دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران
تبریز، 12 الی 14 شهریور 1390
(حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه)

تعیین روابط همبستگی بین غلظت آهن برگ با شاخص کلروفیل و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ در گل رز

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

1- استادیار گروه خاک‌شناسی دانشگاه شهرکرد. شهرکرد، کیلومتر 2 جاده سامان، دانشگاه شهرکرد، صندوق پستی 115
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

این پژوهش با هدف تعیین روابط همبستگی بین غلظت آهن برگ با شاخص میزان کلروفیل و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ رز (*Rosa hybrida* L.) 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 همبستگی‌های مثبت و معنی‌داری بین غلظت آهن برگ رز با شاخص میزان کلروفیل برگ ($r=0/91^{*}$) و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ ($r=0/85^{*}$) و همچنین بین شاخص میزان کلروفیل برگ رز با کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ ($r=0/86^{*}$) وجود داشت.

کلمات کلیدی: **آهن، سیستم فتوسنتزی II، شاخص کلروفیل برگ، کلروفیل فلورسنس، گل رز.**

مقدمه

آهن از جمله عناصر ضروری برای رشد و تولید مثل گیاهان بوده و بنابراین برای بقاء آنها لازم است. این عنصر در فرایند فتوسنتز، تنفس، جذب و ساخت نیتروژن و همچنین در ساخت و تکوین کلروپلاست در گیاهان نقش دارد. نقش آهن در فرایند فتوسنتز و تنفس بواسطه شرکت آن در دستگاههای اکسیداسیون و احیا در کلروپلاست و میتوکندری است. از طرف دیگر آهن در ساخت کلروفیل نقش اساسی دارد. کاهش در میزان کلروفیل برگهای جوان به دلیل نقش آهن در ساخت کلروفیل آشکارترین نشانه کمبود آهن است که به صورت زردی بین رگبرگی در برگهای جوان نمایان می گردد (مارشنر، 1995). شاخص میزان کلروفیل برگ که در حقیقت انعکاسی از شدت رنگ سبز آن است ارتباط زیادی با وضعیت تغذیه آهن گیاه دارد. نتایج تحقیقات اردال و همکاران (2008) در درختان سیب نشان داد مقدار آهن کل و شاخص میزان کلروفیل برگ به طور معنی‌داری با افزایش میزان آهن کاربردی افزایش یافت به طوری که یک همبستگی مثبت بین میزان آهن کل و شاخص کلروفیل برگ ملاحظه شد. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین میزان آهن کل برگ و شاخص میزان کلروفیل برگ در تحقیقات هیرایی و همکاران (2007) در جو نیز مشاهده شده است.
کلروفیل فلورسنس به عنوان یک ابزار مفید، غیر مخرب و غیر مزاحم در تحقیقات فتوسنتزی و تشخیص زود هنگام تنشهای گیاهی دارای اهمیت خاصی است (پریالت و همکاران، 2010). استفاده از روش کلروفیل فلورسنس برای بررسی وضعیت آهن گیاه در مطالعات انجام شده مورد توجه زیادی قرار گرفته است (مورالس و همکاران، 1991، 1998). با استفاده از این روش می‌توان کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II گیاه را اندازه‌گیری کرد. کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی دو (φ_{PSII}) نسبت نور جذب شده بوسیله کلروفیل مرتبط با سیستم فتوسنتزی II را که

در فرایندهای فتوشیمیایی مورد استفاده قرار گرفته، اندازه‌گیری می‌کند. آهن نقش مهمی در ساختمان و اعمال اجزای فتوسنتزی گیاه دارد. تحقیقات مورالس و همکاران (1998) نشان داد کمبود آهن منجر به کاهش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل و کاروتنوئید در واحد سطح برگ چغندرقند شده که بدنبال آن میزان فتوسنتز برگ به دلیل کاهش تعداد واحدهای فتوسنتزی و همچنین کاهش کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II در واحدهای باقیمانده دچار کاهش شده است. با توجه به نتایج فوق این پژوهش به منظور مطالعه روابط همبستگی بین غلظت آهن برگ و شاخص میزان کلروفیل و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ رز با استفاده از روش تصویر برداری کلروفیل فلورسنس انجام شد.

مواد و روشها

این پژوهش با 5 تیمار و در 4 تکرار (هر پلات آزمایشی شامل 3 گلدان) به صورت طرح بلوکهای کامل تصادفی 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 که از ابتدای انتقال قلمه‌های پیوندی گل رز به محیط کوکوپیت برای پرورش آنها مورد استفاده قرار گرفتند. در اوایل دوره گلدهی، کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ در اولین پنج برگچه‌ای ساقه گل دهنده از بالا با استفاده از دستگاه فلورکم (FluorCam 700MF, Photon Systems Instruments, 2001) اندازه‌گیری شد. شدت نور پیوسته و شدت نور تابشهای اشباعی و مدت زمان آنها در قالب پروتکل مربوطه برای دستگاه تعریف شد. بدنبال آن کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتری II (φ_{PsII}) با استفاده از فرمول زیر برای هر پیکسل سطح برگ اندازه‌گیری شد.

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

در این فرمول F'_m حداکثر فلورسنس در نور اشباعی (600 میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) بوده و F_t مقدار فلورسنس تحت شرایط پایدار است که در میزان معین نور (100 میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) اندازه‌گیری شده است. سپس میانگین کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برای هر تیمار با استفاده از نرم افزار excel محاسبه شد. بدنبال آن شاخص میزان کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (Opti-Sciences, CCM-200) در برگهای یک سوم انتهایی ساقه گل‌دهنده اندازه‌گیری شد. سپس برگهای فوق الذکر برداشت شده و پس از آماده‌سازی، غلظت آهن در آنها با دستگاه ICP اندازه‌گیری شد. نتایج حاصله به کمک نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل شده و برای مقایسه و کلاسه‌بندی میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) استفاده شد. همچنین روابط همبستگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه و با استفاده از آزمون پیرسون (Pearson test) مورد تجزیه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

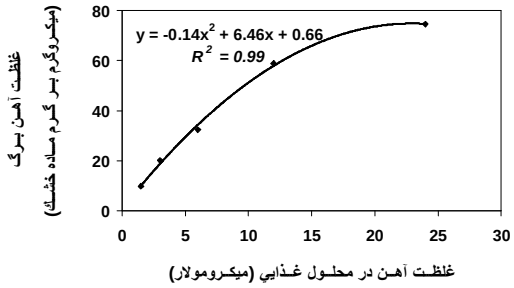
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد افزایش غلظت آهن در محلول غذایی از 1/5 به 24/0 میکرومولار منجر به افزایش معنی‌دار غلظت آهن برگ در سطح آماری 1 درصد شد (جدول 1). به طوری که یک معادله درجه دوم بین غلظت آهن در محلول غذایی و غلظت آهن برگ گل رز مشاهده شد (شکل 1). با این وجود در تمامی سطوح آهن مصرفی به استثنای سطح 24/0 میکرومولار، غلظت آهن برگ کمتر از حد بحرانی 60 میکروگرم بر گرم ماده خشک گیاهی (دکرای و همکاران، 1992) بود. با توجه به اینکه pH تمامی محلولهای غذایی مورد استفاده روی 0/2±5/5 تنظیم شده بود بنابراین به نظر نمی‌رسد مشکلی از لحاظ جذب آهن برای ریشه وجود داشته باشد. بنابراین کمبود آهن

در محلول غذایی می‌تواند دلیل اصلی کاهش میزان آهن برگ در سطوح زیر 24/0 میکرومولار آن باشد. کاهش غلظت آهن برگ در نتیجه کاهش میزان آهن مصرفی با تحقیقات اردال و همکاران (2008) در سیب مطابقت دارد.

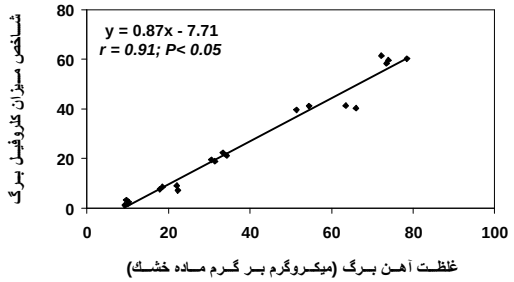
جدول 1- تاثیر مقادیر مختلف آهن در محلول غذایی بر غلظت آهن برگ، شاخص میزان کلروفیل و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ در گل رز

غلظت آهن در محلول غذایی (میکرومولار)	غلظت آهن برگ* (میکروگرم بر گرم ماده خشک)	شاخص میزان کلروفیل برگ	کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ
1/5	9/83^{e}	2/20^{e}	0/062^{e}
3/0	20/15^{d}	8/11^{d}	0/183^{d}
6/0	32/35^{c}	20/48^{c}	0/358^{c}
12/0	58/88^{b}	40/55^{b}	0/498^{b}
24/0	74/56^{a}	59/88^{a}	0/590^{a}

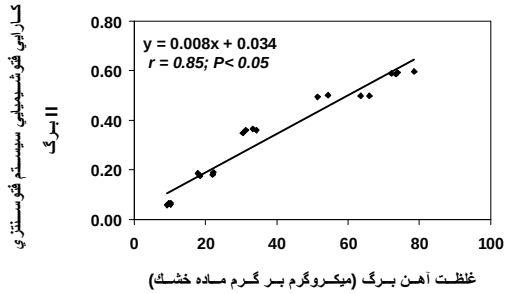
*میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح 1 درصد هستند (آزمون **LSD**).



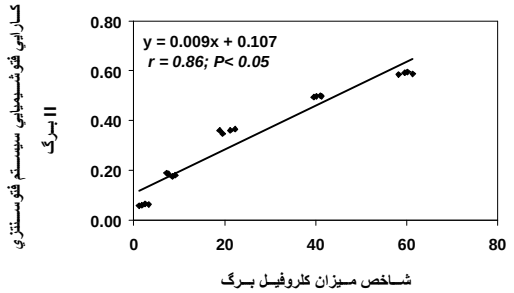
شکل 1. رابطه بین غلظت آهن در محلول غذایی و غلظت آهن برگ در گل رز



شکل 2. همبستگی بین غلظت آهن برگ و شاخص میزان کلروفیل برگ در گل رز



شکل 3. همبستگی بین غلظت آهن برگ و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ در گل رز



شکل 4. همبستگی بین شاخص میزان کلروفیل برگ و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ در گل رز

افزایش میزان آهن در محلول غذایی منجر به افزایش معنی‌دار شاخص میزان کلروفیل برگ در سطح آماری 1 درصد شد (جدول 1) که این امر به دلیل افزایش غلظت آهن برگ بود به طوری که یک همبستگی مثبت و معنی‌دار

($r=0/91^{*}$) بین میزان آهن برگ و شاخص کلروفیل برگ دیده شد (شکل 2). شاخص کلروفیل برگ که تابعی از میزان کلروفیل برگ است به راحتی با دستگاهای کلروفیل‌سنج قابل اندازه‌گیری است. کاهش شاخص کلروفیل برگ در نتیجه کاهش میزان آهن برگ (جدول 1) به دلیل نقش آهن در ساخت کلروفیل است (مارشنر، 1995). افزایش شاخص کلروفیل برگ در نتیجه افزایش میزان آهن مصرفی با تحقیقات انجام شده توسط بانولز و همکاران در پرتقال (2003)، هیرایی و همکاران (2007) در جو و اردال و همکارن در سیب (2008) مطابقت دارد. افزایش غلظت آهن در محلول غذایی و به تبع آن افزایش غلظت آهن برگ منجر به افزایش کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ رز شد (جدول 1). در این میان یک همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r=0/85^{*}$) بین غلظت آهن برگ و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II مشاهده شد (شکل 3). با توجه به اینکه آهن در ساخت کلروفیل و در فرایند انتقال الکترون در طرف اکسیدکننده و یا احیا کننده سیستم فتوسنتزی II نقش دارد بنابراین کمبود آن می‌تواند منجر به ایجاد محدودیت در ظرفیت چرخه انتقال الکترون و به دنبال آن کاهش کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II شود که این امر در تحقیقات مورالس و همکاران (1991، 1998) در چغندرقند نیز ثابت شده است. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r=0/86^{*}$) بین شاخص کلروفیل برگ و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II (شکل 4) حاکی از نقش بارز آهن در توسعه کلروفیل و بدنبال آن ایجاد ظرفیت کافی در چرخه انتقال الکترون برای دستیابی به کارایی فتوشیمیایی مطلوب در سیستم فتوسنتزی II برگ برای دستیابی به عملکرد مطلوب است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد کاربرد مقدار مطلوب آهن (24/0 میکرومولار) در محلولهای غذایی مورد استفاده برای پرورش گل رز در شرایط آبکشت برای دستیابی به غلظت مطلوب آهن در برگ و به تبع آن شاخص کلروفیل و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ ضروری است. علاوه بر آن اندازه‌گیری شاخص کلروفیل و کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II برگ که به آسانی در گلخانه با استفاده از دستگاههای موجود قابل اندازه‌گیری هستند در کمک به تشخیص کمبود آهن و به دنبال آن جلوگیری از کاهش عملکرد می‌تواند بسیار مفید باشد.

منابع

1. Banuls JA, Quinones B, Martin E, Primo-Millo E and Legaz F, 2003. Effects of frequency of iron chelate supply by fertigation on chlorosis in citrus. Journal of Plant Nutrition 26: 1985-1996.
2. De Kreij C, Sonneveld C, Warmenhoven MG and Straver NA, 1992. Guide values for nutrient element contents of vegetables and flowers under glass. Research Station for Floriculture and Greenhouse Vegetables. Report, No. 15.
3. Erdal I, Atilla Askin M, Kucukyumuk Z, Yildirim F and Yildirim A, 2008. Rootstock has an important role on iron nutrition of apples trees. World Journal of Agricultural Sciences 4: 173-177.
4. Hirai M, Higuchi K, Sasaki K, Suzuki H, Maruyama T, Yoshiba T and Tadano T, 2007. Contribution of iron associated with high molecular weight substances to the maintenance of the SPAD value of young leaves of barley under iron deficient conditions. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 53: 612-620.
5. Marschner H, 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego, USA.

6. 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.
7. Morales F, Abadía A and Abadía J, 1991. Chlorophyll fluorescence and photon yield of oxygen evolution in iron deficient sugar beet (*Beta vulgaris* L.) leaves. Plant Physiology 97: 886-893.
8. Perreault F, Oukarroum A, Pirastru L, Sirois L, Matias WG and Popovic R, 2010. Evaluation of copper oxide nanoparticles toxicity using chlorophyll a fluorescence imaging in *lemna gibba*. Journal of Botany 2010: 1-9.