



به زراعی کشاورزی

دوره ۱۵ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۲

صفحه‌های ۶۵-۷۸

امکان استفاده از فلورسنس کلروفیل برای ارزیابی تحمل تعدادی از پایه‌های مرکبات به تنش غرقاب

علی اسدی کنگرشاهی^{۱*}، غلامرضا ثوابی^۲، محمود سمر^۳، محسن فرحبخش^۴

۱. دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲. استاد بخش علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳. استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور

۴. استادیار بخش علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ وصول مقاله: ۹۲/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۰۹/۱۱

چکیده

یکی از پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاهان به تنش غرقاب، تغییر در فلورسنس کلروفیل است که به علت سهولت اندازه‌گیری در مزرعه، ارزان و غیرتخریبی بودن، یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های مختلف به تنش‌ها است. بنابراین، در این پژوهش، روند تغییرات شاخص فلورسنس کلروفیل (F_v/F_m) نارنگی انشو با ۷ پایه (نارنج، سوینگل سیتروملو، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج، سی - ۳۵، اسموت‌فلت‌سویل و گوتو) در برخی خاک‌های مناطق شرق مازندران تحت تنش غرقاب به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر خاک، پایه و برهم‌کنش آن‌ها بر میانگین تغییرات شاخص فلورسنس کلروفیل پایه‌ها تحت شرایط غرقاب در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر خاک‌های مختلف بر میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل در کل دوره غرقاب نشان داد که پایه‌ها در خاک ۷ و ۱ به‌ترتیب بیشترین و کمترین شاخص را داشتند. اثر پایه‌های مختلف نیز بر شاخص فلورسنس نشان داد که با افزایش زمان غرقاب، این شاخص به‌طور فزاینده‌ای نسبت به شروع غرقاب کاهش یافت و از نظر میانگین شاخص فلورسنس در کل دوره غرقاب گوتو و نارنج به‌ترتیب بیشترین و کمترین شاخص فلورسنس کلروفیل را داشتند، سوینگل سیتروملو، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج، اسموت‌فلت‌سویل و سی - ۳۵ به‌ترتیب بعد از گوتو قرار گرفتند. همچنین، اثر برهم‌کنش خاک و پایه بر میانگین شاخص فلورسنس نشان داد که تحمل پایه‌ها به غرقاب در خاک‌های مختلف، متفاوت است.

کلیدواژه‌ها: خاک، ژنوتیپ، شاخص فلورسنس کلروفیل، غرقاب، نارنگی انشو.

۱. مقدمه

استان مازندران یکی از قطب‌های مهم کشاورزی ایران است که مرکبات کشت عمده آن محسوب می‌شود. زندگی و اقتصاد مردم این استان ارتباط تنگاتنگی با صنعت مرکبات آن دارد، به‌طوری که، میزان تولید مرکبات استان مازندران بیش از ۲ میلیون تن در سال است و حدود ۶۰ درصد آن به شرق مازندران اختصاص دارد. مطالعات انجام‌شده در شرق مازندران نشان داده است که بارندگی زیاد، مانداب سطحی و سطح آب زیرزمینی بالا و نوسان آن، ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی، تغذیه‌ای و بیوشیمیایی زیادی برای مرکبات منطقه ایجاد می‌کند. تاج تنک، کاهش تشکیل میوه، خشکیدگی سرشاخه‌ها، ریزش گل و میوه‌چه‌ها از نشانه‌های اکثر درختان این باغ‌ها در سال‌های پر باران است [۱، ۶، ۷]. تحمل درختان میوه به غرقاب، بیشتر به پایه آن‌ها بستگی دارد. مرکبات به‌طور کلی به‌عنوان محصولات حساس به غرقاب طبقه‌بندی می‌شوند، اگرچه اختلاف زیادی میان ژنوتیپ‌های مختلف مرکبات در تحمل به غرقاب وجود دارد. همچنین، تحمل به مانداب می‌تواند به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر خاک نیز قرار گیرد [۴، ۲۰].

در سال‌های اخیر، فلورسنس کلروفیل یکی از قوی‌ترین و گسترده‌ترین تکنیک‌های رایج برای مطالعه فیزیولوژی و اکوفیزیولوژی گیاهان شده است. عملکرد فلورسنس با قراردادن یک برگ در معرض نور با طول مشخص و اندازه‌گیری نشر مجدد آن امکان‌پذیر است. لذا، با دستگاهی به نام فلورومتر که دارای منبع نوری تنظیم‌شده، توانایی روشن و خاموش شدن با تناوب بسیار بالا و همچنین، یک آشکارساز است، پارامترهای فلورسنس کلروفیل را می‌توان اندازه‌گیری کرد. مناسب‌ترین شرایط برای اندازه‌گیری زمانی است که اندازه‌گیری در حضور نور کامل خورشید در مزرعه انجام شود [۲۱، ۲۵]. فلورسنس

کلروفیل یک وسیله تشخیص برای دستگاه نوری II است، بنابراین، می‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب برای بررسی تحمل گیاهان به تنش‌های مختلف استفاده شود. فلورسنس کلروفیل به‌طور گسترده در مطالعات تنش شوری [۲۳]، درجه حرارت‌های پایین [۲۶] و غرقاب [۳۳] برای بیان تغییرات در دستگاه فتوسنتزی استفاده شده است. نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که بین شاخص کلروفیل فلورسنس و تحمل به غرقاب ژنوتیپ‌های مختلف همبستگی بالایی وجود دارد. بنابراین، فلورسنس کلروفیل می‌تواند وسیله ارزیابی خوبی برای انتخاب و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل در مزرعه باشد.

استفاده از فلورسنس کلروفیل برای بررسی و ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های مختلف جو به تنش شوری نشان داد که شاخص فلورسنس کلروفیل (Fv/Fm) می‌تواند برای انتخاب و غربالگری ژنوتیپ‌های مختلف جو در محیط شوری استفاده شود. تنش شوری موجب تغییر معنی‌داری در شاخص فلورسنس کلروفیل ژنوتیپ‌های مختلف شد. ژنوتیپ‌هایی که شاخص فلورسنس آن‌ها تغییرات کمتری داشت، تحمل بیشتری به تنش داشتند [۹]. نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که از برخی پارامترهای فتوسنتز مانند شاخص فلورسنس کلروفیل می‌توان برای انتخاب و غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل به غرقاب، شوری و سرما استفاده کرد، این پارامترهای فتوسنتزی هرگونه تنش و محدودیت در فرآیندهای فتوسنتزی را به‌خوبی نشان می‌دهند و ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش، تغییرات کمتری در پارامترهای فتوسنتزی در پاسخ به تنش دارند [۹، ۲۶، ۲۹]. همچنین، با اندازه‌گیری فلورسنس کلروفیل، می‌توان عملکرد دستگاه فتوسنتزی را به‌خوبی پایش کرد و این فلورسنس در پاسخ به تنش‌ها تغییر می‌کند، بنابراین می‌تواند در ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان به تنش‌های مختلف استفاده شود [۲۸]. همچنین، نتایج

بعد از مرحله ۴ برگی شدن، به گلدان‌های پلاستیکی به حجم ۳/۵ لیتر با همان ترکیب قبلی انتقال داده شدند. در طول فصل رشد، تغذیه به صورت کود آبیاری [۱۲] انجام شد تا قطر نهال‌ها به حدود ۱ سانتی‌متر برسد؛ سپس، نارنگی انشو میاگوا روی پایه‌های مورد نظر پیوند شد. هنگامی که ارتفاع نهال‌ها به حدود ۵۰ سانتی‌متر رسید، نهال‌های سالم و بدون عارضه که از نظر قطر و ارتفاع تقریباً یکسان بودند برای آزمایش انتخاب شدند و به گلدان‌های ۳۰ لیتری انتقال داده شدند که حاوی خاک‌های مورد نظر بودند.

۲.۲. انتخاب و جمع‌آوری خاک‌ها

با توجه به گزارش‌های خاک‌شناسی و مطالعات انجام‌شده در باغ‌های شرق مازندران [۱، ۲]، از نواحی عمده کشت مرکبات شهرهای بابل، قائم‌شهر و ساری و نکا، خاک‌های مورد نظر جمع‌آوری شدند. پس از خشک‌کردن نمونه خاک‌ها در هوا، کوبیدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، واکنش خاک در خمیر اشباع، کربنات کلسیم معادل به روش خشتی کردن با اسید، بافت خاک به روش هیدرومتر، ماده آلی به روش والکلی - بلک، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور اندازه‌گیری شد [۸]. با توجه به ویژگی‌های مذکور، ۷ نمونه خاک به گونه‌ای انتخاب شدند که دارای دامنه وسیعی از کربنات کلسیم معادل و رس باشند و همچنین، منطقه وسیعی را از نظر جغرافیایی در برگیرند که برخی خصوصیات آن‌ها در جدول ۱ آمده است. نمونه‌های خاک مورد نظر، به سطل‌های پلاستیکی مناسب حاوی ۳۰ کیلوگرم خاک انتقال داده شدند. سپس، نهال‌ها کشت شدند.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۶ تکرار انجام شد. فاکتور اول خاک، شامل ۷ خاک مختلف از مناطق شرق مازندران (بابل، قائم‌شهر، ساری و نکا) و فاکتور دوم پایه، شامل ۷ پایه

تحقیقات مختلف نشان داد که از فلورسنس کلروفیل می‌توان به عنوان روشی جدید و در حال توسعه برای انتخاب و غربالگری گیاهان به تنش دمایی پایین استفاده کرد، به طوری که، با افزایش شدت سرما نشر فلورسنس پایه (F_0) افزایش می‌یابد و همبستگی معنی‌داری بین شاخص فلورسنس و تحمل به سرما ژنوتیپ‌های مختلف وجود دارد [۲۶]. ارزیابی تحمل تعداد زیادی از ژنوتیپ‌های مختلف یونجه به تنش غرقاب نشان داد که از پارامترهای کلروفیل، شاخص فلورسنس کلروفیل (F_v/F_m) به عنوان یک شاخص تحمل می‌تواند استفاده شود و این شاخص به طور فزاینده با افزایش زمان تنش غرقاب کاهش یافت [۳۲].

نارنج پایه معمول اکثر باغ‌های مرکبات منطقه و حساس به بیماری ویروسی تریستزا است و این حساسیت، استفاده از آن را محدود کرده است. تاکنون، تحقیقات چندانی در مورد پاسخ‌های فیزیولوژی ژنوتیپ‌های مختلف مرکبات به غرقاب در خاک‌های مختلف انجام نشده است و پایه‌های کاریزوسیترنج، سونینگل سیتروملو، ترویرسیترنج، سی - ۳۵، اسموت‌فلت‌سویل و گوتو نیز به تازگی به صنعت مرکبات شمال وارد شده‌اند و در حال گسترش هستند. لذا، هدف از این آزمایش، بررسی روند تغییرات شاخص فلورسنس کلروفیل و ارزیابی تحمل نارنگی انشو با پایه‌ها و خاک‌های مختلف به تنش غرقاب است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. آماده کردن نهال‌ها

ابتدا، بذر پایه‌های نارنج، ترویرسیترنج، کاریزوسیترنج، سونینگل سیتروملو، سی - ۳۵، اسموت‌فلت‌سویل و گوتو در سینی‌های کاشت با سلول‌هایی به حجم ۱۲۵ سانتی‌متر مکعب و بستر مناسب (کوکوپیت و پیت‌موس) کشت شد.

Efficiency Analyser, PEA, Hansatech Instrument)
 (Plant Ltd., England)، بعد از ۳۰ دقیقه انطباق تاریکی
 اندازه گیری شد. برای سازگاری با تاریکی، ابتدا قسمتی از
 برگ نهال‌ها (با کلیپ‌های مخصوص) برای مدت زمان ۳۰
 دقیقه در تاریکی قرار داده شدند. بعد از اتمام سازگاری با
 تاریکی، با قراردادن سنسور فلورومتر به کلیپ‌ها، ارتباط
 اندام سازگاری شده با تاریکی و منبع نور تنظیم شده
 فلورومتر برقرار و پارامترهای فلورسنس کلروفیل قرائت
 شد. سپس، شاخص تغییرات کلروفیل فلورسنس (F_v/F_m)
 $(= (F_m - F_0)/F_m)$ محاسبه شد [۵، ۲۵]. قرائت‌های کلروفیل
 فلورسنس در ۰، ۵، ۲۰، ۳۵، ۴۵، ۶۰ روز در طول دوره
 غرقاب انجام شدند. روند تغییرات این شاخص در برگ
 نارنگی انشو با پایه‌ها و خاک‌های مختلف در طول دوره
 غرقاب بررسی شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از
 نرم‌افزارهای آماری SPSS و MSTAT-C و همچنین، برای
 رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

مختلف نارنج، سوینگل سیتروملو، کاریزوسیترنج،
 ترویرسترنج، سی - ۳۵، اسموت فلت سویل و گوتو بود
 (جدول ۲). در طول دوره رشد، تغذیه [۱۱] و آبیاری [۱۵]
 به‌طور منظم انجام شد. پس از اسقرار کامل نهال‌ها در
 خاک‌های مورد نظر در سال اول رشد، در سال دوم رشد ۳
 تکرار آن‌ها به‌طور پیوسته به مدت ۷۵ روز غرقاب شدند و
 ۳ تکرار دیگر به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد (اما
 نظر به اینکه، شاخص فلورسنس تیمار شاهد با صفر زمان
 غرقاب یکسان بود، لذا، در جدول‌ها و شکل‌ها، صفر زمان
 غرقاب به‌عنوان شاهد منظور شده است). در طول دوره
 غرقاب، ارتفاع آب روی سطح خاک گلدان‌های تیمار
 غرقاب حدود ۳ سانتی‌متر نگه داشته شد. سپس، در طی
 دوره غرقاب در زمان‌های مختلف، پارامترهای فلورسنس
 کلروفیل در برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته همه تیمارها
 $\{F_0\}$: فلورسنس پایه، F_m : فلورسنس حداکثر در اولین پالس
 اشباع نوری بعد از سازگاری با تاریکی و F_v : تغییرات
 فلورسنس $\{F_m - F_0\}$ با استفاده از فلورومتر پرتابل

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش

خاک و منطقه							خصوصیت
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
ساری	ساری	نکا	نکا	ساری	قائم شهر	بابل	
۲۲	۳۷	۱۳	۴۱	۱۹	۲۹	۲۳	رس (درصد)
۳۷	۲۹	۲۹	۱۸	۳۵	۲۶	۳۰	سیلت (درصد)
۴۰	۳۴	۵۸	۴۱	۴۶	۴۵	۴۷	شن (درصد)
۴۵	۲۵	۴۰	۳۰	۱۴	۹	۲	کربنات کلسیم معدل
۱/۱۰	۱/۵۲	۰/۶۵	۱/۶۰	۱/۸۰	۰/۹۵	۱/۱۷	کربن آلی (درصد)
۷/۷۶	۷/۷۸	۷/۷۷	۷/۶۰	۷/۸۶	۷/۴۵	۶/۸۰	اسیدیته اشباع
۱/۱۲	۰/۷۸	۱/۱۰	۰/۷۷	۱/۴۲	۱/۲۰	۰/۶۵	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)
۱۵/۸۵	۲۴/۳۱	۱۴/۸۰	۳۷	۲۶	۱۷/۹۰	۱۵/۶۰	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بر کیلوگرم)

امکان استفاده از فلورسنس کلروفیل برای ارزیابی تحمل تعدادی از پایه‌های مرکبات به تنش غرقاب

جدول ۲. برخی ویژگی‌های پایه‌های * مورد آزمایش

ویژگی	پایه					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
نارنج	سوینگل سیتروملو	کاریزوسیترنج	ترویرسیترنج	سی - ۳۵	اسموت فلت سویل	گوتو
نام لاتین	Sour orange	Swingle citrumelo	Carrizo citrange	Trroyer citrange	C- 35	Gou tou
علامت اختصاری	SO	SC	CC	TC	CI	GT
هیبرید	-	Grapefruit & Trifoliate orange	Washington navel & Trifoliate orange	Ruby blood orange & Trifoliate orange	Ruby orange & trifoliate orange	Sour orange & Poorman orange
آهک خاک	متحمل	حساس	-	نیمه حساس	-	متحمل
تریستیزا	حساس	محتمل	متحمل	متحمل	متحمل	متحمل

*منبع [۳۱]

۳. نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثر خاک‌های مختلف بر شاخص فلورسنس کلروفیل در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است. اثر خاک‌های مختلف بر میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل برگ، از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). این نتایج نشان داد که در ۵ روز اول غرقاب میانگین شاخص در خاک روندی افزایشی داشت و در سایر خاک‌ها تغییرات چندانی نداشت و بیشترین شاخص در این مدت از خاک ۴ حاصل شد. در مقابل، خاک‌های ۱ و ۲ کمترین شاخص را داشتند. با ادامه غرقاب، در همه خاک‌ها

این شاخص روند کاهشی داشت و از ۵ روز تا ۳۵ روز کاهش یافت، اما این روند کاهشی در خاک‌های ۳ و ۴ متفاوت با سایر خاک‌ها بود. سپس، این شاخص تا ۴۵ روز مجدداً افزایش یافت. اما از ۴۵ روز تا پایان دوره غرقاب روند کاهشی در همه خاک‌ها مشاهده شد، پایه‌ها در خاک ۷ و ۳ بیشترین و کمترین شاخص را داشتند (شکل ۱). اما به‌طور کلی، متوسط شاخص فلورسنس کلروفیل در کل دوره غرقاب نشان می‌دهد که پایه‌ها در خاک ۷ و ۱ به‌ترتیب بیشترین و کمترین شاخص را داشتند.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تنش غرقاب بر شاخص فلورسنس کلروفیل نارنگی انشو با پایه و خاک‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	زمان از شروع غرقاب (روز)					
		۰	۵	۲۰	۳۵	۴۵	۶۰
تکرار	۲	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۰۱ns
خاک	۶	۰/۰۲۷**	۰/۰۲۴**	۰/۰۱۴**	۰/۰۶۸**	۰/۰۳۱**	۰/۰۳۳**
پایه	۶	۰/۰۲۷**	۰/۰۲۸**	۰/۰۰۸**	۰/۰۹۹**	۰/۰۷۴**	۰/۲۴**
خاک و پایه	۳۶	۰/۰۲۰**	۰/۰۲۵**	۰/۰۰۹**	۰/۰۶۴**	۰/۰۵۰**	۱/۰۴**
خطا	۹۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns: بدون معنی

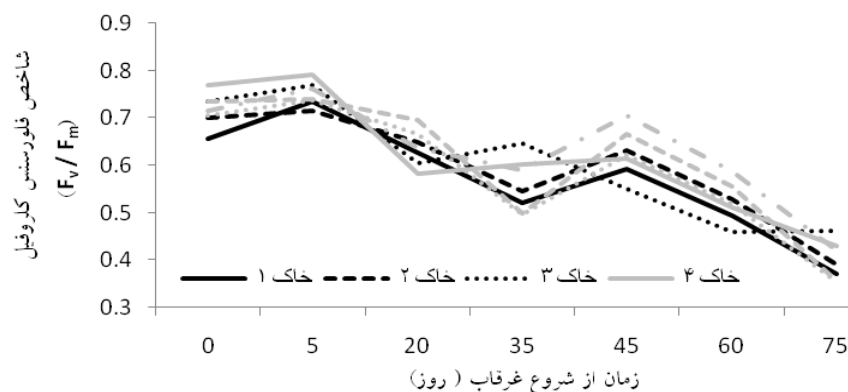
جدول ۴. مقایسه میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل در خاک‌های مختلف

خاک	شاخص فلورسنس						
	زمان از شروع غرقاب (روز)						
	۰	۵	۲۰	۳۵	۴۵	۶۰	۷۰
۱	۰/۶۵ E	۰/۷۳ D	۰/۶۳ CD	۰/۵۲ E	۰/۵۹ F	۰/۴۹ E	۰/۳۷ D
۲	۰/۷۰ D	۰/۷۱ E	۰/۶۵ BC	۰/۵۵ D	۰/۶۳ C	۰/۵۳ C	۰/۳۹ C
۳	۰/۷۴ B	۰/۷۷ B	۰/۶۰ DE	۰/۶۵ A	۰/۵۵ G	۰/۴۶ F	۰/۴۶ A
۴	۰/۸۰ A	۰/۷۹ A	۰/۵۸ E	۰/۶۰ B	۰/۶۱ E	۰/۵۱ D	۰/۴۳ B
۵	۰/۷۳ B	۰/۷۴ D	۰/۷۰ A	۰/۵۰ F	۰/۶۷ B	۰/۵۶ B	۰/۳۶ DE
۶	۰/۷۰ D	۰/۷۴ D	۰/۶۷ B	۰/۵۰ F	۰/۶۲ D	۰/۵۱ D	۰/۳۵ E
۷	۰/۷۲ C	۰/۷۶ C	۰/۶۴ C	۰/۵۸ C	۰/۷۰ A	۰/۵۹ A	۰/۴۲ B

*- میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل پایه‌های مختلف

پایه	شاخص فلورسنس						
	زمان از شروع غرقاب (روز)						
	۰	۵	۲۰	۳۵	۴۵	۶۰	۷۰
نارنج	۰/۷۲ D*	۰/۷۴ C	۰/۶۲ BC	۰/۴۴ E	۰/۵۸ E	۰/۴۸ D	۰/۳۱ E
سوینگل سیتروملو	۰/۶۸ F	۰/۷۶ B	۰/۶۱ C	۰/۵۴ D	۰/۷۰ A	۰/۵۸ A	۰/۳۸ D
کاریزوسیترنج	۰/۶۶ G	۰/۷۰ E	۰/۶۴ B	۰/۵۶ C	۰/۶۵ B	۰/۵۴ B	۰/۴۰ C
ترویرسیترنج	۰/۷۴ C	۰/۷۶ B	۰/۶۳ BC	۰/۵۸ B	۰/۶۱ D	۰/۵۱ C	۰/۴۲ B
سی - ۳۵	۰/۷۰ E	۰/۷۰ E	۰/۶۲ BC	۰/۵۶ C	۰/۵۷ E	۰/۴۸ D	۰/۴۰ C
اسموت‌فلت‌سویل	۰/۷۵ B	۰/۷۲ D	۰/۵۷ D	۰/۵۴ D	۰/۶۵ B	۰/۵۴ B	۰/۳۸ D
گوتو	۰/۷۶ A	۰/۷۸ A	۰/۷۶ A	۰/۶۷ A	۰/۶۲ C	۰/۵۲ BC	۰/۴۸ A

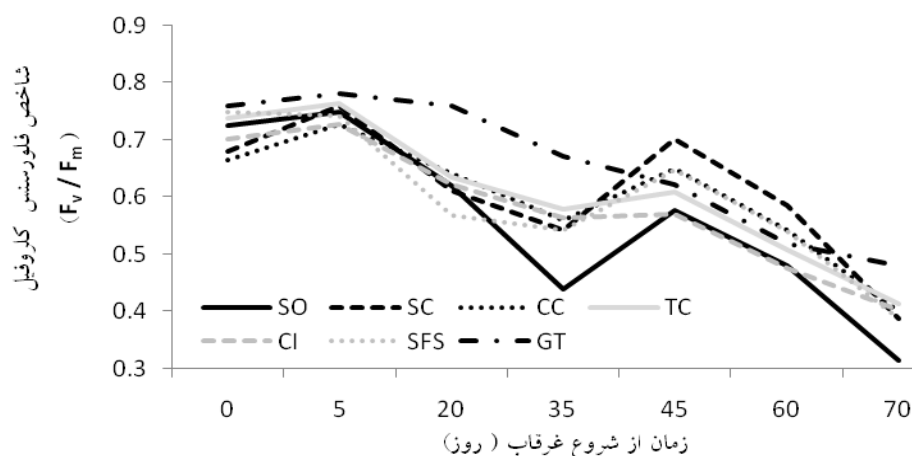


شکل ۱. روند تغییرات میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل در خاک‌های مختلف در شرایط غرقاب

شاخص بعد از گذشت ۱۲ و ۳۳ روز غرقاب به ترتیب حدود ۵/۶ و ۴۱/۱ درصد گیاه شاهد بود [۵].

نتایج برهم‌کنش خاک و پایه بر روند تغییرات شاخص فلورسنس کلروفیل (شکل ۳)، از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). این نتایج نشان داد که در شروع غرقاب، پایه‌های کاریزوسیترنج در خاک ۱، گوتو در خاک ۲، سی - ۳۵ در خاک ۳ و سونگل‌سیتروملو در خاک ۶ کمترین شاخص را داشتند. در ۵ روز اول غرقاب، متوسط شاخص پایه‌ها در خاک‌های مختلف افزایش یافت، به‌طوری که، متوسط شاخص پایه‌ها از ۰/۷۲ به ۰/۷۵ رسید (شکل ۳، الف). با ادامه‌ی زمان غرقاب، شاخص شروع به کاهش کرد و در پایان روز بیستم غرقاب، کمترین شاخص اسموت‌فلت‌سویل در خاک ۴ داشت که شاخص آن به ۰/۲۱۴ رسید که ۷۱ درصد نسبت به شروع غرقاب کاهش نشان داد (شکل ۳، ب). اما میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل پایه‌ها در خاک‌های مختلف به ۰/۶۵ رسید که نسبت به شروع غرقاب ۱۰ درصد کاهش نشان داد. با ادامه‌ی زمان غرقاب، شاخص فلورسنس کلروفیل پایه‌ها در خاک‌های مختلف به تدریج روند کاهشی داشت؛ به‌طوری که، در پایان دوره غرقاب، میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل پایه‌ها در خاک‌های مختلف به ۰/۳۹ رسید که نسبت به شروع غرقاب ۴۴ درصد کاهش نشان داد (شکل ۳، پ).

نتایج اثر پایه‌های مختلف بر شاخص فلورسنس کلروفیل در شکل ۲ آمده است. این نتایج از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول‌های ۳ و ۵). در ۵ روز اول غرقاب گوتو و ترویرسیترنج بیشترین شاخص فلورسنس کلروفیل را داشتند و از روز پنجم تا ۳۵ روز از گذشت زمان غرقاب، گوتو و کاریزوسیترنج حداکثر و اسموت‌فلت‌سویل حداقل شاخص فلورسنس را داشتند. اما از روز سی و پنجم تا پایان دوره غرقاب شاخص فلورسنس کلروفیل سونگل‌سیتروملو و کاریزوسیترنج افزایش و به حداکثر مقدار خود رسید. در مقابل نارنج کمترین فلورسنس کلروفیل را داشت و سایر پایه‌ها شاخص متوسطی داشتند. به‌طور کلی، گوتو، سونگل‌سیتروملو، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج، سی - ۳۵، اسموت‌فلت‌سویل و نارنج به ترتیب بیشترین میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل در کل دوره غرقاب را داشتند. نتایج این پژوهش، با نتایج تحقیقات دیگر محققان هم‌خوانی دارد که نشان دادند غرقاب موجب کاهش شاخص فلورسنس کلروفیل در پایه‌های مختلف شد، اما مقدار کاهش در پایه‌های مختلف، متفاوت بود. در ۱۵ روز اول غرقاب، شاخص سیتروملو مشابه شاهد بود، اما بعد از آن، شاخص شروع به کاهش کرد و در روز ۳۰م، ۱۰/۳ درصد کمتر از شاهد بود. اما این شاخص در کاریزوسیترنج در روزهای ۲۲ تا ۳۰م کاهش کمی نشان داد، ولی در کل‌پاترا ماندارین، مقدار



شکل ۲. روند تغییرات شاخص فلورسنس کلروفیل در پایه‌های مختلف در شرایط غرقاب

اما در کل، بررسی میانگین شاخص فلورسنس پایه‌ها در خاک‌های مختلف در کل دوره غرقاب نشان داد که در خاک ۱، بیشترین و کمترین شاخص را، به ترتیب کاریزوسیترنج و نارنج داشتند و در خاک ۲، بیشترین شاخص را ترویرسیترنج و کمترین شاخص را نارنج داشت. پایه‌های کاریزوسیترنج، سونگل سیتروملو و نارنج در خاک ۳، با متوسط شاخص ۰/۶۶، ۰/۶۴ و ۰/۶۴ در کل دوره غرقاب بیشترین شاخص را داشتند و گوتو و اسموت فلت سویل کمترین شاخص را داشتند. در خاک ۴، سی - ۳۵، کاریزوسیترنج و نارنج بالاترین متوسط شاخص را در کل دوره غرقاب داشتند و ترویرسیترنج و سونگل سیتروملو کمترین شاخص را داشتند. در خاک ۵/۴۷، نیز گوتو، ترویرسیترنج و اسموت فلت سویل بیشترین شاخص را داشتند و در مقابل، نارنج کمترین شاخص را داشت. همچنین، ترویرسیترنج، سونگل سیتروملو و گوتو بیشترین متوسط شاخص را در خاک ۶ داشتند و در مقابل سی - ۳۵ و نارنج کمترین شاخص را داشتند. در خاک ۷، گوتو بیشترین متوسط شاخص را و اسموت فلت سویل و نارنج کمترین متوسط شاخص را فلورسنس کلروفیل داشتند.

نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص فلورسنس نارنگی انشو با پایه‌ها و خاک‌های مختلف تحت شرایط تنش غرقاب، در مراحل اولیه تنش (۵ روز اول غرقاب) به طور موقتی افزایش و سپس، به طور فزاینده‌ای نسبت به شاهد کاهش می‌یابد (شکل ۳، الف)، که با نتایج تحقیقات دیگر محققان هم‌خوانی دارد [۲۶، ۲۹، ۳۰]. بعضی پژوهشگران، کاهش شاخص فلورسنس تحت شرایط تنش غرقاب را ناشی از تغییر در فتوشیمی دستگاه نوری II، کاهش هدایت روزنه‌ها و غلظت دی‌اکسیدکربن در محفظه زیر روزنه‌ها گزارش کردند، با کاهش هدایت روزنه‌ها، جذب دی‌اکسیدکربن، فتوسنتز و همچنین، شاخص

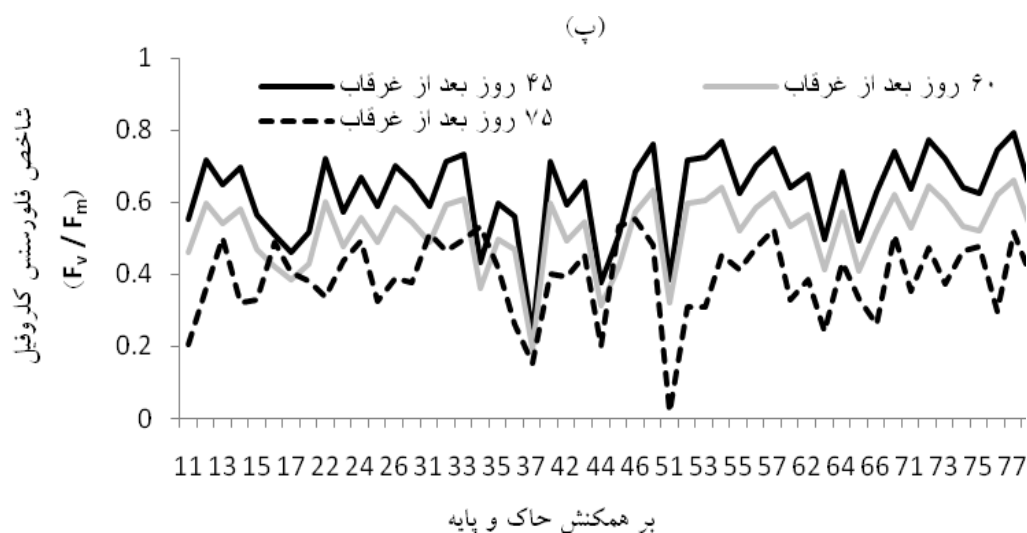
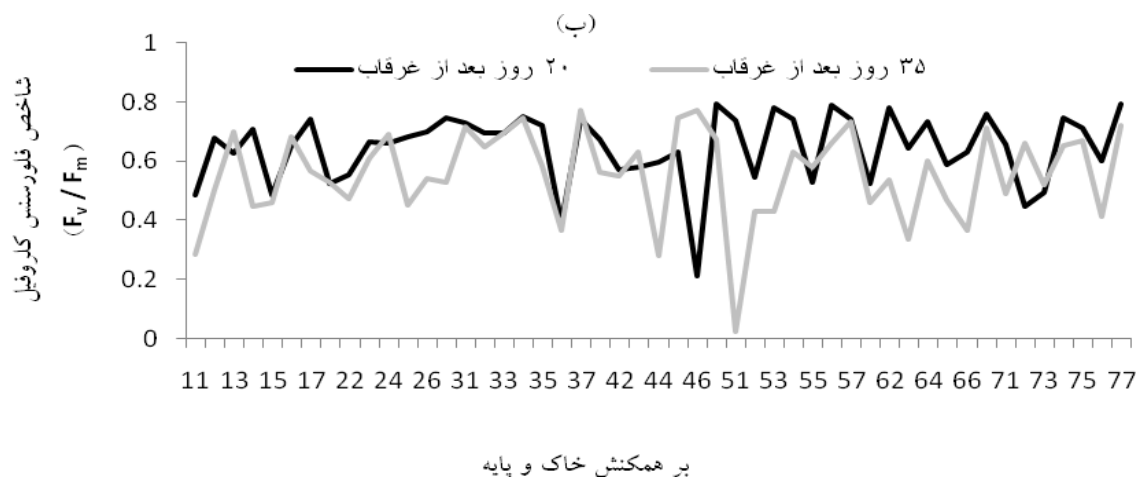
فلورسنس کلروفیل کاهش می‌یابد [۲۶، ۳۰]. همچنین، یکی دیگر از دلایل کاهش شاخص فلورسنس کلروفیل در تنش غرقاب، تغییر در وضعیت هورمونی گیاه (مخصوصاً کاهش تولید سیتوکنین‌ها در ریشه‌ها و انتقال آن‌ها به اندام هوایی) و اختلال در جذب و انتقال برخی عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم و آهن گزارش کرده‌اند [۱۳، ۱۴]. ظرفیت فتوسنتزی پایین‌تر گیاهان مرکبات تحت تنش غرقاب ممکن است مربوط به کاهش غلظت کلروفیل باشد [۲۲]. در کل، کاهش شاخص فلورسنس کلروفیل گیاهان تحت تنش غرقاب نشان‌دهنده خسارت به مرکز واکنش فتوسیستم II است [۱۷].

نتایج همبستگی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و شاخص فلورسنس کلروفیل در جدول ۶ آمده است. با توجه به نتایج به دست آمده، همبستگی بین کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی معنی‌دار ($0/77^*$) بود. همچنین، همبستگی بین ظرفیت تبادل کاتیونی با شاخص فلورسنس کلروفیل در شروع تنش غرقاب ($0/76^*$) و ۵ روز بعد از غرقاب ($0/74^*$) معنی‌دار شد. کربن آلی با شاخص فلورسنس در ۲۰ روز بعد از غرقاب نیز همبستگی منفی معنی‌داری ($0/74^*$) نشان داد. بین کربنات کلسیم معادل و شاخص فلورسنس در ۴۵ ($0/75^*$) و ۶۰ روز ($0/76^*$) بعد از غرقاب همبستگی مثبت معنی‌داری مشاهده شد. همچنین، همبستگی معنی‌داری بین شاخص فلورسنس اندازه‌گیری شده در شروع غرقاب و ۵ ($0/80^*$)، ۲۰ و ۳۵ ($0/81^*$)، ۴۵ و ۶۰ ($0/99^*$)، ۲۰ و ۷۰ ($0/80^*$) و ۳۵ و ۷۰ روز بعد از غرقاب ($0/99^*$) وجود داشت. از نکات قابل توجه در این نتایج، همبستگی مثبت معنی‌دار بین کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی و همچنین، ظرفیت تبادل کاتیونی با شاخص فلورسنس کلروفیل در اوایل دوره تنش غرقاب است که نشان می‌دهد هرچه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بیشتر باشد، میانگین شاخص فلورسنس برگ

امکان استفاده از فلورسنس کلروفیل برای ارزیابی تحمل تعدادی از پایه‌های مرکبات به تنش غرقاب

مشاهده شد که به احتمال زیاد ناشی از تجزیه بی‌هوازی مواد آلی و تأثیر برخی مواد سمی حاصل از آن در شرایط تنش غرقاب بر گیاهان است.

پایه‌ها نیز در آن‌ها بیشتر است؛ بنابراین، در این خاک‌ها شاخص فلورسنس کلروفیل در تنش‌های کوتاه مدت پایداری بیشتری دارند؛ اما با ادامه تنش غرقاب، همبستگی منفی معنی‌داری بین شاخص فلورسنس و کربن آلی



شکل ۳. تأثیر برهم‌کنش خاک و پایه بر روند تغییرات شاخص فلورسنس کلروفیل در شرایط غرقاب

(در محور افقی هر عدد ۲ رقمی نشان‌دهنده یک تیمار است رقم اول، شماره خاک و رقم دوم شماره پایه را نشان می‌دهد که در جدول‌های ۱ و ۲ تعریف شده‌اند.)

جدول ۶. ضرایب همبستگی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و شاخص فلورسنس کلروفیل در شرایط غرقاب

	Clay ^۱	Silt	Sand	OC	pH	CCE	CEC	FI _۰	FI _۵	FI _{۲۰}	FI _{۳۵}	FI _{۴۵}	FI _{۶۰}	FI _{۷۰}
Clay	۱													
Silt	-۰.۶۷	۱												
Sand	۰.۷۷	۰.۴۵	۱											
OC	۰.۵۰	-۰.۰۶	-۰.۶۱	۱										
pH	-۰.۰۳	۰.۱۸	-۰.۱۲	۰.۲۰	۱									
CCE	۰.۱۴	۰.۱۱	۰.۱۷	۰.۲۳	۰.۶۸	۱								
CEC	۰.۷۲	۰.۶۱	-۰.۴۴	*۰.۷۷	۰.۲۷	۰.۰۷	۱							
FI _۰	۰.۳۱	۰.۴۵	-۰.۰۴	۰.۳۵	۰.۶۲	۰.۵۱	*۰.۷۶	۱						
FI _۵	۰.۲۴	۰.۱۴	-۰.۲۱	۰.۶۳	۰.۴۲	۰.۴۳	*۰.۷۴	*۰.۸۰	۱					
FI _{۲۰}	۰.۴۱	۰.۲۵	۰.۳۴	۰.۷۴*	۰.۱۳	۰.۲۸	۰.۷۱	۰.۴۶	۰.۶۷	۱				
FI _{۳۵}	۰.۰۳	۰.۱۲	۰.۱۵	۰.۶۴	۰.۳۱	۰.۴۰	۰.۵۲	۰.۵۶	۰.۶۷	*۰.۸۱	۱			
FI _{۴۵}	۰.۱۷	۰.۱۴	۰.۰۸	۰.۷۱	۰.۲۴	*۰.۷۶	۰.۴۶	۰.۰۲	۰.۱۶	۰.۵۷	۰.۴۱	۱		
FI _{۶۰}	۰.۲۰	۰.۱۵	۰.۱۱	۰.۷۱	۰.۲۴	*۰.۷۵	۰.۴۶	۰.۰۴	۰.۱۴	۰.۵۲	۰.۳۵	۰.۹۹**	۱	
FI _{۷۰}	-۰.۰۶	۰.۱۳	-۰.۱۱	۰.۵۷	۰.۳۱	۰.۲۸	۰.۴۹	۰.۵۱	۰.۶۸	*۰.۸۰	**۰.۹۹	۰.۳۳	۰.۲۶	۱

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و در سایر موارد بدون معنی است

1- Clay (درصد رس)، Silt (درصد سیلت)، Sand (درصد شن)، OC (درصد کربن آلی)، pH (اسیدیته اشباع)، CCE (کربنات کلسیم معادل)، CEC (ظرفیت تبادل کاتیونی)، FI_۰، FI_۵، FI_{۲۰}، FI_{۳۵}، FI_{۴۵}، FI_{۶۰} و FI_{۷۰} (به ترتیب شاخص فلورسنس در ۰، ۵، ۲۰، ۳۵، ۴۵، ۶۰ و ۷۰ روز بعد از غرقاب).

با فتوستتزر رابطه معکوس دارد و تحت شرایط تنش، تولید گرما در بافت‌های گیاهی (برای اتلاف زیادی انرژی) افزایش می‌یابد. هرچند در برخی موارد، در مراحل اولیه تنش نشر فلورسنس ممکن است به‌طور موقت کاهش (افزایش موقتی شاخص فلورسنس) یابد، همواره تعادلی نسبی بین ۳ مکانیسم عمده مصرف و اتلاف انرژی (فتوستتزر، تولید گرما و نشر فلورسنس کلروفیل) وجود دارد. این تعادل الگوی واقعی پایش فلورسنس کلروفیل را در تنش‌های مختلف تعیین می‌کند [۲۹].

به‌طور کلی، انرژی نور که از طریق مولکول‌های کلروفیل جذب می‌شود، به ۳ شکل می‌تواند مصرف شود. قسمت عمده آن به فرآیندهای فتوشیمیایی فتوستتزر وارد و

با توجه به نتایج این تحقیق، شاخص فلورسنس کلروفیل نارنگی انشو با پایه‌ها و خاک‌های مختلف در شرایط غیرتنش به‌طور متوسط حدود ۰/۷۲ است (متوسط شاخص در زمان صفر غرقاب) و اعداد کمتر از آن نشان‌دهنده وجود تنش در این پایه‌ها است، این نتیجه با یافته‌های دیگر محققان [۱۰، ۱۹] تقریباً هم‌خوانی دارد که عدد مناسب شاخص فلورسنس کلروفیل (Fv/Fm)، برای بیشتر گونه‌های گیاهی را حدود ۰/۸۳ گزارش کرده‌اند و اعداد کمتر از آن را نشان‌دهنده وجود تنش در آن گیاهان می‌دانستند. به‌طور کلی، شاخص فلورسنس کلروفیل (Fv/Fm)، یک شاخص حساسیت برای بازده عملکرد دستگاه فتوستتزی گیاهان است و نشر فلورسنس کلروفیل

بقیه به گرما یا نشر مجدد نور (فلورسنس کلروفیل) تبدیل می‌شود. همواره این ۳ شکل با هم در ارتباط هستند و افزایش یکی، موجب کاهش دیگری می‌شود. بنابراین، تغییر در فلورسنس کلروفیل می‌تواند نشانگر تغییر در فرآیندهای فتوشیمیایی و اتلاف گرما باشد [۲۷]. زمانی که کلروپلاست‌ها (برگ‌ها) با تاریکی سازگار شدند، ذخایر بینابین اکسیداسیون و احیا مسیر انتقال الکترون به وضعیت اکسیدشده برمی‌گردد. بعد از در معرض نور قرار گرفتن، برگ‌ها با تاریکی سازگار می‌شوند، افزایشی سریع در نشر فلورسنت دستگاه نوری II ایجاد می‌شود. این افزایش، پیامد کاهش پذیرنده‌های الکترون (کوئینون و پلاستوکوئینون) در مسیر فتوسنتز است. هر بار که دستگاه نوری II، نور جذب می‌کند و پذیرنده‌های اولیه الکترون، الکترون قبول می‌کنند، تا آن‌ها را به حامل‌های بعدی انتقال ندهند نمی‌تواند انرژی و الکترون را دوباره پذیرش کند. بنابراین، در طول این مدت، این مراکز واکنش غیرفعال یا بسته خواهند بود، بنابراین، به‌طور کلی در هر لحظه از زمان، حضور تعدادی از مراکز واکنش بسته‌شده به یک کاهش در راندمان فتوشیمیایی منجر می‌شود و متناسب با آن عملکرد فلورسنس افزایش می‌یابد. با انتقال برگ‌ها از تاریکی به نور، مراکز واکنش دستگاه نوری II به‌طور فزاینده شروع به بسته‌شدن، می‌کنند که ابتدا موجب افزایش در عملکرد فلورسنس کلروفیل و سپس، فلورسنس شروع به کاهش مجدد می‌کند که به Fluorescence quenching معروف است. افزایش اولیه فلورسنس در حضور نور، به‌علت افزایش در انتقال الکترون‌ها از دستگاه نوری II است که به photochemical quenching معروف است. افزایش انتقال الکترون‌ها نیز به‌طور عمده به‌علت فعال‌سازی آنزیم‌ها در حضور نور و نقش این آنزیم‌ها در متابولیسم کربن و بازشدن روزه‌ها است. هم‌زمان با افزایش انتقال الکترون‌ها، افزایشی در تبدیل انرژی به گرما

نیز ایجاد می‌شود که به Non-photochemical quenching معروف است. بنابراین، همواره تعادلی نسبی بین ۳ مکانیسم عمده مصرف و اتلاف انرژی (فتوسنتز، تولید گرما و نشر فلورسنس کلروفیل) وجود دارد و با پایش یکی از آن‌ها می‌توان راندمان عملکرد دیگر مکانیسم‌ها را ارزیابی کرد [۱۷]. بر اثر تنش غرقاب میزان کلروفیل مرکبات (محتوی کلروفیل یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است) کاهش می‌یابد و این کاهش در ارقام حساس به تنش بیشتر است [۴، ۵]. کاهش کلروفیل به‌علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن بر اثر تنش است که باعث پراکسیداسیون این رنگیزه‌ها و در نتیجه تجزیه آن‌ها می‌شود [۱۶]. همچنین، در شرایط تنش غرقاب، تثبیت دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز به‌علت بسته‌شدن روزه‌ها کاهش می‌یابد. با کاهش فتوسنتز (مکانیسم عمده مصرف انرژی)، نشر فلورسنس کلروفیل و تولید گرما (مکانیسم‌های اتلاف انرژی) افزایش می‌یابد. لذا، با سنجش فلورسنس کلروفیل بعد از سازگاری تاریکی، می‌توان تغییرات نشر فلورسنس را اندازه‌گیری کرد، که شاخصی بسیار حساس برای تغییرات در دستگاه فتوسنتزی است. بنابراین، فلورسنس کلروفیل تغییرات در سلامت و عملکرد فرآیند فتوسنتزی را به‌خوبی نشان می‌دهد که شامل واکنش‌های اکسیداسیون آب، جداسازی بار، انتقال الکترون، توسعه شیب الکتروشیمیایی، چرخه گزانتوفیل و pH تیلاکوئیدها است. به‌طور کلی، نتایج شاخص فلورسنس کلروفیل پایه‌ها در خاک‌های مختلف در کل دوره غرقاب نشان داد که پایه‌ها در خاک ۷ و ۱ به‌ترتیب بیشترین و کمترین شاخص را داشتند. بنابراین، به‌طور میانگین، پایه‌ها در خاک ۷، مدت زمان بیشتری تنش غرقاب را تحمل کردند و در مقابل، در خاک ۱ زودتر علائم تنش غرقاب را نشان دادند. همچنین، بین مقدار سیلت، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های مختلف و مقدار شاخص فلورسنس کلروفیل

به تنش غرقاب نشان دادند. بنابراین، نتایج این تحقیق نشان داد که تحمل به غرقاب علاوه بر ژنوتیپ می‌تواند به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر ویژگی‌های خاک نیز قرار گیرد.

منابع

۱. اسدی کنگرشاهی، ع؛ اخلاقی امیری، ن؛ ملکوتی، م، ج؛ (۱۳۸۱). «شناخت ناهنجاری‌های تغذیه‌ای مرکبات در مازندران». نشریه‌های فنی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران، شماره ۲۶۸ و ۲۶۹.

۲. طهرانسی، م؛ پُسنیدیه، م؛ داودی، م، ح؛ (۱۳۹۰). «تعیین پراکنش و توصیه عناصر کم‌مصرف در اراضی تحت کشت آبی استان‌های گیلان، مازندران، همدان، کرمانشاه، آذربایجان غربی و اصفهان». وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، نشریه شماره ۱۶۱۸، ۳۰ صفحه.

3. Araus JL, Amaro T, Voltas J, Nakkoul H and Nachit MM (1998) Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. Field Crop Research. 55, 209–223.

4. Arbona V, Lopez-Climent MF, Perez-Clemente RM & Gomez-Cadenas A (2008) Physiological responses involved in tolerance of citrus plants to soil waterlogging. The 11th International Citrus Congress, Wuhan, China.

5. Arbona V, Lopez-Climent MF, Perez-Clement RM and Gomez-Cadenas, A (2009) Maintenance of a high photosynthetic performance is linked to flooding tolerance in citrus. Environmental and Experimental Botany. 66: 135 – 142.

ارتباط معنی‌داری وجود داشت، به طوری که، با افزایش سیلت و کربن آلی شاخص فلورسنس افزایش یافت، اما با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، ابتدا شاخص فلورسنس افزایش و سپس، کاهش نشان داد (اسدی، داده‌های منتشر نشده).

همچنین، میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل پایه‌های مختلف نشان داد که گوتو، سوینگل سیتروملو، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج، سی - ۳۵، اسموت‌فلت‌سویل و نارنج به ترتیب بیشترین میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل در کل دوره غرقاب را داشتند. بنابراین، ارزیابی تحمل پایه‌ها به تنش غرقاب در این آزمایش با استفاده از پارامتر شاخص فلورسنس کلروفیل نشان داد که پایه‌های گوتو، سوینگل سیتروملو، سی - ۳۵، ترویرسیترنج، کاریزوسیترنج، نارنج و اسموت‌فلت‌سویل به ترتیب تحمل بیشتری نسبت به تنش غرقاب دارند.

نتایج برهم‌کنش خاک و پایه نشان داد که خاک‌های مختلف اثر معنی‌داری بر میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل پایه‌ها مختلف در کل دوره غرقاب دارند. به طوری که، نارنج که پایه معمول منطقه است در بیشتر خاک‌های مورد استفاده (خاک‌های ۱، ۲، ۵، ۶ و ۷) کمترین شاخص فلورسنس کلروفیل داشت و در نتیجه با استفاده از این شاخص بیشترین حساسیت به تنش غرقاب نشان داد. اما در مقابل در خاک‌های ۳ و ۴، نارنج شاخص فلورسنس بالایی داشتند، بنابراین، تحمل بیشتری به تنش غرقاب نسبت به دیگر پایه‌ها داشت. در کل نتایج نشان داد که در خاک ۱، کاریزوسیترنج در خاک ۲، ترویرسیترنج در خاک ۳، کاریزوسیترنج، سوینگل سیتروملو و نارنج در خاک ۴، سی - ۳۵، کاریزوسیترنج و نارنج در خاک ۵، گوتو، ترویرسیترنج و اسموت‌فلت‌سویل در خاک ۶، ترویرسیترنج، سوینگل سیتروملو و گوتو و در خاک ۷، گوتو بیشترین تحمل

6. Asadi Kangarshahi A and Akhlaghi Amiri N (2008) Effect of short-term water logging on the growth and yield of citrus. The 11th International Citrus Congress, Wuhan, China.
7. Asadi Kangarshahi A and Akhlaghi N (2008) Investigation of physicochemical condition and fertilization methods to citrus gardens of Mazandaran, Iran. 11th International Citrus Congress (ICC2008). Hubei, China.
8. Bashour I and Sayegh AA (2007) Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-Arid Regions. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. P. 49-53.
9. Belkhodja R , Morales F, Abadia A, Gomes J and Abadia J (1994) Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in Barley(*Hordeum vulgare* L.). Plant Physiol. 104: 667-673.
10. Bjorkman O and Demming B (1987) Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence at 77K among vascular plants of diverse origins. Planta. 170: 489-504.
11. Boman BJ, Obreza TA and Morgan KT (2008) Citrus Best Management practices: Fertilizer rate recommendation and precision application in Florida. Proceeding of The 11th International Society of Citriculture. pp. 573 – 578.
12. Carpena O (1983) Dinamica de nutrientes en portainjertos de citrus.I: Congreso Mundial de la Asociacion de Viveiristas de Agrios. International Society of Citrus Nurserymen, Valencia, Spain.
13. CastonguayY, Nadeau P and Simard RR (1993) Effects of flooding on carbohydrate and ABA levels in rootes and shoots of alfalfa. Plant, Cell and Environmental. 16: 695 – 702.
14. Colin-Belgrand M, Dreyer E and Biron P (1991) Sensitivity of seedlings from different oak species to waterlogging: effects on root growth and mineral nutrition. Annals of Science Forest. 48, 193–204.
15. Fadl A, El-Otmani M, Benismail MC, Abouatallah A and El-Jaouhari (2008) Optimizing irrigation water supply in a young citrus orchard. Proceeding of The 11th International Society of Citriculture, pp. 573 – 578.
16. Gibbs J and Greenway H (2003) Mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism. Functional Plant Biology. 30: 1-47.
17. Heber U, Bukhov NG, Shuvalov VA, Kobayashi Y and Lange OL (2001) Protection of the photosynthetic apparatus against damage by excessive illumination in homoiohydric leaves and poikilohydric mosses and lichens. Journal of Experimental Botany. 52: 1999-2006.
18. Johnson GN, Scholes JD, Grime JP and Horton P (1990) Chlorophyll fluorescence. Proceeding of the VIIIth International Congress on Photosynthesis.
19. Johnson GN, Young AJ, Scholes JD, Horton D (1993) The dissipation of excess excitation energy in British plant species. Plant, Cell and Environment. 16: 673-679.
20. Kozlowski, TT (1997) Responses of woody plants to flooding and salinity. Tree Physiology, Monograph No.1: 1-29.

21. Krause, GH and Weis E (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 42: 313-249
22. Lawlor DW and Cornic G (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environmental. 25: 275- 294.
23. Lopez-Climent MF, Arbona V, Perez-Clemente RM and Gomez-Cadenas A (2007) Relationship between salt tolerance and Photosynthetic machinery performance in citrus. Environmental and Experimental Botany. 62: 176 – 184.
24. Malik AI, Colmer TD, Lambers H, Setter TL and Schortemeyer M (2002) Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. New Phytologist. 153: 225 – 236.
25. Maxwell K and Johnson GN (2000) Chlorophyll fluorescence: a practical guide. Journal of Experimental Botany. 51: 659-668.
26. Mishra A, Mishra KB, Hoermiller II, Heyer AG and Nedbal L (2011) Chlorophyll fluorescence emission as a reporter on cold tolerance in Arabidopsis thaliana accession. Plant Signaling and Behavior. 6: 301-310.
27. Monneveux P, Mekkaoui ME and Xu X (1990) Physiological basis of salt tolerance in wheat. Chlorophyll fluorescence as a new tool for screening tolerant genotypes. In: Wheat Breeding Prospects and Future Approaches. Varna, Bulgaria, pp. 1-33.
28. Pedros R, Moya I, Goulas Y and Jacquemoud S (2008) Chlorophyll fluorescence emission spectrum inside a leaf. Photochemical and Photobiological Sciences 7: 498-502.
29. Salisbury FB and Ross CW (1992) Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California. 682 pp.
30. Singh A, Naqvi SAMH and Singh S (2002) Citrus Germplasm Cultivar and Rootstocks. Natural Research Centre for Citrus, Kalyani publishers. New Delhi, India.
31. Smethurst CF and Shabala S (2003) Screening methods for waterlogging tolerance in Lucerne: Comparative analysis of waterlogging effects on chlorophyll fluorescence, photosynthesis, biomass and chlorophyll content. Funct. Plant Biology. 30: 335-343.
32. Smethurst CF, Garnett T and Shabala S (2005) Nutritional and chlorophyll fluorescence responses of Lucerne (*Medicago sativa*) to waterlogging and subsequent recovery. Plant and Soil. 270: 31 -45.