تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۵ شماره ۴، اسفند ماه ۱۳۹۱

ارزیابی فلورسانس کلروفیل و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام بهاره کلزا (Brassica napus L.) تحت تنش شوری

محمد عظیمی گندمانی[۱]، اشکبوس دهداری[۲]*، هوشنگ فرجی[۳]، محسن موحدی دهنوی[۴] و مصطفی علی نقی زاده[۵]

۱- مربی آموزشی، گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه یاسوج

۲*- **نویسنده مسؤول:** استادیار گروه زراعت واصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج (adehdari@mail.yu.ac.ir)

۳و۴- استادیاران گروه زراعت واصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج

۵- مربی آموزشی، گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه یاسوج

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۱۳

چکیده

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ به منظور ارزیابی فلورسانس کلروفیل و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام بهاره کلزا تحت تنش شوری در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. عامل اول شامل چهار سطح شوری ۱/۹۲(شاهد)، ۹/۸۷، ۱۹/۶ و ۲۱/۹۴ دسی‌زیمنس بر متر (حاصل از کلریدسدیم و کلریدکلسیم با نسبت مولی ۲۰ به ۱ در محلول هوگلند) و عامل دوم هشت رقم کلزای بهاره شامل (Hyola 330، PP-401-15E، RGSoo، Oftion 500، Hyola 60، Hyola 401، PP-308-8 و PP-401-16) بودند. پارامترهای فلورسانس کلروفیل (حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو (Fv/Fm)، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو (ΦPSII)، خاموشی فتوشیمیایی(qp) محتوی کلروفیل و مؤلفه خاموشی غیر فتوشیمیایی (qN))، محتوای پرولین، عملکرد دانه و روغن اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد رقم Hyola 60 که از نظر صفات ΦPSII ، Fv/Fm (در مرحله رویشی و زایشی)، خاموشی فتوشیمیایی، کلروفیل a، کلروفیل b، مجموع کلروفیل a وb، ماده خشک کل، عملکرد دانه و عملکرد روغن در سطوح بالای شوری نسبت به سایر ارقام میانگین بالاتری داشت به عنوان رقم متحمل به شوری و رقم PP-401-15E که در سطوح بالای شوری، پایین‌ترین رتبه در تمام صفات مورد بررسی بجز مؤلفه خاموشی غیر فتوشیمیایی را به خود اختصاص داده بود، به عنوان رقم حساس به شوری ارزیابی شد.

کلید واژه ها: کلزا، پرولین، تنش شوری، فلورسانس کلروفیل، محتوای کلروفیل

مقدمه

افزایش غلظت نمک‌ها در محلول خاک یا در آب آبیاری، از کهن‌ترین مشکلات کشاورزی و محیط زیست در سطح جهانی به شمار می‌رود (آبرول و یدو[۱]، ۱۹۸۸). وجود املاح زیاد در خاک یا آب آبیاری، گیاه را با تنش شوری مواجه می‌سازد (اشرف و مک‌نیلی[۲]، ۲۰۰۴). میزان فلورسانس کلروفیل می‌تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش‌های محیطی و میزان خسارتی که تنش به گیاه وارد می‌کند را به خوبی نشان دهد (پوولز[۳]، ۱۹۸۴؛ زاو و همکاران[۴] ۲۰۰۷). فتوسیستم دو بسیار حساس به عوامل بازدارنده محیطی است (پوولز، ۱۹۸۴) و تنش شوری موجب خسارت به مراکز واکنش فتوسیستم دو می‌شود (پوولز، ۱۹۸۴). تنش شوری موجب افزایش فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر، فلورسانس اولیه و کاهش حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار شده با تاریکی می‌شود

1- Abrol & Yadav
2- Ashraf & McNeilly
3- Powles
4- Zhao *et al.*

(زاو و همکاران، ۲۰۰۷). تنش شوری با ایجاد تنش ثانویه خشکی، منجر به بسته شدن روزنه‌ها در گیاه تحت تنش می‌گردد (فرانش‌بود و لیپر[1]، ۲۰۰۳)؛ و با توجه به اینکه چرخه احیای نوری فتوسیستم از کارایی کم تری نسبت به احیای CO_2 برخوردار است؛ در برخی از گیاهان زراعی نظیر برنج، گندم و کلزا موجب کاهش میزان انتقال الکترون و همچنین کاهش خاموشی فتوشیمیایی می‌گردد و در مقابل، باعث افزایش میزان خاموشی غیر فتوشیمیایی، که به عنوان یک شیر ایمنی، در فتوسیستم دو عمل می‌کند شده و بخش بیشتری از انرژی مازاد الکترون های برانگیخته را به صورت اتلاف حرارتی، نمایان می‌سازد (بزاز[2]، ۱۹۹۶؛ لی[3]، ۲۰۰۱؛ فرانش‌بود و لیپر، ۲۰۰۳)؛ که این امر، باعث کاهش عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو و نهایتا کاهش عملکرد در گیاه می‌گردد. گزارش‌های بدست آمده درباره تاثیر شوری بر فلورسانس کلروفیل متناقض می‌باشند. برای مثال برخی از محققان (براگنولی و لاتری[4]، ۱۹۹۱؛ جیمنز و همکاران[5]، ۱۹۹۷؛ میسرا و همکاران[6]، ۱۹۹۱) در خصوص گیاه لوبیا و پنبه گزارش دادند که تغییرات حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو در سطوح مختلف شوری معنی‌دار نمی‌باشد. این محققان نتیجه گرفتند که حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو نمی‌تواند به عنوان یک شاخص، در تنش شوری مطرح باشد. در مقابل، بونجی و لورتو[7] (۱۹۸۹) در خانواده چلیپائیان و میسرا و همکاران (۱۹۹۱) در زیتون، بیان کردند که حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو می تواند یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی تنش شوری باشد. نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر فلورسانس، نشان دهنده پتانسیل یا بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو است و مقدار آن برای گیاهانی که در شرایط تنش قرار ندارند، در دامنه‌ای بین ۰/۶۵ تا ۰/۸۵ می‌باشد. چنانچه گیاهان در شرایط تنش خشکی، شوری، گرما و تشعشع زیاد قرار گیرند، مقدار آن کمتر خواهد شد (بل‌خودجا و همکاران[8]، ۱۹۹۴؛ بولهار و همکاران[9]، ۱۹۸۹؛ ژاوو[10] و همکاران، ۲۰۰۷). شیب کاهشی نسبت Fv/Fm، شاخص خوبی برای ارزیابی بازدارندگی نوری گیاهانی است که در مجاورت تنش‌های محیطی مثل خشکی و گرما همراه با میزان تشعشع زیاد قرار می‌گیرند (یانگ و همکاران[11]، ۱۹۹۶). پیری برگ نیز در نتیجه کاهش محتوای کلروفیل تحت تاثیر شوری تسریع می‌گردد (کایا و همکاران[12]، ۲۰۰۲).

مطالعات بیوشیمیایی نشان داده است که در گیاهان تحت تنش شوری تعدادی از ترکیبات آلی تجمع می یابند؛ این ترکیبات علاوه بر اینکه تداخلی در فرآیندهای شیمیایی گیاهان ایجاد نمی‌کند، بلکه نقش مهمی نیز در بهبود تنظیم اسمزی در گیاهان تحت تنش دارند (ونیکو[13]، ۱۹۹۴). در سیتوپلاسم سلول‌های گیاهی با استفاده از انرژی حاصل از تولیدات فتوسنتزی و در واکنش به پتانسیل آب پایین، مواد آلی با وزن مولکولی کم، نظیر قندهای محلول، اسیدهای آمینه، پرولین، گلایسین بتایین، تریمالوز، مانیتول و سایر مواد ایجاد کننده اثر اسمزی، ساخته می‌شود (ونیکو، ۱۹۹۴). بطور کلی تجمع پرولین در شرایط تنش شوری یکی از ساز و کارهای دفاعی در برابر فشار اسمزی است. در بسیاری از گیاهان پرولین به عنوان مهمترین ماده در تنظیم اسمزی شناخته شده است (بالیبرا و همکاران[14]، ۱۹۹۹). با وجود این، تجمع زیاد آن در تعدیل اسمزی مورد شک است و به گونه گیاهی بستگی دارد (بالیبرا و همکاران، ۱۹۹۹).

1 - Francheboud & Leipner
2 - Bazzaz
3 - Lee
4 - Brugnoli & Lauteri
5 - Jimnez *et al.*
6 - Mishra *et al.*
7 - Bongi & Loreto
8- Belkhodja *et al.*
9 - Bolhar *et al.*
10 - Zhao *et al.*
11 - Yang *et al.*
12- Kaya *et al.*
13 - Winicov
14- Balibrea *et al.*

جوآو و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه اثر همزمان تابش زیاد و خشکی شدید روی آفتابگردان، بیان نمودند که تابش و خشکی شدید موجب کاهش معنی‌دار صفات بیشینه کارآیی کوانتومی فتوسیستم دو، میزان انتقال الکترون، تبادل گازی و آسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن گردید و در مقابل ضریب خاموشی غیر فتوشیمیایی به میزان ۴۰ درصد افزایش یافت که نشان دهنده افزایش پراکندگی گرمایی فتوسیستم دو می‌باشد. حسیبی و همکاران (۱۳۸۶) نیز در مطالعه ژنوتیپ‌های برنج برای تحمل به تنش سرما، بیان نمودند که در شرایط تنش سرما مؤلفه‌های Fv/Fm، ΦPSII، qp و عدد کلروفیل متر کاهش معنی‌داری نسبت به شرایط طبیعی داشتند که علت آن را به وارد شدن خسارت به زنجیره انتقال الکترون و افزایش اتلاف حرارتی و همچنین کاهش جذب فتوشیمیایی الکترون‌ها نسبت دادند.

در مجموع، با توجه به اهمیت دانه‌های روغنی در تأمین روغن مورد نیاز کشور و وجود اراضی شور و لب شور مستعد برای کشت دانه‌های روغنی نظیر کلزا و همچنین تنوع ژنوتیپ‌های ناشناخته به لحاظ تحمل به شوری، لزوم تحقیقات گسترده را در این زمینه اجتناب ناپذیر می‌نماید. لذا این پژوهش به منظور ارزیابی فلورسانس کلروفیل و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام بهاره کلزا تحت تنش شوری صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل با استفاده از دستگاه فلورمتر مدل (OS1-FL) در دو حالت برگ سازگار شده با روشنایی و برگ سازگار شده با تاریکی انجام شد. اندازه‌گیری‌ها در دو مرحله رویشی (یک ماه بعد از اعمال سطوح شوری) و زایشی (۲۰ روز بعد از گلدهی) در ساعت ۱۰ صبح تا ۱۴ بعد از ظهر انجام شد. در هر گلدان از هر بوته دو برگ کاملا باز شده جوان انتخاب گردید و مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل شامل: Fm (فلورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی)، Fo (فلورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی)، Fv/Fm (حداکثر عملکرد کوآنتومی در شرایط سازگار شده با تاریکی)، Fm′ (فلورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با نور)، Fo (فلورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با نور)، ΦPSII (عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو)، qp (خاموشی فتو شیمیایی) وqN (مؤلفه خاموشی غیر فتوشیمیایی کلروفیل برانگیخته) برای آنها ثبت شد (جدول ۱). اندازه گیری‌ها در دو مرحله رویشی و زایشی (۲۰ روز بعد از گلدهی) انجام شد.

میزان کلروفیل موجود در برگ گیاه به روش پیشنهادی آرنون[1] (۱۹۴۰) اندازه‌گیری شد. برای اندازه گیری پرولین نیز از روش پاکوئین و لچاژر[2] (۱۹۹۷) استفاده شد.

برای اندازه‌گیری وزن خشک، دو ماه بعد از اعمال تنش شوری، از هر گلدان ۴ بوته کف‌بر گردید و نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس توسط ترازوی دیجیتالی توزین شدند. در مرحله رسیدگی نیز صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه، با برداشت ۶ بوته در هر گلدان به صورت کف‌بر اندازه‌گیری شد. برای استخراج محتوای روغن دانه از دستگاه سوکسله مدل (گرهارت[3] آلمان) با حلال پترولیوم بنزین استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

پارامترهای فلورسانس کلروفیل

با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که با افزایش شوری میزان حداکثر عملکرد کوآنتوم فتوسیستم دو در شرایط سازگار با تاریکی (Fv/Fm)

1 - Arnon
2 - Paquine & Lechasser
3- Gerhart

جدول ۱- مؤلفه‌های مورد بررسی و معادله‌های مربوطه

معادله	شناسه	مؤلفه	
		مؤلفه‌های خاموشی فتو شیمیایی	Photochemical quenching parameters
(Fm′- Ft)/ Fm′	ΦPSII	عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو	Quantum yield of PSII
(Fm′- Ft)/ (Fm′- F0)	qP	خاموشی فتو شیمیایی	Photochemical quenching
(Fm- F0)/ Fm	Fv:Fm	حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو	Maximum quantum yield of PSII
(Fm-Fm′)/ Fm′	qN	مؤلفه خاموشی غیر فتوشیمیایی	Non-photochemical quenching

Fm (فلورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی)، Fo (فلورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی)، Fm′ (فلورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با نور)، Fo (فلورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با نور) و Ft (فلورسانس حداکثر در شرایط تعادل نوری)

که نشان دهنده ظرفیت انتقال الکترون در فتوسیستم دو (PSII) می‌باشد (بل‌خودجا و همکاران، ۱۹۹۴؛ دمیگ و همکاران[1]، ۱۹۸۹)؛ در هر دو مرحله رویشی و زایشی کاهش یافت؛ اما این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۲).

ارقام مورد بررسی نیز در این خصوص متفاوت ظاهر شدند، بطوریکه ارقام Hyola 330 و Hyola 401، بیشترین مقادیر Fv/Fm را در مراحل رویشی و زایشی به ترتیب به میزان ۸۱/. و ۸۰/. به خود اختصاص دادند (جدول ۲). کمترین مقادیر Fv/Fm در مراحل رویشی و زایشی (به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۷۶) به رقم PP-401-15E تعلق گرفت (جدول ۲).

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل رقم و تنش شوری برای حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو مشاهده گردید که در بالاترین سطح شوری (S۳) رقم Hyola 330 با میانگین ۰/۷۸ در هر دو مرحله رویشی و زایشی، بیشترین و رقم PP-401-15E با میانگین ۰/۷۱ در هر دو مرحله رویشی و زایشی کمترین میزان Fv/Fm را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). این موارد با نتایج ژائو و همکاران (۲۰۰۷) در گندم مبنی بر کاهش Fv/Fm، در اثر شوری تطابق دارد. نتوندو و همکاران[2] (۲۰۰۴) نیز گزارش دادند که شوری باعث کاهش مؤلفه حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm) می‌شود. در این خصوص دمیگ و همکاران (۱۹۸۹) نیز روند کاهشی Fv/Fm را گزارش نموده و این کاهش را مربوط به افزایش Fm می‌دانند که با عملکرد کوآنتومی فتوسنتز خالص همبستگی بالایی دارد.

ΦPSII مؤلفه نیز در هر دو مرحلهٔ رویشی و زایشی (۲۰روز بعد از گلدهی) در اثر شوری کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین میزان در مرحلهٔ رویشی و زایشی (۰/۸۱) در سطح شوری S۰ و کمترین میزان آن در مرحله رویشی (۰/۷۲) و در مرحله زایشی (۰/۷۱) که در سطح شوری S۳ دیده شد (جدول ۳). ارقام مورد بررسی نیز برای مؤلفه ΦPSII، متفاوت ظاهر شدند؛ بطوریکه رقم Hyola 330 بیشترین و ارقام Hyola 401 و PP-401-16 به ترتیب در مرحله رویشی و زایشی

1 - Demmig *et al.*

2 - Netondo *et al.*

جدول ۲- مقایسه میانگین سطوح مختلف شوری و ارقام با استفاده از آزمون دانکن

عامل‌های آزمایش شوری	مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل در مرحله رویشی				مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل در مرحله زایشی			
	Fv/Fm	ΦPSII	qP	qN	Fv/Fm	ΦPSII	qP	qN
(S۰) ۱/۹۲ دسی‌زیمنس بر متر	۰/۹۷a	۰/۸۱a	۰/۸۰a	۰/۵۸d	۰/۸۳a	۰/۸۱a	۰/۷۹a	۰/۵۹b
(S۱) ۹/۸۷ دسی‌زیمنس بر متر	۰/۹۸a	۰/۷۸b	۰/۷۶b	۰/۶۵c	۰/۸۰b	۰/۷۹b	۰/۷۵b	۰/۶۸ab
(S۲) ۱۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر	۰/۷۸a	۰/۷۶b	۰/۷۵bc	۰/۷۲b	۰/۷۷c	۰/۷۶b	۰/۷۲c	۰/۷۵a
(S۳) ۲۱/۹۴دسی‌زیمنس بر متر	۰/۷۶a	۰/۷۲c	۰/۷۳c	۰/۷۹a	۰/۷۶d	۰/۷۱c	۰/۷۱c	۰/۷۷a
رقم								
Hyola 330(1)	۰/۸۱a	۰/۷۸a	۰/۷۸a	۰/۶۴b	۰/۸۰a	۰/۷۸a	۰/۷۷a	۰/۶۷a
Hyola 60(2)	۰/۷۹bc	۰/۷۷ab	۰/۷۶ab	۰/۶۷ab	۰/۷۹bc	۰/۷۷ab	۰/۷۴bc	۰/۶۸a
Rgsoo(3)	۰/۸۰ab	۰/۷۷ab	۰/۷۶ab	۰/۶۴b	۰/۷۹ab	۰/۷۷ab	۰/۷۵ab	۰/۶۷a
Oftion 500(4)	۰/۷۸c	۰/۷۶b	۰/۷۵b	۰/۷۰ab	۰/۷۸c	۰/۷۶bc	۰/۷۳cd	۰/۷۱a
PP-401-15 E(5)	۰/۷۷d	۰/۷۴c	۰/۷۴bc	۰/۶۹ab	۰/۷۶d	۰/۷۴c	۰/۷۲cd	۰/۷۰a
Hyola 401(6)	۰/۸۱a	۰/۷۸a	۰/۷۷a	۰/۶۸ab	۰/۸۰a	۰/۷۷ab	۰/۷۵ab	۰/۷۱a
PP- 308- 8(7)	۰/۷۹bc	۰/۷۵bc	۰/۷۵b	۰/۷۲a	۰/۷۸c	۰/۷۵c	۰/۷۳ab	۰/۷۲a
PP- 401- 16(8	۰/۸۰ab	۰/۷۷ab	۰/۷۶a	۰/۷۴a	۰/۸۰a	۰/۷۸a	۰/۷۶a	۰/۶۸a

در هر مقایسه وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال ۵ ٪ می‌باشد.

کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌گردد که رقم PP-401-16 در شرایط بدون تنش (S۰)، با میانگین ۰/۸۲ در هر دو مرحله رویشی و زایشی، بیشترین میزان ΦPSII را داشت. در این خصوص در بالاترین سطح تنش شوری (S۳) ارقام Hyola 330، RGSoo و Hyola 401 مشترکا با میانگین ۰/۷۵ در مرحله رویشی و رقم RGSoo با میانگین ۰/۷۴ در مرحله زایشی دارای بیشترین میزان ΦPSII و رقم PP-401-15E با میانگین ۰/۶۳ در هر دو مرحله رویشی و زایشی دارای کمترین میانگین ΦPSII بودند (جدول ۳).

فلورسانس کلروفیل به طور مستقیم به فعالیت کلروفیل در مراکز واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط دارد (بزاز، ۱۹۹۶؛ لی، ۲۰۰۱)؛ و وجود هر گونه آشفتگی، نظیر ممانعت از تولید تعدادی از پروتئین‌های تیلاکوئید رمز شده توسط کلروپلاست، در مقایسه با پروتئین‌های رمز شده توسط هسته سلول و یا دگرگونی ساختار و تغییر در رنگدانه‌های فتوسیستم دو، منجر به کاهش حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار با تاریکی (Fv/Fm) و عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو در شرایط روشنایی (ΦPSII) می‌گردد (بزاز، ۱۹۹۶؛ فرانشبود و لیپر، ۲۰۰۳). با توجه به مطالب ذکر شده چنین می‌توان استنتاج نمود که کاهش Fv/Fm و ΦPSII در این آزمایش، عمدتا بخاطر وجود آشفتگی در واکنشهای نوری و ساختار تایلاکوئیدهای موجود در کلروپلاست بوده و کاهش میزان محتوای کلروفیل نیز این موضوع را تایید می‌کند.

مؤلفه خاموشی غیر فتوشیمیایی (qN) نیز در بین سطوح مختلف شوری متفاوت ظاهر شد، بطوریکه افزایش شدت تنش شوری از S۰ به S۳ در مراحل رویشی و زایشی به ترتیب موجب افزایش ۳۶/۲ و ۳۰/۵ درصدی qN گردید (جدول ۲).

جدول۳- مقایسه‌میانگین‌های اثر متقابل رقم و تنش شوری برای مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل به روش دانکن

عامل‌های آزمایش		مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل در مرحله رویشی				مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل در مرحله زایشی			
شوری	رقم	Fv/Fm	ΦPSII	qP	qN	Fv/Fm	ΦPSII	qP	qN
S۰	Hyola 330	۰/۸۴a	۰/۸۱ab	۰/۸۰a	۰/۵۰bc	۰/۸۳a	۰/۸۱ab	۰/۸۰a	۰/۵۸c
S۱		۰/۸۲c	۰/۸۰ab	۰/۷۸c	۰/۶۲abc	۰/۸۱bc	۰/۸۰ab	۰/۷۶bc	۰/۶۵b
S۲		۰/۸۰c	۰/۷۸c	۰/۷۶c	۰/۶۵abc	۰/۷۹cd	۰/۷۶cd	۰/۷۳cd	۰/۷۵ab
S۳		۰/۷۸d	۰/۷۵d	۰/۷۶c	۰/۸۰a	۰/۷۸d	۰/۷۳de	۰/۷۵c	۰/۷۰ab
S۰	Hyola 60	۰/۸۲ab	۰/۸۰ab	۰/۷۸ab	۰/۷۱ab	۰/۸۱b	۰/۸۰b	۰/۷۷b	۰/۶۵b
S۱		۰/۷۸cd	۰/۷۹bc	۰/۷۵cd	۰/۶۲abc	۰/۷۹cd	۰/۷۸bc	۰/۷۴cd	۰/۶۷b
S۲		۰/۷۹cd	۰/۷۵cd	۰/۷۵cd	۰/۶۲abc	۰/۷۸d	۰/۷۴d	۰/۷۲d	۰/۶۶b
S۳		۰/۷۷de	۰/۷۴de	۰/۷۶de	۰/۷۴ab	۰/۷۷d	۰/۷۳de	۰/۷۳d	۰/۷۶ab
S۰	Rgsoo	۰/۸۳b	۰/۸۱ab	۰/۷۹b	۰/۵۲bc	۰/۸۲ab	۰/۸۰b	۰/۷۸ab	۰/۵۷c
S۱		۰/۸۰c	۰/۸۰bc	۰/۷۷c	۰/۶۲abc	۰/۸۰c	۰/۷۹bc	۰/۷۶c	۰/۶۲bc
S۲		۰/۷۹c	۰/۷۴cd	۰/۷۶c	۰/۶۲abc	۰/۷۸cd	۰/۷۵d	۰/۷۳cd	۰/۷۳ab
S۳		۰/۷۷e	۰/۷۵d	۰/۷۳e	۰/۷۹a	۰/۷۷d	۰/۷۴de	۰/۷۲d	۰/۷۵ab
S۰	Oftion 500	۰/۸۳b	۰/۸۱ab	۰/۸۰b	۰/۵۹abc	۰/۸۳ab	۰/۸۰b	۰/۷۸ab	۰/۵۵c
S1		۰/۷۹cd	۰/۷۷c	۰/۷۵cd	۰/۶۵abc	۰/۷۹c	۰/۷۷c	۰/۷۴c	۰/۶۵b
S۲		۰/۷۷d	۰/۷۶cd	۰/۷۴d	۰/۸۴a	۰/۷۷de	۰/۷۵d	۰/۷۲de	۰/۸۵a
S۳		۰/۷۴f	۰/۷۰e	۰/۷۰f	۰/۴۸ab	۰/۷۴f	۰/۶۸ef	۰/۶۸f	۰/۷۹a
S۰	PP-401-15E	۰/۸۲ab	۰/۸۰ab	۰/۷۹ab	۰/۵۴bc	۰/۸۲b	۰/۸۰b	۰/۷۸b	۰/۶۱bc
S۱		۰/۷۸cd	۰/۷۶c	۰/۷۵cd	۰/۶۴ab	۰/۷۸cd	۰/۷۶cd	۰/۷۴cd	۰/۷۴ab
S۲		۰/۷۷d	۰/۷۵cd	۰/۷۳d	۰/۸۲a	۰/۷۳f	۰/۷۶cd	۰/۶۸f	۰/۶۸b
S۳		۰/۷۱g	۰/۶۳ef	۰/۶۸g	۰/۷۷ab	۰/۷۱g	۰/۶۳f	۰/۶۶g	۰/۷۷ab
S۰	Hyola 401	۰/۸۴a	۰/۸۱ab	۰/۸۱a	۰/۵۱bc	۰/۸۳a	۰/۸۰b	۰/۷۹a	۰/۵۷c
S۱		۰/۸۰c	۰/۷۹bc	۰/۷۷c	۰/۶۹ab	۰/۸۰c	۰/۷۸bc	۰/۷۵c	۰/۶۹b
S۲		۰/۸۰c	۰/۷۷c	۰/۷۷c	۰/۶۵ab	۰/۷۸cd	۰/۷۶cd	۰/۷۴cd	۰/۷۷ab
S۳		۰/۷۹cd	۰/۷۵cd	۰/۷۵cd	۰/۸۵a	۰/۷۷de	۰/۷۳de	۰/۷۱de	۰/۸۱b
S۰	PP-308-8	۰/۸۳b	۰/۸۰bc	۰/۷۹b	۰/۶۲abc	۰/۸۳ab	۰/۷۹bc	۰/۷۸ab	۰/۶۰bc
S۱		۰/۸۰c	۰/۷۶c	۰/۷۶c	۰/۶۶abc	۰/۸۰c	./۷۶cd	۰/۷۴c	۰/۶۰bc
S۲		۰/۷۷d	۰/۷۴d	۰/۷۴d	۰/۷۷ab	۰/۷۶de	۰/۷۴d	۰/۷۱de	۰/۸۵a
S۳		۰/۷۵ef	۰/۷۲f	۰/۷۲ef	۰/۸۱a	۰/۷۶e	۰/۶۹e	۰/۷۰e	۰/۸۱a
S۰	PP-401-16	۰/۸۴a	۰/۸۲a	۰/۸۱a	۰/۶۳abc	۰/۸۴a	۰/۸۲a	۰/۸۰a	۰/۵۸c
S۱		۰/۸۱c	۰/۷۸c	۰/۷۷c	۰/۷۰ab	۰/۸۰c	۰/۷۷c	۰/۷۷c	۰/۷۰ab
S۲		۰/۷۹cd	۰/۷۷cd	۰/۷۵cd	۰/۷۹a	۰/۷۸cd	۰/۷۶cd	۰/۷۴cd	۰/۶۹b
S۳		۰/۷۶e	۰/۷۱g	۰/۷۳e	۰/۸۳a	۰/۷۷de	۰/۷۳de	۰/۷۴de	۰/۷۶ab

در هر مقایسه وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

ارقام مورد بررسی نیز در این خصوص متفاوت ظاهر شدند، بطوریکه رقم PP-401-16، با میانگین ۰/۷۴ بیشترین و ارقام Hyola 330 و RGSoo مشترکا با میانگین ۰/۶۴ کمترین میزان مؤلفه qN را در مرحله رویشی، به خود اختصاص دادند (جدول ۲). با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل رقم و تنش شوری برای مؤلفه qN مشاهده گردید که در بالاترین سطح تنش شوری (S۳) بیشترین میزان qN (۰/۸۵ و ۰/۸۱ به ترتیب در مرحله رویشی و زایشی) به رقم Hyola 401 و کمترین میزان آن (۰/۴۸ و ۰/۷۰ به ترتیب در مرحله رویشی و زایشی) به ترتیب به ارقام Oftion 500 و Hyola 330 تعلق گرفت (جدول ۳).

مؤلفه دیگری که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت qP یا خاموشی فتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده (جدول ۲) مشاهده گردید که این مؤلفه بطور معنی‌داری تحت تاثیر رقم و تنش شوری بوده؛ بطوریکه افزایش شوری از S۰ به S۳ موجب کاهش ۸/۷۵ درصدی qP در مرحله رویشی و ۱۰/۱۲ درصدی در مرحله زایشی گردید. در این خصوص ارقام مورد بررسی نیز متفاوت ظاهر شدند؛ بطوریکه بیشترین میزان qP را رقم Hyola 330 و کمترین آن را رقم PP-401-15 E در هر دو مرحله رویشی و زایشی داشتند (جدول ۲).

در بالاترین سطح تنش شوری (S۳) نیز ارقام مورد بررسی متفاوت ظاهر شدند؛ بطوریکه رقمHyola 330 در هر دو مرحله رویشی و زایشی به ترتیب با میانگین‌های ۰/۷۶ و ۰/۷۵ دارای بیشترین و رقم PP-401-15 E نیز با میانگین‌های ۰/۶۸ و ۰/۶۶ به ترتیب در مراحل رویشی و زایشی کمترین میزان مؤلفه خاموشی فتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته، که بیانگر کارکرد فتوشیمیایی دستگاه فتوسنتزی (تولید ATP و NADPH) است را نشان دادند (جدول ۳).

با توجه به نتایج بدست آمده چنین می‌توان استنباط نمود که ارقام متحمل به تنش، با جلوگیری از افزایش بیش از حد اتلاف حرارتی نور یا همان خاموشی غیر فتوشیمیایی (qN)، و از طرف دیگر بالا نگه داشتن، خاموشی فتوشیمیایی (qP) که بیانگر کارکرد فتوشیمیایی دستگاه فتوسنتزی بوده و ارتباط مستقیمی با تولید ATP و NADPH به عنوان گیرنده‌های اصلی الکترون‌های برانگیخته در چرخه روشنایی دستگاه فتوسنتزی دارد (بزاز، ۱۹۹۶ و فرانشبود و لیپر، ۲۰۰۳)، باعث جلوگیری از کاهش بیش از حد عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو (ΦPSII) و حداکثر عملکرد کوآنتومی در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm) شده و از این طریق حصول تولید و عملکرد بالا را در آینده تظمین کرده است (فرانشبود و لیپر، ۲۰۰۳).

زمانی که یک برگ از تاریکی بلافاصله به روشنایی منتقل می‌گردد، مرکز واکنش فتوسیستم دو بسته شده و در اولین لحظات دریافت نور، افزایش میزان فلورسانس کلروفیل مشاهده می‌گردد (فرانشبود و لیپر، ۲۰۰۳؛ ماکس ول و جونسون[1]، ۲۰۰۰). اندکی بعد میزان فلورسانس مجدداً کاهش می‌یابد، زیرا به سبب القای نوری، فعالیت آنزیم‌های متابولیسم کربن و باز شدن روزنه‌ها زیاد شده و افزایشی در سرعت انتقال الکترون از فتوسیستم دو به فتوسیستم یک به وجود می‌آید که به آن خاموشی فتوشیمیایی الکترون (qP)، گفته می‌شود (ماکس ول و جونسون، ۲۰۰۰).

با قرار گرفتن گیاهان در شرایط تنش و متاثر از آن، بسته شدن روزنه‌ها، میزان خاموشی فتوشیمیایی و میزان انتقال الکترون (ETR[2]) کاهش می‌یابد که علت آن بخاطر کارایی کمتر چرخه احیای نوری مخزن الکترون (فتوسیستم) نسبت به احیای دی‌اکسیدکربن (CO2) می باشد (استریر[3]، ۱۹۸۸). که به دنبال این امر بخش بیشتری از انرژی نورانی وارد شده بصورت اتلاف حرارتی (خاموشی غیر فتوشیمیایی نمایان می‌گردد. این موضوع

1 - Maxwell & Johnson
2 - Electron transport rate
3 - Stryer

داشتن مقادیر بالای qP، در ژنوتیپ‌های متحمل را به جهت اثرپذیری کمتر از شوری و حفظ بهتر تعادل خود نسبت به ارقام حساس در سطوح بالای شوری توجیه می کند و بیانگر کارایی بیشتر آنها در شرایط شور می‌باشد.

محتوای کلروفیل برگ

بیشترین میزان صفات کلروفیلa (Chla)، کلروفیلb (Chlb) و کلروفیل a+b (Chla+b) در سطح شوری S۰ و کمترین میزان آنها در سطح شوری S۳ مشاهده گردید (جدول ۴). افزایش شوری از S۰ به S۳ باعث کاهش ۱۴/۲۸ درصدی میزان کلروفیل a+b (Chla+b) شد.

کایا و همکاران (کایا و همکاران، ۲۰۰۱) با مقایسه ارقام توت‌فرنگی و اسفناج دریافتند که شوری غلظت کلروفیل را کاهش می‌دهد. گمان می‌رود که کاهش غلظت کلروفیل تحت تاثیر تنش شوری، به علت مشترک بودن مسیر بیوسنتزی کلروفیل و آلفا توکوفرول (ویتامین E) باشد که گیاه در این شرایط (تنش شوری) می‌تواند با توقف بیوسنتز کلروفیل، مسیر بیوسنتزی آنتی اکسیدان آلفا توکوفرول را فعال نماید و همچنین به دلیل تغییر مسیر متابولیسم نیتروژن در ساخت ترکیب‌هایی نظیر پرولین باشد که برای تنظیم اسمزی به کار می‌روند (بول‌هار و همکاران، ۱۹۸۹؛ کایا و همکاران، ۲۰۰۱). پس می‌توان بیان نمود که گیاهانی که تحت شرایط شور قرار می‌گیرند، محتوای کلروفیل آنها تحت تاثیر قرار می گیرد و در اکثر آنها محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد. در این میان، آن دسته از گیاهانی که به شوری متحمل هستند، می‌توانند این کاهش محتوای کلروفیل را تعدیل کنند. پیری برگ نیز در نتیجه کاهش محتوای کلروفیل، تحت تاثیر تنش شوری قرار می‌گیرد (کایا و همکاران، ۲۰۰۱).

ارقام مختلف مورد آزمایش نیز از نظر صفات محتوای کلروفیل دارای تفاوت‌معنی‌دار بودند. بطوریکه بیشترین میزان Chla، Chlb و Chla+b در رقم Hyola 60 و کمترین میزان آنها مربوط به رقم PP-401-16 بود که با ارقام Oftion 550 و PP-308-8 در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴).

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل رقم و شوری برای صفات chla، chlb و chla+b در سطح شوری S3 رقم Hyola 60 با میانگین‌های ۰/۰۵۸، ۰/۰۰۲ و ۰/۰۵۹ به ترتیب برای صفات chla, chlb و chla+b بالاترین و رقم PP-401-15E با میانگین‌های ۰/۰۴۳، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۴۵ کمترین رتبه را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). انفراد و همکاران (۱۳۸۲) در مقایسه ۱۸ رقمکلزا عدم واکنش کلروفیل a و b را در بعضی از ارقام گزارش دادند و آن را ناشی از مقاومت متابولیکی گیاه در برابر شوری ارزیابی کردند.

غلظت پرولین در برگ

تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار پرولین شد (جدول ۴). سطح شوری S۳ با میانگین ۲/۳۲ میکرومول بر گرم وزن تر، بالاترین و سطح شوری S۰ با میانگین ۰/۵۶۱ میکرومول بر گرم وزن تر کمترین میزان پرولین را داشتند (جدول ۴).

پوراسماعیل و همکاران (۱۳۸۴) در گیاه Suaeda fruticosa، یوکوتا[1] (۲۰۰۳) در خانواده آکاسیا، سایرام و تیاجی[2] (۲۰۰۴) در کلزا و ژائو و همکاران (۲۰۰۷) در کلزا نشان دادند که مقدار پرولین در اثر شوری بطور معنی‌دار افزایش یافته است.

پرولین و گلایسین‌بتائین دو ماده آلی هستند که در برخی غلات، در تنظیم اسمزی نقش دارند (کولمر و همکاران[3]، ۱۹۹۵). ژائو و همکاران (۲۰۰۷) نیز افزایش پرولین را در تیمارهای شوری در ریشه گیاه خانواده براسیکا گزارش دادند. در این آزمایش میزان پرولین در ارقام مختلف نیز تفاوت معنی‌داری داشت. رقم Hyola 330 با میانگین ۱/۷۹ میکرومول بر گرم وزن تر و رقم PP-401-15E با میانگین ۱/۵۹ میکرومول بر گرم وزن

1 - Yokota
2 - Sairam & Tyagi
3 - Colmer

جدول ٤- مقایسه میانگین سطوح مختلف شوری و ارقام با استفاده از آزمون دانکن

عامل‌های آزمایش شوری	محتوای کلروفیل						
	کلروفیل a	کلروفیل b	مجموع کلروفیل aوb	پرولین	عملکرد دانه	ماده خشک کل	عملکرد روغن
	(میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)			میکرومول بر گرم وزن تر	گرم در گلدان		
(S۰) ۱/۹۲ دسی‌زیمنس بر متر	۰/۰۷۹a	۰/۰۰۲۷a	۰/۰۸۱a	۰/۵۶۱d	۱۵/۰۰a	۵/۶۴a	۴/۲۰a
(S۱) ۹/۸۷ دسی‌زیمنس بر متر	۰/۰۶۶b	۰/۰۰۲۳b	۰/۰۶۹b	۱/۸۱۳c	۱۴/۴۰a	۵/۰۱b	۳/۴۲b
(S۲) ۱۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر	۰/۰۵۷c	۰/۰۰۱۹c	۰/۰۵۹c	۲/۰۵۷b	۴/۶۲b	۱/۸۰c	۰/۹۶c
(S۳) ۲۱/۹۴دسی‌زیمنس بر متر	۰/۰۵۰d	۰/۰۰۱۴d	۰/۰۵۲d	۲/۳۲۷a	۳/۱۲c	۱/۷c	۰/۵۴d
رقم							
Hyola 330(1)	۰/۰۶۷ab	۰/۰۰۲۳a	۰/۰۷۰ab	۱/۷۹۴a	۱۳/۰۲b	۴/۸۱a	۳/۰۰b
Hyola 60(2)	۰/۰۶۸a	۰/۰۰۲۲a	۰/۰۷۱a	۱/۶۷۲bc	۱۵/۶۰a	۴/۸۲a	۴/۲۰a
Rgsoo(3)	۰/۰۶۶b	۰/۰۰۲۰b	۰/۰۶۸b	۱/۷۳۷ab	۸/۰۴de	۳/۰۲c	۲/۱۰d
Oftion 500(4)	۰/۰۶۰d	۰/۰۰۲۰b	۰/۰۶۲d	۱/۷۱۱ab	۷/۲۰e	۳/۰۴c	۲/۱۱d
PP-401-15 E(5)	۰/۰۶۳c	۰/۰۰۲۰b	۰/۰۶۵c	۱/۵۹۹c	۹/۹۶c	۲/۶۷c	۲/۵۲c
Hyola 401(6)	۰/۰۶۱c	۰/۰۰۲۰b	۰/۰۶۴c	۱/۷۲۹ab	۸/۲۲d	۴/۰۸b	۱/۹۸d
PP- 308- 8(7)	۰/۰۵۹d	۰/۰۰۲۰b	۰/۰۶۱d	۱/۶۳۳bc	۶/۰۰f	۳/۶۱b	۱/۵۰e
PP- 401- 16(8)	۰/۰۵۹d	۰/۰۰۲۰b	۰/۰۶۱d	۱/۶۳۷bc	۶/۱۸f	۲/۶۱c	۱/۲۶e

در هر مقایسه وجود حد اقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

تر به ترتیب بیشترین و کمترین میزان پرولین را داشتند (جدول ۴). با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل رقم و شوری بر پرولین مشاهده می‌گردد که دو رقم Hyola 330 و RGSoo در سطح شوری S۳، مشترکا دارای بیشترین میزان پرولین برگ (۲/۳۷ میکرومول بر گرم وزن تر) بودند (جدول ۵).

کمترین میزان پرولین نیز به تفکیک سطوح شوری به میزان ۰/۳۲ میکرومول بر گرم وزن تر در سطح شوری S۰ و ۲/۲۰ میکرومول بر گرم وزن تر در سطح شوری S۳ هر دو در رقم PP-401-15E مشاهده شد (جدول ۵). نتایج فوق با نتایج اشرف و مک‌نیلی (۱۹۹۰) در خانواده چلیپائیان و اشرف و مک‌نیلی (۲۰۰۴) در کلزا، مبنی بر عکس‌العمل متفاوت ارقام در شرایط شور، برای میزان پرولین مطابقت داشت.

عملکرد دانه

بین دو سطح شوری S۰ و S۱ در خصوص صفت عملکرد دانه تفاوت معنی داری وجود نداشت (جدول ۴). ولی سایر سطوح با یکدیگر دارای تفاوت معنی‌دار بودند. سطح شوری S۰ با میانگین ۱۵ گرم در گلدان، بیشترین و سطح شوری S۳ با میانگین ۳/۱۲ گرم در گلدان، کمترین میزان عملکرد دانه را داشتند (جدول ۴). ارقام مختلف مورد آزمایش نیز از نظر عملکرد دانه دارای تفاوت های معنی‌داری با یکدیگر بودند، در این خصوص رقم Hyola 60 با میانگین۱۵/۶۰ گرم در گلدان، بالاترین و رقم PP-308-8 با میانگین ۶ گرم در گلدان، کمترین رتبه را داشتند (جدول ۴).

اثر متقابل رقم وشوری بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول ۵). رقم Hyola 60 در کلیه سطوح شوری مورد آزمایش، بالاترین میانگین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد و در سطح شوری S۳ این مقدار

جدول ۵-مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رقم و تنش شوری برای محتوای کلروفیل در مرحله رویشی به روش دانکن

تیمار های آزمایش	شوری رقم	کلروفیل a	کلروفیل b	مجموع کلروفیل a و b	پرولین	عملکرد دانه	ماده خشک کل	عملکرد روغن
		(میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)			میکرو مول بر گرم وزن تر		گرم در گلدان	
Hyola 330	S۰	۰/۰۸۸a	۰/۰۰۳a	۰/۰۹۱a	۰/۹۴e	۱۹/۲۶a	۷/۲۰a	۵/۲۸ab
	S۱	۰/۰۶۷b	۰/۰۰۳a	۰/۰۷۱ab	۱/۸۶cd	۲۱/۳۰a	۶/۷۸a	۴/۶۸b
	S۲	۰/۰۶۰b	۰/۰۰۲b	۰/۰۶۲bc	۱/۹۹c	۷/۲۰c	۲/۷۶cd	۱/۹۸ef
	S۳	۰/۰۵۵bc	۰/۰۰۲b	۰/۰۵۷bc	۲/۳۷a	۴/۰۲de	۲/۴۰cd	۰/۰۶f
Hyola 60	S۰	۰/۰۷۸a	۰/۰۰۳a	۰/۰۸۱ab	۰/۴۷fg	۱۹/۲۶a	۹/۵۱a	۵/۵۸ab
	S۱	۰/۰۷۳a	۰/۰۰۳a	۰/۰۷۶ab	۱/۸۲cd	۲۳/۵۸a	۶/۸۴a	۶/۴۲a
	S۲	۰/۰۶۶b	۰/۰۰۲b	۰/۰۶۸ab	۲/۰۶c	۱۲/۰۶b	۲/۶۴cd	۳/۰۰c
	S۳	۰/۰۵۸b	۰/۰۰۲b	۰/۰۵۹bc	۲/۳۵a	۸/۱۰e	۱/۸۶d	۱/۸۰ef
Rgsoo	S۰	۰/۰۸۸a	۰/۰۰۳a	۰/۰۹۱a	۰/۶۵f	۱۲/۶۶b	۴/۵۶b	۳/۳۰c
	S۱	۰/۰۶۶b	۰/۰۰۲b	۰/۰۶۸bc	۱/۸۶cd	۱۳/۴۴b	۳/۴۲c	۳/۰۶c
	S2	۰/۰۵۹b	۰/۰۰۲b	۰/۰۶۰cb	۲/۰۵c	۳/۰۶de	۲/۰۴d	۰/۵۴fg
	S۳	۰/۰۵۵bc	۰/۰۰۱c	۰/۰۵۶bc	۲/۳۷a	۳/۳۰de	۱/۹۸d	۰/۵۵fg
Oftion 500	S۰	۰/۰۶۹a	۰/۰۰۳a	۰/۰۷۲b	۰/۶۷f	۱۰/۳۸bc	۶/۵۴c	۳/۱۸c
	S۱	۰/۰۶۴b	۰/۰۰۲b	۰/۰۶۷bc	۱/۸۲cd	۱۵/۶۶b	۵/۰۴b	۲/۰۱bc
	S۲	۰/۰۶۱b	۰/۰۰۲b	۰/۰۶۳bc	۲/۰۸c	۲/۲۸ef	۱/۸۰d	۰/۵۰fg
	S۳	۰/۰۴۷cd	۰/۰۰۲b	۰/۰۴۹c	۲/۲۶ab	۰/۵۴.g	۱/۶۲d	۰/۰۹j
PP-401-15E	S۰	۰/۰۸۰a	۰/۰۰۳a	۰/۰۸۳ab	۰/۳۲g	۲۳/۴۰a	۴/۷۴b	۶/۷۲a
	S۱	۰/۰۷۵a	۰/۰۰۲b	۰/۰۷۷ab	۱/۸۰cd	۱۱/۱۶bc	۴/۲۶b	۲/۴۰d
	S۲	۰/۰۵۴bc	۰/۰۰۲b	۰/۰۵۶c	۲/۰۶c	۵/۰۴dc	۰/۹۴f	۰/۹۰f
	S۳	۰/۰۴۳cd	۰/۰۰۱c	۰/۰۴۵c	۲/۲۰b	۰/۳۰g	۰/۹۲e	۰/۰۳k
Hyola 401	S۰	۰/۰۸۲a	۰/۰۰۳a	۰/۰۸۵a	۰/۶۴f	۱۳/۳۲b	۹/۰۰a	۳/۷۸bc
	S۱	۰/۰۶۵b	۰/۰۰۲b	۰/۰۶۷bc	۱/۸۳cd	۱۳/۶۲b	۵/۴۶b	۳/۳۶c
	S۲	۰/۰۵۳c	۰/۰۰۲b	۰/۰۵۵c	۲/۰۷c	۰/۹۰fg	۲/۳۰d	۲/۰۴i
	S۳	۰/۰۴۹cd	۰/۰۰۱c	۰/۰۴۵c	۲/۳۷a	۵/۱۶dc	۲/۲۸d	۰/۶۶f
PP-308-8	S۰	۰/۰۷۳a	۰/۰۰۳a	۰/۰۷۶ab	۰/۴۴fg	۱۱/۸۸bc	۵/۷۶a	۳/۳۰c
	S۱	۰/۰۶۱b	۰/۰۰۲b	۰/۰۶۳bc	۱/۶۹d	۷/۶۲c	۵/۲۸b	۱/۹۸e
	S۲	۰/۰۵۷bc	۰/۰۰۲b	۰/۰۵۹bc	۲/۰۷c	۲/۵۸e	۱/۸۸e	۰/۴۸g
	S۳	۰/۰۴۷cd	۰/۰۰۱c	۰/۰۴۹c	۲/۳۲ab	۱/۹۸ef	۱/۷۴de	۰/۲۴h
PP-401-16	S۰	۰/۰۷۵a	۰/۰۰۲b	۰/۰۷۷ab	۰/۳۳g	۱۰/۶۸bc	۴/۸۰b	۲/۹۴cd
	S۱	۰/۰۶۲b	۰/۰۰۲b	۰/۰۶۴bc	۱/۸۱cd	۸/۵۸c	۳/۴۸c	۱/۳۲ef
	S۲	۰/۰۵۵bc	۰/۰۰۲b	۰/۰۵۷bc	۲/۰۵c	۳/۴۸de	۱/۸۳f	۰/۶۶f
	S۳	۰/۰۴۵cd	۰/۰۰۲b	۰/۰۴۷c	۲/۳۴a	۱/۹۲ef	۱/۷۴ef	۰/۲۸h

در هر مقایسه وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد

۸/۱۰ گرم در گلدان بود. رقم PP-401-15E نیز با میانگین۰/۳ گرم در گلدان کمترین میانگین را داشت (جدول ۵).

شوری رشد رویشی و زایشی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین موجب کاهش وزن خشک و عملکرد گیاه می‌شود (کایا و همکاران، ۲۰۰۲). محققان دیگر نظیر اشرف و مک‌نیلی (۲۰۰۴) نیز کاهش عملکرد را در خانواده چلیپائیان در شرایط تنش شوری گزارش داده اند. تنش شوری، از طریق تأثیر بر روی اجزای عملکرد، باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. بر اساس آزمایش های گلخانه‌ای، در مورد گندم نیز گزارش شده است که با افزایش شوری اجزای عملکرد، از جمله تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه کاهش پیدا می‌کند (پسرکلی و همکاران[1]، ۱۹۹۱؛ راگاو و پال[2]، ۱۹۹۴). قاسم[3] (۲۰۰۰) در مطالعه هشت رقم کلزا در شرایط شور، تفاوت بین عملکرد و اجزای عملکرد را در ارقام مورد بررسی گزارش کردند و افزودند که رشد مناسب در مرحله رویشی و به دنبال آن تولید ماده خشک کافی در این مرحله یکی از دلایل موفقیت ارقام متحمل به شوری نسبت به سایر ارقام در تولید عملکرد بیشتر می‌باشد.

وزن خشک کل

سطح شوری S۰ با میانگین ۵/۶۴ گرم در گلدان، بیشترین و سطح شوری S۳ با میانگین ۱/۷۸ گرم در گلدان کمترین میزان ماده خشک در مرحله رویشی را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

ارقام از نظر صفت وزن خشک کل، تفاوت معنی داری با یکدیگر داشتند بنحوی که رقم Hyola 60 با میانگین ۴/۸ گرم در گلدان، بیشترین و رقم PP-401-16 با میانگین ۲/۶۱ گرم در گلدان، کمترین میزان ماده خشک کل را داشتند (جدول ۴). اثر متقابل رقم و شوری بر وزن خشک در بوته معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین میزان ماده خشک در بوته (۹/۵ گرم در گلدان) در سطح شوری S۰ و مربوط به رقم Hyola 60 بود و کمترین میزان وزن خشک (۰/۹۲ گرم در گلدان) در سطح شوری S۳ و به رقم P-401-15E اختصاص یافت (جدول ۵). در این خصوص گزارش‌های متعددی دال برکاهش ماده خشک در اثر شوری وجود دارد که کاهش عملکرد را در چنین شرایطی می‌توان به کاهش ماده خشک تولیدی نسبت داد. اعتقاد بر این است که کاهش، ممکن است ناشی از هزینه انرژی متابولیکی مربوط به سازگاری با شرایط تنش، کاهش نرخ فتوسنتزی در واحد سطح برگ و کاهش جذب گیاه باشد (اشرف و وحید[4]، ۱۹۹۳؛ منگوزو و همکاران[5]، ۲۰۰۰؛ شانن[6]، ۱۹۹۷). عدم یکنواختی در کاهش ماده خشک، بیانگر آستانه تحمل متفاوت از لحاظ میزان و مدت تنش در ژنوتیپ‌های مورد بررسی می‌باشد (اشرف و وحید، ۱۹۹۳).

عملکرد روغن دانه

بیشترین عملکرد روغن مربوط به سطح شاهد و کمترین آن در بالاترین سطح شوری دیده شد (جدول ۴). افزایش شوری از S۰ تا S۳ موجب کاهش ۸۷/۱۴ درصدی عملکرد روغن گردید. عملکرد روغن دانه بین ارقام مورد بررسی نیز متفاوت بود، بنحوی که بیشترین عملکرد روغن دانه (۴/۲۰ گرم در گلدان) مربوط به رقم Hyola 60 و کمترین مقدار آن (۱/۲۶ گرم در گلدان) مربوط به رقم PP-401-16 بود (جدول ۴). اثر متقابل رقم و شوری برای صفت عملکرد روغن معنی‌دار گردید (جدول ۵). برای عملکرد روغن نیز ارقام، عکس‌العمل های متفاوتی را در سطوح مختلف شوری نشان دادند. در بالاترین سطح شوری رقم Hyola 60 با میانگین ۱/۸۵ گرم در گلدان، بالاترین و رقم P-401-15E با

1 - Pessarakli *et al.*
2 - Raghav & Pal
3 - Qasim
4 - Ashraf & Waheed
5 - Meneguzzo *et al.*
6 - Shannon

میانگین ۰/۰۳ گرم در گلدان، کمترین رتبه را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

محتوای روغن دانه در دانه‌های روغنی خانواده چلیپائیان بسیار متفاوت بوده و دارای دامنه‌ای بین ۴۴-۳۵ درصد می‌باشد (اشرف و خانوم، ۱۹۹۰؛ اشرف و مک‌نیلی، ۲۰۰۴).

اشرف و مک‌نلی، (۱۹۹۰) در مطالعه بر روی چهار گیاه خانواده چلیپائیان دریافتند که محتوای روغن دانه و درصد روغن در گیاهان مورد آزمایش در شرایط شوری بطور معنی‌داری کاهش یافت.

قاسم و همکاران (۲۰۰۰) نیز در مطالعه ای بر روی هشت رقم کلزا گزارش داد که با قرار گرفتن ارقام در شرایط شور، محتوای روغن دانه و درصد روغن در هر هشت رقم مورد آزمایش بطور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. بر خلاف نتایج فوق فرانکوس و کلیمان[1]، (۱۹۹۰) بیان نمودند که شوری باعث کاهش عملکرد دانه گردید؛ ولی تأثیری بر روغن استحصال شده از بذر کلزا نداشت.

بررسی روابط بین صفات

همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو (Fv/Fm) در هر دو مرحله رویشی (r = ۰/۷۱، P≤۰/۰۱) و زایشی (r = ۰/۶۲، P≤۰/۰۱) و عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو (ΦPSII) نیز در هر دو مرحله رویشی (r = ۰/۷۲، P≤۰/۰۱) و زایشی (r = ۰/۶۱، P≤۰/۰۱) وجود دارد و بیانگر این مطلب می‌باشد که با افزایش مقادیر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو و عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو، عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد. این موضوع به خوبی نشان می‌دهد که عملکرد کوانتومی بیشتر، نشان دهنده سلامت دستگاه فتوسنتزی بوده است؛ بنابراین می‌توان به جای انتخاب مستقیم عملکرد از این خصوصیات در امر گزینش استفاده نمود و طول دوره اصلاحی را کوتاه نمود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ماده خشک تولیدی و میزان عملکرد دانه (r = ۰/۸۴، P≤۰/۰۱) مشاهده گردید، بیانگر این مطلب می‌باشد که حصول عملکرد بالا در گرو تولید ماده خشک بیشتر می باشد. از طرفی نیز همبستگی بسیار بالا و معنی‌دار بین عملکرد دانه و عملکرد روغن (r = ۰/۹۸، P≤۰/۰۱) بدین معنا می‌باشد که هر چه عملکرد دانه افزایش پیدا کند، عملکرد روغن نیز افزایش می‌یابد. نتایج فوق با نتایج نتوندو و همکاران (۲۰۰۴)؛ دمیگ و همکاران (۱۹۸۹) و ژائو و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد. با توجه به نتایج بدست آمده رقم Hyola 60 که از نظر صفات ΦPSII (در مرحله رویشی و زایشی)، Fv/Fm (در مرحله رویشی و زایشی)، خاموشی فتوشیمیایی(qp)، کلروفیل a، کلروفیل b، مجموع کلروفیل a وb، ماده خشک کل، عملکرد دانه و عملکرد روغن در سطوح بالای شوری نسبت به سایر ارقام میانگین بالاتری داشت، به عنوان رقم متحمل به شوری و رقم PP-401-15E که در سطوح بالای شوری پایین‌ترین رتبه در تمام صفات مورد بررسی بجز مؤلفه خاموشی غیر فتوشیمیایی را به خود اختصاص داده بود، به عنوان رقم حساس به شوری ارزیابی شد.

1- Francois & Kleiman

منابع

۱. انفراد، ا.، پوستینی، ک.، مجنون حسینی، ن.، طالعی، ع.ر. و خواجه احمد عطاری، ا. ۱۳۸۲. واکنش‌های فیزیولوژیکی ارقام کلزا (Brassica napus L.) در مرحله رشد رویشی نسبت به تنش شوری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۷(۴): ۱۰۳-۱۱۲.

۲. پور اسماعیل، م.، قربانی، م. و خاوری نژاد، ر. ۱۳۸۴. اثر شوری روی جوانه‌زنی، وزن تر و خشک، محتوای یونی، پرولین، قندهای محلول و نشاسته گیاه Suaeda fruticosa. مجله بیابان، ۱۰ (۲): ۲۵۷- ۲۶۵.

۳. حسیبی، پ.، مرادی، پ. و نبی‌پور، م. ۱۳۸۶. غربال کردن ژنوتیپ‌های برنج برای تحمل به تنش دمای پائین با استفاده از فلورسانس کلروفیل. مجله علوم زراعی ایران، ۹ (۱): ۱۴-۳۱.

۴. میلادی لاری، ا. و احسان‌زاده، پ. ۱۳۸۹. تاثیر منفی تنش خشکی بر عملکرد گلرنگ از طریق کاهش سطح فتوسنتز کننده و کارایی کوانتومی فتوسیستم II. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۱ (۲): ۳۷۵-۳۸۴.

۵. نائینی، م.ر.، لسانی، ح.، ا. خوش گفتار، ح. و میرزاپور، م.ح. ۱۳۸۳. اثر تنش شوری ناشی از کلرور سدیم بر غلظت و توزیع عناصر معدنی و قندهای محلول سه رقم تجاری انار. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲ (۱): ۱۱۲-۱۲۱.

6. Abrol, I.P., and Yadav, J.S.P. 1988. Salt affected soils and their management. 39. FAO, Rome, 131 p.

7. Arnon, D.I. 1940. Copper enzymes in isolated chloroplats polyphenol oxidase. Journal of Plant Physiology, 45: 100-114.

8. Ashraf, M., and Khanum, A. 1990. Relationship between ion accumulation and growth in two spring wheat lines differing in salt tolerance at different growth stage. Journal of Crop Science, 178: 39-51.

9. Ashraf, M., and McNeilly, T. 1990. Responses of four Brassica species to sodium chloride. Journal of Plant Physiology, 30: 475-487.

10. Ashraf, M., and McNeilly, T. 2004. Salinity Tolerance in Brassica Oilseeds. Journal of Plant Science, 23: 157-174.

11. Ashraf, M., and Waheed, A. 1993. Responsess of some genetically diverse line of chickpea to salt. Field Crops Research, 64: 100-110.

12. Balibrea, M.E., Parra, M., Bolarin, M.C., and Perez-Alfocea, F. 1999. PEG-osmotic treatment in tomato seedling induce salt-adaptation in adult plants. Australian Journal of Plant Physiology, 26: 781-786.

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

14. Belkhodja, R., Morales, F., Abadia, A., and Medrano, H. 1999. Effects of salinity on chlorophyill fluorescence and photosynthesis on barley (Hodeum vulgare L.) grown triple-line-source sprinklersystem in the field. Photosynthetica, 36: 375-378.

15. Belkhodja, R., Morales, F., Abadia, A., Gomez-Aparisi, J., and Abadia, J. 1994. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in barley (Hordeum vulgare L.). Journal of Plant Physiology, 104: 667-673.

16. Bolhar-Nordenkampf, H.R., Long, S.P., Baker, N.R., Oquist, G., Schreiber, U., and Lechner, E.G. 1989. Chlorophyl fluorescence as a probe of the photosynthesis competence of leaves in the field. Journal of Ecological science, 3(4): 497-514.

17. Bongi, G., and Loreto, F. 1989. Gas exchange properties of salt-stressed olive (Olea uropea L.) leaves. Journal of Plant Physiology, 90: 1408-1416.

18. Brugnoli, E., and Lauteri, M. 1991. Effect of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity and carbon isotop discrimination of salt-tolerant (Gussypium hirsutum L.) and salt sensitive (Phaseolus vulgaris L.) C3-non-halophytes. Journal of Plant Physiology, 95: 628-635.

19. Colmer, T.D., Epstein, E., and Dvorak, J. 1995. Differential solute regulation in leaf blades of various ages in salt-sensetive wheat and a salt-tolerant wheat × Lophopyrum elongatum (host) A. love amphipoloid. Journal of Plant Physiology, 108: 1715-1724.

20. Demmig-Adams, B.W.W., Adams, N.I., Winter, K., Meyer, A., Schreiber, U., Pereira, J.S., Kruger, A., Czygan, F.C., and Lange, O.L. 1989. Photochemical efficiency of photosystem II. Ohoton yield of O2 evolution, photosynthetic capacity, and carotenoid composition during the midday depression of net CO2 uptake in Arbutus unedo growing in Portugal. Journal of Plant Physiology, 177(3): 377-387.

21. Doring, J., and Ludders, P. 1986. Effect of different salt treatment on punica granatum 1.at different root temperaturea. Artenbauwissenschaft, 52(2): 92-96.

22. Francheboud, Y., and Leipner, J. 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.

23. Francois, L.E., and Kleiman, R. 1990. Salinity effect on vegetative growth, seed yield and fatty acid composition of crambe. Journal of Agronomy and Crop Science, 82: 1110-1114.

24. Hoai, N.T.T., Shim, I.S., Kobayashiand, K., and Kenji, U. 2003. Accumulation of some nitrogen compounds in response to salt stress and their relationship with salt tolerance in rice (Oriza sativa L.) seedling. Journal of Plant Growth Regular, 41: 159-164.

25. Jimenez, M.S., Gonzalez-Rodriquez, A.M., Moralez, D., Cid, M.C., Socorro, A.R., and Cabollero, M.. 1997. Evaluation of Chlorophyll fluorescence as a tool for salt stress detection in roses. Photosynthetica, 33: 291-301.

26. Joao- Correia, M., Leonor-Osorio, M., Osorio, J., Barrote, I., Martins, M., and David, M.M. 2006. Influence of transient shade period on the effect of drought on photosynthesis, carbohydrate accumulation and lipid proxidation in sunflower leaves. Environmental and Experimental Botany, 58: 75-84.

27. Kaya, C., Higges, D., and Kirnak, H. 2001. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. Journal of Plant Physiology, 27(3-4): 47-59.

28. Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D., and Satali, K. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. Journal of Horticulture Science, 93:65-74.

29. 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.

30. Maxwell, K., and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. Jouranl of Experimental Botany, 51: 659-668.

31. Meneguzzo, S., Navari-Izzo, F., and Izzo, R. 2000. NaCl effects on water relation and accumulation of mineral nutrient in shoot, root and ceel sap of wheat seedling. Journal of Plant Physiology, 156: 711-716.

32. Mishra, S.K., Subrahmanyam, D., and Singhal, J.S. 1991. Interrilationship between salt and light stress on primary processes of photosynthesis. Journal of Plant Physiology, 138: 92-96.

33. Misra, A.N., Srivastava, A., and Strasser, R.J. 2001. Utilization of fast Chlorophyll fluorescence technique in asseissing the salt/ion sensitivity of mung bean and Brassica seedlings. Journal of Plant Physiology, 158: 1173-1181.

34. Netondo, G.W., Onyango, J.C., and Beck, E. 2004. Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relation , and ion accumulation to NaCl salinity. Journal of Crop Science, 44: 797-805.

35. Paquine, R., and Lechasser, P. 1997. Obsertions sur une method dosage la libre, pp: 145-160.

36. Pessarakli, M., Tucher, T.C., and Nakabuyashi, K. 1991. Growth response of barley and wheat to salt stress. Journal of Plant Nutrient, 14 (4): 331-340.

37. Powles, S.B. 1984. Photoinbition of photosynthesis induced by visible light. Rev. Journal of Plant Physiology, 35: 15-44.

38. Qasim, M. 2000. Physiological and Biochemical Studies in a Potential Oilseed Crop Canola (Brassica napus L.) Under Salinity (NaCl) Stress. Ph.D thesis. Departmant of Botany, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan. Canadian Journal of Plant Science, 58: 783-787.

39. Raghav, C.S., and Pal, B. 1994. Effects of saline water on growth, yield and yield contributory characters of various wheat cultivars. Journal of Agricultural Research, 15 (3): 351-356.

40. Sairam, R.K., and Tyagi, A. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Journal of Current Science, 86: 407- 421.

41. Shannon, M. 1997. Adaptation of plant to salinity. Adv. Journal of Agronomy, 60: 75-120.

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

43. Winicov, I. 1994. Gene expretion in relation on salt tolerance. In: S. Barsa, ed. Stress-induced gene expretion in plant. Harward Academic Publishers: Switzerland, pp: 61-85.

44. Yang, G.P., Rhodes, D., and Joly, R.J. 1996. Effect of high tempreture on membrane stability and chlorophul fluorescence in glycinebetain-deficient and glycinebetain-containing maize lines. Australian Journal of Plant Physiology, 23(4): 437-443.

45. Yokota, S. 2003. Relationship between salt tolerance and proline accumulation in Australian acacia species. Journal of Crop Science, 8: 89-93.

46. Zhao, G.Q., Ma, B.L., and Ren, C.Z. 2007. Growth, Gas Exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to Salinity. Journal of Crop Science, 41: 123-131.