

The effect of Cold Stress on Chlorophyll Fluorescence parameters of Dryland wheat under Conservation Agriculture Conditions

Hadi Khorsandi^{1*} , Saeid Zehtab-Salmasi² , Ramin Lotfi³, Kazem Ghassemi-Golezani⁴,
Saber Golkari⁵

Received: 06 June 2023

Accepted: 28 December 2023

1-PhD Student, Dept. of Plant Eco Physiology, university of Tabriz, Iran.

2-Assoc. Prof., and Research Director, Sustainable Agriculture Science Center at Alcalde, Dept. of Plant and Environmental Sciences, New Mexico State University, Alcalde, N.M., U.S.A..

3-Assist. Prof., Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran.

4- Prof, Dept., of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, Iran.

5-Faculty member, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

*Corresponding Author Email: hkhorsandy@yahoo.com

Abstract:

Background and Objective: The effect of cold stress on plants is characterized by physiological and cytological changes. Investigation of chlorophyll fluorescence and performance of dryland wheat cultivars in cold climates was done to identify the effect of cold stress in conservation agriculture conditions and preservation of residues.

Materials and Methods: The experiment was carried out in the cropping years of 2017-2018 and 2018-2020 in the dryland Agriculture Research Institute on different varieties of dryland wheat. For this purpose, 6 varieties of wheat were sown on three different dates (late September, late October and late November) rotation with chickpeas in two conservation tillage and conventional tillage in the form of split-split plot based on randomized complete block design was cultivated in three replicates.

Results: The results showed that Sardari and Baran cultivars had the highest amount of chlorophyll. The amount of chlorophyll a and b in the no tillage treatment with 117.52 (mg.g-1 FW) and 57.59 (mg. g-1 FW) was higher than the conventional tillage treatment with the amount of chlorophyll a = 109.65 (mg.g-1 FW) and chlorophyll b = 55.64 (mg.g-1 FW). Chlorophyll fluorescence of Baran cultivar was better than other cultivars. The chlorophyll fluorescence of the no-tillage treatment was better than the conventional tillage treatment. The first planting date also had a better condition in terms of chlorophyll fluorescence than other planting dates.

Conclusion: Cultivars resistant to cold stress can maintain their level of photosynthesis and grain yield under conservation agriculture conditions. Adhering to the planting date of the late of September, in addition to the possibility of the plant using the autumn rains, makes the plants in a suitable development stage during the frost of the winter and increases the tolerance of the plants for the late spring cold.

Keywords: Conservation Agriculture, Dryland, Photosynthesis, Temperature Stress



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright© 2025 Hadi Khorsandi Email: hkhorsandy@yahoo.com

[http://doi.org/10.22034/saps.2023.56999.3061](https://doi.org/10.22034/saps.2023.56999.3061)



اثر تنش سرما بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل گندم دیم در شرایط کشاورزی حفاظتی

هادی خرسندی^{۱*}، سعید زهتاب سلماسی^۲، رامین لطفی^۳، کاظم قاسمی گلعدانی^۴، صابر گلکاری^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۱۶	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۷
-------------------------	-------------------------

- ۱- دانشجوی دکتری رشته اکوفیزیولوژی، دانشگاه تبریز، ایران
 - ۲- دانشیار مرکز مطالعات کشاورزی پایدار، دانشکده علوم گیاهی و محیطی، دانشگاه نیومکزیکو، آمریکا
 - ۳- استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
 - ۴- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشگاه تبریز، ایران
 - ۵- عضو هیئت علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- *مسئول مکاتبه: Email: hkhorsandy@yahoo.com

چکیده:

مقدمه و اهداف: اثر تنش سرما در گیاهان با تغییرات فیزیولوژیکی و سیتولوژیکی مشخص می‌شود. این آزمایش به منظور بررسی فلورسانس کلروفیل و عملکرد ارقام گندم دیم در اقلیم سرد برای شناسایی اثر تنش سرما در شرایط کشاورزی حفاظتی و حفظ بقایا انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش در سالهای زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه موسسه تحقیقات کشاورزی دیم روی ارقام مختلف گندم دیم با تیپهای رشد زمستانه و بینابین اجرا شد. برای این منظور شش رقم گندم در سه تاریخ متفاوت کاشت (آخر شهریور، آخر مهر و آخر آبان) در تناوب با نخود در دو خاکورزی حفاظتی (کشت مستقیم) و مرسوم (گاواهن برگردان‌دار) در قالب آزمایش اسپلیت-اسپلیت پلات در سه تکرار کشت شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ارقام سرداری و باران بیشترین میزان کلروفیل را دارا بودند میزان کلروفیل a و b در تیمار بدون خاکورزی به ترتیب با $117/52 \text{ (mg g-1 FW)}$ و $57/59 \text{ (mg g-1 FW)}$ بیشتر از تیمار خاکورزی مرسوم با میزان کلروفیل $a = 109/65 \text{ (mg g-1 FW)}$ و کلروفیل $b = 55/64 \text{ (mg g-1 FW)}$ بود. فلورسانس کلروفیل رقم باران بیشتر از سایر ارقام بود. فلورسانس کلروفیل تیمار بدون خاکورزی بیشتر از تیمار خاکورزی مرسوم بود. تاریخ کاشت اول نیز نسبت به سایر تاریخهای کاشت وضعیت مطلوبتری از نظر فلورسانس کلروفیل داشت.

نتیجه گیری: ارقام مقاوم به تنش سرما در شرایط کشاورزی حفاظتی میتوانند سطح فتوسنتز و عملکرد دانه خود را حفظ کنند. رعایت تاریخ کاشت اول مهر علاوه بر امکان استفاده گیاه از بارندگیهای پاییزه باعث میشود گیاهان در مواجهه با یخبندان زمستان در مرحله نمو مناسبی باشند تا تحمل گیاهان برای سرمای دیررس بهار بیشتر شود.

واژه های کلیدی: دیم، فتوسنتز، کشاورزی حفاظتی، تنش دمایی

مقدمه

(ROS)، کاهش آب بافت گیاهی و کاهش سرعت فتوسنتز در دمای پایین خود را نشان می‌دهد (لی و همکاران ۲۰۱۵). در گیاه، کلروفیل a انرژی دریافتی از فوتون

اثرات منفی ناشی از درجه حرارت پایین عمدتاً به دلیل مهار رشد گیاه است که با تجمع گونه‌های فعال اکسیژن

فاز JIP نشان‌دهنده احیاء سایر پذیرنده‌های الکترون در زنجیره است (لطفی و همکاران ۲۰۲۲).

برای تولید گندم به عنوان یک محصول استراتژیک، کشاورزی حفاظتی توصیه‌هایی را مبنی بر کم‌خاک ورزی و باقی ماندن بقایای محصول در مزارع ارائه کرده است. تصور کشاورزان این است که خاک‌ورزی حفاظتی، به ویژه بدون خاک‌ورزی، منجر به کاهش دمای خاک می‌شود و آن مانع رشد گیاه و کاهش عملکرد محصول می‌شود (چن و همکاران ۲۰۱۱). بنابراین، بررسی ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم تحت سیستم‌های متفاوت خاک‌ورزی در این مناطق برای تعیین اثرات سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه ضروری به نظر می‌رسد.

هدف از این تحقیق بررسی واکنش‌های ارقام مختلف گندم دیم به دماهای سرد در شرایط مزرعه در سیستم کشاورزی حفاظتی و مرسوم می‌باشد.

مواد و روش

آزمایشی به صورت اسپلیت-اسپلیت پلات در سه تکرار و ۳۶ تیمار در دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور در مراغه که از یک اقلیم نیمه خشک سرد هم‌مرز با فراسرد برخوردار است و دارای طول جغرافیایی ۱۵/۴۶ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۱۵/۳۷ درجه شمالی بوده و ارتفاع از سطح دریای ۱۷۳۰ متر است، اجرا شد که در آن سه تاریخ کاشت آخر شهریور، آخر مهر و آخر آبان ماه، در کرت‌های اصلی، دو سیستم خاک ورزی شامل مرسوم (گاواهن برگرداندار) و بدون خاک ورزی (کشت مستقیم) در کرت‌های فرعی و ارقام گندم نان سرداری (نیمه زمستانه)، باران (زمستانه)، ریژاو (بینابین) و گندم دوروم ساجی (بینابین متمایل به بهاره)، راسکون (بینابین) و گردیش (زمستانه/بینابین) در کرت‌های فرعی-فرعی در نظر گرفته شدند. کاشت ارقام گندم با تراکم ۳۸۰ دانه در متر مربع با دستگاه بذرکار کشت مستقیم آسکه مدل ۲۲۰۰ در عمق ۴-۵ سانتی متر انجام شد. هر کرت شامل ۱۳ ردیف به طول

نوری را به مرکز واکنشی انتقال داده و این فعل و انفعالات سبب راه افتادن زنجیر انتقال الکترونی در کلروپلاست می‌گردد. در شرایط تنش‌های محیطی به دلیل مسدود شدن مسیر انتقال الکترونی، زنجیر متوقف می‌شود. در چنین شرایطی، یکی از راه‌هایی که کلروفیل a برانگیخته برای برگشت به حالت پایدار در پیش می‌گیرد، فلورسانس است. بیساتی و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که میزان فلورسانس کلروفیل در شرایط عادی حدود ۰/۳ تا ۳ درصد کل انرژی دریافتی است که این میزان در شرایط تنش افزایش می‌یابد. اندازه گیری کلروفیل فلورسانس و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm) روشی مناسب برای تعیین اثر تنش‌های محیطی روی گیاهان است (زاغدادی و همکاران ۲۰۱۱). در واقع فلورسانس کلروفیل یک روش قابل اعتماد برای مشاهده میزان سازگاری گیاهان نسبت به محیط اطرافشان می‌باشد و از آنجا که روشی سریع، قابل اعتماد و غیرتخریبی است به عنوان ابزاری مناسب برای تحقیقات محیطی و اصلاحی مورد استفاده قرار می‌گیرد (ماکسول و جانسون ۲۰۰۰). به طور کلی هر فرآیند فیزیولوژیکی که بر روی عملکرد فتوسیستم II اثر بگذارد، روی فلورسانس کلروفیل نیز موثر خواهد بود، زیرا سیگنال‌های فلورسانس کلروفیل از فتوسیستم II منشأ می‌گیرند. بر اثر تابش فوتون‌های نوری همه ناقل‌های دریافت‌کننده الکترون به شکل احیا در آمده و همه مراکز واکنشی بسته می‌شوند. در این زمان فلورسانس حداکثر اتفاق افتاده است فلورسانس کلروفیل a یک علامت چند مرحله‌ای است که منحنی O-J-I-P خوانده می‌شود (استراسر و همکاران، ۱۹۹۵). منحنی O-J-I-P احیا و اکسید متوالی خزانه انتقال الکترون را در فتوسیستم II نشان می‌دهد (گوویندج ۱۹۹۵). منحنی OJIP به دوفاز تقسیم می‌شود: الف: فاز فوتوشیمیایی OJ (حد فاصل ۰/۵ تا ۳ میلی‌ثانیه) و ب: فاز دمایی JIP (حد فاصل بین ۳ تا ۳۰۰ میلی‌ثانیه). این فازها نشان‌دهنده فرایند احیاء پذیرنده‌های الکترون در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی در سه مرحله است (استراسر و همکاران ۲۰۰۴). فاز OJ مرحله وابسته به نور است به‌طوری‌که اطلاعاتی در مورد اندازه آنتن‌های دریافت‌کننده نور و ارتباط بین مراکز واکنشی فتوسیستم II را نشان می‌دهد.

۱۰ متر با فاصله ردیف ۱۷/۵ سانتی متر بود. پس از هر تاریخ کاشت آبیاری مزرعه (۵۰ میلی متر) به روش بارانی و با استفاده از کنتور تعیین میزان حجم آب، انجام گرفت تا از جوانه زنی اطمینان حاصل شود. کود نیتروژن و فسفر بر اساس نتایج آزمون خاک محاسبه و بر اساس دستورالعمل موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور از منبع اوره و سوپر فسفات تریپل تامین شد. برای کنترل علف های هرز از علفکش برومسید ام آ به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار در مرحله پنجه زنی استفاده شد.

برای آزمون خاک از ۱۰ نقطه مزرعه نمونه های خاک از اعماق ۰ تا ۳۰ سانتی متر خاک تهیه شد. همه نمونه ها بعد از هوا خشک شدن، در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد

به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند و سپس با الک ۲ میلی متری الک شد. نتایج خواص شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش طبق جدول ۱ می باشد.

مجموع بارندگی سال اول اجرای آزمایش (۹۷-۹۸) ۴۹۴/۶ میلی متر بود. در مهر ماه ۹/۷ میلی متر بارش اتفاق افتاد و بعد از آن نیز مصادف با روزهای سرد و دماهای پایین بود. همچنین در سال اول آزمایش دماهای فروردین و اردیبهشت ماه محدود کننده رشد گیاهان بود. مجموع بارندگی سال دوم اجرای آزمایش ۳۳۹/۸ میلی متر بود. مطابق با بررسی ها و تجارب گذشته علاوه بر بارش و توزیع آن، دما تعیین کننده رشد گیاهان در شرایط دیم می باشد (جدول ۲).

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

هدایت الکتریکی (dS. m ⁻¹)	PH	فسفر	پتاسیم	نیتروژن کل	کربنات کلسیم	ماده آلی	شن	سیلت	رس
۰/۶۹	۷/۳۶	۱۷	۳۶۳/۴	۳/۵۰	۶/۲۵	۰/۶۶	۳۸	۳۶	۲۶
						درصد (%)			

جدول ۲- خلاصه آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در سال های اجرای آزمایش

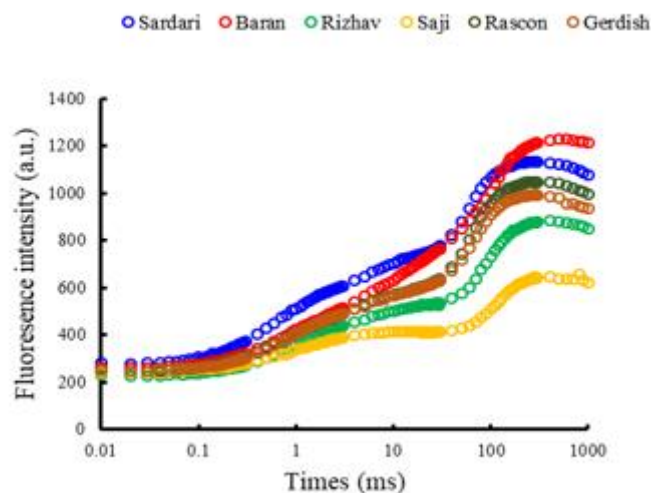
سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸									
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
مجموع بارندگی	۹/۷	۴۷	۹۱/۴	۴۰/۸	۸۶/۴	۵۵/۶	۱۱۶/۱	۴۳/۴	۴/۲
تیر	۰								
سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹									
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
مجموع بارندگی	۲۱/۶	۴	۲۷/۸	۶۷/۶	۲۴/۹	۵۸/۶	۸۰/۱	۴۲	۰/۲
تیر	۱۳								

کمینه دمای مطلق در آبان ماه در سال دوم اجرای آزمایش نسبت به سال اول کمتر بود. در حالی که کمینه دمای مطلق آبان ماه در سال دوم اجرای آزمایش ۱۰- درجه سانتی گراد را ثبت کرده بود، ولی در سال اول این دما از ۲/۵- درجه سانتی گراد کمتر نشد. بطور کلی در سال دوم زمستان سردتری نسبت به سال اول اتفاق افتاد و در تمام ماه های پاییز و زمستان سال دوم کمینه

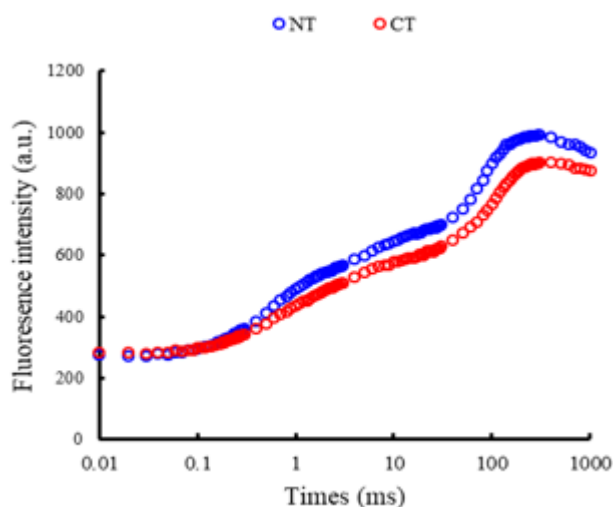
دمای مطلق پایین تری را نسبت به سال اول ثبت کرده بود. در فروردین و اردیبهشت سال اول کمینه دما نسبت به سال دوم بیشتر بود (شکل ۱).
صفات اندازه گیری شده در این آزمایش: شاخص و محتوای کلروفیل برگ، هدایت روزنه ای، فلورسانس کلروفیل و عملکرد دانه را شامل می شدند.

اول بیشترین و در سطح بعدی تاریخ کاشت دوم و سوم قرار داشتند (شکل ۳).

در تاریخ کاشت اول و دوم بیشتر از تاریخ کاشت سوم بود. در مرحله P میزان فلورسانس کلروفیل تاریخ کاشت



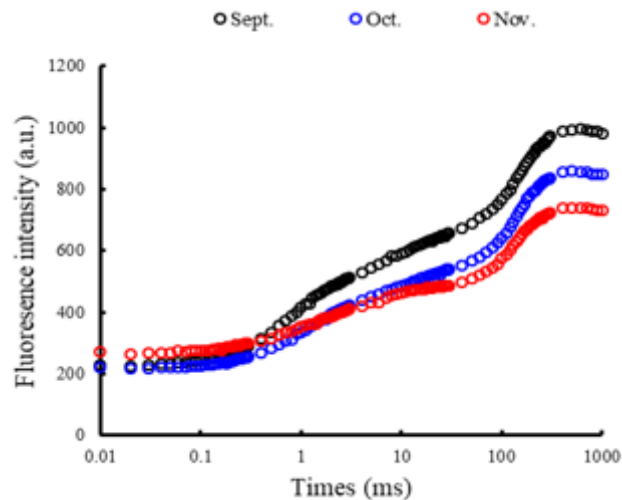
شکل ۲- نمودار منحنی‌های OJIP فلورسانس کلروفیل تحت تاثیر ارقام مختلف گندم



شکل ۳- نمودار منحنی‌های OJIP فلورسانس کلروفیل گندم در تاریخ‌های مختلف کاشت اواخر شهریور (Sept)، اواخر مهر (Oct) و اواخر آبان (Nov)

این وجود گیاهان در تیمار بدون خاک‌ورزی (کشاورزی حفاظتی) بطور نسبی سطح بیشتری فلورسانس در مراحل JIP را نسبت به خاک‌ورزی مرسوم نشان دادند و این برتری در مراحل IP بیشتر مشخص بود (شکل ۴).

منحنی فلورسانس کلروفیل در سیستم خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی نیز افزایش نرمال (پلی فازی) نشان داد. میزان فلورسانس کلروفیل در مرحله OJ برای هر دو سیستم خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی مشابه بود. با



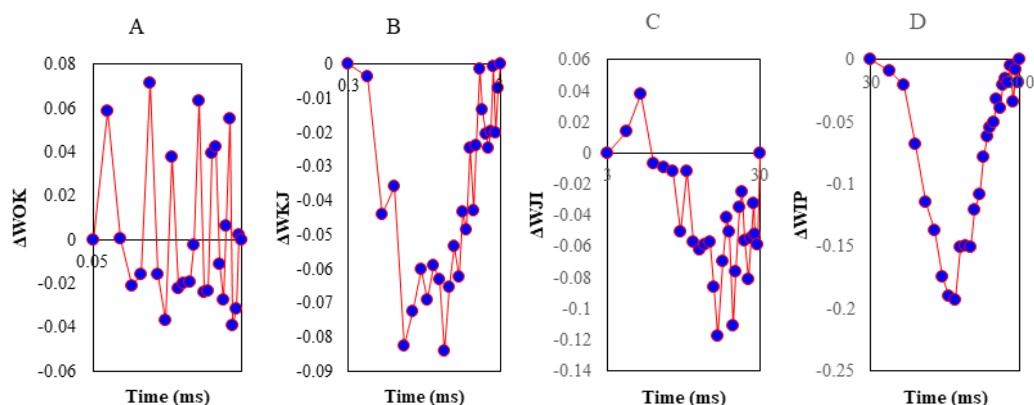
شکل ۴- نمودار منحنی‌های فلورسانس کلروفیل گندم در سیستم خاکورزی مرسوم (CT) و حفاظتی (NT)

به فاز اکسیداسیون مرکز واکنشی کلروفیل بصورت طبیعی اتفاق افتاده است. مراحل II و IP بیان کننده تغییرات اکسیداسیون و احیاء کیون آ و پلاستوکینون هستند (تسیمیلی میخائیل و استراسر ۲۰۱۳). سیستم بی خاکورزی بطور معنی دار احیاء ناقل های کیون ب، پلاستوکینون، سیتکروم و پلاستوسیانین و انتقال الکترون به واحد پذیرنده فتوسیستم یک را بهبود داده است. بطوریکه مراحل IP نشان دهنده تغییرات مراکز واکنشی در فتوسیستم یک است (لطفی و همکاران، ۲۰۲۰).

تغییرات منحنی فلورسانس کلروفیل نرمال شده بین مراحل F_0 و F_k بصورت $W_{OK} (W_{OK} = (F_t - F_0)/(F_k - F_0))$ و بین F_k و F_j بصورت $W_{KJ} (W_{KJ} = (F_t - F_k)/(F_j - F_k))$ و بین F_j و F_i بصورت $W_{JI} (W_{JI} = (F_t - F_j)/(F_i - F_j))$ و بین مراحل F_i و F_P بصورت $W_{IP} (W_{IP} = (F_t - F_i)/(F_P - F_i))$ برآزش شده است.

میزان جذب جریان نوری در مرکز واکنشی فعال (ABS/RC)، حداکثر جریان انتقال الکترون به ازای مراکز واکنشی (ETo/RC)، حداکثر عملکرد کوانتومی بر اساس انرژی هدر روی غیرفتوشیمیایی (F_0/F_m) ، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) ، کارایی کمپلکس تجزیه آب در فتوسیستم II (F_v/F) بطور معنی داری تحت تاثیر تاریخ کشت و رقم قرار گرفت (جدول ۳).

برای آنالیز دقیق اثرات خاکورزی حفاظتی (کشت مستقیم) روی کارایی انتقال الکترون ارقام گندم دیم، تغییرات منحنی فلورسانس کلروفیل در بازه بین مراحل O تا P شامل مراحل مختلف I, J, K, L, G و ارزیابی شد. به این ترتیب نمودارهای ΔW_{IP} , ΔW_{JI} , ΔW_{KJ} ترسیم شدند. در این نمودارها مقدار مثبت نشان دهنده کارایی پایین انتقال الکترون در آن مرحله است و مقدار منفی نشان دهنده کارایی مثبت در انتقال الکترون می باشد. نتایج نشان داد که خاکورزی حفاظتی روی فلورسانس کلروفیل در مرحله W_{OK} اثر معنی داری ندارد. اما گیاهان تحت شرایط خاکورزی حفاظتی در مراحل W_{KJ} و W_{JI} و W_{IP} میزان فلورسانس کلروفیل بیشتری داشتند (شکل ۵). محاسبه فلورسانس کلروفیل متغیر نرمال شده بین مراحل مختلف فلورسانس کلروفیل اطلاعات مهمی از واکنش ارقام گندم به سیستم خاکورزی حفاظتی و مرسوم نشان داد. در نمودارهای تغییرات فلورسانس (شکل ۵) مقدار مثبت ΔV_t نشان دهنده کاهش کارایی انتقال الکترون فتوسنتزی است. مراحل II, KJ و IP مراحل مهم متاثر از شرایط خاکورزی شناسایی شدند. پارامتر F_v/F_0 بین دو سیستم خاکورزی مشابه بود و بر اساس نمودارها نیز در مراحل OJ تغییرات محسوسی وجود ندارد. بنابراین می توان ادعان داشت که در هر دو سیستم خاکورزی انتقال الکترون از کمپلکس تجزیه آب



شکل ۵- اثر خاکورزی حفاظتی روی نمودارهای نرمال شده فلورسانس کلروفیل گندم دیم

جدول ۳- تجزیه واریانس و میانگین پارامترهای فلورسانس کلروفیل ارقام گندم دیم در تیمارهای مختلف خاکورزی و تاریخ های متفاوت کاشت

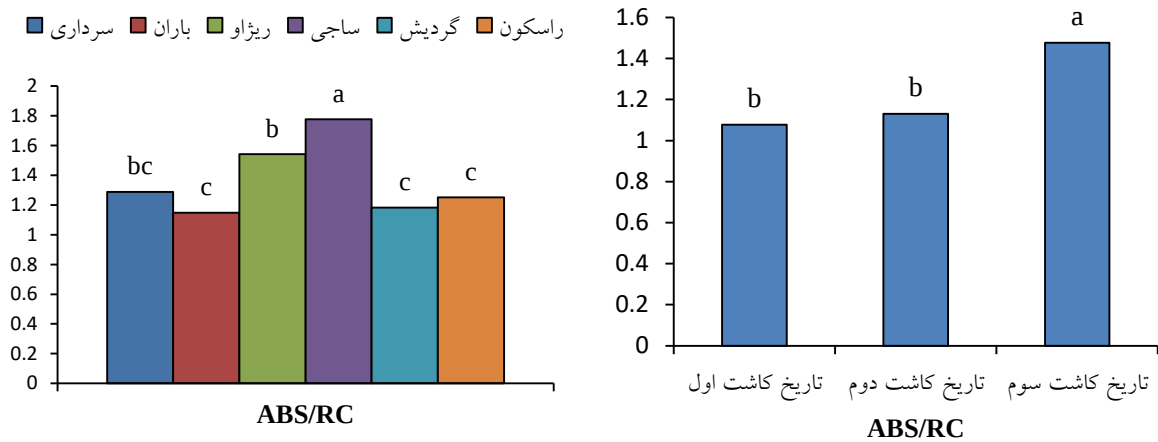
تاریخ کاشت					
منابع تغییر	درجه آزادی	ABS/RC	ETo/RC	Fo/Fm	Fv/Fm
تکرار	۲	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}
تیمار	۲	۰/۱۴۱ ^{**}	۰/۰۶۷ ^{**}	۱۷/۰ ^{**}	۲/۴۶ ^{**}
اشتباه	۴	۰/۰۴۴	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۳۷
خاکورزی					
تکرار	۲	۰/۲۴۶ ^{ns}	۰/۰۶۲ ^{ns}	۰/۱۹۸ ^{ns}	۰/۱۸۲ ^{ns}
تیمار	۱	۱/۱۳۱ ^{ns}	۰/۱۷۵ ^{ns}	۵/۶۱۳ ^{ns}	۱۴/۸۰ ^{ns}
اشتباه	۴	۰/۸۹۷	۰/۲۵۴	۰/۳۱۱	۱/۸۶۱
رقم					
تکرار	۲	۰/۵۶	۳/۵۷	۰/۱۰۷	۰/۱۲۶
تیمار	۵	۱۸۰/۱۷ *	۸/۸۴ **	۸/۰۸۹ **	۱/۳۵ **
اشتباه	۴	۳۳/۷۵	۰/۷۵	۰/۲۹۱	۰/۰۹

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵٪ و معنی دار در سطح ۱٪.

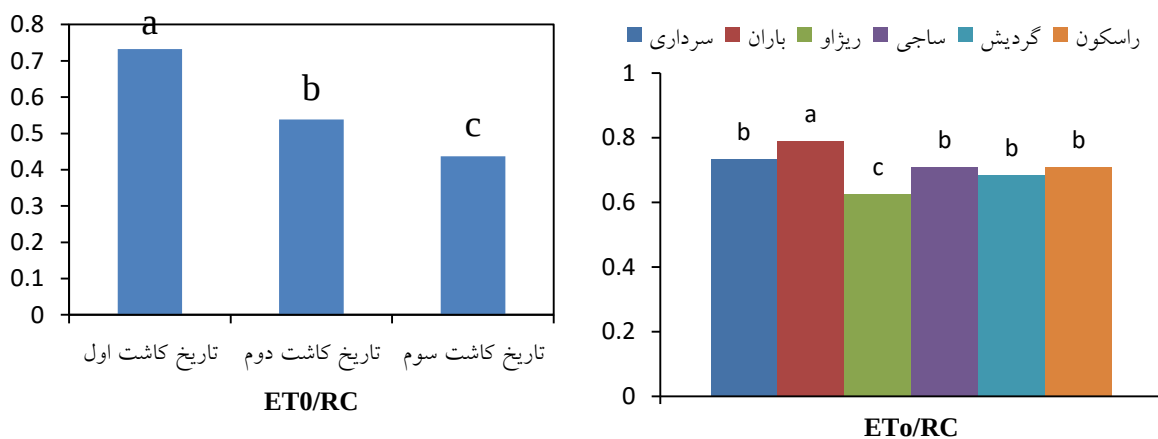
بیشینه میزان جذب جریان نوری در مرکز واکنشی فعال (ABS/RC) در تاریخ کاشت سوم بیشتر از تاریخ های کاشت اول و دوم بود. از این نظر بین دو تاریخ کاشت اول و دوم اختلاف معنی داری وجود نداشت (شکل ۶). اثر ژنوتیپ روی پارامترهای فلورسانس کلروفیل معنی دار بود (جدول ۳). بیشینه میزان جذب جریان نوری در مرکز واکنشی فعال (ABS/RC) در ارقام ساجی و ریژاو بیشتر از سایر ارقام بود.

بیشینه جریان انتقال الکترون به ازای مراکز واکنشی

(ETo/RC) در تاریخ کاشت اول بیشترین میزان خود را داشت و با تاخیر در کاشت کاهش یافت. بیشینه جریان انتقال الکترون به ازای مراکز واکنشی (ETo/RC) در رقم باران نسبت به سایر ارقام بیشتر بود. کمترین میزان این پارامتر در رقم ریژاو به ثبت رسید. بین ارقام مختلف سرداری، ساجی، راسکون و گردیش اختلاف معنی داری از این نظر وجود نداشت. (شکل ۷).



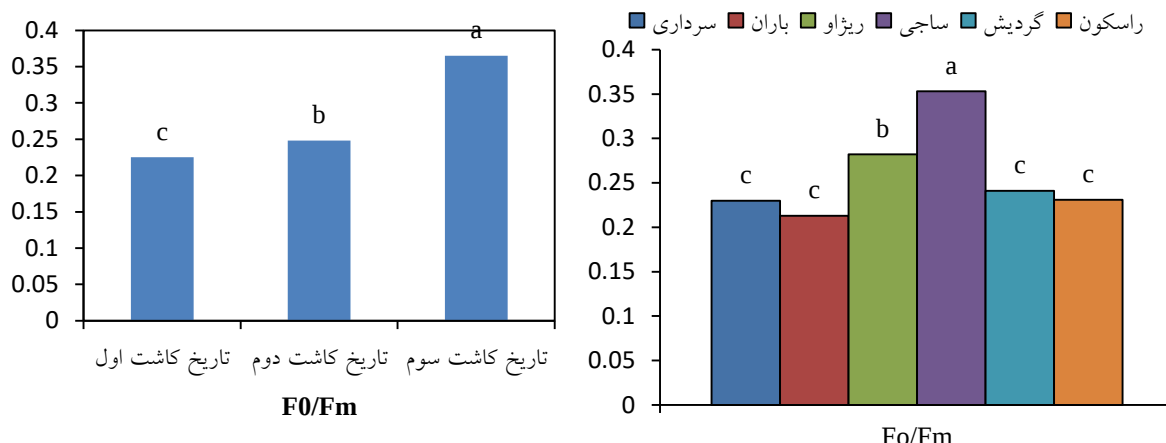
شکل ۶- اثر ارقام و تاریخ های کاشت روی حداکثر میزان جذب جریان نوری در مرکز واکنشی فعال



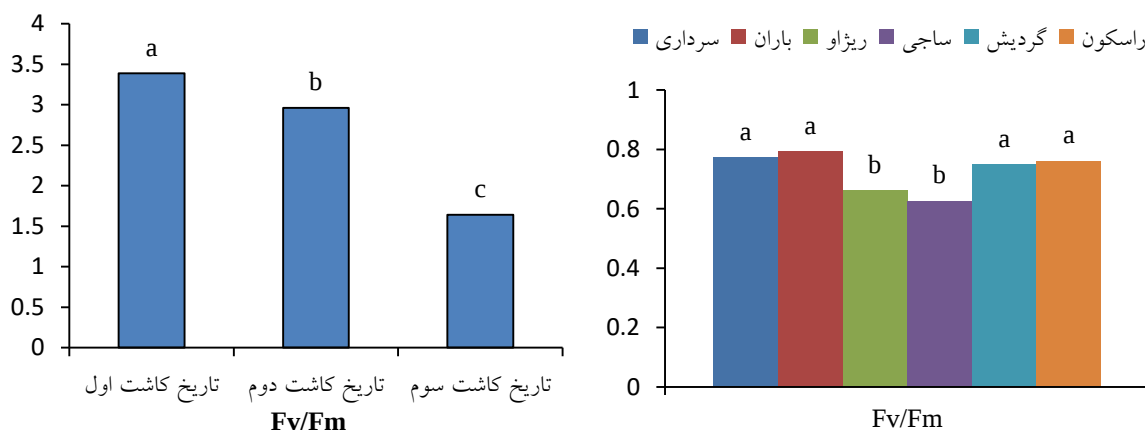
شکل ۷- اثر ارقام و تاریخ های مختلف کاشت روی حداکثر جریان انتقال الکترون به ازای مراکز واکنشی

میزان F_v/F_m در تاریخ کاشت اول بیشتر بود و میزان کاهش این پارامترها در تاریخ کاشت سوم بسیار چشم گیر بود. مقدار این پارامتر در ارقام سرداری، باران، راسکون و گردیش بطور معنی داری بیشتر از ساجی و ریژاو بود. تفاوت معنی داری در بین ارقام سرداری، باران، گردیش و راسکون از نظر بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II مشاهده نشد. با این حال مقدار این پارامتر در رقم باران نسبت به سایر ارقام بیشتر بود (شکل ۹).

بیشینه عملکرد کوانتومی بر اساس انرژی هدر روی غیرفتوشیمیایی (F_o/F_m) نیز همانند ABS/RC با تاخیر در کاشت سطح آن بیشتر شد و بیشینه میزان این پارامتر در تاریخ کاشت سوم به ثبت رسید. بیشینه عملکرد کوانتومی بر اساس انرژی هدر روی غیرفتوشیمیایی (F_o/F_m) نیز همانند ABS/RC در رقم ساجی بیشتر بود و در مرحله بعدی رقم ریژاو قرار داشت. بین سایر ارقام نیز از نظر F_o/F_m اختلاف معنی داری وجود نداشت. بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) با تاخیر در کاشت به طور معنی داری افت پیدا کرد بیشینه



شکل ۸- اثر ارقام و تاریخ های کاشت روی حداکثر عملکرد کوانتومی بر اساس انرژی هدر روی غیرفتوشیمیایی

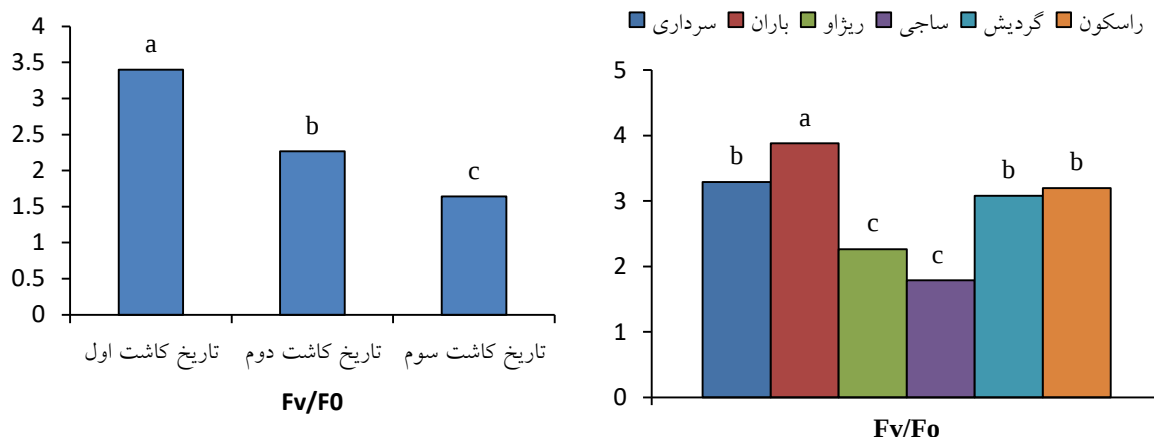


شکل ۹- اثر ارقام و تاریخ های کاشت روی بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II

نشان دهنده بهبود مراکز اکسیداسیون و احیاء (ردوکس) بعد از کینون آ و افزایش انتقال الکترون از کینون آ به کینون ب است (لطفی و همکاران ۲۰۲۰). این یافته با کاهش ABS/RC و افزایش ETo/RC تایید می گردد. پارامتر ABS/RC نشان دهنده تعداد فوتون های جذب شده توسط تمام مراکز واکنشی مولکول کلروفیل تقسیم بر مراکز واکنشی فعال است و بنابراین مقدار آن بر اساس تعداد مراکز واکنشی فعال و غیر فعال تغییر می یابد و با افزایش تعداد مراکز واکنشی فعال مقدار این پارامتر کاهش می یابد. افزایش ETo/RC نیز نشان دهنده باز اکسید شدن کینون آ با انتقال الکترون به ناقل بعدی است (ساکسینا و همکاران ۲۰۲۲).

کارایی کمپلکس تجزیه آب در فتوسیستم II ($Fv/F0$) با تاخیر در کاشت به طور معنی داری افت پیدا کرد. تفاوت ارقام از نظر کارایی کمپلکس تجزیه آب در فتوسیستم II ($Fv/F0$) بیشتر مشخص بود بطوریکه رقم باران بیشترین سطح آن را داشت. ارقام سرداری، راسکون و گردیش از این نظر در سطح بعدی و از نظر آماری مشابه بودند. کمترین کارایی کمپلکس تجزیه آب در فتوسیستم II در رقم ساجی دیده شد. با این وجود بین رقم ساجی و ریژاو اختلاف آماری معنی داری دیده نشد (شکل ۱۰).

کارایی فتوسنتزی با کاهش ABS/RC و $F0/Fm$ و افزایش Fv/Fm و ETo/RC در تاریخ کاشت اول تمام ارقام گندم نان و دوروم بهبود یافت. افزایش Fv/Fm



شکل ۱۰- اثر ارقام و تاریخ های مختلف کاشت روی کارایی کمپلکس تجزیه آب در فتوسیستم II

معنی داری بر روی عملکرد دانه ندارد. چنین استنباط می شود که کاشت در شرایط بدون خاکورزی علاوه بر حفظ مواد آلی خاک و بهبود وضعیت خاک به دلیل حفظ رطوبت بیشتر در خاک که در شرایط دیم از اهمیت ویژه ای برخوردار است توانسته است شرایط را برای تولید عملکرد قابل قبول مناسب نماید.

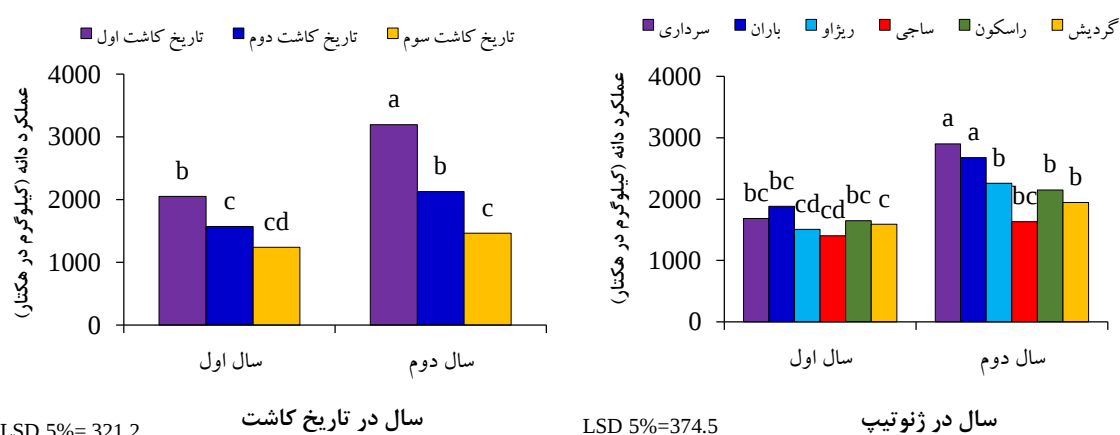
عملکرد دانه در سال اول اجرای آزمایش در تمامی تاریخ های کاشت نسبت به سال دوم کمتر بود. با این وجود تفاوت معنی داری بین عملکرد دانه تاریخ کاشت سوم در سال اول و سال دوم وجود نداشت. حداکثر عملکرد دانه از تاریخ کاشت اول در سال دوم بدست آمد که نسبت به تاریخ های کاشت دوم و سوم همان سال به ترتیب حدود ۵۰ و ۱۱۸ درصد بیشتر بود. عملکرد دانه در سال اول در تاریخ کاشت اول نیز نسبت به تاریخ کاشت دوم و سوم به ترتیب حدود ۳۰ و ۶۵ درصد بیشتر بود (شکل ۱۱). داده های عملکرد دانه با داده های هواشناسی به ویژه بارش و دما (جدول ۲) قابل توجیه است.

تجزیه واریانس مرکب صفات نشان داد که اثر سال بر روی صفات مورد بررسی معنی دار بود. اثر تاریخ کاشت روی صفات عملکرد دانه و کلروفیل a معنی دار بود. اثر متقابل سال × تاریخ کاشت روی صفت کلروفیل a در سطح احتمال ۵٪ و روی صفت عملکرد دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود. گیاهان حاصل از تاریخ کاشت شهریور ماه با توجه به زمان جوانه زنی و سبز شدن در دماهای بالا نسبت به سایر تاریخ های کاشت، سیستم ریشه کارآمدتری را تولید کرده اند که توانسته از ذخایر رطوبتی خاک در شرایط بدون خاکورزی بیشتر استفاده کنند. اثر تیمار خاکورزی روی صفت کلروفیل a در سطح احتمال ۱٪ و روی صفت کلروفیل b در سطح احتمال ۵٪ معنی دار بود. اثر خاکورزی بر روی عملکرد دانه غیر معنی دار بود. اثر رقم روی صفات عملکرد دانه، کلروفیل a و کلروفیل b معنی دار بود. کلروفیل a، کلروفیل b تحت تاثیر اثرات متقابل رقم × تاریخ کاشت معنی دار بودند (جدول ۴). خرسندی و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند که خاکورزی تاثیر

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب خصوصیات بیوشیمیایی ارقام گندم در تاریخ کاشت متفاوت و خاکورزی های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		Chlb	Chla
سال (A)	۱	**۶۲۳۶۰	**۸۳۲۶۸
خطای ۱	۴	۵۱۷/۶	۵۷
تاریخ کاشت (B)	۲	ns۲۵۳	**۵۶۹۴
A*B	۲	ns۶۶/۳۷	*۲۴۸۲
خطای ۲	۸	۲۱۷۸۷۲	۲۹۳/۷
خاکورزی (C)	۱	*۲۰۶/۱۷	**۳۴۲۰
A*C	۱	ns۶/۱۹	ns۳۵۱/۵
B*C	۲	ns۲۶/۱۳	ns۱۷۲/۲
A*B*C	۲	ns۰/۳۸	ns۴۱۳
خطای ۳	۱۲	۵۸۵۹۰۹	۱۶۵/۲
ارقام (D)	۵	**۳۸۳۸/۷	**۱۲۸۷۰
A*D	۵	**۱۰۲۸/۱	**۳۷۸۷
B*D	۱۰	**۲۷۲/۰۴	**۵۳۶/۸
C*D	۵	ns۷۵/۶۴	ns۲۵۵/۲
A*B*D	۱۰	**۳۴۷/۳	**۴۹۵/۸
A*C*D	۵	۶۵/۰۵	ns۲۲۶/۷
B*C*D	۱۰	۴۸/۶۱	ns۱۹۶/۶
A*B*C*D	۱۰	ns۲۹/۴۰	ns۱۸۵/۵
خطای کل	۱۲۰	۹۸/۷۱	۱۱۵/۳

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵٪ و معنی دار در سطح ۱٪ است، chla (کلروفیل a)، chlb (کلروفیل b).



شکل ۱۱- عملکرد دانه ارقام مختلف و تاریخ های مختلف کاشت در دو سال زراعی

ورزی علاوه بر حفظ مواد آلی خاک و بهبود وضعیت خاک به دلیل حفظ رطوبت بیشتر در خاک که در شرایط دیم از اهمیت ویژه ای برخوردار است توانسته است

خرسندی و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند که خاکورزی تاثیر معنی داری بر روی عملکرد دانه ندارد. چنین استنباط می شود که کاشت در شرایط بدون خاک

شرایط را برای تولید عملکرد قابل قبول مناسب نماید. در مجموع محتوای کلروفیل a و b همه ارقام در سال دوم بیشتر از سال اول بود. با این حال در هر دو سال با تاخیر در کاشت میزان کلروفیل a و b کاهش یافت. محتوای کلروفیل a و b در هر دو سال برای ارقام سرداری و باران نسبت به سایر ارقام بیشتر بود. مقدار کلروفیل a ارقام گندم دوروم راسکون و گردیش در سال اول نسبت به ارقام ساجی و ریژاو بیشتر بود ولی در سال دوم برعکس آن اتفاق افتاد. بطوریکه کمترین محتوای کلروفیل a در سال اول مربوط به تاریخ کاشت سوم رقم ساجی و در سال دوم مربوط تاریخ کاشت سوم رقم گردیش بود. محتوای کلروفیل b در طی هر دو سال در ارقام سرداری و باران بیشتر از سایر ارقام بود. با این وجود هر دو رقم دوروم گردیش و راسکون

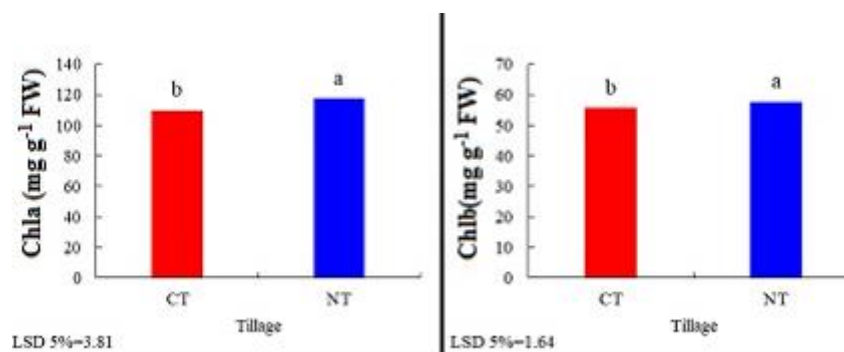
از محتوای کلروفیل b بیشتری نسبت به ساجی و ریژاو برخوردار بودند (جدول ۵). ساسانی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که بین میزان نیاز بهاره سازی ارقام با محتوای کلروفیل آنها همبستگی مستقیم و معنی داری وجود دارد، به طوریکه تحت تیمار بهاره سازی، ارقام زمستانه، بینابین و بهاره ضمن داشتن تفاوت معنی دار در محتوای کلروفیل، به ترتیب در رتبه های برتر تا پایین تر قرار داشتند. لذا با توجه به اینکه انباشت محتوای کلروفیل در همه ارقام حساس و متحمل به تنش سرما در شرایط دمای پایین محقق میگردد ولی ارقام متحمل در تاریخ کاشت مناسب و شرایط بدون خاک ورزی انباشت کلروفیل بیشتری داشتند. این یافته با نتایج تحقیق مطابقت دارد.

جدول ۵- مقایسه میانگین کلروفیل (a & b) در تاریخ کاشت های مختلف کاشت در دو سال اجرای آزمایش

		Chl a (mg g ⁻¹ FW)	سرداری	باران	ریژاو	ساجی	راسکون	گردیش
		LSD 5%= 13.19						
سال اول	تاریخ کاشت اول	۱۲۱/۰۰c	۱۳۲/۵۰bc	۸۷/۸۳c	۶۸/۵۰c	۱۰۸/۳۲ab	۱۴۰/۰۰a	
	تاریخ کاشت دوم	۱۱۰/۵۰cd	۱۲۲/۶۷c	۷۶/۱۷cd	۵۸/۶۷cd	۹۷/۱۷b	۹۲/۸۳c	
	تاریخ کاشت سوم	۱۰۱/۸۳d	۱۱۳/۱۷c	۶۸/۰۰d	۵۰/۸۳d	۹۰/۰۰b	۸۶/۳۳c	
سال دوم	تاریخ کاشت اول	۱۴۸/۲۸b	۱۴۵/۸۷b	۱۳۲/۵۷a	۱۳۱/۴۹a	۱۲۰/۹۶a	۱۱۷/۹۰b	
	تاریخ کاشت دوم	۲۰۵/۴۰a	۱۶۴/۸۹a	۱۳۱/۲۶a	۱۳۴/۴۲a	۱۱۷/۸۸a	۱۱۷/۰۴b	
	تاریخ کاشت سوم	۱۴۰/۱۲b	۱۴۰/۳۳b	۱۱۲/۴۹b	۱۱۷/۷۹b	۱۱۰/۳۷a	۱۰۸/۱۳b	
		Chl b (mg g ⁻¹ FW)	سرداری	باران	ریژاو	ساجی	راسکون	گردیش
		LSD 5%=14.33						
سال اول	تاریخ کاشت اول	۵۶/۷۱c	۵۸/۳۰c	۳۱/۰۱b	۲۶/۵۹b	۴۳/۸۵bc	۳۷/۲۸c	
	تاریخ کاشت دوم	۵۸/۶۷c	۵۴/۰۸c	۲۸/۰۷b	۲۲/۹۶b	۴۱/۳۳c	۳۴/۴۷c	
	تاریخ کاشت سوم	۵۲/۸۶c	۵۳/۱۵c	۲۴/۶۳b	۱۹/۶۵b	۳۸/۳۷c	۳۱/۲۵c	
سال دوم	تاریخ کاشت اول	۹۲/۶۱a	۹۵/۶۲a	۶۳/۸۹a	۶۶/۸۰a	۷۲/۷۹a	۸۰/۶۲a	
	تاریخ کاشت دوم	۷۳/۸۴b	۸۳/۹۲ab	۷۳/۰۳a	۸۱/۰۸a	۶۱/۳۳ab	۶۸/۱۲ab	
	تاریخ کاشت سوم	۸۳/۴۴ab	۷۴/۰۲b	۶۳/۶۴a	۷۸/۷۶a	۵۶/۲۷b	۵۵/۱۲b	

محتوای کلروفیل a و b در شرایط بدون خاک ورزی بیشتر بود. این افزایش در شرایط بدون خاک ورزی برای کلروفیل a بیشتر از کلروفیل b بود (شکل ۱۲). لذا فعالیت های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در شرایط

کشاورزی حفاظتی در سطح مطلوبی بودند و از تولید گونه های فعال اکسیژن جلوگیری کرده و سطح فتوسنتز و عملکرد دانه گیاه حفظ شد.



شکل ۱۲- میزان کلروفیل a و b گندم تحت دو سیستم خاکورزی مرسوم (CT) و حفاظتی (NT)

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که ارقام گندم دیم مطالعه شده در سیستم کشاورزی حفاظتی تحت تأثیر اثرات منفی تنش سرما قرار نمی‌گیرند. می‌توان اذعان داشت که در هر دو سیستم خاکورزی انتقال الکترون از کمپلکس تجزیه آب به فاز اکسیداسیون مرکز واکنشی کلروفیل بصورت طبیعی اتفاق افتاد. کارایی فتوسنتزی با کاهش ABS/RC و Fo/Fm و افزایش Fv/Fm و ETo/RC در تاریخ کاشت اول تمام ارقام گندم نان و دوروم بهبود یافت. اثر خاکورزی بر روی عملکرد دانه غیر معنی دار بود. چنین استنباط می‌شود که کاشت در

شرایط بدون خاک ورزی علاوه بر حفظ مواد آلی و بهبود وضعیت خاک به دلیل حفظ رطوبت بیشتر در خاک که در شرایط دیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است توانسته است عملکردی قابل قبول تولید نماید.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت‌های موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور و بخصوص بخش مدیریت منابع که در طول اجرای این پروژه همکاری نمودند قدردانی به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

- Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in beta vulgaris. Plant Physiology. 24: 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Bissati KE, Delphin E, Murata N, Etienne AL and Kirilovsky D. 2000. Photosystem II fluorescence quenching in cyanobacterium Synechocystis PCC6803: involvement of two different mechanisms. Biochimica et Biophysica Acta. 1457: 229-242. [https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(00\)00104-3](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(00)00104-3)
- Chen Y, Liu S, Li H, Li XF, Sung CY, Cruse RM and Zang XY. 2011. Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China. Soil and Tillage Research. 115, 56-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2011.06.007>
- Emami Bistgani Z and Bakhshaneh AM. 1401. Physiology of environmental stress in medicinal plants. (In Persian with English Abstract). . https://agrilib.areeo.ac.ir/book_9560.pdf
- Govindjee H. 1995. Sixty-three years since Kautsky: chlorophyll a fluorescence. Australian journal of Plant Physiology, 22: 131-160. <https://doi.org/10.1071/PP9950131>
- Hussain HA, Men S, Hussain S, Chen Y, Ali S, Zhang S, Zhang K, Li Y, Xu Q, Liao C and Wang L. 2019. Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. Scientific Reports. 9, 3890. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7>

- Khorsandi H, Ferdosi R and Abdulahi A. 2020. Technical and economic evaluation of different tillage and nitrogen levels in dryland wheat. Iranian journal of Dryland Agriculture. 9(1): 91-135. (In Persian with English Abstract). . <https://doi.org/10.22092/idad.2020.341276.288>
- Li X, Cai J, Liu F, Zhou Q, Li X, Cao W and Jiang D. 2015. Wheat plants exposed to winter warming are more susceptible to low temperature stress in the spring. Plant Growth Regulation. 77, 11–19. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0029-y>
- Lotfi R, Ghassemi-Golezani K and Pessarakl M. 2020. Salicylic acid regulates photosynthetic electron transfer and stomatal conductance of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salinity stress. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 26. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101635>
- Maxwell K and Johnson GN. 2000. Chlorophyll fluorescence A paticle guide. Experimental Botany Journal. 51: 659-668. <https://doi.org/10.1093/jxb/51.345.659>
- Sasani A, TAVAKKOL AFSHARI R and Mahfozi S. 2013. Low-temperature Acclimation and the Correlation of Vernalization Requirement with Accumulation of Some Compatible Solutes and Physiological Mechanisms in Bread Wheat. Iranian Journal of Field Crop Science. 24 (2): 327-345. (In Persian with English Abstract). . <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2013.35121>
- Strasser RJ, Srivastava A, and Govindjee H. 1995. Polyphasic chlorophyll a fluorecence transients in plants and cyanobacteria. Photochemistry and Photobiology, 61: 32–42. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1995.tb09240.x>
- Swoczyna T, Kalaji HM, Bussotti F, Mojski J and Pollastrini M. 2022. Environmental stress - what can we learn from chlorophyll a fluorecence analysis in woody plants? A review. Frontiers in Plant Science, 13:1048582. doi: 10.3389/fpls.2022.1048582. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1048582>
- Tsimilli-Michael M and Strasser RJ. 2013. The energy flux theory 35 years later: Formulations and applications. Photosynthesis Research. 117, 289–320. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9895-1>
- Wellburn AR. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Journal of Plant Physiology. 144(3): 307-313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
- Witzenberger A, Hack H and Van Den Boom T. 1989. Erläuterungen zum BBCH-Dezimal-Code für die Entwicklungsstadien des Getreides - mit Abbildungen. Gesunde Pflanzen. 41: 384-388.
- Zaghdoudi M, Msilini N, Govindachary S, Lachaal M, Ouerghi Z and Carpentier R. 2011. Inhibition of photosystem I and II activites in salt stress-exposed Fenugreek (*Trigonella foenum graecum*). Journal of photochemistry and photobiology B: Biology. 105: 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2011.06.005>