"مجله علوم زراعي ايران"

جلد نهم، شماره ۱، بهار ۱۳۸٦

غربال كردن ژنوتيپ‌هاي برنج براي تحمل به تنش دمای پائين با استفاده از فلئورسانس كلروفيل

Screening of rice genotypes for tolerance to low temperature- using chlorophyll fluorescence

پيمان حسيبي[۱]، فواد مرادي[۲] و مجيد نبي‌پور[۳]

چكيده

حسيبی، پ.، ف. مرادی و م. نبی پور. ۱۳۸۶. غربالگري ژنوتيپ‌هاي برنج براي تحمل به تنش دمای پائين با استفاده از فلئورسانس كلروفيل. مجله علوم زراعی ايران. ۹ (۱): ۳۱-۱۴.

برنج گياهي گرمسيري و نيمه‌گرمسيري است كه نسبت به درجه حرارت‌هاي پايين بسيار حساس و رشد آن در دماي پايين با مشكل مواجه مي‌شود. فلئورسانس كلروفيل يكي از روش‌هاي متداول در غربال كردن گياهان زراعي و بررسي تغييرات فتوسنتز آن‌ها در مواجهه با تنش‌هاي غيرزيستي مي‌باشد. در اين روش معمولاً رابطه بين مؤلفه‌هاي فلئورسانس كلروفيل و عملكرد فتوسنتزي برگ ها براي غربال گياهان حساس و متحمل مورد استفاده قرار مي‌گيرد. در اين آزمايش به منظور شناسايي ژنوتيپ‌هاي متحمل به تنش سرما, هفتاد وهفت ژنوتيپ برنج (شامل ۴۹ لاين متحمل به تنش دماي پايين ارسالي از IRRI سري ۲۰۰۵ و ۲۸ واريته زراعي ايراني) به روش آبكشت در فيتوترون پژوهشكده بيوتكنولوژي كشاورزي كاشته شدند. قدرت رويش گياهچه به روش استاندارد IRRI تعيين، و مؤلفه‌هاي فلئورسانس و تغييرات كلروفيل برگ سنجيده شدند. نتايج نشان داد كه در شرايط تنش سرما (۱۵/۱۳ درجه سانتي گراد, شب/روز) مؤلفه‌هاي Fv:Fm، Φ_{PSII}، ETR، qP، عدد كلروفيل‌متر و قدرت رويش گياهچه كاهش معني‌داري نسبت به شرايط طبيعي (۲۲/ ۲۹ درجه سانتي‌گراد, شب/روز) داشتند كه بيانگر وارد شدن خسارت به زنجيره انتقال الكترون و افزايش اتلاف حرارتی و همچنين كاهش جذب فتوشيميايي الكترون‌ها مي‌باشد. ژنوتيپ‌هاي ۳۳، ۳۴, ۳٦ از IRRI و ۴۴ از فيليپين داراي بيشترين ميزان مؤلفه‌هاي Fv:Fm و Φ_{PSII} در شرايط تنش و بدون تنش بودند و از اين نظر متحمل به سرما ارزيابي شدند, در حاليكه رقم ايراني هويزه كمترين تحمل نسبت به تنش سرما را نشان داد و از نظر مؤلفه‌هاي فوق در پايين‌ترين سطح خود قرار داشت. همچنين در شرايط تنش همبستگي معني‌داري بين وزن خشك ريشه و قدرت رويش ديده شد, كه نشان‌دهنده حساسيت ريشه به دما پايين است. با توجه به نتايج اين آزمايش, از بين مؤلفه‌هاي فلئورسانس كلروفيل, مؤلفه حداكثر عملكرد كوآنتومي فتوسيستم دو (Fv:Fm), بهترين معيار براي انتخاب لاين‌هاي متحمل به تنش دمای پائين بوده و مي‌توان از آن در برنامه‌هاي به‌نژادی به عنوان معيار انتخاب در نسل‌هاي در حال تفكيك و ارقام برنج استفاده كرد.

واژه‌هاي كليدي: برنج، تنش دمای پائين، فلئورسانس كلروفيل، عدد كلروفيل متر, غربال كردن.

تاريخ دريافت: ۱۳۸۵/۱۱/۴

۱ـ دانشجوی دكتری تخصصی فيزيولوژی گياهان زراعی، دانشگاه شهيد چمران
۲ـ استاديار پژوهشكده بيوتكنولوژی كشاورزی ايران (مكاتبه كننده)
۳ـ استاديار دانشگاه شهيد چمران

مقدمه

واكنش گياهان زراعي به دماهاي پايين بستگي به شرايط آب و هوايي كه از آن منشا گرفته‌اند, دارد. گياهي مانند برنج با منشا گرمسيري و نيمه‌گرمسيري, نسبت به دماهاي پايين بسيار حساس و رشد و نمو آن در دماهاي كمتر از ۱۵ °C دچار مشكل مي‌شود (Allen and Ort, 2001) . مهم‌ترين واكنش گياهان حساس به سرما, افزايش سريع سطح بازدارندگي فتوسنتزي است (Ort, 2002) كه حتي در شدت‌هاي متوسط نور نيز مي‌تواند منجر به خسارت نوري و يا اختلال در فعاليت فتوسيستم دو (PSII) شود. اولين اثر كاهش دما, بازداري سوخت و ساز كربن است (Allen and Ort, 2001; Leegood and Edwards, 1996; Ort, 2002) كه باعث كاهش توليد محصولات انتقال الكترون در چرخه نوري (ATP و NADPH) و عملكرد كوآنتومي فتوسيستم دو در شرايط نوري (Φ_{PSII}) مي‌شود (Bruggemann and Linger, Anderews *et al*., 1995; 1994; Francheboud and Leipner, 2003). اين كاهش سرعت توليد محصولات فتوسنتزي و ATP, سبب كاهش عملكرد كوآنتومي فتوسيستم دو در گياه شده و با افزايش ميزان خاموشي غيرفتوشيميايي, به عنوان يك تنظيم‌كننده بازدارنده در فتوسيستم دو عمل مي‌كند (Francheboud and Leipner, 2003).

يكي از محدوديت‌هاي برنامه‌هاي اصلاح گياهان زراعي, فقدان تكنيك غربال كردن سريع و دقيق براي انتخاب ژنوتيپ‌هاي برخوردار از رشد و سوخت ساز بهتر در شرايط تنش است (Baker and Rosenquis, 2004). روش‌هاي فعلي, نياز به امكانات پيشرفته و گران قيمت آگروشيميائي دارد كه در آن‌ها تلفيقي از چندين روش شيميايي و بيولوژيك مورد استفاده واقع مي‌شود. اين شيوة گزينش به ريز غربال كردن نوين مشهور است (Berg *et al*., 1999; Evans, 1999). روش‌هاي معمول انتخاب گلخانه‌اي بيشتر بر پايه مشاهده گياهان طي يك دوره چند هفته‌اي استوار بوده و كارآيي چنداني براي انتخاب تعداد زيادي تك بوته را ندارد. حال آنكه اندازه‌گيري فلئورسانس كلروفيل روش كاملاً غيرتخريبي بوده و از دقت و سرعت بالايي نيز برخوردار است (Oxborough, 2004; Barbagallo *et al*., 2003).

ميزان تحمل به سرما در ژنوتيپ‌هاي متحمل و حساس را مي‌توان از كاهش عملكرد كوآنتومي ناشي از القاي تنش سرما تعيين نمود (Bruggemann and Linger, 1994). از اين نظر از نسبت Fv:Fm براي غربال و ارزيابي نتاج حاصل از تلاقي واريته‌هاي برنج متحمل به سرما با برنج‌هاي پرمحصول در كشور نپال استفاده شده است (Sthapit *et al*., 1995). براي بسياري از گياهان زراعي، سرما مي‌تواند موجب سوختگي برگ و از بين رفتن كلروفيل آن‌ها شود. مثلاً در ذرت زماني كه گياهان در ۱۴°C رشد داده شدند, نمو بوته‌ها ناقص، و ظرفيت فتوسنتزي برگ‌ها محدود گرديد (Baker and Nie, 1994) كه علت آن ممانعت از توليد تعدادي از پروتئين‌هاي تيلاكوئيد رمز شده توسط كلروپلاست, در مقايسه با پروتئين‌هاي كلروپلاستي رمز شده توسط هسته سلول گزارش شده است (Nie and Baker, 1991). چنين آشفتگي‌هايي در نمو كلروپلاست باعث كاهش بسيار زيادي در مقادير Fv:Fm و عملكرد كوآنتومي فتوسيستم دو مي‌شود (Fryer *et al*., 1995). در نتيجه، اين مؤلفه‌هاي فلئورسانس مي‌توانند به طور بالقوه براي غربال ژنوتيپ‌هاي متحمل به سرما در طي نمو برگ به كار روند. در ذرت سازش يافته به دماهاي پايين, افزايش نسبي جريان الكترون به سمت گيرنده‌هاي الكترون (مانند $NADP^+$) باعث افزايش عملكرد كوآنتومي فتوسيستم دو در برگ اين گياهان گرديد (Fryer *et al*., 1998).

مؤلفه Fv مابه التفاوت Fm و F_0 بوده و نسبت Fv به Fm (Fv:Fm) كاربرد زيادي در درك وضعيت واكنش‌هاي نوري فتوسنتز دارد و مي‌تواند به عنوان يك

معيار عملي مفيد براي تعيين ميزان تنش تحت شرايط سرما و حتي شدت‌هاي نور كم به كار رود (Adams *et al*., 1995; Oquist and Hunner, 1991; Adams *et al*., 1990).

ميزان انتقال الكترون[1] (ETR) و qP با افزايش تنش كمبود آبي و بسته شدن روزنه‌ها كاهش مي‌يابند زيرا چرخه احياي نوري مخزن الكترون (فتوسيستم) از كارآيي كمتري نسبت به احياي CO_2 مي‌باشد (Stryer, 1988)، در نتيجه بخش بيشتري از انرژي نوراني وارد شده به صورت اتلاف حرارتي يا qN نمايان مي‌گردد. لي (Lee, 2001) گزارش نمود كه طي مطالعات ۳۰ ساله اخير در كشور كره جنوبي, دماي بحراني ارقام مختلف برنج در مرحله جوانه‌زني ۱۰ °C, گياهچه ۱۳ ° C, رشد رويشي ۱۵ °C, زايشي ۱۷ °C (از شكل‌گيري خوشه تا انتهاي گلدهي) و رسيدن دانه ۱۴ °C مي‌باشد. وي همچنين اضافه نمود كه ارقام ايندیكا حساسيت بسيار بيشتري به تنش سرما داشته و رشد گياه درهر مرحله, قبل از رسيدن به نقطه بحراني نيز به شدت كاهش مي‌يابد (Lee, 2001).

بررسي آمار چهل ساله هواشناسي شمال كشور نشان مي‌دهد كه شاليزارهاي اين ناحيه همواره در خطر بروز تنش سرما بوده و حتي در پاره‌اي سال‌ها دماي هوا به پايين‌تر از نقطه بحراني تحمل برنج مي‌رسد. تنش سرما همواره يكي از عوامل محدودكننده رشد گياه برنج در شاليزارهاي كشور بوده و سالانه موجب بروز خسارت به زراعت برنج خصوصاً در خزانه و مراحل ابتداي رشد مي‌شود. بر اساس آمار ۴۰ ساله (۱۳۷۹-۱۳۴۰) سازمان هواشناسي كشور در منطقه" لاهيجان" استان گيلان, ميانگين حداقل دما در فروردين‌ماه ۸/۵, ارديبهشت ۱۲/۹, خرداد ۱۶/۷, تير ۱۹/۰, مرداد ۱۹/۲, شهريور ۱۶/۹, مهر ۱۳/۰, آبان ۸/۷ , آذر ۵/۰ , دي ۲/۷ , بهمن ۲/۵ و اسفند ۴/۶ درجه سانتيگراد بوده است و اين در حالي است كه در طول همين دوره, حداقل مطلق ثبت شده در فروردين ۰/۰ (سال ۱۳۵۳) , ارديبهشت ۲/۰ (سال ۱۳۵۳), خرداد ۸/۰ (سال ۱۳۴۴), تير ۵/۰ (۱۳۴۴), مرداد ۷/۰ (۱۳۴۳), شهريور ۵/۰ (۱۳۴۴), مهر ۲/۰ (۱۳۵۳), آبان ۰/۰(۱۳۵۱) , آذر ۶/۰- (۱۳۴۲), دي ۸/۰- (۱۳۵۲), بهمن ۹/۰- (۱۳۵۱) و اسفند ۶/۰- (۱۳۶۴) درجه سانتيگراد بوده است. روند مشابهي نيز در استان مازندران ديده مي‌شود, با اين تفاوت كه حداقل مطلق دما در اين استان در سال‌هاي اخير اتفاق افتاده است . به طور مثال در مدت مشابه در شهرستان" تنكابن", ميانگين حداقل دما در فروردين ۹/۰, ارديبهشت ۱۴/۰, خرداد ۱۷/۸, تير ۲۰/۰, مرداد ۲۰/۶, شهريور ۱۷/۸, مهر ۱۳/۱, آبان ۸/۸ , آذر ۴/۶۰ , دي ۲/۴ , بهمن ۲/۷ و اسفند ۵/۰ درجه سانتيگراد بوده است. حداقل مطلق ثبت شده در همين مدت, فروردين ۰/۰ (سال ۱۳۷۸) , ارديبهشت ۴/۵ (۱۳۶۳), خرداد ۸/۵ (۱۳۷۹), تير ۱۲/۵ (۱۳۷۹), مرداد ۱۵/۰ (۱۳۵۴), شهريور ۵/۰ (۱۳۵۶), مهر ۴/۲ (۱۳۵۶), آبان ۲/۰- (۱۳۷۸) , آذر ۵/۵- (۱۳۴۲), دي ۸/۵- (۱۳۴۳), بهمن ۸/۰- (۱۳۵۱) و اسفند ۷/۰- (۱۳۷۹) درجه سانتيگراد بوده است. همچنين آمار هواشناسي در سال‌هاي اخير (۸۴-۸۳) نشان‌دهنده پايين‌تر بودن ميانگين دماي سالانه نسبت به ميانگين چهل ساله مورد نظر است. در حال حاضر براي مقابله با اين معضل كشاورزان يا با به تأخير انداختن تاريخ كاشت ازسرما اول فصل دوري جسته, كه خود سبب افزايش احتمال بروز تنش سرما در مرحله رشد زايشي مي‌شود, يا از پوشش پلاستيكي استفاده مي‌نمايند كه همچنان احتمال بروز تنش سرما را در مرحله گياهچگي مرتفع نساخته و هر ساله شاهد خسارت در نقطه‌اي از شمال كشور هستيم . سطح زير كشت تنش ديده از خسارت دماى پائين متغير بوده و تا كنون آمار دقيقي ارائه نشده است، هرچند تمامي شاليزارهاي شمال كشور به نوعي با اين معضل روبرو هستند.

1- Electron transport rate

هدف از اين تحقيق, شناسايي لاين (هاي) متحمل به تنش به دماى پائين از بين برخي ژنوتيپ‌هاي داخلي و خارجي جهت استفاده در برنامه‌هاي دورگ گيري توليد ارقام متحمل به تنش دماي پايين, و تعيين مهمترين مؤلفه فلئورسانس كلروفيل و استفاده از آن در غربال سريع و دقيق ژنوتيپ‌هاي متحمل بود.

مواد و روش‌ها

در اين آزمايش كه در پژوهشكده بيوتكنولوژي كشاورزي-كرج در سال ۱۳۸۵ انجام شد, ژنوتيپ‌هاي مختلف برنج از نظر تحمل به سرما, از كشورهايي مانند آرژانتين, كره شمالي, كره جنوبي, ژاپن, چين, فيليپين, تركيه, ماداگاسكار, هند و همچنين مؤسسه تحقيقات بين‌المللي برنج[1] (IRRI) از سري خزانه بين‌المللي ارقام برنج متحمل به تنش سرما[2] (IRCTN) سال ۲۰۰۵، به همراه ۲۸ واريته زراعي برنج از نقاط مختلف ايران (جدول ۱) مورد بررسي قرار گرفتند. فاكتور اصلي دما, داراي دو سطح و فاكتور فرعي ژنوتيپ شامل ۷۷ ژنوتيپ بود كه به صورت اسپليت پلات در قالب طرح كاملا" تصادفي با چهار تكرار انجام شد. در اين آزمايش, بذرهاي ارقام مختلف ابتدا به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر خيسانده شده و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دماي ۳۲ درجه سانتيگراد, چرخه نوري ۱۲ ساعت روشنايي/ تاريكي با شدت ۷۵ ميكرو مول فوتون (ميكرو انيشتين) بر مترمربع درثانيه و رطوبت نسبي ۷۵ درصد در ژرميناتور جوانه‌دار شدند. كاشت بذور در تاريخ اول خرداد ماه ۸۵ براساس روش گريگوريو و همكاران (Greegorio *et al*., 1998) انجام شد. به طور خلاصه, بذور ابتدا جوانه‌دار شده و سپس در سوراخ‌هاي تعبيه شده در صفحات يونوليتي دو سانتيمتري كه توسط تور پلاستيكي پوشش داده شده بودند, قرار داده شدند. براي هر رقم يك ظرف كاشت حاوي ۲۰ سوراخ در نظر گرفته شد كه در هر سوراخ سه بذر كشت گرديد. در ابتدا به مدت سه روز, ظروف با آب مقطر پر شده و پس از آن آب مقطر با محلول يوشيدا (Yoshida, 1981) جايگزين شد. پس از اين مدت ظروف به فيتوترون با دماي ۲۹/۲۲ (شب/ روز) درجه سانتيگراد با رطوبت نسبي۵±۷۰ درصد و طول روز ۱۲ ساعت شب/ روز, با شدت تشعشع ۵۰± ۴۰۰ ميكرو انيشتين بر مترمربع بر ثانيه, منتقل گرديدند. از فيتوترون در دو نوبت استفاده گرديد. در نوبت اول, براي سطح شاهد تيمار دمايي, كليه بوته‌ها به مدت ۲۸ روز در اين شرايط نگهداري شدند, درحاليكه براي تيمار تنش سرما در نوبت دوم بر اساس گزارش لي (Lee, 2001), پس از ۱۴ روز, دماي فيتوترون به مدت دو هفته تا ۱۵/۱۳درجه سانتيگراد (شب/ روز) كاهش داده شد. پس از گذشت ۲۸ روز پس از كاشت, زماني كه گياه در ابتداي مرحله پنجه‌زني قرار داشت كليه اندازه‌گيري‌ها انجام شد. در اين زمان ارقام براساس دستورالعمل IRRI براي تعيين قدرت رويش نمره‌دهي شدند, به طوريكه ۱= عالي (بدون تفاوت با شاهد) ۳= خوب (كمي تفاوت ظاهري-كاهش ارتفاع- با شاهد (بدون سوختگي), ۵= متوسط (سوختگي نوك برگ‌ها, كمتر از ۱۵% برگ‌ها), ۷= بد (سوختگي بين ۱۵ تا ۴۰ % برگ‌ها و يا مرگ ۲۰% بوته‌ها), ۹= مرگ كامل (سوختگي بيش از ۴۰% برگ‌ها و يا مرگ بيش از ۵۰% بوته‌ها). سپس مؤلفه‌هاي فلئورسانس كلروفيل از آخرين برگ توسعه يافته (در برگ‌هاي سالم وسط برگ و در برگ‌هاي خسارت ديده, قسمت سبز برگي كه ليگول آن مشخص شده بود) در شرايط سازگارشده با تاريكي و روشنايي شامل Fm (فلئورسانس حداكثر در شرايط سازگار شده با تاريكي), F_0 (فلئورسانس حداقل در شرايط سازگار شده با تاريكي), Fv:Fm (حداكثر عملكرد كوآنتومي درشرايط سازگار شده با تاريكي), Fm΄ (فلورسانس حداكثر در شرايط سازگار شده با نور), F_0' (فلورسانس حداقل در شرايط سازگار شده با نور), Φ_{PSII} (عملكرد كوآنتومي

1- International Rice Research Institute

2- International Rice Cold Tolerance Nursery

جدول ۱- نام و منشا ژنوتیپ‌های برنج

Table 1. Name and origin of rice genotypes

شماره No.	نام Name	کد Code	منشا Origin	شماره No	نام Name	کد Code	منشا Origin
1	79061-TR61-3-3-1-1	IRCTN1	Turkey	40	IR74520-29-4-2-2-2-4-1-1	IRCTN40	IRRI
2	82079-TR489-3-1-1	IRCTN2	Turkey	41	CHINA 1039	IRCTN41	India
3	83025-TR643-1-1-1-1	IRCTN3	Turkey	42	IR6677-22-1-3-2-5	IRCTN42	IRRI
4	8601-TR888-2-1-2-1	IRCTN4	Turkey	43	PJ-2(NSICRC 104)	IRCTN43	Philippines
5	87041-TR990-11-2-1	IRCTN5	Turkey	44	PJ-2(NSICRC 110)	IRCTN44	Philippines
6	88018-TR1043-6-2-3-1	IRCTN6	Turkey	45	PSB RC44(IR59468-B-B-3-2)	IRCTN45	Philippines
7	88024-TR1049-3-1-1-1	IRCTN7	Turkey	46	PSB RC46	IRCTN46	Philippines
8	88024-TR1049-6-1-2-1	IRCTN8	Turkey	47	PSB RC92(IR9202-25-1-3)	IRCTN47	Philippines
9	88076-TR1101-9-2-1	IRCTN9	Turkey	48	RCPL3-2	IRCTN49	India
10	STEJAREE 45	IRCTN10	Turkey	49	K39-96-1-1-1-2	IRCTN50	India
11	88088-TR1113-4-1-1	IRCTN11	Turkey	50	Line 6		Iran
12	88090-TR1115-4-1-1	IRCTN12	Turkey	51	Anbori ghermez		Iran
13	89010-TR1130-8-1-1-2	IRCTN13	Turkey	52	LD 183		Iran
14	90040-TR1232-4-1-1	IRCTN14	Turkey	53	Rasmi		Iran
15	90051-TR1243-2-2-1	IRCTN15	Turkey	54	Shafagh		Iran
16	CU 11	IRCTN16	India	55	Chaparsar 5		Iran
17	GWANSAN 2	IRCTN17	N-Korea	56	Gerdeh-Zanjan		Iran
18	H231-59-3-1	IRCTN18	Argentina	57	Fajer		Iran
19	NONG 56	IRCTN19	N-Korea	58	Champa6		Iran
20	TATSUMI-MOCHI	IRCTN20	Japan	59	Hovaizeh		Iran
21	OLBYE 1	IRCTN21	Korea	60	Champa16		Iran
22	ROJOFOTSY 653	IRCTN22	Madagascar	61	Amol3		Iran
23	ZHI 20-5	IRCTN23	China	62	Neda		Iran
24	SR22746-68-2-3-4-2-4	IRCTN24	IRRI	63	Chaparsar Dailamani		Iran
25	HR17512-11-2-3-1-4-2-3	IRCTN25	IRRI	64	Domsiah Aleshtar		Iran
26	HR17570-21-5-2-5-2-2-1-5	IRCTN26	IRRI	65	Tarom domsiah		Iran
27	IR57107-2B-12-2-2-2	IRCTN27	IRRI	66	Kohrang		Iran
28	IR60059-4B-4-1-1-2-1	IRCTN28	IRRI	67	Nemat		Iran
29	IR66097-8-1-1-1	IRCTN29	IRRI	68	Anborbo Ilam		Iran
30	IR68373-R-R-B-22-2-2	IRCTN30	IRRI	69	Binam Tabriz		Iran
31	BARKAT(K78-13)	IRCTN31	India	70	Sari Chilik		Iran
32	IR71131-BF4-B-30-5	IRCTN32	IRRI	71	Khazar		Iran
33	IR72944-1-2-2	IRCTN33	IRRI	72	Omid bakhsh		Iran
34	IR73688-57-2	IRCTN34	IRRI	73	Hashemi		Iran
35	IR73688-82-2-3-2-2	IRCTN35	IRRI	74	Domsiah Vaisaan		Iran
36	IR3688-82-3	IRCTN36	IRRI	75	Sahel		Iran
37	IR73690-7-2-1-1-3-2-2-1	IRCTN37	IRRI	76	Onda		Iran
38	IR73694-41-2	IRCTN38	IRRI	77	Ghermez Sadri		Iran
39	IR74506-28-4-3-2-1-3-2-2	IRCTN39	IRRI				

فتوسیستم دو)، ETR (سرعت انتقال الکترون)، qP (خاموشي فتوشیمیائي کلروفیل برانگیخته)، و qN (خاموشي غير فتوشیمیائي کلروفیل برانگیخته)،توسط دستگاه فلئورسانس متر مدل PAM 2000 (والز- آلمان)

اندازه‌گيري و ثبت گرديد (جدول ۲). همچنين با استفاده از دستگاه كلروفيل سنج SPAD-502 (مينولتا - ژاپن) مقدار واحدهاي كلروفيل آخرين برگ اندازه‌گيري شد. تجزيه آماري براي مقادير پيوسته (مؤلفه هاي فلئورسانس) و مقايسه ميانگين‌ها با استفاده از نرم‌افزارهاي MSTATc و SAS به روش پارامتريك و براي مقادير ناپيوسته مانند قدرت رويش به روش غير پارامتريك انجام شد. محاسبات رگرسيون با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرديد.

نتايج و بحث

تيمارهاي دمايي بر روي Fv:Fm كه مشخص كننده حداكثر عملكرد كوآنتومي فتوسيستم دو در شرايط تاريكي مي‌باشد, تأثير معني‌داري داشته و از اين نظر بين ژنوتيپ‌ها و اثر متقابل آن‌ها با دما, اختلاف معني‌داري ديده شد (جدول ۳). در سطح شاهد مقدار اين مؤلفه به طور معني‌داري بيش از تنش سرما بود (جدول ٤). بيشترين مقادير اين مؤلفه به ترتيب متعلق به لاين ۲ با منشاء تركيه به ميزان ۰/۸۱ در تيمار شاهد و در شرايط تنش لاين ٣٦ به مقدار ۰/۸ با منشاء IRRI بود. كمترين مقدار اين مؤلفه مربوط به لاين‌هاي ۱۶ از كشور هند و ۴ از كشور تركيه به مقدار۰/۱۹ در شرايط تنش مشاهده گرديد (جدول ۵).

از ميان پنج لاين با منشاء كشور هند, لاين ۴۱ با مقدار۰/۷۹ در تيمار شاهد بيشترين و لاين ۱۶ به مقدار۰/۱۸۸ در تنش كمترين مقدار حداكثر عملكرد كوآنتومي فتوسيستم دو (Fv:Fm) را داشتند. از ميان ۱۷ لاين با منشاء IRRI، لاين ٣٦ با مقدار۰/۷۹۷ در شرايط تنش بيشترين و لاين ۳۰ با مقدار ۰/۵ در شرايط تنش كمترين را داشتند. از ۵ لاين با منشاء فيليپين، لاين ۴۴ با مقدار۰/۷۹۵ در شرايط تنش بيشترين و لاين ۴۶ با مقدار ۰/۷۵۵ در شرايط تنش كمترين مقدار حداكثر عملكرد كوآنتومي فتوسيستم دو را از خود نشان دادند. از ميان ۲۸ واريته ايراني مورد آزمايش واريته گرده زنجان با مقدار۰/۷۹۳ در شرايط تنش بيشترين، و رقم هويزه با ۰/۴۸۵ در شرايط تنش كمترين مقدار Fv:Fm را دارا بودند.

مؤلفه Φ_{PSII} كه نشانگر عملكرد كوآنتومي فتوسيستم دو در شرايط روشنايي بوده و تخميني از كارآيي جذب نور به وسيله آنتن فتوسيستم دو (PSII) براي فرآيندهاي فتوشيميايي (احياي كينون A) است, در اين آزمايش در كليه سطوح اختلاف معني‌داري نشان داد (جدول ۳). در سطح شاهد مقدار آن به طور معني‌داري بيشتر از شرايط تنش بود (جدول ٤) و در همين تيمار, بيشترين مقدار اين مؤلفه مربوط به لاين ۲۰ از كشور ژاپن به ميزان۰/۴۹۵ و كمترين ميزان آن متعلق به رقم ايراني ساري چيليك به ميزان۰/۳۱ بود. در تنش سرما بيشترين ميزان Φ_{PSII} در لاين شماره ۳۷ از IRRI به ميزان ۰/۳۷ و كمترين آن مربوط به لاين ۲۴ با مبدا IRRI به ميزان ۰/۱۴ ديده شد. در ميان ۲۸ واريته ايراني در تيمار شاهد, بيشترين مقدار Φ_{PSII} مربوط بود به رقم عنبوري قرمز (۰/۴۴) و كمترين مقدار در ارقام چمپاي خوزستان, هويزه و ندا مشاهده گرديد. درشرايط تنش سرما, بيشترين عملكردكوآنتومي در رقم رسمي(۰/۳۲) و كمترين ميزان در لاين ۶ خوزستان با مقدار ۰/۱۸۸ مشاهده شد.

نتايج حاصل از اندازه‌گيري مؤلفه سرعت انتقال الكترون (ETR) كه معرف سرعت انتقال الكترون برحسب ميكرو مول فوتون بر مترمربع در ثانيه به صورت خطي از فتوسيستم دو به فتوسيستم يك مي‌باشد, نشان داد سطوح فاكتور اصلي وفرعي و اثر متقابل آن‌ها داراي اختلاف معني‌داري با يكديگر بودند (جدول ۳). در شرايط شاهد مقدار آن به طور معني‌داري بيشتر از شرايط تنش بود (جدول ٤). بيشترين و كمترين مقدار آن در شاهد مربوط به لاين ۲۰ از ژاپن و ساري چيليك (به ترتيب ۴۷/۸ و ۲۹/۸ ميكرومول فوتون بر مترمربع در ثانيه) و در تيمار تنش, لاين‌هاي ۳۳ و ۲۴ از IRRI (به ترتيب۳۷/۳ و ۱۴/۱ ميكرومول فوتون بر مترمربع در ثانيه) بود.

جدول ۲- مؤلفه‌هاي متداول فلئورسانس و معادلات مربوطه شامل عملكرد كوانتمي فتوسيستم دو, خاموشي فتوشيميايي, حداكثر عملكرد كوانتمي فتوسيستم دو و خاموشي غيرفتوشيميايي

Table 2. Frequently used chlrophyll fluorescence parameters and their equations including Φ_{PSII}, qP, Fv:Fm and qN

مولفه Parameter		شناسه Symbol	معادله Equation
Photochemical quenching parameters	مؤلفه های خاموشی فتوشیمیایی		
Quantum yield of PSII	عملکرد کوآنتمی فتوسیستم دو	Φ_{PSII}	(Fm′- Ft)/ Fm′
Photochemical quenching	خاموشی فتوشیمیایی	qP	(Fm′- Ft)/ (Fm′- F_0)
Maximum quantum yield of PSII	حداکثر عملکرد کوآنتمی فتوسیستم دو	Fv:Fm	(Fm- F_0)/ Fm
Non-photochemical quenching	مؤلفه خاموشی غیرفتوشیمیایی	qN	(Fm-Fm′)/ Fm′

جدول ۳ . خلاصه تجزيه واريانس برای مؤلفه‌هاي فلئورسانس كلروفيل به همراه عدد كلروفيل متر و قدرت رويش ارقام مختلف برنج در تيمارهاي دماي پايين و شاهد

Table 3. Summery of analysis variance for chlorophyll fluorescence as well as SPAD value and vigor in rice genotypes under low temperature treatments

SOV	منابع تغییرات	درجه آزادي df	Mean squares میانگین مربعات						
			Fv:Fm	Φ_{PSII}	ETR	qN	qP	SPAD	قدرت رویش Vigor
Temperature (T)	دما	1	5.191**	2.76**	23207.7**	0.047 ^{ns}	3.428**	2375.8**	987.7**
Error a	خطای a	6	0.054	0.008	90.2	0.040	0.034	86.9	2.01
Genotype (G)	ژنوتیپ	76	0.084**	0.009**	91.1**	0.030**	0.039**	103.2**	7.36**
T * G	دما * ژنوتیپ	76	0.089**	0.009**	87.2**	0.027**	0.019**	74.9 ^{ns}	4.75**
Erorr b	خطای b	465	0.011	0.003	27.5	0.022	0.011	59.4	1.34

**: Significant at 1% Probability level. — ** : معني دار در سطح احتمال یک درصد.

ns: Non- significant — ns : غیر معني دار

بيشترين همبستگي مثبت از ميان صفات اندازه‌گيري شده بين Φ_{PSII} و ETR ديده شد كه نشان‌دهنده نوعي ساز و كار تحمل به تنش اكسيداتيو (تنش ثانويه) ناشي از تنش سرما (تنش اوليه) در ژنوتيپ‌هاي مورد بررسي است. بايد توجه داشت كه Φ_{PSII} تخميني از كارآيي جذب نور توسط آنتن فتوسيستم دو بوده و تغييرات احياء كينونA را نشان مي‌دهد. بنابراين در يك شدت نور معين, Φ_{PSII} سنجشي از كارآيي كوآنتومي انتقال خطي الكترون از طريق فتوسيستم دو مي‌باشد, در حاليكه ETR نشان‌دهنده سرعت انتقال الكترون از فتوسيستم دو به فتوسيستم يك بوده و ارتباط زيادي با سرعت فتوسنتز داشته و شاخصي از توانايي گياه در محافظت فتوسيستم دو در برابر خسارت‌هاي اكسيداتيو محسوب مي‌گردد (Fransis and Piekielek, 2000). ساز و كار ديگري كه براي محافظت از تنش ثانويه در گياه وجود دارد همان تنفس نوري است زيرا تنفس نوري در شرايط تنش سرما مي‌تواند مقداري از الكترون‌هاي توليد شده در فتوسيستم دو مورد مصرف نموده و دستگاه فتوسنتزي را در مقابل آسيب نوري ناشي از تنش سرما محافظت نمايد (Francheboud and Leipner, 2003). بهرحال روشن شدن وجود تنفس نوري و بررسي ميزان كارايي اين سازوكار در ژنوتيپ‌هاي مورد بررسي, نياز به تحقيق بيشتري دارد. استراير(Stryer, 1988) دريك مقاله مروري, بروگمان و لينگر (Bruggermann and Lnger, 1994) در آزمايشي بر روي گوجه فرنگي, اندروز و همكاران (Anderews *et al*., 1995) در مطالعه بر روي گياه ذرت،

جدول ۴- میانگین مؤلفه‌هاي فلئورسانس کلروفیل, عددکلروفیل‌متر وقدرت رویش ارقام برنج درتیماردماي پایین وشاهد

Table 4. Means of chlorophyll fluorescence attributes, SPAD value and vigore in rice genotypes under control (N) and low temperature (S) conditions

شماره ژنوتیپ Genotype No.	Fm:Fv		Φ_{PSII}		ETR		qN		qP		SPAD		رویش قدرت Vigor	
	شاهد N	تنش S	شاهد N	تنش S	شاهد N	تنش S	شاهد N	تنش S	شاهد N	تنش S	شاهد N	تنش S	شاهد N	تنش S
1	0.78	0.21	0.37	0.25	37.2	25.5	0.59	0.49	0.80	0.61	30.0	25.6	3.50	4.00
2	0.81	0.23	0.39	0.24	38.5	24.2	0.56	0.53	0.84	0.68	36.3	25.8	1.00	4.00
3	0.80	0.22	0.37	0.30	36.7	29.4	0.56	0.49	0.77	0.74	35.6	26.7	2.25	4.00
4	0.79	0.19	0.35	0.23	34.0	23.3	0.53	0.47	0.71	0.60	29.2	22.1	3.75	6.00
5	0.80	0.28	0.44	0.20	43.1	19.9	0.50	0.44	0.82	0.60	33.7	25.9	2.50	4.00
6	0.79	0.20	0.47	0.21	46.7	20.7	0.52	0.45	0.79	0.56	32.3	25.5	3.50	4.00
7	0.79	0.32	0.46	0.23	46.0	23.5	0.42	0.41	0.81	0.57	31.8	22.4	3.25	4.00
8	0.80	0.30	0.45	0.25	43.8	25.4	0.50	0.65	0.79	0.64	33.9	23.2	3.00	4.00
9	0.79	0.23	0.39	0.23	38.3	24.1	0.50	0.74	0.77	0.83	29.2	20.8	2.75	6.50
10	0.80	0.30	0.47	0.23	45.9	24.6	0.50	0.74	0.83	0.78	33.1	22.7	2.00	4.00
11	0.80	0.41	0.46	0.28	44.9	19.6	0.55	0.73	0.85	0.39	35.0	21.4	2.25	7.50
12	0.80	0.31	0.47	0.18	46.3	19.2	0.55	0.78	0.84	0.51	36.8	22.2	2.00	4.00
13	0.78	0.50	0.46	0.27	44.8	22.7	0.47	0.57	0.77	0.57	29.1	24.0	5.00	4.00
14	0.80	0.21	0.44	0.20	43.2	20.0	0.55	0.49	0.82	0.53	33.9	25.1	3.50	4.00
15	0.79	0.30	0.41	0.23	39.1	22.3	0.51	0.53	0.76	0.72	29.7	27.0	3.50	4.25
16	0.78	0.19	0.39	0.25	38.3	26.7	0.50	0.74	0.74	0.83	25.9	24.8	2.25	3.00
17	0.78	0.23	0.38	0.19	36.3	19.9	0.51	0.81	0.66	0.45	24.0	28.0	4.00	6.00
18	0.79	0.34	0.45	0.24	42.7	25.4	0.46	0.77	0.80	0.63	29.9	28.3	3.50	6.00
19	0.78	0.51	0.47	0.24	45.4	24.9	0.47	0.73	0.77	0.50	26.1	25.7	3.00	6.75
20	0.79	0.51	0.50	0.23	47.8	24.5	0.50	0.76	0.82	0.70	29.9	28.2	3.50	6.00
21	0.79	0.49	0.48	0.28	45.7	29.6	0.49	0.77	0.84	0.74	31.4	29.1	4.00	5.75
22	0.79	0.47	0.45	0.17	43.7	17.1	0.47	0.55	0.81	0.44	26.9	18.1	1.25	4.00
23	0.79	0.51	0.44	0.23	42.5	22.9	0.46	0.39	0.77	0.56	28.8	23.6	2.50	3.00
24	0.79	0.54	0.40	0.14	38.1	14.1	0.42	0.43	0.71	0.37	27.9	17.8	3.00	8.00
25	0.80	0.52	0.38	0.24	37.9	24.1	0.55	0.50	0.79	0.65	32.2	27.5	2.00	5.75
26	0.80	0.51	0.35	0.33	34.9	34.1	0.47	0.53	0.70	0.71	30.7	28.0	3.00	3.75
27	0.79	0.52	0.40	0.29	39.7	30.0	0.52	0.52	0.77	0.65	28.0	30.2	2.25	3.00
28	0.78	0.53	0.34	0.24	33.9	24.0	0.45	0.51	0.72	0.66	23.5	27.7	6.00	6.50
29	0.79	0.55	0.37	0.29	35.5	28.9	0.48	0.56	0.76	0.69	30.9	30.7	3.50	3.75
30	0.79	0.50	0.42	0.29	41.1	28.9	0.56	0.49	0.86	0.62	30.3	30.5	3.00	3.00
31	0.79	0.54	0.40	0.27	39.3	27.3	0.56	0.50	0.81	0.63	31.4	33.0	2.00	3.00
32	0.79	0.67	0.36	0.32	34.7	31.9	0.55	0.55	0.80	0.72	29.9	28.7	3.00	5.00
33	0.79	0.80	0.44	0.36	42.4	37.3	0.54	0.51	0.87	0.73	31.4	29.4	2.25	4.00
34	0.79	0.80	0.38	0.33	36.6	33.6	0.60	0.51	0.85	0.69	29.5	26.7	1.50	4.00
35	0.79	0.76	0.41	0.32	40.2	32.5	0.56	0.59	0.80	0.72	31.2	28.0	1.50	4.50
36	0.79	0.80	0.40	0.33	38.2	33.5	0.54	0.59	0.84	0.71	30.5	26.6	3.00	4.00
37	0.79	0.75	0.36	0.37	32.4	30.4	0.54	0.54	0.78	0.68	28.9	26.3	3.25	6.25
38	0.79	0.79	0.41	0.32	39.8	32.2	0.55	0.57	0.83	0.73	32.0	28.1	2.50	5.50
39	0.79	0.78	0.37	0.36	36.6	35.8	0.55	0.56	0.81	0.78	30.8	27.1	2.00	5.50
40	0.79	0.78	0.36	0.28	34.7	28.1	0.48	0.58	0.75	0.73	29.3	27.4	2.00	6.00
41	0.79	0.78	0.39	0.24	37.4	24.1	0.56	0.53	0.80	0.56	27.9	23.5	2.25	5.75
LSD 5%	0.103		0.098		10.76		0.103		0.149		7.575		1.137	
$S_{\bar{X}}$	0.037		0.035		3.873		0.037		0.054		2.726		0.409	

Table 4. Continued

ادامه جدول ۴

شماره ژنوتیپ Genotype No.	Fm:Fv		Φ_{PSII}		ETR		qN		qP		SPAD		رویش قدرت Vigor	
	شاهد N	تنش S	شاهد N	تنش S	شاهد N	تنش S	شاهد N	تنش S	شاهد N	تنش S	شاهد N	تنش S	شاهد N	تنش S
42	0.79	0.79	0.40	0.31	38.5	31.1	0.54	0.55	0.80	0.66	32.6	27.0	1.75	6.00
43	0.79	0.77	0.39	0.26	36.8	25.8	0.56	0.48	0.82	0.55	29.5	24.6	2.50	6.00
44	0.79	0.80	0.44	0.33	42.3	32.6	0.48	0.52	0.78	0.73	31.9	28.9	1.75	4.50
45	0.79	0.79	0.39	0.23	37.4	22.4	0.47	0.59	0.77	0.66	29.0	23.4	1.00	3.00
46	0.78	0.76	0.38	0.25	36.6	25.0	0.50	0.51	0.75	0.65	25.5	23.4	2.50	3.50
47	0.77	0.77	0.32	0.21	30.7	20.9	0.49	0.53	0.66	0.60	19.8	23.2	3.50	3.75
48	0.79	0.76	0.38	0.23	36.2	22.7	0.49	0.36	0.74	0.47	27.8	19.1	1.00	4.50
49	0.79	0.73	0.34	0.17	32.3	17.1	0.55	0.40	0.66	0.43	24.4	18.1	3.50	5.75
50	0.78	0.70	0.36	0.19	34.6	19.7	0.47	0.39	0.67	0.50	27.6	24.5	4.50	6.75
51	0.79	0.76	0.44	0.28	43.6	28.5	0.52	0.39	0.79	0.56	33.3	23.4	1.00	3.50
52	0.78	0.78	0.31	0.20	30.2	20.3	0.49	0.50	0.68	0.48	28.0	26.3	2.25	3.00
53	0.79	0.75	0.43	0.32	41.2	31.6	0.50	0.50	0.82	0.81	31.1	26.9	2.00	3.50
54	0.78	0.76	0.37	0.30	35.7	29.7	0.47	0.35	0.69	0.57	28.6	26.5	1.50	3.25
55	0.78	0.77	0.32	0.28	30.7	26.5	0.46	0.49	0.64	0.58	28.5	25.8	1.00	4.25
56	0.79	0.79	0.35	0.30	33.9	29.9	0.51	0.47	0.73	0.69	31.3	28.5	3.00	3.25
57	0.78	0.77	0.33	0.28	32.1	27.8	0.38	0.38	0.59	0.57	25.1	25.9	3.00	4.25
58	0.79	0.76	0.41	0.31	39.8	30.7	0.51	0.44	0.76	0.64	30.9	28.0	1.50	4.00
59	0.78	0.49	0.36	0.19	34.3	21.7	0.40	0.56	0.64	0.52	22.3	21.5	4.50	9.00
60	0.79	0.72	0.32	0.19	30.7	19.0	0.53	0.55	0.73	0.47	30.6	20.5	1.25	6.00
61	0.78	0.71	0.41	0.21	39.7	20.9	0.47	0.47	0.76	0.56	30.7	19.2	1.75	8.00
62	0.78	0.75	0.36	0.19	34.9	19.3	0.53	0.53	0.74	0.55	29.5	22.4	1.50	5.50
63	0.79	0.78	0.32	0.23	30.8	23.0	0.51	0.55	0.71	0.57	27.5	21.5	2.00	7.00
64	0.79	0.76	0.35	0.24	33.9	23.6	0.56	0.41	0.79	0.52	26.7	21.0	2.50	6.50
65	0.78	0.75	0.33	0.23	31.1	22.5	0.54	0.44	0.73	0.53	23.2	21.4	1.50	7.25
66	0.78	0.75	0.39	0.22	37.6	21.6	0.49	0.53	0.74	0.63	29.2	25.5	1.75	5.50
67	0.78	0.75	0.39	0.24	37.5	23.4	0.52	0.53	0.71	0.59	23.5	21.3	2.00	6.50
68	0.78	0.76	0.43	0.26	41.1	26.3	0.47	0.46	0.75	0.58	29.4	24.9	1.00	4.00
69	0.78	0.77	0.37	0.26	35.2	25.8	0.53	0.54	0.74	0.61	28.9	25.0	2.00	5.50
70	0.77	0.77	0.31	0.24	29.8	24.6	0.53	0.55	0.69	0.59	26.2	27.3	2.75	6.25
71	0.76	0.75	0.34	0.28	32.8	28.4	0.45	0.48	0.65	0.66	27.3	26.3	4.00	5.75
72	0.78	0.73	0.33	0.21	31.7	21.0	0.46	0.34	0.60	0.42	26.3	18.1	1.25	6.50
73	0.78	0.75	0.38	0.30	36.1	30.4	0.65	0.49	0.90	0.73	26.7	25.6	2.00	6.00
74	0.79	0.77	0.34	0.25	32.5	25.2	0.61	0.45	0.82	0.57	30.0	21.4	2.75	6.00
75	0.78	0.77	0.39	0.28	37.7	28.2	0.46	0.36	0.71	0.55	28.3	22.3	1.00	4.75
76	0.79	0.74	0.34	0.26	32.5	23.5	0.52	0.50	0.73	0.57	30.3	22.1	3.25	7.00
77	0.78	0.76	0.39	0.30	36.6	30.6	0.49	0.45	0.75	0.61	29.4	22.3	2.25	5.00
LSD 5%	0.103		0.098		10.76		0.103		0.149		7.575		1.137	
$S_{\bar{X}}$	0.037		0.035		3.873		0.037		0.053		2.726		0.409	

جدول ۵- ميانگين‌هاي وزن خشک بوته (گرم بر بوته) ژنوتيپ‌هاي برنج در تيمار دماي پايين وشاهد در سطح احتمال ۵%

Table 5. Means of shoot dry wieght (g plant^{-1}) in rice genotypes under control and low temperature condition using LSD 5%

ژنوتيپ شماره Genotype No.	وزن خشك بوته (گرم در بوته) Shoot d.wt g plant^{-1}		ژنوتيپ شماره Genotype No.	وزن خشك بوته (گرم در بوته) Shoot d.wt g plant^{-1}		ژنوتيپ شماره Genotype No.	وزن خشك بوته (گرم در بوته) Shoot d.wt g plant^{-1}	
	شاهد N	تنش S		شاهد N	تنش S		شاهد N	تنش S
1	0.92	0.54	27	0.85	0.42	53	1.05	0.82
2	0.89	0.82	28	0.36	0.19	54	0.68	0.45
3	1.11	0.56	29	0.76	0.36	55	0.52	0.49
4	0.46	0.29	30	1.03	0.44	56	0.84	0.44
5	0.92	0.64	31	0.99	0.58	57	0.59	0.36
6	1.36	0.44	32	0.67	0.29	58	0.78	0.53
7	0.78	0.35	33	1.34	1.02	59	0.89	0.24
8	0.83	0.29	34	1.23	0.97	60	0.79	0.74
9	0.64	0.34	35	0.59	0.40	61	0.67	0.59
10	0.63	0.55	36	1.36	1.04	62	0.47	0.41
11	0.58	0.58	37	0.33	0.26	63	0.67	0.45
12	0.75	0.68	38	0.52	0.42	64	0.60	0.34
13	0.70	0.23	39	0.42	0.32	65	0.49	0.39
14	0.86	0.36	40	0.41	0.39	66	0.57	0.56
15	0.66	0.38	41	0.40	0.40	67	0.57	0.50
16	1.02	0.43	42	0.50	0.50	68	0.70	0.54
17	0.64	0.23	43	0.38	0.36	69	0.55	0.52
18	0.60	0.33	44	1.35	1.14	70	0.50	0.40
19	0.41	0.32	45	1.29	0.87	71	0.45	0.24
20	0.49	0.31	46	0.76	0.47	72	0.62	0.57
21	0.72	0.27	47	0.58	0.26	73	0.62	0.38
22	0.98	0.86	48	0.50	0.47	74	0.65	0.46
23	0.78	0.36	49	1.13	0.45	75	0.73	0.39
24	0.59	0.35	50	0.75	0.58	76	0.34	0.32
25	0.58	0.48	51	1.14	0.80	77	0.51	0.42
26	0.92	0.29	52	0.80	0.43			
LSD5%		0.278						
$S_{\bar{X}}$		0.100						

گري و همکاران (Gray *et al*., 1997) در يک مقاله مروري، نتايج مشابهي را گزارش کرده‌اند. کارآيي دستگاه فتوسنتزي در انتقال الکترون وتوليد فرآورده‌هاي چرخه روشنايي فتوسنتز (ATP و NADPH) همبستگي بالايي با ميزان تحمل تنش سرما در ژنوتيپ‌هاي مختلف دارد (Francheboud and Leipner, 2003).

مؤلفه qN (که نمايانگر خاموشي غيرفتوشيميايي الکترون بوده و تخميني از زوال غيرتشعشعي و اتلاف حرارتي از مولکول‌هاي کلروفيل آنتن در فتوسيستم دو مي‌باشد) به طور غيرمستقيم ولي با دقت زياد، عدم کارآيي چرخه تاريکي فتوسنتز را نشان مي‌دهد. نتايج تجزيه واريانس در اين مطالعه نشان داد که هر چند سطوح فاکتور اصلي اختلاف آماري معني‌دار نداشت،

ولي سطوح فاكتور فرعي و اثرات متقابل آن‌ها داراي اختلاف معني‌داري با يكديگر بودند (جدول ۳). بيشترين مقدار اين مؤلفه در شرايط تنش ديده شد. در اين آزمايش، بيشترين ميزان خاموشي غيرفتوشيميائي الكترون مربوط به لاين ۱۷ با منشاء كره به ميزان۰/۸۱ در شرايط تنش بود، و جالب توجه اينكه كمترين مقدار آن نيز در شرايط تنش، و در لاين اميدبخش (ژنوتيپ شماره ۷۲) از ايران به مقدار۰/۳۳ ديده شد (جدول ۴).

مؤلفه ديگري كه در تحقيق مورد بررسي قرار گرفت qP يا "خاموشي فتوشيميايي الكترون" بود كه نشان‌دهنده كاركرد فتوشيميايي دستگاه فتوسنتزي است، و ارتباط مستقيمي با توليد ATP و NADPH به عنوان گيرنده‌هاي اصلي الكترون‌هاي برانگيخته در چرخه روشنايي دستگاه فتوسنتزي دارد. نتايج به دست آمده نشان داد كه اين مؤلفه به طور معني‌داري تحت تأثير رقم و تنش سرما و اثر متقابل آن‌ها بوده است (جدول ۳). در شاهد مقدار qP به طور معني‌داري بيش از شرايط تنش دماي پايين بود (جدول ٤)، به طوريكه در تيمار شاهد بيشترين و كمترين مقدار اين مؤلفه مربوط به دو رقم ايراني هاشمي و فجر با به ترتيب ۰/۹۰۳ و ۰/۵۹ ديده شد. در شرايط تنش سرما، لاين ۱۶ از هند (۰/۸۳) بالاترين و لاين ۲۴ با منشاء IRRI با ۰/۳۷۳ در شرايط تنش، پايين‌ترين ميزان خاموشي فتوشيميايي الكترون را داشتند (جدول ۴). اين موضوع نشان مي‌دهد كه توليد حامل‌هاي انرژي (ATP و NADPH) كاهش يافته و به طور همزمان اتلاف حرارتي (qN) انرژي افزايش يافته است. شايبر و همكاران (Sheiber *et al.*, 1995) اظهار داشتند كه خاموشي غيرفتوشيميايي كلروفيل برانگيخته، نشان‌دهنده اتلاف غيرتشعشعي انرژي جذب شده توسط فتوسيستم بوده و برطرف كننده برانگيختگي الكترون مي‌باشد. اين برانگيختگي بيشتر از طريق دفع گرمايي، و توزيع مجدد انرژي الكترون برانگيخته از فتوسيستم دو به فتوسيستم يك صورت مي‌گيرد.

لي (Lee, 2001) اظهار داشت كه دماي كمتر از ۱۵ درجه سانتي‌گراد در مرحله رويشي برنج، سبب كاهش فتوسنتز و بازداري متابوليسم كربن، ارتفاع گياه، رشد ريشه و وزن ماده خشك مي‌گردد. با استفاده از روش غربال توسط فلئورسانس كلروفيل، نتايج مشابه‌اي قبلاً توسط بيكر و ني (Baker and Nie) در بررسي روش‌هاي مختلف انتخاب برنج براي تحمل سرما در نپال، گياهچه‌هاي گوجه فرنگي تحت نور كم و سرما (Bruggemann and Linger, 1994)، عملكرد فتوسنتز ذرت در مواجهه با تنش سرما (Anderews *et al.*, 1995) و در آزمايش كاربرد فلئورسانس كلروفيل براي مطالعه تنش‌هاي نور، دما و خشكي (Sthapit *et al.*, 1995) گزارش شده است.

نتايج تجزيه واريانس نشان داد كه ارقام برنج و تيمارهاي دما از نظر عدد كلروفيل‌متر در سطح يك درصد اختلاف معني‌دار داشته‌اند در حاليكه اثر متقابل آن‌ها اختلاف معني نشان نداد (جدول ۳). مقدار اين مؤلفه در شاهد، به طور طبيعي بيشتر از شرايط تنش بود (جدول ٤) . كاهش عدد كلروفيل‌متر نشانگر كاهش مقدار كلروفيل در گياه بوده و معمولاًبراي يك ژنوتيپ در شرايط بهينه عدد نسبتاً ثابتي است. در اين مطالعه بيشترين و كمترين مقدار اين مؤلفه در تيمار شاهد، در لاين ۱۲ با منشاء تركيه و لاين ۴۷ از IRRI به ترتيب به ميزان ۸۴/۳۶ و۱۹/۸۱ به دست آمد. در شرايط تنش، بيشترين و كمترين مقدار آن مربوط به لاين‌هاي ۳۱ و ۲۴ به ترتيب با منشاء هند و IRRI به ميزان۳۲/۹۶ و ۱۷/۷۸ بود. از ميان ۲۸ واريته ايراني مورد آزمايش در شاهد رقم عنبوري قرمز با مقدار۳۳/۲۹ بيشترين، و رقم هويزه (۲۲/۲۷) كمترين مقدار عدد كلروفيل‌متر را داشتند، در حاليكه در تنش سرما رقم گرده زنجان بالاترين (۲۸/۴۵) و واريته اميدبخش (۱۸/۱۴) پايين‌ترين مقدار قرائت شده اين مؤلفه را داشتند (جدول ٤).

نتايج تجزيه واريانس نشان داد كه سطوح فاكتور اصلي و فرعي و اثر متقابل آن‌ها اختلاف معني‌داري از

نظـر قـدرت رويـش گياهچـه بـا يكـديگر داشـته‌انـد (جدول ۳). تنش سرما بطور معني‌داري قدرت رويـش را كـاهش داد (از نظـر عـددي بزرگتـر؛ جـدول٤). بهتـرين قدرت رويش در شرايط تنش سرما متعلق به ژنوتيپ‌هاي ۱٦, ۲۳ , ۲۷, ۳۰, ۳۱, ٤٥ و لايـن LD183, بـا ميـزان قـدرت رويـش بـا مقـدار عـددی ۳ (خـوب) بودنـد, در حاليكه بدترين قـدرت رويـش در رقـم هـويزه بـا منـشاء ايران با مقدار عددي ۹ (مرگ كامـل) در شـرايط تـنش ديده شد.

اين بررسـي نـشان داد كـه در هـر دو حالـت تـنش و بدون تنش، Φ_{PSII} داراي بيشترين همبستگي به ترتيـب بـا ETR، عـدد كلروفيـل متـر و qP بـود (جـدول ٦ و ۷). همبستگي بالايي بـين Φ_{PSII} و ETR، qP و Fv:Fm وجـود داشته اسـت و ايـن موضـوع بخـوبي نـشان مـي‌دهـد كـه عملكرد كوآنتومي بيشتر, به طور غيرمستقيم نشان‌دهنـده سلامت دستگاه فتوسـنتزي, و قـدرت رويـش بهتـر گيـاه بوده است (جداول ٦ و ۷).

تجزيه وتحليل رگرسيون گام به گام نشان داد كـه در تيمـار شـاهد, از بـين صـفات مورفولوژيـك , بيـشترين همبستگي بين قدرت رويش و وزن خشک انـدام هـوايي برقرار بوده, در حاليكه در تنش سرما عكس ايـن حالـت اتفاق افتاده و بيشترين همبـستگي قـدرت رويـش بـا وزن خشک ريشه ديده شد. به اين معني كه در شـرايط تـنش سـرما, وزن خـشک ريـشه نـسبت بـه وزن خـشك انـدام هوايي, شاخص بهتري براي نشان دادن برتري لاين بـوده و بيان‌كننده تحمل بيـشتر گياهچـه بـرنج در تـنش سـرما بوده است (جدول ۸).

اطلاعات جدول ۸ نشان مي‌دهد كه در هـر دو سـطح شاهد و تنش بيشترين همبستگي قدرت رويش، در كليـه ژنوتيپ‌ها باعدد كلروفيل متر بوده است. ايـن امـر بـدين معنا است كه توانايي حفظ كلروفيل توسـط گيـاه, سـبب بهتر شدن وضعيت قدرت رويش گياهچه گرديده اسـت. چنـين همبـستگي قـبلاً توسـط فرانـسيس و پيكيلـگ (Fransis and Piekielek, 2000) در آزمـايش تعيـين نيـاز گياه ذرت به نيتروژن با استفاده از كلروفيل متر, گـزارش شده است.

در اين تحقيق با توجه به نتايج به دست آمده مي‌توان چنين استنتاج نمود كه كاهش Φ_{PSII} و Fv:Fm عمدتاً به خاطر وقوع آشفتگي در كلروپلاست بوده و كاهش عدد كلروفيـلمتـر نيـز ايـن موضـوع را تأييـد مـي‌كنـد؛ زيـرا فلئورسانس كلروفيل به طور مستقيم به فعاليـت كلروفيـل در مركز واكنش فتوسيستم‌ها ارتباط داشته و مـي‌تـوان از آن به عنوان معياري براي اندازه‌گيـري كـارآيي فتوسـنتز مورد استفاده نمـود. بـزاز (Bazzaz, 1996) اظهـار داشـت كه فلئورسانس كلروفيل يك سنجش تلفيقـي, مـستقيم و مفيد از عملكرد فتوسنتزي گياه تحت تنش است. زمـاني كه فتوسيستم دو نور را جذب كـرده و كينـون A (اولـين پذيرنـده الكتـرون) يـك الكتـرون را پـذيرفت, ديگـر نمي‌تواند الكترون ديگـري را دريافـت كنـد مگـر اينكـه آن را بـه كينـون B منتقـل نمايـد. در طـي ايـن دوره, مركـز واكـنش فتوسيـستم دو اصـطلاحا" بـسته اسـت (Francheboud and Leipner, 2003) و بسته بـودن مركـز واكنش منجر به احياء دستگاه فتوسنتزي و افزايش ميـزان فلئورسانس مي‌شود. وقتي يك برگ از تاريكي بلافاصله به روشنايي منتقل مي‌گردد, مركز واكنش فتوسيـستم دو سريعاً بسته شده و در اولين لحظات دريافت نور, افزايش ميزان فلئورسانس كلروفيل مشاهده مي‌شود. انـدكي بعـد ميزان فلئورسانس مجدداً كاهش مي‌يابـد, زيـرا بـه سـبب القاي نوري, فعاليت آنـزيم‌هـايي متابوليـسم كـربن و بـاز شـدن روزنـه‌هـا زيـاد شـده و افزايـشي در سـرعت انتقـال الكتـرون از فتوسيـستم دو بـه فتوسيـستم يـك بـه وجـود مـي‌آيـد كـه بـه آن خاموشـي فتوشـيميايي الكتـرون(qP) گفتـه مـي‌شـود. ايـن موضـوعپ بخـوبي نشان مي‌دهد كه چـرا ژنوتيـپ‌هـاي متحمـل qP بيـشتري داشته و كارايي آن‌ها در تنش سرما نيز بالاتر بـوده اسـت (Maxwell and Johnson, 2000).

فرانكبود و ليپنـر (Francheboud and Leipner, 2003) اظهار داشتند كه ETR وqP با افزايش تنش آبي و كاهش

جدول ۶- همبستگي بين صفات فلئورسانس کلروفيل, عدد کلروفيل متر و قدرت رويش ارقام برنج در تيمار شاهد

Table 6. Correlation between chlorophyll fluorescence attributes, SPAD value, and vigor in rice genotypes, under control condition

	Fv:Fm	Φ_{PSII}	ETR	qN	qP	SPAD	Vigor
Fv: Fm	1						
Φ_{PSII}	0.429**	1					
ETR	0.991**	0.452**	1				
qN	0.037^{ns}	0.023^{ns}	0.210**	1			
qP	0.510**	0.526**	0.645**	0.653**	1		
SPAD	0.573**	0.258**	0.227**	0.504**	0.547**	1	
Vigor	-0.200^{ns}	-0.226**	-0.519**	-0.098^{ns}	-0.365**	-0.235**	1

* and **: Significant at 1% Probability level, respectively.

ns: Non- significant

* و ** : به ترتيب معني دار در سطح احتمال یک درصد.

ns : غير معني دار

جدول ۷- همبستگي بين صفات فلئورسانس کلروفيل,عدد کلروفيل متر و قدرت رويش ارقام برنج در تيمار دمای پایین

Table 7. Correlation between chlorophyll fluorescence attributes, SPAD, and vigor in low tempertuer stress in rice genotypes

	Fv:Fm	Φ_{PSII}	ETR	qN	qP	SPAD	Vigor
Fv: Fm	1						
Φ_{PSII}	0.199**	1					
ETR	0.903**	0.218**	1				
qN	0.022^{ns}	-0.020^{ns}	-0.154^{ns}	1			
qP	0.445**	0.334**	0.684**	0.595**	1		
SPAD	0.552**	0.450**	0.145*	0.588**	-0.001^{ns}	1	
Vigor	-0.349**	-0.437**	-0.331**	-0.308**	-0.380**	-0.316**	1

* and **: Significant at 1% Probability level, respectively.

ns: Non- significant

* و ** : به ترتيب معني دار در سطح احتمال یک درصد.

ns : غير معني دار

جدول ۸- نتايج رگرسيون گام به گام ژنوتيپ‌هاي برنج در شرايط دماي پايين و شاهد

Table 8. Stepwise regression for rice genotypes under low temperature and control conditions

		بیشترین همبستگی	
صفت وابسته Dependent	صفات مستقل Indepentent	شاهد Control	تنش Stress
قدرت رویش Vigor	صفات مورفولوژيك Morphological characteristics	وزن خشك اندام هوایی Shoot dwt 51.9† 0.66**‡	وزن خشك ریشه Root dwt 47.0 0.63**
	مؤلفه هاي فلئورسانس متري Fluorescence Parameters(alone)	Fv:Fm 22.8 0.59**	qP 30.1 0.63**
	مؤلفه هاي فلئورسانس متري+SPAD Fluorescence Parameters+ SPAD	SPAD 36.0 0.57**	SPAD 41.0 0.61**

† , ‡ و ** : به ترتيب درصد از کل همبستگي , ضريب همبستگي (r) و معني دار در سطح احتمال ۱ درصد.

†, ‡ and ** : Percent of total correlation , correlation coefficient (r) and significant at p< 0.01, respectively

جدول ۹- ميانگين‌هاي وزن خشک ريشه (گرم بر بوته) ژنوتيپ‌هاي برنج درتيمار دماي پايين وشاهد در سطح احتمال ۵%

Table 9. Means of root dry wieght (g $plant^{-1}$) in rice genotypes under control and low temperature condition using LSD 5%

ژنوتيپ شماره Genotype No.	وزن خشك ريشه (گرم در بوته) Root d.wt g $plant^{-1}$ شاهد N	تنش S	ژنوتيپ شماره Genotype No.	وزن خشك ريشه (گرم در بوته) Root d.wt g $plant^{-1}$ شاهد N	تنش S	ژنوتيپ شماره Genotype No.	وزن خشك ريشه (گرم در بوته) Root d.wt g $plant^{-1}$ شاهد N	تنش S
1	0.120	0.079	27	0.180	0.060	53	0.220	0.095
2	0.140	0.110	28	0.145	0.030	54	0.130	0.068
3	0.180	0.094	29	0.150	0.050	55	0.090	0.075
4	0.050	0.035	30	0.145	0.070	56	0.140	0.100
5	0.110	0.051	31	0.150	0.100	57	0.100	0.055
6	0.180	0.075	32	0.130	0.065	58	0.130	0.070
7	0.380	0.160	33	0.155	0.135	59	0.110	0.040
8	0.100	0.050	34	0.160	0.129	60	0.080	0.060
9	0.080	0.056	35	0.110	0.085	61	0.085	0.080
10	0.085	0.080	36	0.165	0.123	62	0.065	0.060
11	0.080	0.065	37	0.035	0.070	63	0.105	0.060
12	0.110	0.110	38	0.100	0.050	64	0.190	0.145
13	0.120	0.050	39	0.080	0.045	65	0.065	0.035
14	0.155	0.050	40	0.060	0.040	66	0.100	0.095
15	0.085	0.075	41	0.065	0.060	67	0.080	0.060
16	0.195	0.065	42	0.105	0.020	68	0.100	0.065
17	0.105	0.020	43	0.080	0.070	69	0.065	0.055
18	0.120	0.060	44	0.153	0.125	70	0.055	0.035
19	0.070	0.040	45	0.225	0.093	71	0.035	0.030
20	0.080	0.053	46	0.115	0.065	72	0.085	0.055
21	0.120	0.060	47	0.100	0.045	73	0.085	0.045
22	0.175	0.125	48	0.105	0.100	74	0.090	0.055
23	0.145	0.040	49	0.170	0.085	75	0.120	0.060
24	0.045	0.045	50	0.130	0.070	76	0.065	0.030
25	0.090	0.090	51	0.240	0.130	77	0.075	0.055
26	0.210	0.050	52	0.135	0.100			
LSD5%		0.044						
S_{X}^{-}		0.0158						

هدايت روزنه‌اي، كاهش مي‌يابند. از آنجا كه يكي از اثرات غيرمستقيم تنش سرما عدم واكنش روزنه‌ها به تغييرات محتواي رطوبتي گياه و ايجاد تنش آبي است (Baker and Nie, 1994)، وجود چنين ارتباطي در اين آزمايش تا حدودي منطقي به نظر مي‌رسد؛ هرچند روشن شدن وجود اين ارتباط در بين ژنوتيپ‌هاي مورد بررسي، نياز به تحقيق بيشتري دارد.

در بين ژنوتيپ‌هاي مورد مطالعه, ژنوتيپ‌هاي شماره ۳۳, ۳۴, ۳۶ و ۴۴ بيشترين ميزان توليده ماده خشك اندام هوايی و ريشه را در شرايط تنش دمای پائين داشته‌اند (جداول ۵ و ۹). تنش دمای پائين در اين بررسي, سبب

کــاهش تــوان دســتگاه فتوســنتز در تولیــد انــرژي، اسیملاسیون CO_2 در چرخه تاريكي فتوسنتز گرديـده و مستقيماً توليد كربوهيدرات‌ها را كاهش داد كـه كـاهش وزن خــشك انــدام هــوايي و ريــشه ايــن موضــوع را تأييــد مــي‌كنــد. نتــايج مــشابهي در بررســي متابوليــسم كربن و تـنفس نـوري (Leegood and Edwards, 1996)، فتوسنتز ((Allen and Ort, 2001) و مؤلفه‌هاي اكسيدايتو (Ort, 2002) تحت تنش دماي پايين، گزارش شده است.

ايــن مطالعــه نــشان داد كــه مؤلفــه Fv:Fm يكــي از بهتـرين شـاخص‌هـاي انتخـاب ژنوتيـپ‌هـاي متحمـل بـه تنش سرما است. بيكر و نيـي (Baker, Nie, 1994) اظهـار داشتند كه براي بررسي تفـاوت تحمـل بـه سـرما در بـين ژنوتيپ‌هاي مختلف بـرنج مـي‌تـوان از كـاهش عملكـرد كوآنتــومي نيــز اســتفاده نمــود. اســتاپيت و همكــارانش (Sthapit *et al.*, 1995) اعلام داشتند كه سرمازدگي باعث كاهش Fv:Fm در برنج مـي‌گـردد. آن‌هـا پيـشنهادكردند كــه مــي‌تــوان بــا انتخــاب لايــن‌هــايي كــه در شــرايط تــنش ســرما عملكــرد كوآنتــومي بــالاتري دارنــد، ژنوتيپ‌هـاي متحمـل بـه سـرما را غربـال نمـود. آدامـز و همكـارانش (Adams *et al.*, 1995) بـا بررسـي منـابع مختلـف نتيجـه گرفتنـد كـه مؤلفـه Fv:Fm مـي‌توانـد معيـار مفيــدي بــراي تعيــين ميــزان تحمــل بــه تــنش سرما در گياهان مختلـف حتـي شـدت‌هـاي نـور كـم بـه كار رود.

نتيجه‌گيري

باتوجـه بـه نتـايج ايـن آزمـايش، مؤلفـه Fv:Fm يـا حـداكثر عملكـرد كوآنتـومي فتوسيـستم دو در شـرايط سازگار شده با تاريكي، و از بين صـفات مورفولوژيـك ، وزن خشك ريشه در شرايط تـنش دمـاي پـائين، بهتـرين معيارهاي انتخاب لاين‌هاي متحمل مي‌باشد. علاوه بر اين در بين ۷۷ ژنوتيپ مورد بررسي، لاين‌هاي ۳۳، ۳۴و ۳٦ با منشاء IRRI و لاين ۴۴ با منشاء فيليپين، با توجه به قدرت رويش بهتر در شرايط تنش، بالاتر بودن Fv:Fm، از ساير ارقام برتر بوده و مي‌توان از آن‌ها به عنوان ژنوتيـپ‌هـاي مناسب در برنامه‌هاي به‌نـژادی بـراي تحمـل تـنش سـرما استفاده نمود. ازطرفي دربين كليه ژنوتيپ‌ها، رقم ايرانـي هويزه، بيشترين حساسيت را به تنش دمای پائين داشـت، كه مي‌توان از آن به عنوان شاهد حـساس در برنامـه‌هـاي به‌نژادی برنج استفاده نمود.

سپاسگزاري

بـدين وسـيله از مـديريت پژوهـشكده بيوتكنولـوژي كشاورزي به ويژه بخش فيزيولوژي به خاطر همكاري‌هـا و مساعدت‌هايشان در تمامي مراحل اجرايي اين تحقيـق، تشكر و سپاسگزاري مي‌گردد.

References

Adams, W. W., B. Demming-Adams, A. S. Verhoven and D. H. Barker. 1995. Photo inhibition during winter stress-involvement of sustained xanthophylls cycle-dependent energy dissipation. Aust. J. Plant Physiology. 122: 261-267.

Adams, W.W., K. Winter, U. Schreiber and P. Schramel. 1990. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics in relation to changes in pigment and element composition of leaves of Playanus occidentalis L. during autumnal leaf senescence. Plant Physiology. 93: 1184-1190.

Allen, D. J. and D. R. Ort. 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. Trends in Plant Science. 6: 36-42.

Anderews, 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. Expt. Botany. 46: 1195-1203.

Baker, N. R. and E. Rosenquist. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. J. Expt. Botany. 403: 1607-1621.

Baker, N. R. and G. Nie. 1994. Chilling sensitivity of photosynthesis in maize. In: Baja YPS (ed.) Biotechnology of Maize. Berlin: Springer- Verlag. 465-481.

Barbagallo, R. P., K. Oxborough, K. E. Palette and N. R. Baker. 2003. Rapid, non-invasive screening for perturbations of metabolism and plant growth using chlorophyll fluorescence imaging. Plant Physiology. 132: 485-493.

Bazzaz, F.A. 1996. Plants in changing environments: linking physiological population and community ecology. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 124-152.

Berg, D., K. Tiejten, D. Wollweber and R. Hain. 1999. From genes to targets: impact of genomics on herbicide discovery. Proceedings of the BCPC Conference – Weeds. 26-30 Sep. 1999. Italy.

Bruggemann, W. and P. Linger. 1994. Long-term chilling of young tomato plants under low light. IV. Differential responses of chlorophyll fluorescence quenching coefficients in lycopersicon species of different chilling sensitivity. Plant and Cell Physiology. 35: 585-591.

Cerovic, Z. G., G. Samson, F. Morales, N. Tremblay and I. Moya. 1999. Ultraviolet-induced fluorescence for plant monitoring: present stage and prospects. Agronomic. 19: 543-578.

Evans, D. A. 1999. How can technology feed the world safely and sustainably. In: Brooks, G. T., T. R. Roberts (eds.). Pesticide chemistry and bioscience: the food- environment challenge. London, UK. Royal Society of Chemistry. 3-24.

Francheboud, Y. and J. Leipner. 2003. The application of chlorophyll fluorescence to study light, temperature and drought stress. In: De-Ell, J.R., P. M. A. Tiovonen (eds.). Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology. Boston: Kluwer Academic Publishers. 125-150.

Fransis, D., D. Piekielek. 2000. Assessing crop nitrogen needs with chlorophyll meters. The Site-Specific Management Guidelines Series is published by the Potash and Phosphate Institute (PPI). Coordinated by South Dakota State University (SDSU). 237p.

Fryer, M. J., K. Oxborough, B. Martin, D. R. Ort and N. R. Baker. 1995. Factors associated with the depression of photosynthetic quantum efficiency in maize at low growth temperatures. Plant Physiology. 108: 761-767.

Greegorio, G. B., D. Senenadhira and D. Mendoza. 1997. Screening rice for salinity tolerance. IRRI Discussion Paper Series Number 22. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

Genty, B., J. Briantais and N. Baker. 1989. The relationship between quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Biochemical Biophysica Acta. 990: 87-92

Gray, G. R., L. P. Cauvin, F. Sarhan and N. P. A. Huner. 1997. Cold acclimation and freezing tolerance. A complex interaction of light and temperature. Plant Physiology. 114: 467-474.

Lee, M. H. 2001. Low temperature tolerance in rice: the Korean experience. Increased lowland rice in the Mekong region edited by Fukai and Jaya Basnayake.ACIAR Proceeding. 101:109-117.

Leegood, R. C. and G. E. Edwards. 1996. Carbon metabolism and photorespiration: temperature dependence in relation to other environmental factors. In: Baker, N. R. (ed.). Photosynthesis and the environment. 191-221pp. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Maxwell, K. and G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence- a practical guide. J. Expt. Botany. 345: 659-668.

Nie, G. Y. and N. R. Baker. 1991. Modifications to thylacoid composition during development of maize leaves at low growth temperatures. Plant Physiology. 95: 184-191.

Oquist, G. and N. Hunner. 1991. Effects of cold acclimation on the susceptibility of photosynthesis to photo inhibition in Scots pine and in winter and spring cereals: a fluorescence analysis. Functional Ecology. 5: 91-100.

Ort, D. R. 2002. Chilling-induced limitations on photosynthesis in warm climate plants: contrasting mechanisms. Environmental Control in Biology. 40: 7-18.

Oxborough, K. 2004. Using chlorophyll fluorescence imaging to monitor photosynthetic performance. 254-298. In: Papa Georgiou, G. and E. D. S. Govindjee. Chlorophyll fluorescence: a signature of photosynthesis. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Sheiber, V. and V. B. W. Schliwa. 1986. Continuous recording of photochemical and non- photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorimeter.Photosynthetic Research. 10: 51-62

Sthapit, B. R., J. R. Witcombe and J. M. Wilson. 1995. Methods of selection for chilling tolerance in Nepalese rice by chlorophyll fluorescence analysis. Crop Sci. 35: 90-94.

Stryer, L. 1988. Biochemistry, 3rd edition. WH Freeman and Company, New York. 1089 pp

Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. IRRI, Los Banos, Philippines. 35p.

Screening of rice genotypes for low temperature stress- using chlorophyll fluorescence

Hassibi[1], P., F. Moradi[2] and M. Nabipour[3]

ABSTRACT

Hassibi, P., F. Moradi and M. Nabipour. 2007. Screening of rice genotypes for low temperature stress-using chlorophyll flourescence. Iranian Journal of Crop Sciences. 9(1): 14-31.

Rice is a tropical and sub-hopical crop, which is sensitive to low temperature. Chlorophyll fluorescence is a common method for crop screening and monitoring of photosynthesis fluctuations under abiotic stresses. In this experiment, 77 rice genotypes including 49 line of International Rice Cold Tolerance Nursery (IRCTN 2005) and 28 Iranian rice were tested in split plot arrangement using compbility Randomized Design (CRD) in phytotrone for screening and monitoring of their performance. Variences International Rice Research Institute (IRRI) scoring system used for ranking of genotypes at normal and stress conditions. Chlorophyll fluorescence attributes, Chlorophyll content (SPAD values) as well as root and shoot dry weight were measured. Results showed that in low temperature 13/15 ^{o}C (night/ day, respectively) qP, ETR, Φ_{PSII}, Fv:Fm, SPAD value and vigor of seedlings as well as root and shoot dry weight significant 7 reduced as compared with normal temperature 22/29 ^{o}C (night/day, respectively). Among genetypes of IRCTN No. 33, 34, 36 and 44 (the Philippines) had the highest values and stability of Fv:Fm and Φ_{PSII} parameters in low and normal temperatures while Hoveizeh (from Iran) had the lowest tolerance to low temperature. In addition, there was a highly significant correlation between root dry matter and vigor, showing sensitivity of root to low temperature. Therefore, this parameter could be used as a criterion for selection of tolerant cultivars and genotypes to low temperatuer stress.

Key words: Chlorophyll fluorescence, Low temperatuer stress, Rice, Screening, SPAD value.

Received: February, 2007

1- Ph. D. student, The University of Shahid Chamran. Ahvaz, Iran.
2- Assistant Professor, Agricultural Biotechnology Research Institute, Karaj, Iran. (Corresponding authour)
3- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, The University of Shahid Chamran. Ahvaz, Iran.