پاسخ چهار دورگه ذرت به کمبود آهن و روی در محلول غذایی در شرایط کشت بدون خاک، I: رشد گیاه و ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل برگ

حمید رضا عشقی زاده[1*]، امیرحسین خوشگفتارمنش[2]، پرویز احسان‌زاده[3] و محمد کافی[4]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۳/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۱۶)

چکیده

ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل برگ و رشد چهار دورگه ذرت شامل دو دورگه ذرت شیرین (*Zea mays* L. cv. Saccharata) سینگل کراس کرج ۴۰۳ و ۴۰۴ و دو دورگه ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) سینگل کراس ۵۰۰ و ۷۰۰ در دو سطح آهن شامل ۵ و ۵۰ میکرومولار از منبع FeEDTA و دو سطح روی شامل صفر و ۲ میکرومولار از منبع سولفات روی در محلول غذایی بررسی شد. این مطالعه به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در پاییز سال ۱۳۸۵ در گلخانه تحقیقاتی مرکز پژوهشی کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان در محیط هیدروپونیک انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش غلظت آهن محلول غذایی از ۵ به ۵۰ میکرومولار، مقادیر فلورسانس کمینه (F_0)، فلورسانس بیشینه (F_m) و کارایی کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) را به ترتیب حدود ۴۸٪، ۹۶٪ و ۱۲۳٪ افزایش داد. این مقادیر هم‌چنین تحت تأثیر نوع نژادگان مورد مطالعه بود به گونه‌ای که بین آنها از نظر F_0 و F_v/F_m در سطح احتمال ۱٪ و از نظر F_m در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار دیده شد. کمبود آهن به شکل معنی‌داری ($P<0/05$) وزن خشک ریشه دورگه‌های مورد مطالعه را کاهش داد. هم‌چنین کمبود روی منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه دورگه‌های ۵۰۰ و ۴۰۳ شد در حالی که تفاوت معنی‌داری در مورد دورگه‌های ۷۰۰ و ۴۰۴ مشاهده نگردید. نتایج این مطالعه نشان داد که تحمل به کمبود آهن و روی در دورگه‌های مورد مطالعه تفاوت چشمگیری داشت. بر اساس نتایج به دست آمده از ویژگی‌های رشد و فلورسانس کلروفیل برگ دورگه‌های مورد مطالعه، دو دورگه ذرت دانه‌ای به کمبود آهن و روی در محلول غذایی متحمل‌تر از دو دورگه ذرت شیرین بودند. به نظر می‌رسد که ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل بتواند به عنوان یک شاخص مناسب در غربال دورگه‌های متحمل به کمبود روی و به ویژه کمبود آهن مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: فلورسانس کلروفیل، دورگه ذرت، روی، آهن، محلول غذایی

۱. عضو هیئت علمی مرکز پژوهشی کشت بدون خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳. دانشیار زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۴. استاد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hamid.eshghizadeh@gmail.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.11.3]

مقدمه

کمبود عناصر کم نیاز آهن و روی در بسیاری از محصولات زراعی در سطح جهان، به ویژه در خاک‌های آهکی ایران به علت پ- هاش قلیایی و درصد بالای آهک رایج است (۲، ۱۴ و ۱۹). نتایج بسیاری از مطالعات نشان داده است که کارایی روش‌های مختلف کوددهی در برطرف کردن کمبود آهن و روی در گیاهان زراعی پایین است (۱۲، ۱۳ و ۱۶). از این رو، یافتن راه‌کارهای اثربخش، دارای توجیه اقتصادی و سازگار با محیط زیست در مبارزه با کمبود عناصر غذایی مورد توجه می‌باشد. کاشت گیاهان مقاوم به کمبود آهن و روی یکی از روش‌های مناسب و کارآمد برای پیشگیری از کمبود این عناصر است (۱۶).

بسیاری از تفاوت‌های عمده بین نژادگان گیاهان در ارتباط با مصرف عناصر معدنی ضروری تحت کنترل ژنتیک هستند ولی بیان این ژن‌ها در شرایط مختلف محیط رشد تفاوت‌های زیادی با یکدیگر دارند (۱، ۲ و ۱۶). این تفاوت‌های نژادی می‌تواند به توضیح یا تفسیر سازگاری گیاهان با شرایط کمبود عناصر معدنی کمک کرده (۲۱) و هم‌چنین اساس سازگاری بهتر و بقای گیاهان را در شرایط کمبود شدید عناصر معدنی فراهم سازد. از جمله بارزترین پاسخ‌های گیاهان به تنش‌های محیطی، کم شدن فتوسنتز ناشی از اختلال در فعالیت فتوسیستم II می‌باشد (۳ و ۱۵). تحت چنین شرایطی به دنبال کاهش فتوسنتز و ذخیره فرآورده‌های انتقال الکترون یعنی ATP و NADPH در واکنش‌های وابسته به نور در فتوسنتز، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (ΦPSII) کاهش پیدا می‌کند. در واقع مقدار فرود (Quenching) انرژی الکترون برانگیخته شده از مسیر غیر فتوشیمیایی (Nonphotochemical quenching, qNP) افزایش یافته و از این طریق فتوسیستم II به طور منفی تنظیم می‌شود. هنگامی که نور در سطح معمول بوده و مراکز واکنش کلروفیل کاملاً باز باشند، بخش غالب آن در فعالیت‌های فتوشیمیایی به مصرف می‌رسد و در نهایت تنها بخش کمی از انرژی نورانی به صورت فلورسانس بازتاب می‌شود که به آن فلورسانس کمینه یا پایه (Initial fluorescence, F_0) می‌گویند. در این صورت فرونشاندن انرژی الکترون برانگیخته شده از طریق فتوشیمیایی (ΦP) (Photochemical quenching, qn) نزدیک به ۱ است. در مقابل هنگامی که برگ در معرض پالسی از نور اشباع قرار می‌گیرد تمامی مولکول‌های موسوم به کوئینون آ (Quinone A) دست کم به صورت موقت به صورت احیا در آمده و به دلیل تداوم واکنش‌های فتوشیمیایی فتوسیستم II، مراکز واکنش اشباع و بسته می‌شوند، فلورسانس به میزان بالایی افزایش می‌یابد که به آن فلورسانس بیشینه (Maximum fluorescence, Fm) اطلاق می‌شود.

در چنین حالتی، فرونشاندن انرژی الکترون برانگیخته شده از طریق فتوشیمیایی (ΦP) نزدیک به صفر است (۱۸). تجزیه فلورسانس کلروفیل، روشی سریع و غیر تخریبی برای ارزیابی نحوه‌ی عملکرد سیستم فتوسنتزی در طول و بعد از تنش محیطی فراهم می‌کند و اطلاعات حاصل از آن برای مشخص کردن سرعت انتقال الکترون و چگونگی فرود انرژی الکترون برانگیخته به کار می‌رود (۱۵). حتی امروزه در گونه‌های C_4 مثل ذرت که میزان تنفس نوری در آنها پایین است، اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل جانشین اندازه‌گیری تبادل گازی برای سنجش کارایی انرژی تابش فعال فتوسنتزی (Photosynthetically Active Radiation) جاری شده است (۱۵). تنش‌های محیطی از جمله تنش کمبود آهن باعث کاهش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II ($Fv/Fm = (Fm-F_0)/Fm$) در شرایط سازگار شده با تاریکی در گیاهان مختلف از جمله چغندر قند می‌شوند (۵). از این رو در نژادگان مختلف مقدار کاهش عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) به عنوان معیاری از درجه تحمل به تنش مورد استفاده قرار گرفته است (۱۱، ۱۷ و ۲۴).

آزمایش حاضر با هدف ارزیابی ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل برگ و پاسخ رشدی دورگه‌های مختلف ذرت به کمبود آهن و روی در محلول غذایی انجام شد که با تکمیل و توسعه نتایج آن در آزمایش‌های مزرعه‌ای و در محیط خاک می‌تواند از طریق انتخاب دورگه مناسب‌تر در کاهش مشکلات

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.11.3]

ناشی از کمبود عناصر غذایی در سطح مزارع ذرت کشور راهگشا باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در پاییز سال ۱۳۸۵ در گلخانه تحقیقاتی مرکز پژوهشی کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان با میانگین دمای روزانه و شبانه به ترتیب حدود ۲۲ و ۱۸ درجه سلسیوس و شدت نور حدود ۴۰۰۰۰ لوکس در محیط هیدروپونیک انجام شد. چهار دورگه ذرت شامل دو دورگه ذرت شیرین (*Zea mays* L. cv. Saccharata) سینگل کراس کرج ۴۰۳ و ۴۰۴ و دو دورگه ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) سینگل کراس ۵۰۰ و ۷۰۰ در معرض دو سطح آهن شامل ۵ و ۵۰ میکرومولار از منبع FeEDTA و دو سطح روی شامل صفر و ۲ میکرومولار از منبع سولفات روی در محلول غذایی قرار گرفتند. ترکیب محلول غذایی مورد استفاده در جدول۱ نشان داده شده است. بذر دورگه‌های مورد نظر ابتدا به وسیله محلول هیپو کلریت سدیم ۲ درصد ضدعفونی شده و سپس در گلدان‌های حاوی ماسه شسته، کاشته شدند. پس از این که گیاهچه‌ها به مرحله دو برگی رسیدند، به ظرف‌های حاوی محلول‌های تهیه شده منتقل شده و پس از استقرار آنها سامانه تهویه نیز برای ظرف‌های مورد نظر راه اندازی شد. اسیدیته محلول (pH) حدود ۵/۷ و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) حدود ۲/۵ دسی‌زیمنس در متر در طول دوره آزمایش تنظیم شد.

بعد از گذشت حدود ۳۰ روز از اعمال تیمارها، سنجش وضعیت فلورسانس کلروفیل به وسیله دستگاه فلورومتر (Chlorophyll Fluorometer, Opti-Science, OS-30p, London) و از محل میانه برگ و بین رگبرگ اصلی و لبه جوان‌ترین برگ کامل هر گیاه اندازه‌گیری شد (۲۴). ویژگی‌های اندازه‌گیری شده شامل موارد زیر بودند:

فلورسانس کمینه: F_0

فلورسانس بیشینه: F_m

کارایی کوانتومی فتوسیستم II: $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ سپس گیاهان مورد نظر از هر محلول غذایی خارج شده و بخش هوایی و ریشه آنها از یکدیگر جدا شد. تعداد برگ ظهور یافته و تعداد برگ کامل شمارش شد. هم‌چنین سطح برگ به وسیله دستگاه سطح برگ سنج الکترونیکی (Model GA-5, Japan)، طول ریشه بر حسب سانتی‌متر و حجم ریشه بر اساس سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری شد (۸). ریشه و بخش هوایی هر گیاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار داده شده و وزن خشک آنها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. نمودارها با نرم‌افزار اکسل رسم و میانگین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ مقایسه شدند.

نتایج

ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل(F_0، F_m و F_v/F_m)

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل (F_0، F_m و F_v/F_m) نشان داد که غلظت آهن محلول غذایی تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر مقادیر آنها داشته است (جدول۲). افزایش غلظت آهن محلول غذایی از ۵ به ۵۰ میکرومولار مقادیر F_0، F_m و F_v/F_m را به ترتیب حدود ۴۸٪، ۹۶٪ و ۱۲۳٪ افزایش داد (جدول۳). در مقابل، کمبود روی تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل نداشت (جدول۲ و ۳).

ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل در بین نژادگان‌های مورد مطالعه متفاوت بود به گونه‌ای که بین نژادگان‌ها از نظر F_0 و F_v/F_m در سطح احتمال ۱٪ و از نظر F_m در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (جدول۲). به طور کلی دورگه‌های ۵۰۰ و ۷۰۰ ذرت دانه‌ای نسبت به دورگه‌های ۴۰۳ و ۴۰۴ ذرت شیرین مقادیر بالاتری از ویژگی‌های بازتاب فلورسانسی را به خود اختصاص دادند.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.11.3]

جدول۱. ترکیب شیمیایی محلول غذایی مورد استفاده (۲)

عناصر پرنیاز	غلظت (میلی مولار)	عناصر کم نیاز	غلظت (میکرو مولار)
N	۸/۰	Cl	۵۰
K	۳/۰	Mn	۲/۰
Ca	۲/۰	Zn	۲/۰ (۰)*
P	۱/۰	Cu	۰/۵
S	۰/۵	Mo	۰/۵
Mg	۰/۵	B	۲۵
		Fe	۵۰ (۵)×

*: غلظت عنصر در تیمار کمبود

جدول۲. مقادیر درجه آزادی و سطح احتمال معنی‌دار بودن مربوط به آرایشی فاکتوریل با سه عامل غلظت آهن، غلظت روی و دورگه ذرت

منبع تغییر	درجه آزادی	مقدار F							
		F_0	Fm	Fv/Fm	حجم ریشه	طول ریشه	تعداد برگ کامل	سطح برگ	وزن خشک ریشه	وزن خشک هوایی
آهن	۱	**[1]	**	**	**	**	**	**	**	**
روی	۱	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS
دورگه	۳	**	*	**	**	**	*	**	**	*
آهن×روی	۱	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	NS
آهن×دورگه	۳	**	**	**	**	**	NS	NS	**	NS
روی×دورگه	۳	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS

* و **: اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ و ۱٪ وجود دارد. Ns: اختلاف معنی‌دار وجود ندارد

جدول۳. میانگین مقادیر و مقایسه میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در نژادگان‌های مختلف ذرت تحت تأثیر کمبود و کفایت آهن و روی محلول غذایی

عنصر	غلظت (µM)	ویژگی‌های هر گیاه								
		F_0	Fm	Fv/Fm	حجم ریشه (cm^3)	طول ریشه (cm)	تعداد برگ کامل	سطح برگ (cm^2)	وزن خشک ریشه (g/plant)	وزن خشک هوایی (g/plant)
آهن	۵	۱۱۴ b*	۱۸۱ b	۰/۲ b	۱/۷ b	۱۵/۳ b	۱/۹ b	۱۱۸ b	۰/۱ b	۰/۲ b
	۵۰	۱۶۹ a	۳۵۵ a	۰/۵ a	۶/۰ a	۳۰/۴ a	۳/۱ a	۲۶۸ a	۰/۳ a	۰/۷ a
روی	۰	۱۴۰ a	۲۶۰ a	۰/۳ a	۴/۱ a	۲۲/۰ a	۲/۱ a	۱۹۸ a	۰/۱ b	۰/۴ a
	۲	۱۴۳ a	۲۷۶ a	۰/۴ a	۴/۰ a	۲۴/۰ a	۲/۹ a	۱۸۸ a	۰/۲ a	۰/۴ a
LSD (٪۵)		۲۴/۸	۴۷/۰	۰/۱	۰/۵	۳/۱	۰/۹	۶۷/۵	۰/۱	۰/۱

*: برای هر صفت و در هر تیمار میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند .

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.11.3]

مقـادیر F_0، F_m و F_v/F_m در سـطح احتمـال ۱٪ تحـت تـأثیر برهمکنش تغذیه آهن و دورگه قرار گرفت (جدول۲). مقدار F_0 در دورگه‌های ۴۰۳ و ۴۰۴ پاسخ مثبتی به افزایش غلظـت آهـن محلول غذایی نشان دادند در حالی که پاسـخ دورگـه‌هـای ۵۰۰ و ۷۰۰ متفاوت و منفی بود. روند مشابهی در مـورد پـارامتر F_m نیـز دیده شد. کمبود آهن سبب کاهش F_v/F_m در نژادگان‌های ذرت شد که این کاهش به ویژه در دورگه ۴۰۴ بیشتر بود (جدول۵).

حجم ریشه (سانتی متر مکعب)

کمبود آهن تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر حجم ریـشه دورگه‌ها داشـت (جـدول۲) و منجـر بـه کـاهش حـدود ۲/۸۳ برابری آن شد (جدول۳). در مقابل، تأثیر کمبود روی بر حجـم ریشه از نظر آماری معنی‌دار نشد (جـدول۲ و ۳). حجـم ریـشه هم‌چنین تحت تـأثیر نـوع نژادگـان‌هـای مـورد مطالعـه بـود و دورگه‌های ۵۰۰ و ۷۰۰ ذرت دانه ای نسبت به دورگه‌های ۴۰۳ و ۴۰۴ ذرت شیرین مقادیر بالاتری را به خود اختـصاص دادنـد (جدول۴). حجم ریشه دورگه‌ها هم‌چنین تحت تأثیر برهمکنش تغذیـه آهـن و دورگـه ($P<۰/۰۱$) قـرار گرفـت (جـدول۲) و افزایش غلظت آهن محلول غذایی از ۵ به ۵۰ میکرومولار منجر به پاسخ مثبت دورگه‌های مورد مطالعه به ویژه در دورگـه‌هـای ذرت دانه‌ای شد (جدول ۵). پاسخ دورگه‌های ذرت بـه کمبـود روی به طور معنـی‌داری ($P<۰/۰۵$) متفـاوت بـود (جـدول۲). افزایش غلظت روی محلول غذایی از صـفر بـه ۲ میکرومـولار منجر به افزایش حجم ریشه در دورگه‌های ۴۰۳ و ۴۰۴، کاهش حجم ریشه در دورگه ۵۰۰ و تقریبا بدون تأثیر در مورد دورگـه ۷۰۰ بود (شکل ۱).

طول ریشه اصلی (سانتی‌متر)

طول ریشه دورگه‌های ذرت مورد مطالعه در سـطح احتمـال ۱٪ تحت تأثیر تغذیه آهن، دورگه و برهمکنش بین آنها قرار گرفت (جدول۲). کمبود آهن در محلول غـذایی کـاهش ۹۸ درصـدی طول ریشه را به دنبال داشت (جـدول۳). طـول ریـشه در بـین هیبریدهای ذرت متفاوت بود به طوری که بیشترین طول ریـشه به دورگه۵۰۰ و کمترین آن به دورگـه ۴۰۳ اختـصاص داشـت (جدول۴). تأثیر کمبود آهن بر طول ریشه بسته به نـوع هیبریـد متفاوت بـود و دورگـه ۵۰۰ بیـشترین و دورگـه ۷۰۰ کمتـرین کاهش رشد ریشه را در شرایط کمبود آهن به خـود اختـصاص دادند (جدول۵). تأثیر کمبود روی بر رشد طولی ریـشه از نظـر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۲ و ۳).

تعداد برگ کامل (ظهور زبانک) در گیاه

به جز اثـر غلظـت آهـن محلـول غـذایی ($P<۰/۰۱$) و دورگـه ($P<۰/۰۵$) تأثیر سایر عوامل و برهمکنش‌ها بر تعداد برگ کامل دورگه‌ها معنی‌دار نشد (جدول۲). کمبود آهـن و روی بـه ترتیـب کاهش حدود ۶۵ و ۳۷ درصدی تعداد برگ کامل را به دنبال داشت (جدول۳). هم‌چنین دورگه ۷۰۰ و دورگه ۴۰۴ به ترتیب کمترین و بیشترین تعداد برگ را به خود اختصاص دادند (جدول۴).

سطح برگ (سانتی‌متر مربع در گیاه)

کمبود آهن تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر سطح بـرگ دورگه‌ها داشـت (جـدول۲) و منجـر بـه کـاهش حـدود ۱/۲۷ برابری آن شد (جدول۳). در قابل، کمبود روی تأثیر معنـی‌داری بر سطح برگ نداشت (جدول۲ و ۳). سطح برگ هم‌چنین تحت تأثیر نوع نژادگان‌های مورد مطالعـه بـود و دورگـه‌هـای ۵۰۰ و ۷۰۰ ذرت دانـه‌ای نـسبت بـه دورگـه‌هـای ۴۰۳ و ۴۰۴ ذرت شیرین سطح برگ بیشتری داشتند (جدول۴).

سطح برگ ذرت نیز تحت تأثیر بـرهمکنش تغذیـه آهـن و روی محلـول غـذایی ($P<۰/۰۱$) قـرار گرفـت (جـدول۲). در شرایط کفایت عنصر روی، کاهش غلظت آهن محلـول غـذایی تأثیر چشمگیرتری بر افت رشد برگ داشت (شکل۲).

وزن خشک ریشه (گرم در گیاه)

کمبود آهن تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر وزن خشک ریشه دورگه‌ها داشت (جدول۲) و منجر به کاهش حـدود ۱/۸۲

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.11.3]

جدول۴. میانگین مقادیر و مقایسه میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در نژادگان‌های مختلف ذرت

دورگه	شماره	ویژگی‌های هر گیاه								
		F_0	Fm	Fv/Fm	حجم ریشه (ml)	طول ریشه (cm)	تعداد برگ کامل	سطح برگ (cm^2)	وزن خشک ریشه (g)	وزن خشک هوایی (g)
ذرت شیرین	۴۰۳	۱۳۰ bc*	۲۶۰ ab	۰/۳ bc	۲/۰ d	۱۶/۲ c	۲/۱ ab	۱۲۰ b	۰/۱ b	۰/۴ b
	۴۰۴	۹۵/۷ c	۱۹۷ b	۰/۲ c	۳/۰ c	۱۸/۱ bc	۱/۵ b	۱۵۶ b	۰/۱ b	۰/۳ b
ذرت دانه‌ای	۵۰۰	۱۴۶ b	۲۹۴ a	۰/۵ a	۷/۳ a	۳۵/۹ b	۳/۰ a	۲۹۶ a	۰/۳ a	۰/۶ a
	۷۰۰	۱۹۳ a	۳۲۰ a	۰/۴ ab	۴/۰ b	۲۹/۱ b	۳/۳ a	۲۰۰ a	۰/۲ b	۰/۴ b
LSD (٪۵)		۳۵/۱	۶۶/۵	۰/۱	۰/۸	۴/۴۰	۱/۳	۹۵/۵	۰/۱	۰/۲

*: برای هر صفت و در هر تیمار میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول۵. میانگین مقادیر و مقایسه میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در نژادگان‌های مختلف ذرت

غلظت آهن (میکرومولار)	دورگه	F_0	Fm	Fv/Fm	حجم ریشه (ml)	طول ریشه (cm)	وزن خشک ریشه (g)
۵	۴۰۳	۷۱/۰ d	۱۱۵ c	۰/۲ d	۰/۸ e	۱۱/۲ e	۰/۰۵ d
	۴۰۴	۰/۰ e	۰/۰ d	۰/۰ e	۱/۴ e	۱۴/۴ de	۰/۰۷ d
	۵۰۰	۱۵۴ bc	۲۶۵ b	۰/۴ bc	۲/۹ d	۱۹/۳ cd	۰/۱۴ cd
	۷۰۰	۲۳۰ a	۳۴۶ b	۰/۳ c	۱/۷ e	۱۶/۵ cde	۰/۱۲ cd
۵۰	۴۰۳	۱۹۰ ab	۴۰۵ a	۰/۵ ab	۳/۳ d	۲۱/۳ bc	۰/۱۹ bc
	۴۰۴	۱۹۱ ab	۳۹۵ a	۰/۵ ab	۴/۵ c	۲۱/۸ bc	۰/۱۸ bc
	۵۰۰	۱۳۹ c	۳۲۴ ab	۰/۶ a	۱۱/۷ a	۵۲/۵ a	۰/۴۷ a
	۷۰۰	۱۵۷ bc	۲۹۵ b	۰/۴ abc	۶/۱ b	۲۶/۱ b	۰/۲۴ b
LSD (٪۵)		۴۹/۶	۹۴/۱	۰/۱	۱/۱	۶/۲	۰/۰۶

برای هر صفت و در هر تیمار میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

برابری آن شد (جدول۳). کاهش حدود ۵۳ درصدی وزن خشک ریشه در شرایط کمبود روی از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول۲ و ۳). وزن خشک ریشه هم‌چنین تحت تأثیر ($P<0/01$) نوع نژادگان‌های مورد مطالعه بود (جدول۲) و دورگه‌های ۵۰۰ و ۷۰۰ ذرت دانه‌ای نسبت به دورگه‌های ۴۰۳ و ۴۰۴ ذرت شیرین وزن خشک ریشه بالاتری را به خود اختصاص دادند (جدول۴). وزن خشک ریشه دورگه‌ها هم‌چنین تحت تأثیر برهمکنش اثرات غلظت آهن و روی محلول غذایی ($P<0/01$) قرار گرفت (جدول۲). در شرایط کفایت عنصر روی، تأثیر افزایش غلظت آهن محلول غذایی چشمگیرتر بود (شکل۳).

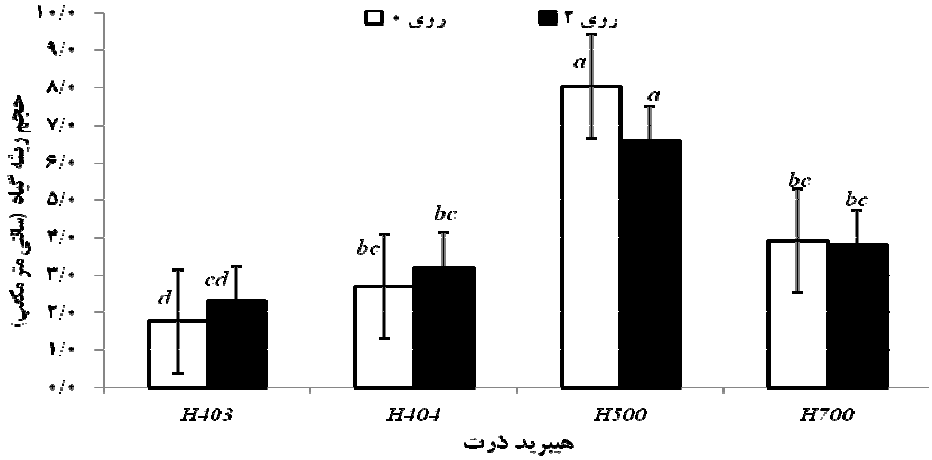
وزن خشک ریشه دورگه‌ها تحت تأثیر برهمکنش آهن و دورگه ($P<0/01$) قرار گرفت (جدول۲) و افزایش غلظت آهن محلول غذایی از ۵ به ۵۰ میکرومولار منجر به پاسخ مثبت دورگه‌های مورد مطالعه به ویژه در دورگه های ذرت دانه‌ای شد (جدول۵). پاسخ دورگه‌های ذرت به کمبود روی به طور معنی‌داری ($P<0/05$) متفاوت بود (جدول۲). دورگه‌های ۴۰۳ و ۵۰۰ به کمبود حساس تر بودند (شکل۴).

وزن خشک بخش هوایی (گرم در گیاه)

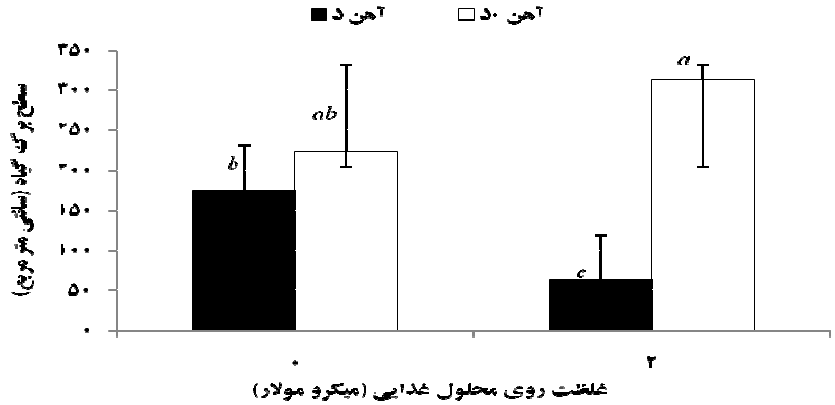
به جز اثر آهن ($P<0/01$) و دورگه ($P<0/05$) تأثیر سایر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

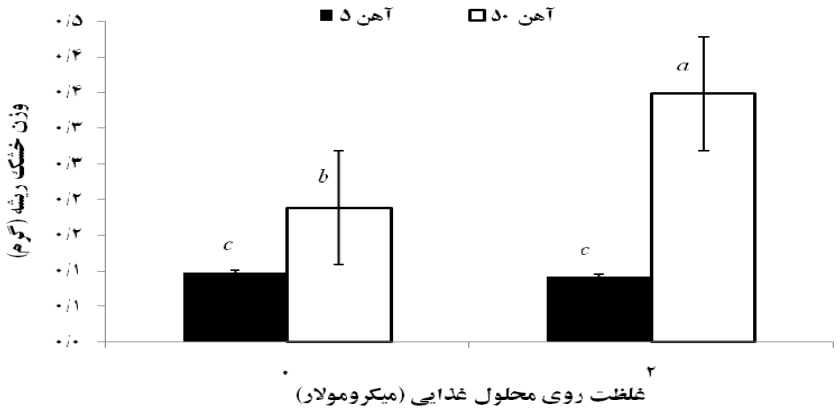
[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.11.3]



شکل۱. برهمکنش آثار غلظت عنصر روی محلول غذایی (صفر و ۲ میکرومولار از منبع سولفات روی) و دورگه ذرت بر حجم ریشه هر گیاه



شکل۲. برهمکنش اثرات غلظت عنصر آهن (۵ و ۵۰ میکرومولار از منبع FeEDTA) و روی (صفر و ۲ میکرومولار از منبع سولفات روی) محلول غذایی بر سطح برگ هر گیاه



شکل۳. برهمکنش اثرات غلظت عنصر آهن (۵ و ۵۰ میکرومولار از منبع FeEDTA) و روی (صفر و ۲ میکرومولار از منبع سولفات روی) محلول غذایی بر وزن خشک ریشه هر گیاه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.11.3]

عوامل و برهمکنش‌هابر وزن خشک بخش هوایی دورگه‌ها معنی‌دار نشد (جدول۲). کمبود آهن و روی محلول غذایی به ترتیب کاهش حدود ۲/۸ و ۱/۱ برابری وزن خشک بخش هوایی را به دنبال داشت (جدول۳). هم‌چنین دورگه ۵۰۰ و دورگه ۴۰۴ به ترتیب کمترین و بیشترین وزن خشک بخش هوایی را به خود اختصاص دادند (جدول۴).

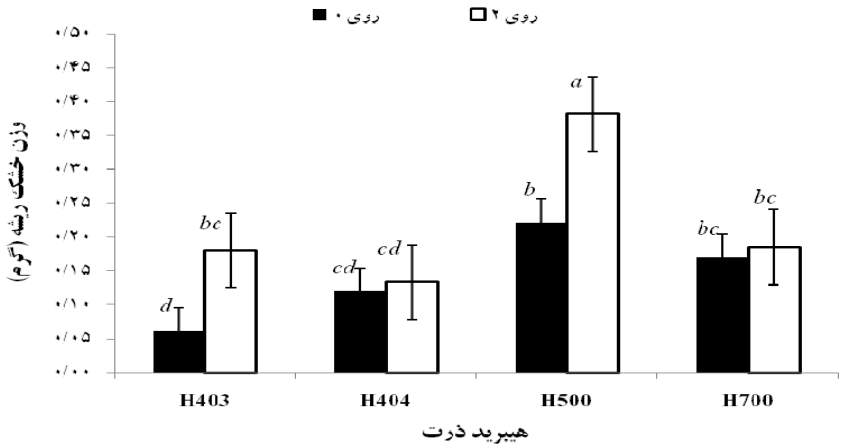
بحث

در مطالعات متعدد ثابت شده است که اندازه‌گیری فلورسانس تابشی از کلروفیل برگ‌های سالم در روی گیاه، روش معتبر و قابل اطمینانی در مطالعه و بررسی فرآیند فتوسنتز و ارزیابی وضعیت فیزیولوژیکی گیاه است (۱۸ و ۲۰) و بنابراین فیزیولوژیست‌ها و اکوفیزیولوژیست‌ها در سطح گسترده‌ای از این روش استفاده می‌کنند (۴). با توجه به این‌که PSII به تعدادی از عوامل تنش‌زا حساسیت نشان می‌دهد، اندازه‌گیری تابش فلورسانسی کلروفیل شاخصی کمی از شدت تنش و سازوکارهای واکنش به آن را ارائه می‌دهد. افزایش تابش فلورسانسی و به دنبال آن کاهش عملکرد موثر کوانتوم، نشان دهنده کم شدن توان فتوسنتزی کل گیاه است. اصلاح کنندگان گیاهی از تابش فلورسانسی کلروفیل در تشخیص سریع پاسخ ارقام یا لاین‌های مختلف نسبت به تنش‌های محیطی استفاده می‌کنند (۴). در این مطالعه نیز نشان داده شد که در شرایط تنش کمبود آهن مقدار فلورسانس پایه (F_0) که بیانگر سطحی از فلورسانس در زمانی که پذیرنده کوئینون A (QA) PSII در بالاترین مقدار شرایط اکسیداسیونی قرار دارد (مراکز PSII باز هستند)، کمتر از غلظت ۵۰ میکرومولار آهن در محلول غذایی بود (جدول۳). هم‌چنین مقدار F_m که بیانگر سطحی از فلورسانس در زمانی که کوئینون A (QA) PSII در بالاترین مقدار شرایط احیایی قرار دارد (مراکز PSII بسته هستند) و F_v/F_m که بیانگر بیشینه کارایی در هنگامی که نور به وسیله آنتن‌های جمع‌آوری کننده PSII جذب شده و به انرژی شیمیایی تبدیل شده است (احیا QA) است، با افزایش غلظت آهن محلول غذایی افزایش یافت (جدول۳). این در حالی است که کمبود روی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر این پارامترها نداشت. هنگام وقوع تنش، تسهیم انرژی بین بخش‌های فلورسانس، فرود فتوشیمیایی و فرود غیر فتوشیمیایی یا اتلاف گرما تغییر می‌کند. در حقیقت هر عاملی که باعث کاهش فتوسنتز شود و یا برای سیستم تنش‌زا باشد، فلورسانس کلروفیل را افزایش می‌دهد (۲۳). در این مطالعه نیز کاهش مقدار آهن و به دنبال آن کاهش احتمالی تعداد کلروپلاست‌ها و سایر رنگدانه‌های دخیل در فرآیند فتوسنتز (۹) باعث کاهش کارایی دستگاه فتوسنتزی گیاهان شده است. هم‌چنین نتایج به دست آمده از این مطالعه بیانگر تأثیر قابل توجه کمبود آهن بر رشد و صفات ریختی دورگه‌های ذرت بوده است (جدول۳).

کمبود آهن افزون بر کاهش کارایی فتوسنتز، کاهش تعداد برگ و به دنبال آن کاهش سطح فتوسنتز کننده دورگه‌های ذرت را نیز به دنبال داشت (جدول۳). برآیند این روند تأثیر خود را بر رشد ریشه و ویژگی‌های آن نظیر حجم و طول نشان داد (جدول۳) و کاهش هم‌زمان سطح فتوسنتز کننده و کارایی فتوسنتزی باعث کاهش تولید ماده خشک دورگه‌ها شد. این مشاهدات با توجه به نقش آهن به عنوان «عامل همراه» (Co-Factor) در تعدادی از آنزیم‌ها و عوامل کاهش دهنده در فرآیندهای اصلی مربوط به سوخت و ساز گیاه شامل فتوسنتز، تنفس، حفاظت سلولی، تثبیت نیتروژن و بسیاری از روابط قابل توجیه است (۷). از سوی دیگر بین دورگه‌های مورد مطالعه تفاوت نژادگانی قابل ملاحظه‌ای در رابطه با حساسیت به کمبود آهن مشاهده شد (جدول۴). در این مطالعه دورگه‌های ذرت دانه‌ای به ویژه دورگه ۵۰۰ با وجود رشد و تولید ماده خشک بیشتر، حساسیت کمتری نشان داد، که کارآمدی این نژادگان در مصرف آهن را به خوبی نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد هم‌افزایی رشد و افزایش سطح جذب توسط ریشه نقش مهمی در این رابطه داشته است. عواملی مانند توان بیشتر ریشه‌ها در کاهش Fe^{+3} به Fe^{+2} از طریق تولید H^+ و یا آنزیم‌های کاهش دهنده آهن سه ظرفیتی (Fe^{3+}-Reductase)، برهمکنش کمتر با سایر عناصر، تولید کلات‌ها یا ترکیبات ذخیره‌ای و یا فرآیندهای شیمیایی- فتوشیمیایی داخلی که دسترسی به آهن و مصرف آن را

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.11.3]



شکل۴. برهمکنش آثار غلظت عنصر روی (صفر و ۲ میکرومولار از منبع سولفات روی) محلول غذایی و دورگه ذرت بر وزن خشک ریشه هر گیاه

تنظیم می‌کنند و یا سطح جذب بیشتر به واسطه توسعه ریشه در این امر دخیل اند (۲ و ۶). با توجه به نقش روی در استحکام و تنظیم نفوذپذیری غشای سلول‌های ریشه (۱۰) و جلوگیری از جذب یون‌های اضافی در محیط ریشه (۲۱) اثر بخشی افزایش روی محلول غذایی در بهبود وزن خشک ریشه قابل توجیه است (جدول۳). وجود برهمکنش بین روی و دورگه در حجم وزن خشک ریشه ذرت نیز حاکی از وجود تنوع نژادگانی بین دورگه‌های مورد مطالعه در زمینه مصرف روی است. هر چند الگوی رشد ریشه دورگه‌ها تحت تأثیر غلظت روی محلول غذایی قرار گرفت با این حال تحت هر دو شرایط کمبود و کفایت عنصر روی دورگه‌های ذرت دانه‌ای ۵۰۰ و ۷۰۰ حجم و ماده خشک ریشه بیشتری نسبت به دورگه‌های ذرت شیرین ۴۰۳ و ۴۰۴ تولید نمودند (شکل۴). نکته قابل توجه دیگر در این مطالعه وجود برهمکنش بین غلظت آهن و روی محلول غذایی در رابطه با رشد برگ و ریشه دورگه‌های ذرت بود. به گونه‌ای که در مورد سطح برگ در شرایط کفایت عنصر روی، کمبود آهن خسارت بیشتری را نسبت به شرایط کمبود هم‌زمان آهن و روی محلول غذایی اعمال کرد. از سوی دیگر اثربخشی افزایش غلظت آهن در شرایط کفایت عنصر روی بر سطح برگ (شکل۲) و ماده خشک ریشه (شکل۳) بیشتر بود. این موضوع را می توان به وجود رابطه هم‌افزایی بین این دو عنصر در جهت رشد برگ نسبت داد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد، حساسیت دورگه‌های مورد مطالعه در این آزمایش به کمبود آهن در محلول غذایی بیش از کمبود روی بوده است. در این میان دورگه‌های ذرت دانه‌ای۵۰۰ و ۷۰۰ نسبت به دورگه‌های ذرت شیرین۴۰۳ و ۴۰۴ حساسیت کمتری به کمبود آهن و روی از خود نشان دادند. این امر با توجه به وضعیت رشد و کارآمدی وضعیت فتوسنتزی آنها که از طریق مقادیر بالاتر پارامترهای فلورسانس کلروفیل برگ مشهود است، قابل پیش بینی است. هم‌چنین عنصر روی نقش بارزتری در توسعه و رشد ریشه در مقایسه با دورگه‌های مورد مطالعه داشت. از سوی دیگر برهمکنش بین عناصر آهن و روی محلول غذایی نیز در ایجاد برخی از صفات مهم دورگه‌های مورد مطالعه از جمله سطح برگ و وزن ریشه حایز اهمیت بوده و کمبود آهن در شرایط کفایت عنصر روی خسارات بیشتری ایجاد نموده است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات و همکاری‌های آقای مهندس علی اشرفی در طول اجرای این طرح صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.11.3]

منابع مورد استفاده

۱. خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۵. راهکارهای بهبود کیفیت گندم تولیدی در استان قم به منظور بهبود سلامت افراد جامعه. گزارش نهایی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قم، ایران.

۲. عشقی زاده، ح. ر.، ا. ح. خوشگفتارمنش، ع. اشرفی، ا. ح. معلم، ن. پورسخی، ن. پورقاسمیان، ا. میلادی و م. گرجی. ۱۳۸۷. آهن کارایی تعدادی از محصولات زراعی در محیط کشت محلول. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ویژه نامه علوم و فنون آب، خاک و منابع طبیعی ۱۲(۴۶): ۶۵۵-۶۶۴.

3. Andrews, J. R., M. J. Fryer, and N. R. Baker. 1995. Characterization of chilling effects on photosynthetic performance of maize crops during early season growth using chlorophyll fluorescence. J. Exp. Bot. 46: 1195-1203
4. Baker N. R. and E. Rosenqvist. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. J. Exp. Bot. 55 (403): 1607-1621.
5. Belkhodja, R., F. Morales, R. Qu´Ulez, A.F. L´opez-Mill´an, A. Abad´Ua and J. Abad´Ua. 1998. Iron deficiency causes changes in chlorophyll fluorescence due to the reduction in the dark of the Photosystem II acceptor side. Photosynthesis Res. 56: 265-276.
6. Bennett, J. H., E. H. Lee, D. T. Kirzek, R. A. Olsen and J. C. Brown. 1982. Photochemical reduction of iron. II. Plant related factors. J. Plant Nutr. 5: 335-344.
7. Bennett, J. H., R. A. Olsen and R. B. Clark. 1982. Modification of soil fertility by plant roots: Iron stress-response mechanism. What's New in Plant Physiol. 13(1):1- 4
8. Bohm, W. 1979. Method of Studying Root Systems. Springer-Verlag, New York.
9. Briat, J. F., I. Fobis-Loisy, N. Grignon, S. Lobre´ aux, N. Pascal, G. Savino, S. Thoiron, N. Von Wire` n and O. Van Wuytswinkel. 1995. Cellular and molecular aspects of iron metabolism in plants. Biol. Cell 84: 69-81.
10. Cakmack, I. and H. Marschner. 1988. Increase in membrane permeability and exudation in roots of zinc deficiency plants. J. Plant Physiol. 132: 356-361.
11. Grafts-Brander, S. J. and M. E. Salvucci. 2002. Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, maize, to heat stress. Plant Physiol. 129:1773-1780.
12. Jolley, V. D. and J. C. Brown. 1989. Iron efficient and inefficient oats. I. Differences in phytosiderophore release. J. Plant Nutr. 12:423-435.
13. Khoshgoftar, A. H., H. Shariatmadari and N. Karimian. 2006b. Responses of wheat genotypes to zinc fertilization under saline soil conditions. J. Plant Nutr. 27(9):1-14.
14. Khoshgoftarmanesh, A. H., M. R. Balai and Z. Khademi. 2001. The effect of ZnSO4 on the growth and yield of wheat in saline-bare soils, In 7th Iranain Soil Science Congress, Univ. of Shahrekord: Shahr-e-kord, Iran, Sept. 14–21.
15. Macdonald, G. E., D. G. Shilling and T. A. Bewick. 1993. Effects of endothall and other aquatic herbicides on chlorophyll fluorescence, respiration and cellular integrity. J. Aquat. Plant Manag. 31: 50-55.
16. Mashner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed., Academic Press., USA.
17. Masojidek, J., S. Trivedi, L. Halshaw, A. Alexiou and D. O. Hall. 1991. The synergistic effect of drought and light stresses in sorghum and pearl millet. Plant Physiol. 96:198-207.
18. Maxwell, K. and G. N. Johnson. 2000. Review article: Chlorophyll fluorescence—a practical guide. J. Exp. Bot. 51: 659–668.
19. Mendoza, A.B. 1999. Absorption and Assimilation of iron in plant. Departamento De Horticultura, Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Translation by Roger Miller.
20. Moradi, F. and A. M. Ismail. 2007. Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. Ann. Bot. 99 (6): 1161-1173.
21. Rengel, Z. and V. Romheld. 2000. Differential tolerance to Fe and Zn deficiencies in wheat germplasm. Euphytica, 113: 219-225.
22. Singh, J. P., D. J. Dahiya and R. P. Narwat. 1990. Boron uptake and toxicity in wheat in relation to zinc supply. Fert. Res. 24. 105-110.
23. Strasser, B. J. 1997. Donor side capacity of Photosystem II probed by chlorophyll a fluorescence transients. Photosynth. Res. 52: 147-155.
24. Yamasaki, T., T. Yamakawa, Y. Yamane, H. Koike, K. Satoh and S. Katoh. 2002. Temprature acclimation of photosynthesis and related changes in photosystem II electron transport in winter wheat. Plant Physiol. 128: 1087-1097.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.11.3]