0			
12/0			
6/0			
3/0			
1/5			

شکل 1- تاثیر سطوح مختلف آهن در محلول غذایی بر میانگین کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ (الف)، نقشه عملکرد فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ (ب) و شکل ظاهری برگ گل رز (ج)

***میانگین‌ها با حروف مشابه در شکلهای الف فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح 1 درصد هستند (آزمون LSD).**

با ادامه تنش آهن در سطح 6/0 میکرومولار کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II باز هم دچار کاهش شده و علائم کمبود به صورت زردی بین رگبرگی در این تیمار ظاهر شد (شکل 3 ج). در این تیمار دو منطقه قابل تشخیص از لحاظ کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II در برگهای رز وجود داشت. منطقه اول رگبرگهای سطح برگ و مناطق نزدیک به آنها بودند که از لحاظ کارایی در حد قابل قبولی بودند اما منطقه دوم مربوط به بافت بین رگبرگی بود که دچار کاهش شدید کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II شده بود. بالا بودن میزان کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II در رگبرگها و مناطق نزدیک به آنها را می‌توان احتمالا به بالا بودن میزان سیتوکینین آنها نسبت داد (مارشنر، 1995). با افزایش بیشتر تنش آهن در سطوح 3/0 و 1/5 میکرومولار آهن کلیه مناطق سطح برگ دچار کاهش شدید کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II در تمامی پیکسلهای سطح برگ شدند (شکل 1 ب) که البته این امر در سطح 1/5 میکرومولار آهن بیشتر ملموس بود به طوری که عوارض ناشی از کمبود آهن به صورت نقاط بافت مرده در سطح برگهای این تیمار پدیدار گشت (شکل 1 ج). کاهش کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II در نتیجه تنش آهن می‌تواند به دلیل کاهش میزان کلروفیل برگ و همچنین نقش این عنصر در فرایند انتقال الکترون در کلروپلاستها در فتوسنتز باشد (مارشنر، 1995) که این امر با تحقیقات انجام شده در این زمینه (مورالس و همکاران، 1998 و بالاکریشنان و همکاران، 2000) مطابقت دارد. کاهش معنی‌دار کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ تحت شرایط کمبود آهن نشان می‌دهد زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی نسبت به کمبود آهن بسیار حساس بوده که این امر در نهایت منجر به کاهش میزان تثبیت دی اکسید کربن در فرایند فتوسنتز می‌شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق روش تصویر برداری کلروفیل فلورسنس از قابلیت بسیار خوبی برای بررسی تنش آهن در گیاهان به طور عام و گل رز به طور خاص برخوردار است. مزیت این روش نسبت به روشهایی که به صورت تک نقطه‌ای میزان کارایی را در سطح برگ اندازه‌گیری می‌کنند این است که کارایی را در کل سطح برگ اندازه‌گیری کرده و به تبع آن میانگین نهایی از دقت بسیار بالایی برخوردار است. همچنین کاهش کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II در حالت گرسنگی پنهان آهن (سطح 12/0 میکرومولار) موید آنست که روش تصویر برداری کلروفیل فلورسنس از قابلیت بسیار خوبی برای تشخیص زود هنگام کمبود عناصر غذایی به ویژه آهن در گیاهان برخوردار است.

منابع

1. Balakrishnan K, Rajendran C and Kulandaivelu G, 2000. Differential responses of iron, magnesium, and zinc deficiency on pigment composition, nutrient content and photosynthetic activity in tropical fruit crops. Photosynthetica 38: 477-479.
2. Chaerle L, Hagenbeek D, Vanrobaeys X and Van Der Straeten D, 2007. Early detection of nutrient and biotic stress in ***Phaseolus vulgaris*.** International Journal of Remote Sensing 28: 3479-3492.
3. DeEll JR and Toivonen PMA, 2003. Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
4. Jones HG and Schofield P, 2008. Thermal and other remote sensing of plant stress. General and Applied Plant Physiology 34: 19-32.
5. Langsdorf G, Buschmann C, Sowinska M, Banbani F, Mokry F, Timmermann F and Lichtenthaler HK, 2000. Multicolour fluorescence imaging of sugar beet leaves with different nitrogen status by flash lamp UV-excitation. Photosynthetica 38: 539-551.
6. Marschner H, 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego, USA.
7. Morales F, Abadía A and Abadía J, 1998. Photosynthesis, quenching of chlorophyll fluorescence and thermal energy dissipation in iron-deficient sugar beet leaves. Australian Journal of Plant Physiology 25: 403–412.