تأثیر تنش آب برمیزان ماده خشک و رنگیزه‌های فتوسنتزی در دو گونه اسپرس

پروین رامک[1]، رمضانعلی خاوری نژاد[2]، حسین حیدری شریف آباد[3]، مسعود رفیعی[1] و کریم خادمی[1]

۱- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، خرم آباد، صندوق پستی: ۳٤۸، E-mail: ramak30@yahoo.com

۲- دانشگاه تربیت معلم تهران

۳- مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال

چکیده

آزمایشی به منظور بررسی تأثیر تنش آب بر میزان ماده خشک و رنگیزه‌های فتوسنتزی در دو گونه از گیاه اسپرس (*Onobrychis radiata & Onobrychis viciifolia*) با استفاده از آزمایشهای فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار انجام گردید. گیاهان تحت مطالعه در محیط گلخانه با دمای حداکثر ۳۸ درجه سانتیگراد و دمای حداقل ١٤ درجه سانتیگراد کشت شدند. چهل روز پس از کاشت، هر دو گونه تحت تنش آبی ۵۰ و ۷۵ درصدظرفیت زراعی مزرعه قرار گرفتند و از تیمار ظرفیت زراعی مزرعه (٪۱۰۰) به عنوان شاهد استفاده شد. در هر دو گونه تنش کمبود آب سبب کاهش میزان ماده خشک و رشد نسبی (RGR) شد، اما نسبت ریشه به اندام هوایی (R/S)، طول و وزن ریشه افزایش داشت و در گونه *O. radiata* افزایش این مؤلفه بسیار بیشتر از گونه *O. viciifolia* بود. همچنین بررسیهای بیوشیمیایی نشان داد که در هر دو گونه در شرایط تنش از میزان کلروفیل‌ها و کاروتن‌ها کاسته شده است، اما میزان گزانتوفیل‌ها و نسبت کاروتنوئیدها به کلروفیل‌ها افزایش داشت و این افزایش در گونه *O. radiata* در سطح احتمال ۵ درصد با گونه *O. viciifolia* تفاوت معنی‌داری را نشان داد. کاهش کمتر کلروفیل‌ها و افزایش نسبی گزانتوفیل‌ها سبب شد تا ماده سازی در گونه *O. radiata* تحت شرایط تنش، تأثیر کمتری بپذیرد. به دنبال این امر تغییرات بیوفیزیکی چون کاهش نسبت اندام هوایی به ریشه به دلیل کاهش تبخیر و مصرف آب و نیزکاهش هزینه‌های کربن و اختصاص یافتن سهم بیشتری از مواد آسیمیله شده به ریشه سبب افزایش رشد ریشه شده که این ویژگیها در مجموع سبب برتری گونه *O. radiata* در تحمل تنش شدید FC ۵۰٪ نسبت به گونه *O. viciifolia* شد. نتایج این بررسی را می‌توان در مطالعات اصلاحی و گزینش در جهت افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان بکار گرفت.

واژه‌های کلیدی: تنش آب، اسپرس، ظرفیت زراعی مزرعه، رنگیزه‌های فتوسنتزی و رشد نسبی

مقدمه

ایران با میانگین بارندگی ۲۵۲ میلیمتر و میزان تبخیر و تعرق شدید که ٦ درصد بیشتر از حد متعارف جهانی می‌باشد جزء سرزمین‌های خشک دنیا محسوب می‌شود. از طرفی خشکسالی‌هایی که تقریباً هر ۳۰ سال یکبار عارض می‌گردند چالش‌های جدی چون تخریب مراتع و کاهش شدید تولید در اراضی دیم را برای کشور بدنبال دارند. کاشت گیاهان علوفه‌ای به خصوص گونه‌های مقاوم و کم توقع در اراضی دیم کم بازده و مراتع فرسوده، ضمن جلوگیری از فرسایش خاک و هدر رفت آب با تولید علوفه به رونق دامپروری و تحقق اهداف برنامه چهارم توسعه کمک خواهد نمود (جعفری، ١٣٨٤).

گیاه علوفه‌ای اسپرس با نام علمی *Onobrychis viciifolia* از جمله گیاهانی است که نسبت به خشکی و کمبود آب مقاوم است و به خوبی در خاکهای آهکی رشد می‌کند (حیدری شریف آباد و دری ۱۳۸۰). این گونه گیاهی متعلق به خانواده نیامداران (Leguminosae) می‌باشد. نیامداران یکی از بزرگترین خانواده‌های گیاهی در دنیا می‌باشند و تقریباً با توزیعی جهانی نقشی اساسی در پیدایش تمدن بشری ایفا کرده‌اند و تاریخ نویسان رومی و یونانی اولین مزیت نیامداران را تحت عنوان کود سبز ثبت کرده‌اند. اسپرس در ایران در استان‌های اردبیل، کردستان، چهارمحال و بختیاری، آذربایجان شرقی و غربی، لرستان، اصفهان، تهران، قزوین و زنجان کشت

می‌شود. منشاء اولیه اسپرس به درستی مشخص نیست. بعضی از منابع گیاه‌شناسی اروپا را به‌عنوان منشاء آن معرفی کرده‌اند. اما آنچه مسلم است از دیرباز این گونه گیاهی جهت تولید علوفه در مناطق وسیعی از اروپا، امریکا و فلات ایران کشت می‌شده است. کاشت اسپرس در اقلیم‌های متفاوت ایران سبب تنوع ژنتیکی و پیدایش اکوتیپ‌های خاص شده است که مهمترین این اکوتیپ‌ها در ایران عبارتند از: اکوتیپ کرج، شهرکرد، الیگودرز و آق‌بلاغ. اسپرس از ارزش خوراکی (Feeding Value) و ارزش غذایی (Nutritive value) ممتازی برخوردار است و در مقایسه با شبدر سفید و شبدر قرمز دارای مقدار پروتئین بیشتری می‌باشد. همچنین اسپرس در مقایسه با گراس‌ها از مواد معدنی بیشتری برخوردار است . از جمله فاکتورهایی که به ارزش علوفه‌ای اسپرس می‌افزاید وجود تانن‌های متراکم موجود در برگ اسپرس می‌باشد که ضمن جلوگیری از نفخ در دام به هنگام تعلیف و کاهش تخمیر شکمبه‌ای از پروتئین‌ها در روده کوچک محافظت نموده و منبع خوبی از آمینواسیدها را جهت جذب نگهداری می‌نماید (حیدری شریف آباد و دری، ۱۳۸۰).

اغلب تنش‌ها به‌صورت مستقیم و یا غیر مستقیم روی فتوسنتز برگها تأثیر می‌گذارند (Harmut & Babani, 2000) و تنش آب یکی از مهمترین فاکتورهای محیطی بازدارنده فتوسنتز است (Hsiao, 1982 & Bradford). تنش آب معمولا هدایت روزنه‌ای و فعالیت فتوسنتزی را در برگ تحت تأثیر قرار می‌دهد و از آنجایی‌که فتوسنتز متولی ماده‌سازی در گیاه می‌باشد (Asada, 1999) بنابراین تنش آب سبب کاهش کارآیی فتوسنتز، کاهش‌های رشد و در نهایت کاهش RGR می‌شود (Lawlor, 2002)، البته تحریک فعالیت آنزیم‌های دیواره‌ای از قبیل سلولاز ۹/۵ و پلی گالاکتوروناز، تجمع هورمون ABA و ریزش برگها نیز از جمله عوامل عمده در محدود شدن رشد و کاهش وزن خشک به هنگام تنش آب می‌باشند (Karamanos, 1978; Davies & Zahang, 1994).

مطالعات زیادی نشان داده‌اند که کاهش فتوسنتز در شرایط تنش آب می‌تواند به دلیل اختلال در مکانیسم عمل مراحل بیوشیمیایی فتوسنتز باشد (Graan & Boyer, 1990; Lauer & Boyer, 1992). از آنجایی‌که انرژی نورانی توسط رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌ویژه کلروفیل‌ها به مصرف فتوسنتز می‌رسد، بنابراین تغییرات سرعت فتوسنتز موجب تغییر فلوئورسانس منتشر شده می‌شود (Hall *et al.*, 1997). گیاهان عالی محتوی یک یا چند رنگیزه‌اند که می‌توانند پرتوهای مریی نور را جذب کنند و واکنش‌های فتوسنتزی را باعث شوند. این رنگیزه‌ها به دو دسته کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها تقسیم می‌شوند (خاوری نژاد، ۱۳۷۵).

خشکی باعث پیری زودرس گیاهان، شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد. گیاهانی که حساسیت بیشتری به خشکی دارند کمپلکس کلروفیل ـ پروتئین و لیپید آنها ناپایدارتر می‌باشد (Lawlor & FOCK, 1977). تنش آب از فعالیت کلروفیل جلوگیری می‌کند (Kaiser, 1987) و از آنجایی‌که کلیه تنش‌ها به‌طور مستقیم و غیر مستقیم فتوسیستم II را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بنابراین فلوئورسانس کلروفیل نه تنها برای کشف سازوکار واکنش تنش، بلکه برای ارزیابی واکنش در شرایط مزرعه و آزمایشگاه نیز قابل استفاده است (Krause, 1988; Powles, 1984). Bolhar (۱۹۸۹) نیز می‌گوید که فلوئورسانس کلروفیل می‌تواند به‌عنوان یک ابزار آشکار کننده سازوکار تنش در مزرعه و آزمایشگاه جهت بیان کمی تنش بکار برده شود. Lawlor

و Cornic (۲۰۰۲) کاهش میزان فلوئورسانس کلروفیل a در تنش‌های شدید را ناشی از تحت تأثیر قرار گرفتن فعالیت فتوسیستم II می‌دانند. در گزارشهای Thomas و Andre (۱۹۸۲) آمده است که به هنگام تنش کمبود آب در برگهای سویا تفکیک بار در فتوسیستم II به شدت کاهش می‌یابد. تجارب زیادی در محیط (*invivo*) ثابت کرده‌اند که تنش آب باعث زیان به کمپلکس آزادکننده اکسیژن در فتوسیستم II و مرکز فعالیت این فتوسیستم شود (Canaani *et al*. 1986). در گزارشهای Hao و همکاران (۱۹۹۹) نیز آمده است که فتوسیستم II یکی از بزرگترین جایگاههایی است که تحت تأثیر تنش آب قرار می‌گیرد و از عمل آن کاسته می‌شود. تحرکات فلوئورسانس کلروفیل می‌تواند برای نشان دادن ناهمگونی فتوسیستم II بکار برده شود (Hall *et al*., 1997).

کاروتنوئیدها پلی هیدروکربن‌های اشباع نشده‌ای هستند که ساختمان آلیفاتیک-سیکلیک دارند و ٤-۲ درصد وزن خشک کلروپلاست‌ها را تشکیل می‌دهد. کاروتنوئیدها به دو دسته کاروتن‌ها و گزانتوفیل‌ها تقسیم می‌شوند که گزانتوفیل‌ها مشتقات اکسیژن‌دار کاروتن‌ها هستند (خاوری نژاد، ۱۳۷۵). کاروتنوئیدها به هنگام تنش آب علاوه بر این‌که در جذب و انتقال فوتون‌های نوری به‌عنوان رنگیزه‌های کمکی مؤثرند، نقش‌های مهم دیگری چون محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی و جلوگیری از فتواکسیداسیون نوری کلروفیل‌ها را نیز عهده‌دار هستند (Lawlor & Cornic, 2002).

مواد و روشها

دراین آزمایش تأثیر تنش آب بر رنگیزه‌های فتوسنتزی دو گونه اسپرس با استفاده از طرح کاملا تصادفی در قالب آزمایشهای فاکتوریل مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای تنش آب براساس ۵۰، ۷۵ و۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (Field capacity (FC روی دوگونهٔ *Onobrychis radiata* و *Onobrychis viciifolia* در دو مرحله رویشی و زایشی اعمال شد.

برای اندازه‌گیری میزان آب در ظرفیت مزرعه، خاک تا حد اشباع خیس و سطح آن پوشانده شد تا از تبخیر سطحی جلوگیری بعمل آید و برای دو تا سه روز به حالت خود باقی مانده، بعد از خاک نمونه‌برداری و وزن تر یادداشت شد و جهت خشک کردن خاک نمونه‌ها را به مدت ٢٤ ساعت در آون ۱۰۵°c قرار دادیم و با استفاده از فرمول زیر رطوبت ظرفیت مزرعه خاک مشخص گردید (حیدری شریف آباد، ۱۳۸۰)

$$FC\% = \frac{Fw}{Dw} \times 100$$

دراین فرمول: FC = ظرفیت مزرعه، FW = وزن تر و DW = وزن خشک

جهت اندازه‌گیری رطوبت خاک گلدانها از روش وزنی استفاده شد و با استفاده از فرمول زیر میزان رطوبت خاک محاسبه گردید (حیدری شریف آباد، ۱۳۸۰):

$$\frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

W_1 = وزن نمونه قبل از خشک شدن، W_2 = وزن نمونه پس از خشک شدن در آون

تعداد ٤٨ گلدان تهیه و در هر کدام ۵ کیلوگرم خاک (پس از آنالیز خاک و تعیین درصد FC) ریخته شد، لازم به توضیح است که خاک همه گلدانها به لحاظ بافت، میزان FC و سایر ویژگیهای خاک شناسی یکسان بوده، کف گلدانها سوراخ و حدود ۳ سانتیمتر شن به منظور زه‌کش در کف گلدانها جهت احتراز از تجمع آب ریخته شد. بذر *O. radiata* از مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع و بذر *O. viciifolia* از مؤسسه تحقیقات بذر و نهال

وزارت جهاد کشاورزی تهیه گردید. قبل از کاشت بذرهای مربوطه در محلول هیپوکلریت سدیم ۸ ٪ به مدت یک دقیقه ضدعفونی و بعد چند بار با آب مقطر شستشو داده شدند. محل نگهداری گلدانها گلخانه مرکز تحقیقات منابع طبیعی لرستان با دمای حداقل ١٤ و حداکثر ۳۸ درجه سانتیگراد بود. گیاهان کاشته شده به مدت ٤٠ روز در سطح FC ١٠٠٪ آبیاری شدند. پس از طی ٤٠ روز گلدانهای مربوط به هر گونه به سه سطح تقسیم شدند و اعمال تنش‌ها آغاز گردید. نحوه اعمال تنش‌ها به این صورت بود که وضعیت آب در خاک با اندازه‌گیری حجم آب موجود در خاک صورت گرفت و وزن هر گلدان هر روز کنترل می‌گردید و آبیاری تا حدی انجام می‌شد که در هر تیمار رطوبت به حد مورد نظر برسد، همچنین جهت کنترل تنش‌های اعمال شده محتوی نسبی آب Reletive Water Contant (RWC) برگها نیز اندازه‌گیری شد.

فاکتورهای رشد از قبیل وزن‌تر و خشک اندام هوایی و ریشه، میزان رشد نسبیRelative Growth Rate (RGR)، میزان ماده سازی خالص Net Assimilation Rate (NAR)، نسبت سطح برگی Leaf Area Ratio (LAR)، سطح ویژه برگی Specific Leaf Area (SLA)، نسبت وزن برگیLeaf Weight Ratio (LWR)، میزان رشد نسبی برگ Relative Leaf Growth Rate (RLGR) و نسبت ریشه به اندام هوایی Root/Shoot Ratio (R/S)، با استفاده از فرمول‌های موجود (Venus, 1981 & Causton) اندازه‌گیری شدند. جهت سنجش کلروفیل‌ها از روش Arnon (١٩٨٤) استفاده شد و میزان کاروتنوئیدها با استفاده از روش Hellubust و Craigie (١٩٨٧) اندازه‌گیری شد، بعد تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها با استفاده ازنرم‌افزار MINITAB انجام و میانگین‌ها به روش دانکن در P= ٠/٠٥ با نرم‌افزار MSTATC مقایسه شد و با استفاده از Excel شکلها رسم شد.

نتایج

وزن خشک

دو گونه در میزان وزن خشک کل تفاوت معنی‌داری را با یکدیگر نشان دادند و مراحل رویشی و زایشی نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند، بیشترین ماده خشک ثبت شده مربوط به گونه *O. viciifolia* در دوره زایشی بود و حداقل وزن خشک مربوط به تنش FC ٪ ٥٠ بود .

سطح برگ (LA)

تنش‌های اعمال شده موجب ایجاد تفاوت‌های معنی‌داری در سطح برگ گیاهان تحت تنش شد.گونه *O. viciifolia* از سطح برگ بیشتری برخوردار بود وحداقل سطح برگ در تنش FC ٪ ٥٠ مشهود بود، همچنین دوره‌های رویشی و زایشی نیز به لحاظ سطح برگ تفاوت معنی‌داری داشتند. سطوح تنش FC ٪ ٥٠ و FC ٪ ٧٥ با یکدیگر و با شاهد تفاوت معنی‌دار داشتند.

طول ریشه

تنش‌های اعمال شده درهمه سطوح و مراحل ایجاد تفاوت معنی‌داری در طول ریشه هر دو گونه نمود و بیشترین طول ریشه متعلق به گونه *O. radiata* در تنش FC ٪ ٥٠ طی مرحله زایشی بود. دو گونه به لحاظ طول ریشه تفاوت معنی‌دار داشتند و دو دوره رویشی و زایشی نیز از این لحاظ تفاوت معنی‌داری نشان دادند.

نسبت اندام هوایی به ریشه (R/S)

دو گونه تحت مطالعه در میزان R/S تفاوت معنی‌دار داشتند و گونه *O. radiata* در مقایسه با گونه *O. viciifolia* از میزان R/S بیشتری برخوردار بود، مراحل رویشی و زایشی نیز در مقدار R/S تفاوت معنی‌داری

داشتند و بیشترین مقدار R/S مربوط به گونه *O. radiata* در مرحله زایشی و تحت تنش FC ٪ ۵۰ بود.

مؤلفه‌های رشد

میزان RGR, NAR WR, LAR, LWCA, RLGR جدول (۱)، در هر دو گونه تحت شرایط تنش کاهش داشت و فاکتورهای مذکور در تنش FC ٪ ۵۰ کمترین مقدار را داشتند اما این فاکتورها در مراحل رویشی و زایشی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

کلروفیل a

کلروفیل a در کلیه سطوح تنش و در هر دو گونه *O. radiata* و *O. viciifolia* کاهش معنی‌داری را نشان داد، اما دوره‌های رویشی و زایشی تفاوت معنی‌داری در محتوی کلروفیل a نشان ندادند. گونه *O. radiata* نسبت به گونه *O. viciifolia* از محتوی کلروفیل a بالاتری به هنگام تنش‌ها برخوردار بود.

کلروفیل b

کلروفیل b نیز تحت شرایط تنش کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. دوره‌های زایشی و رویشی تفاوت معنی‌داری در محتوی کلروفیلb نشان ندادند، هر چند در دوره زایشی اندکی افزایش در محتوی کلروفیل b محسوس بود.

نسبت کلروفیل a به کلروفیل b (Chla / Chlb)

نسبت Chla / Chlb در شرایط تنش نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشت، اما با این که نسبت Chla / Chlb در دوره زایشی اندکی افزایش یافت، اما این افزایش معنی‌دار نبود. نسبت Chla / Chlb در گونه *O. radiata* در شرایط تنش با گونه *O. viciifolia* تفاوت معنی‌داری را نشان داد.

کلروفیل کل (a + b) Chl

سطوح تنش اعمال شده برروی محتوی کلروفیل کل در هر دو گونه ایجاد تفاوت معنی‌داری نمود، کمترین محتوی کلروفیل **(a + b)** مربوط به سطح تنش FC ٪ ۵۰ بود و در هر دو گونه میزان کلروفیل **(a + b)** در دوره زایشی کاهش معنی‌داری نشان داد.

کاروتن‌ها

تنش آب سبب کاهش کاروتن‌ها شد، کاهش کاروتن‌ها در دوره زایشی نسبت به رویشی بیشتر بود و محتوی کاروتن به هنگام تنش در گونه *O. radiata* از مقدار بیشتری برخوردار بود.

گزانتوفیل‌ها

گزانتوفیل‌ها در شرایط تنش آب افزایش نشان دادند. در دوره زایشی این افزایش بیشتر و در هر دو گونه سطح تنش FC ٪ ۵۰ با شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان داد و افزایش گزانتوفیل‌ها به هنگام تنش در گونه *O. radiata* بیشتر از گونه *O. viciifolia* بود. در مجموع کاروتنوئیدها تحت شرایط تنش افزایش نشان دادند که البته این افزایش در دوره زایشی بیشتر بود و گونه *O. radiata* در مقایسه با *O. viciifolia* از محتوی کاروتنوئید بالاتری برخوردار بود.

نسبت کاروتنوئیدها به کلروفیل‌ها

نسبت کاروتنوئیدها به کلروفیل‌ها در گونه *O. radiata* بسیار بیشتر از *O. viciifolia* بود، همچنین در دوره زایشی نسبت به رویشی با افزایش این نسبت مواجه بودیم و با کاهش میزان FC نسبت کاروتنوئیدها به کلروفیل‌ها افزایش نشان داد.

بحث

نتایج این تجربه حاکی از کاهش وزن تر و خشک برگها، ساقه و وزن کل است (شکلهای ۹، ۱۰ و ۱۱) که این نتایج با تحقیقات (Elnadi, 1969) تأیید می‌شوند.

کاهش وزن تر و خشک می‌تواند ناشی از کاهش فشار تورگور سلول باشد که بر اساس معادله زیر:

$$dv/v.dt = m (\psi_P - y)$$

dv/v.dt: تغییرات رشد در واحد زمان، m: ضریب ثابت، ψ_P: فشار تورگور و y: حداقل آستانه فشار تورگور سبب کاهش و یا حتی توقف رشد می‌گردد .

همچنین کاهش وزن خشک می‌تواند ناشی از کاهش سطح برگ و اقتصاد کربنی گیاه و کاهش نرخ فتوسنتزی به دلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی به خصوص کلروفیل‌ها باشد (Lawlor, 2002)، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که، کلروفیل a، کلروفیلb و کلروفیل(a+b) در کلیه سطوح تنش‌های اعمال شده کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهند (شکل‌های ۲،۱ و ۳) این نتایج با گزارشهای cornic (۲۰۰۰) مطابقت دارد، اما با گزارشهای Ashraf و همکاران (۱۹۹٤) مطابقت نمی‌کند. آب را می‌توان ماده‌ای دانست که بدون وجود ناقل‌های الکترون ابتدا و انتهای زنجیره انتقال الکترون دستگاه فتوسنتزی را به یکدیگر متصل می‌کند (ابراهیم زاده، ۱۳۷۹) یکی از مهمترین دلایل کاهش کلروفیل‌ها تخریب آنها به‌وسیله گونه‌های اکسیژن فعال Reactive Oxygen Species (O^{2-},H_2O_2,.OH) (ROS) می‌باشد (Navari-Izoo *et al*., 1990)، کاهش فعالیت فتوسیستم II، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و مهار سنتز ATP همگی باعث می‌شوند تا اکسیژن یک پذیرنده جایگزین برای الکترونهای اضافی فتوسنتز باشد و تشکیل گونه‌های اکسیژن آزاد در کلروپلاست‌ها افزایش یابد (Lawlor & Cornic, 2002 ;Asada, 1999). نرخ تولید ROS وابسته به گونه، مدت تنش، سن گیاه و مهمتر از همه شدت تنش می‌باشد (Navari-Izoo *et al*., 1998). در تجربیات Haupt-Herting & Fock (2000) برروی گوجه فرنگی ثابت شده است که به هنگام تنش آب نسبت بیشتری از الکترونهای فتوسنتزی به سوی اکسیژن شارش می‌یابند. همچنین گزارشهایی در خصوص تشدید فعالیت آنزیم کلروفیلاز که آنزیم تجزیه کننده کلروفیل است به هنگام تنش آب موجود می‌باشد. کلروفیلاز با جدا کردن فیتول از کلروفیل و جدا کردن منیزیوم از کلروفیلید وتشکیل فئوفوربید Phaeophorbids و بالاخره تلاشی حلقه چهار پیرولی موجب تجزیه کلروفیل می‌شود (Boyer *et al*., 1987) و احتمالا افزایش غلظت Mg^{+2} در کلروپلاست‌ها به هنگام تنش کمبود آب ناشی از تجزیه کروفیل باشد (Lawlor, 2002)، همچنین کاهش نسبت کلروفیل a به کلروفیل b (شکل ٤) می‌تواند به دلیل حساسیت و تخریب بیشتر کلروفیل a به تنش آب باشد (Boyer *et al*., 1987). به هنگام تنش آب به دلیل محدودیت‌های هدایت روزنه‌ای تثبیت CO_2 کاهش می‌یابد، جلوگیری از تثبیت CO_2 به دلیل افزایش شیب PH و احیاء بیشتر زنجیره انتقال الکترون باعث کاهش مصرف ATP و NADPH.H می‌شود، از طرفی افزایش شیب PH از طریق افزایش qNp (non-photochemical fluorescence quenching) موجب کاهش فلوئورسانس کلروفیل می‌شود (Hall *et al*., 1997). یکی دیگر از عوامل کاهش کلروفیل‌ها، رقابت و پیشی گرفتن آنزیم گلوتامیل کیناز (آنزیم کاتالیز کننده پرولین) به هنگام تنش آب از آنزیم گلوتامات لیگاز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل) می‌باشد که باعث می‌شود تا پیش‌ساز گلوتامات بیشتر به مصرف بیوسنتز پرولین برسد و بنابراین بیوسنتز کلروفیل با محدودیت مواجه می‌شود (Handa *et al*., 1986). بنابراین حفظ بیشتر کلروفیل‌ها و نیز دفاع آنتی اکسیداتیو برتر گونه *O. radiata* در برابر ROS به خاطر محتوی بیشتر گزانتوفیل‌ها از دلایل عمده بقاء گونه *O. radiata* در تنش شدید FC ٪ ۵۰ می‌باشد. همچنین

اثرات منفی کاهش RWC بر ظرفیت تنفس میتوکندریایی و کاهش فعالیت ATP سنتتاز و کاهش ظرفیت احیایی و فتوفسفوریلاسیون به هنگام تنش کمبود آب نیز از جمله عوامل کاهش RGR به هنگام تنش آب می‌باشد (Lawlor, 2002).

به هنگام کاهش آب به‌علت کاهش اسیمسلاسیون کربن وافزایش گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) گیاه دچار تنش اکسیداتیو می‌شود و از آنجائی‌که تیلاکوئیدها به‌عنوان یکی از مکان‌های اصلی تولید سوپراکسید به دلیل حضور توأم اکسیژن و سیستم انتقال الکترون می‌باشد، بنابراین چرخه گزانتوفیل که یک سیستم تامپون شیمیایی به‌عنوان یک سیستم آنتی اکسیداتیو عمل نموده و با واکنش‌های پی در پی اپواکسیداسیون و داپواکسیداسیون در مصرف الکترونهای اضافی اکسیژن‌های فعال و دفاع آنتی اکسیداتیو نقش مهم و فعالی دارد، تجزیه کاروتن به زاگزانتین از جمله دلایل کاهش کاروتن‌ها به هنگام تنش آب می‌باشد، زاگزانتین اکسیژن مولکول برانگیخته کلروفیل را مصرف می‌نماید و به ویلوگزانتین تبدیل می‌شود واز کلروفیل در مقابل فتواکسیداسیون حفاظت می‌نماید، همچنین مصرف الکترونهای اضافی به‌وسیله چرخه گزانتوفیل از غشاءهای تیلاکوئیدی در برابر خطر تخریب بوسیله گونه‌ای اکسیژن فعال محافظت می‌کند و به بقاء سیستم فتوسنتزی به هنگام تنش کمبود آب کمک می‌نماید. افزایش گزانتوفیل‌ها در گیاه تحت تنش آب به دلیل حضور برخی از آنزیم‌های چرخه گزانتوفیل مانند آنزیم ویولاگزانتین داپواکسیداز به دلیل کاتالیز فرایند تبدیل آسکوربیک اسید به دی‌هیدروآسکوربیک اسید حائز اهمیت می‌باشد، زیرا دی‌هیدروآسکوربیک اسید با گرفتن الکترون از گلوتاتیون احیاء می‌شود وگلوتاتیون اکسید شده دوباره می‌تواند الکترونها و انرژی اضافی ناشی از فتوسیستم I را جذب نماید و بر سیستم دفاع آنتی‌اکسیداتیو گیاه بیفزاید (ابراهیم زاده، ۱۳۷۹). بنابراین افزایش غلظت گزانتوفیل به هنگام تنش آب پاسخی است به نیاز دفاع آنتی اکسیداتیو (Foyer *et al*., 1998). نقش کاروتنوئیدها دردفاع آنتی‌اکسیداتیو آنقدر مهم است که فرمولاسیون برخی از علف‌کش‌ها به گونه‌ای طراحی می‌شوند که روی مراحل ویژه‌ای از راه بیوسنتز کاروتنوئیدها خاصیت بازدارندگی انتخابی از خود نشان می‌دهند و با جلوگیری از سنتز کاروتنوئیدها موجب تخریب کلروفیل به دلیل عدم حفاظت در مقابل فتواکسیداسیون می‌شوند (ابراهیم زاده، ۱۳۷۹).

بی تردید گونه‌ای که بتواند کاروتنوئید بالاتری داشته باشد در تنش اکسیداتیو ناشی از تنش آب دفاع مؤفق‌تری خواهد داشت و در مقابل تنش آب تحمل بیشتری از خود نشان می‌دهد (Foyer *et al*., 1998) . بنابراین با توجه به اینکه نسبت کاروتنوئیدها به کلروفیل‌ها در گونه *O. radiata* از گونه *O. viciifolia* بیشتر است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که یکی از دلایل عمده تحمل بیشتر گونه *O. radiata* در برابر تنش‌های اعمال شده نسبت به گونه *O. viciifolia* می‌تواند به علت دفاع آنتی‌اکسیداتیو بهتر این گونه در مقابل تنش اکسیداتیو ناشی از کمبود آب باشد.

ریزش برگها از جمله عوامل کاهش دهنده وزن خشک محسوب می‌شود که این امر می‌تواند به علت تحریک فعالیت آنزیمهای دیواره‌ای از قبیل سلولاز ۹/۵ و پلی‌گالاکتوروناز به هنگام کاهش RWC باشد (Karamanos, 1978). در همه سطوح تنش سطح برگ (LA) در دو گونه *O. radiata* و *O. viciifolia* کاهش معنی‌داری نشان داد که این نتایج باگزارشهای (Muchow

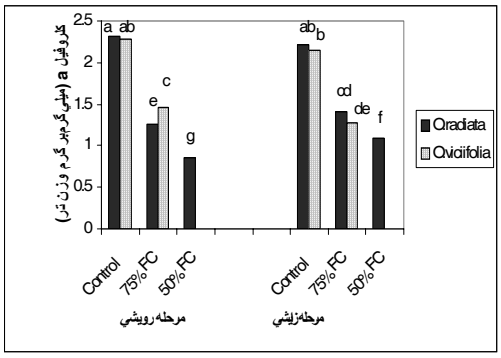
& Sinclair, 1990) تطبیق می‌کند. تغییرات بیوفیزیکی مانند کاهش سطح برگ، ریزش برگها و نیز کاهش اندام‌هوایی اولین خط دفاعی گیاهان به لحاظ کاهش تبخیر و مصرف آب و نیزکاهش هزینه‌های کربن و انرژی در گیاه می‌باشد (Saab *et al*., 1990). ریشه در شرایط کمبود آب به لحاظ وزن تر و خشک و طول افزایش نشان داد که این امر در سازگاری و مقاومت گیاه تحت تنش کمبود آب به لحاظ کارآیی بیشتر ریشه در جذب آب مؤثر است (Sharp *et al*., 1990). گسترش و افزایش رشد ریشه توسط گزارشهای (Saab *et al*., 1990) تأیید شده است، افزایش رشد ریشه متأثر از تنظیم کننده‌های رشد به خصوص ABA به هنگام تنش کمبود آب می‌باشد (Davies & Zahang, 1991). همچنین جلوگیری از توسعه برگ و ریزش برگها و کاهش اندام هوایی به هنگام تنش کمبود آب میزان مصرف کربن و انرژی را در اندام هوایی کاهش داده و بنابراین سهم بیشتری از مواد آسیمیله شده می‌تواند در ریشه توزیع و سبب رشد بیشتر ریشه شود، افزایش رشد ریشه نیز دومین تغییر عمده بیوفیزیکی گیاه در افزایش مقاومت به خشکی و تأمین آب می‌باشد (Saab *et al*., 1990). به‌طور کلی می‌توان گفت که رشد اندام هوایی (برگ و ساقه) در تنش‌های کمبود آب کم شده است، در صورتی‌که ریشه افزایش رشد داشته است. بنابراین کاهش اندام هوایی و افزایش رشد ریشه موجب بالا رفتن نسبت R/S در گیاهان تحت تنش شده که این موضوع از جمله تغییرات فیزیولوژیکی عمده سازگاری طی تنش کمبود آب می‌باشد، زیرا هزینه‌های مصرف ماده و انرژی در گیاه تحت تنش به حداقل می‌رسد و این در زنده ماندن گیاه تحت تنش کمبود آب اهمیت دارد (Sharp *et al*., 1990).

جدول ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح متفاوت تنش، مراحل رشد (رویشی- زایشی) و فاکتورهای تجزیه و تحلیل رشد به روش دانکن

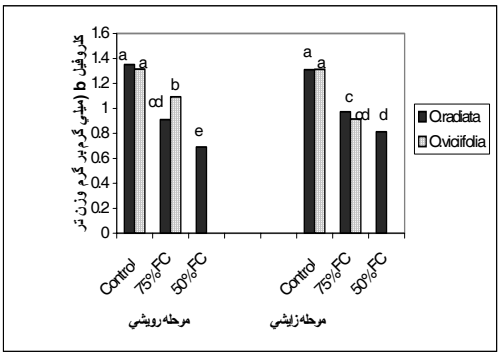
گونه	مرحله رویش	سطح تنش	LWR Kg Kg^{-1} (d.w)	LAR m^2 Kg^{-1} (d.w)	LWCA (g(H_2O)m^{-2})	SLA m^2 Kg^{-1}	NAR g.m^2 d^{-1}	RLGR cm^{2}m^{-2}d^{-1}	RGR g.Kg^{-1}d^{-1}
O. radiata	رویشی	شاهد	./۵۹۵ b	۱۶b	۱۱۶/۰۹۳a	۲۷/۵d	۱/۴۴e	۱۴۵a	۲۳c
		٪۷۵FC	./۴۶۵ cd	۱۴/۲۵ bc	۹۲/۳۴۲b	۳۰/۵ d	۱/۵۵ de	۵۸۰c	۲۲/۱c
		٪۵۰FC	./۱۷۸ e	۷/۱۷۵ d	۷۰/۴۴۳ c	۴۱/۷۵ bc	۲/۱۲d	./۹۵ de	۱۵/۲۵d
	زایشی	شاهد	./۷۳۷ a	۱۹ a	۱۱۰/۸۹a	۲۶/۷۵ d	۱/۶۸ de	۱۳۵۰a	۳۲/۱ b
		٪۷۵FC	./۴۵۷ cd	۱۶/۵ b	۹۱/۸۷b	۳۶/۲۵ cd	۱/۳۵ e	۹۴۲/۵ b	۲۲/۴ c
		٪۵۰FC	./۱۳۵ e	۶/۴۷۵ d	۷۸/۶۹۵ c	۴۸/۷۵ b	۲/۹۹ c	۱۰۴ d	۱۹/۴ d
O. viciifolia	رویشی	شاهد	./۴۰۵ d	۱۲ c	۹۶/۲۸۰ b	۳۰/۲۵ d	۳/۲۹ c	e ۱۵۲۵a	۳۹/۵ a
		٪۷۵FC	./۱۰۹ ef	۵/۰۲۵ d	۴۱/۲ d	۵۰/۲۵ b	۶/۶ a	−۱۸۰	۳۳/۲۵ b
		٪۵۰FC	۰/۰۰ f	۰/۰۰ e	۰/۰۰ e	۰/۰۰ e	۰/۰۰ f	۰/۰۰ f	۰/۰۰ e
	زایشی	شاهد	./۰۵۵ bc	۱۴/۲۵ bc	۹۰/۷۸۷ b	۲۶/۵ d	۳/۰۳ c	۱۴۲۵a	۴۳/۲۵ a
		٪۷۵FC	./۰۹۶ ef	۷/۲ d	۳۵/۸۳۰ d	۸۱/۲۵ a	۴/۷۵ b	۵۴۲/۵ c	۳۴/۲ b
		٪۵۰FC	۰/۰۰f	۰/۰۰ e	۰/۰۰ e	۰/۰۰ e	۰/۰۰ f	۰/۰۰ e	۰/۰۰ e

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح متفاوت تنش، مراحل رشد (رویشی- زایشی) بر محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی به روش دانکن

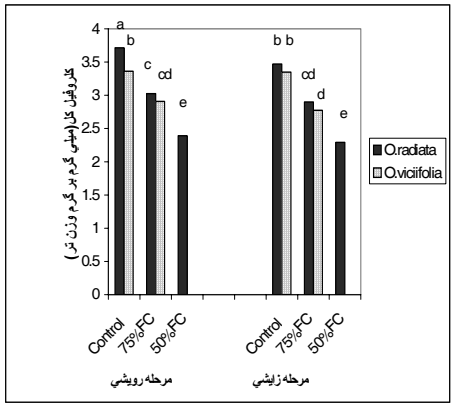
گونه	مرحله رویش	سطح تنش	کلروفیل a (mg/gf.w)	کلروفیل b (mg/gf.w)	کلروفیل (a+b) (mg/gf.w)	کاروتن‌ها (mg/gf.w)	گزانتوفیل (mg/gf.w)
O.radiata	رویشی	شاهد	۲/۱a	۱/۳۵ a	۳/۷۱۵ a	./۲۷۲۵ a	./۱۵c
		٪۷۵FC	۱/۲۶	./۹۱cd	۳/۰۲۵ c	./۲۵abc	./۲۱ c
		٪۵۰FC	./۸۵۷۵g	./۶۹e	۲/۳۹۲۵e	./۱۹۲۵ef	./۳۰۵b
	زایشی	شاهد	۲/۲۲۳ab	۱/۳۱ a	۳/۴۷b	./۲۵۷۵ab	./۲۱۲۵c
		٪۷۵FC	۱/۴۱۷۵cd	./۹۷۲۵ c	۲/۹cd	./۲۴۵abc	./۳۰۷۵b
		٪۵۰FC	۱/۰۹	./۸۱۲۵	۲/۲۹	./۲۳۵	./۷۷۵a
O.viciifolia	رویشی	شاهد	۲/۲۹ab	۱/۳۱۵ a	۳/۳۶۲۵b	./۲۰۲۵def	./۲۰۵c
		٪۷۵FC	۱/۴۶ c	۱/۰۹۳b	۲/۹۰۷۵cd	./۱۷f	./۲۳۲۵c
		٪۵۰FC	۰/۰۰h	۰/۰۰ f	۰/۰۰ f	۰/۰۰ g	۰/۰۰d
	زایشی	شاهد	۲/۱۴۳b	۱/۳۱۲۵a	۳/۳۵b	./۲۱۲۵cde	./۲۳۵c
		٪۷۵FC	۱/۲۸de	./۰۹۱۵cd	۲/۷۷۵d	./۲۲۲۵bcde	./۳۲۲۵b
		٪۵۰FC	۰/۰۰h	۰/۰۰f	۰/۰۰ f	۰/۰۰g	۰/۰۰d



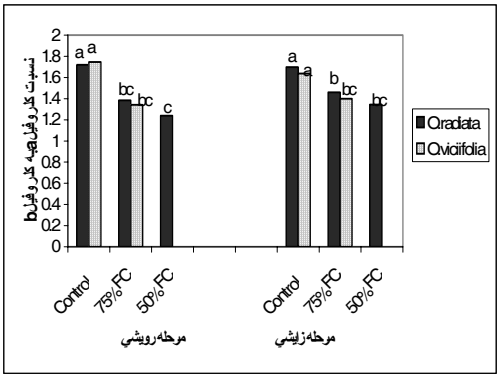
شکل ۱- میزان کلروفیل **a** در سطوح مختلف تنش



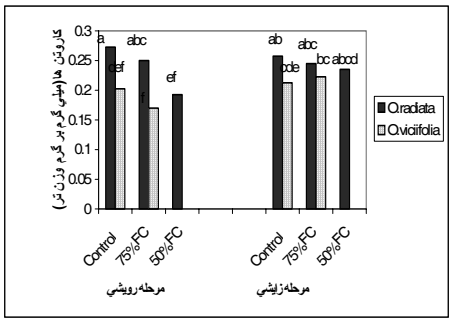
شکل ۲- میزان کلروفیل **b** در سطوح مختلف تنش



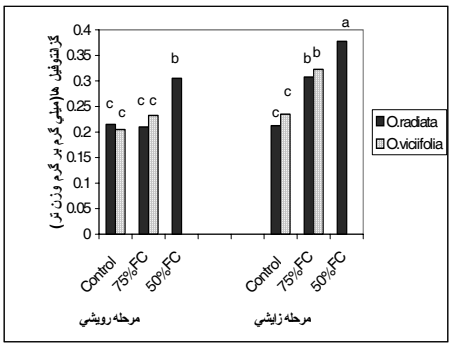
شکل ۳- میزان کلروفیل کل در سطوح مختلف تنش



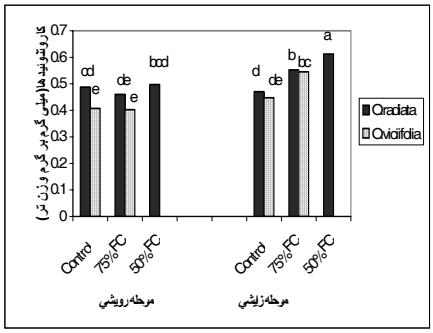
شکل ۴- نسبت کلروفیل **a** به کلروفیل **b**



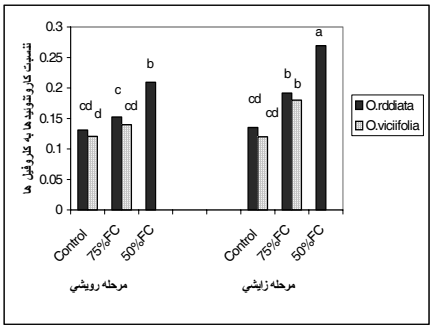
شکل ۵- میزان کاروتن‌ها در سطوح مختلف تنش



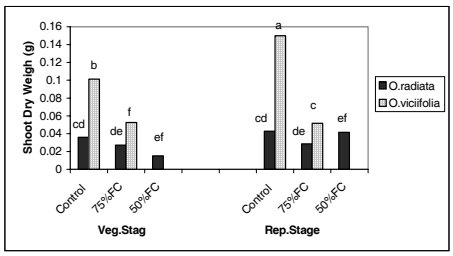
شکل ۶- میزان گزانتوفیل‌ها در سطوح مختلف تنش



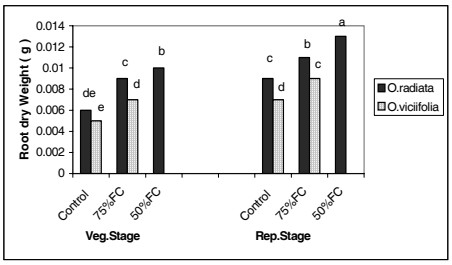
شکل ۷- میزان کل کاروتنوئیدها در سطوح مختلف تنش



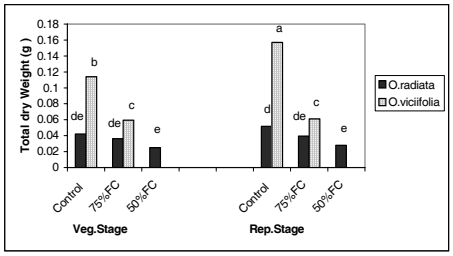
شکل ۸- نسبت کاروتنوئیدها به کلروفیل‌ها



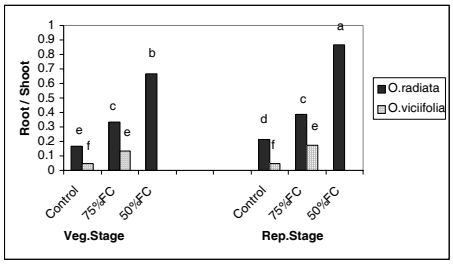
شکل۹- وزن خشک بخش هوایی در سطوح مختلف تنش



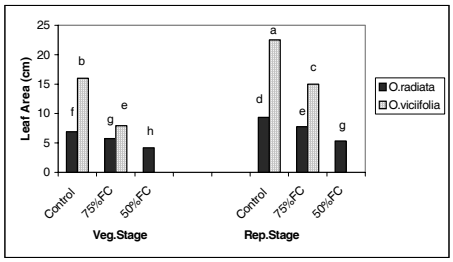
شکل۱۰- وزن خشک ریشه در سطوح مختلف تنش



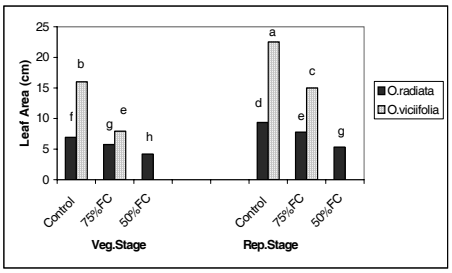
شکل ۱۱- وزن خشک کل در سطوح مختلف تنش



شکل۱۲- نسبت ریشه به اندام هوایی در سطوح مختلف تنش



شکل۱۳- سطح برگ در سطوح مختلف تنش



شکل۱٤- طول ریشه در سطوح مختلف تنش

منابع مورد استفاده

ابراهیم زاده، ح.، ۱۳۷۹. فیزیولوژی گیاهی جلد ٤ (فتوسنتز). انتشارات دانشگاه تهران، ٦٩٠ صفحه.

جعفری، ع.، ١٣٨٤. نقش گراسها و لگومها در تولید علوفه، همایش ملی گیاهان علوفه‌ای کشور.

حیدری شریف آباد، ح.، و دری، م.، ۱۳۸۰. نباتات علوفه‌ای (نیامداران). مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع،۲۵۰ صفحه

حیدری شریف آباد، ح.، ۱۳۷۹. گیاه خشکی و خشکسالی. مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، ۲۰۰ صفحه.

خاوری نژاد، ر.، ۱۳۷۵. فیزیولوژی گیاهی (سلول، تنفس، فتوسنتز). انتشارات دانشگاه تربیت معلم تهران، ٣٦٩ صفحه.

Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *plant Phisiology* 24 : 1-15.

Asada, K., 1999. The water –water cycle in chloroplast:Scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. *Annual Review plant Phisiology and Plant Molecular Biology 50*: 601-639

Ashraf, M.Y., Azmi, A.R., Khan, A.H. and Ala, A., 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in weat. Acta Physiologia Plantarum. 16(3):185-191.

Bolhar-Nordenkampf, H.R. ,Long, S.P. and Baker, N.R., 1989.Chlorophyll flurescence as a prob of the photosynthetic competence of leaves in the field:a review of current instrumentation. Functional Ecology.3,497-514.

Boyer, J.S., Ort, DR, and Ortiz-Lepez, A., 1987 . Photophosphorylation at low water potential. Current Topics in *Plant Biochemistry and Physiology* 6: 69-73.

Bradford KJ, Hsiao TC.1982. Physiological responses to moderate water stress. In: Lange OL *et al*., eds. Encyclopedia of plant physiology, New Series. Physiological plant ecology II. Water relations and carbon assimilation. Berlin: Springer-Verlag, 263–324.

Canaani, C., .Havaux, M. and Malkin, S., 1986. Hydroxylamine, hydrazine and methylamine donate electrons to the photo oxidizing side of PSII in leaves inhibited in oxygen evolution due to water stress. Biochimica et Biophysica Acta 851,151-155.

Caston, D.R. and Venus J.C. 1981. The biometry of plant growth. Londen Edward Arnold

Cornic, G., 2000. Drought stress inhibits Photosynthesis by decreasing stomata aperture – not by affecting ATP synthesis. Trends in plant science 5: 187–188.

Davies W.J. and Zahang J., 1991. Root signals and the relation of growth and development of plant in drying soil. Annual Review of plant physiology and plant molecular Biology 42: 55-76

Elnadi, A.H., 1969. Water relation of beans, effect of water stress on growth and flowering (*Vicia faba*). *Experimental of Agriculture* 5: 195-207.

Foyer, C.H., Valadier, M.H, Migge, A. and Becker T.W., 1998. Drought induced effects on reductase activity and mRNA and on the coordination of nitrogen and carbon metabolism in maize leaves . *Plant physiology* 117: 283–292.

Graan, T. and Boyer, J.S., 1990. Very high CO2 partially restores photosynthesis in sunflower at low water potentials. planta 181: 378-384.

Hall, D.O., Scurlock, J.M.O, Bolhar, H.R., Leegood, R.c. and Long, S.p., 1997. Photosynthesis & Production in A chanching: a field and laboratory manual Environment volum 2.

Handa, S., Handa, A.K., Hasegawa, P.M. and Bressan, R.A., 1986. Proline accumulation and the adaptation of cultured plant cell to water stress. *Plant Physiology* 80: 938-945.

Hao, L., Houguo, L., Zongling W. and Xinmin L., 1999. Effect of water stress and rewateing on turnover and gene expression of photosystemII reaction center polypeptide D_1 in *Zea mays*. Functional Plant Biology: 26(4)375-378.

Harmut, K.L. and F. Babani, 2000. Detection of photosynthetic activity and water stress by imaging the red chlorophyll fluorescence. Plant Physiol. Biochem., 38: 889-895.

Haupt-Herting, S. and Fock, H.P., 2000. Exchange of oxygen and its role in energy dissipation during drought stress in tomato plants. Physiologia plantarum 110: 489-495

Hellubust, J.A. and Cruige, J.S., 1978. Handbook of physiological methods: physiological and Biochemical methods, Cambrige university press.

Kaiser, W.H., 1987. Effect of water deficit on photosynthetic capacity. Physiologia plantarum: 71: 142-149

Karamanos, A.J., 1978. Water Stress and Leaf Growth of Field Beans (*Vicia faba* L.) in the Field: Leaf Number and Total Leaf Area. *Annals of Botany* 42: 1393-1402

Krause, G.H., 1988. Photoinhibition of photosynthesis. An evaluation of damaging and protective mechanism.phisiologia plantarum 74,560-574

Lauer, M.J., Boyer, J., 1992. "Internal CO2 measured directly in leaves: opposing effects of abscisic acid and low leaf water potentials." Plant Physiology 98:1310-1316

amino acids in field grown maize and sun flower. Plant phsiolgy Biochemistry 28: 531-537

Powles, S.B., 1984. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light. Annal Review Plant Phisiology. 35,14-55

Saab, I.N., Sharp, R.E., Prichard, J. and Voetberg, G.S., 1990. Increased endogenous abscisic acid maintains primary root growth and inhibit shoot growth of maize seedling sat low water potentials. Plant physiology 93: 1329-1336.

Sharp, R.E., Hsiao, T.C. and Silk, W.K., 1990 .Growth of the maize primary root at low water potentials. II Role of growth and deposition of hexose and potassium in osmotic adjustment. *Plant physiology* 9 : 1337-1346.

Thomas, D.A. and Andre, M., 1982 . There sponse of oxygen and carbon dioxide exchanges and root activity to short term water stress in soybean. Journal of Experimental Botany 33: 393-405.

Lawlor, D.W., 2002. Limitation to photosynthesis water – stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany* 89: 671 – 885

Lawlor, D.W. and Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. plant, cell and Environment, 25:275 – 294

Lawlor, D.W. and FOCK, H., 1977. Water stress induced changes in the amounts of Photosynthentic assimilation Products and respiratory metabolites of sunflower leaves. Journal of Experimental Botany, 28:329-337

Muchow, R.C. and Sinclair, T.R., 1990. Water and nitrogen limitation in soybean production. Field Crops Reserch, 15; 143-156

Navari-Izzo, F., Quartacci, M.F., Pinzino, C., Dalla Vecchia, F., sgherii C.L.M., 1998. Thilakoid-bound and stromal antioxidative enzymes in wheat treated with excess copper. Plant physiology 104: 630-638

Navari-Izzo, F., Quartacci, M.F. and Izzo, R., 1990. Water-stress induced changes in protin and free

The effect of water stress on dry weight and photosynthetic pigments in two sainfoin species

P. Ramak[1], R. khavari-Nejad[2], H. Hidari Sharifabad[3], M. Rafiee[1] and K. Khademi[1]

1- Lorestan Agricultuer and Natural Resources Research Center.P.O.Box:348, E-mail: ramak30@yahoo.com

2- Teacher Education Tehran University,Iran

3- Seed and Plant certification and Registration Research Institute

Abstract

Effect of water stress on dry weight and photosynthetic pigments in two sainfoin species (*Onobrychis radiata & Onobrychis viciifolia*) was surveyed in a factorial experiment based on a randomized complete block design with 4 replications . The plants under study were grown in a greenhouse environment with the maximum temperature of 38ºC and the minimum temperature of 14ºC. Forty days after cultivation, both species were put under water deficit stress based on the subtraction farm 75% field capacity (FC) and 50%FC, and samplings were carried out in germination and growth stages, with irrigation level of 100%FC being taken as control. In both types, water deficiency tension resulted in decreased relative growth rate (RGR),leaf area ratio (LAR) and relative leaf growth rate (RLGR).The measurement of imposed tension indices showed that *Onobrychis viciifolia* underwent the greatest tension in such a way that this species withheld at 50%FC tension level. The ratio of root to shoot (R/S) , length and weight of root increased,but in *Onobrychis radiata* the increase of these parameters were much higher than those of *O. viciifolia* . The biochemical surveys showed that carotens content and chlorophylls content decreased under the stress conditions in both species, but the xanthophyll content increases and the ratio of carotenoids to chlorophylls increased, with *O. radiata* being higher in this respect. Because the xanthophyll cycle is one of the strong mechanisms of anti-oxidation in plants, and prohibits of demolition of membranes and supports chlorophyll against photo–oxidation, the increase of xanthophyll results in the increase of plant's resistance – threshold against oxidation stress arising to water deficit.

Key words: Water Stress, Sainfoin, Field capacity (FC), Photosynthetic pigment and Relative growth rate.