

تغییرات فیزیولوژیکی و عملکرد ناشی از تأخیر در آبیاری در سورگوم اسپیدفید و ارقام ارزن

Physiological Changes and Yield in Speedfeed Sorghum and Millet Cultivares Affected by Delayed Irrigation

محمد صفائی طرقله^۱، آرمان آذری^{۲*}، حسین دشتی^۳ و شهاب مداح حسینی^۴

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۳

(مقاله پژوهشی)

چکیده

به منظور ارزیابی تحمل به خشکی سه رقم ارزن و یک رقم سورگوم، آزمایشی به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل سه دور آبیاری پس از ۸۰ (شاهد)، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس آ، عامل فرعی شامل چهار رقم سورگوم (*Sorghum bicolor* cv. Speedfeed)، ارزن باستان (*Setaria italica* cv. Bastan)، ارزن پیشاهنگ (*Panicum miliaceum* cv. Pishahang) و ارزن نوتریفید (*Pennisetum americanum* cv. Nutrifeed) و عامل فرعی به عنوان زمان نمونه‌برداری از برگ پرچم شامل سه مرحله قبل، یک و سه روز بعد از آبیاری بود. تأخیر در آبیاری علاوه بر کاهش رنگیزه‌های برگ و عملکرد علوفه، باعث افزایش پرولین، ساکارز و قندهای محلول برگ گردید. تداوم اثرات تنش خشکی در روزهای بعد از آبیاری نیز مشاهده شد. براساس نتایج، برای ارقام مورد مطالعه، دور آبیاری تا سطح ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر، به ترتیب تنش خشکی محدود و شدید را ایجاد کرد. حداقل زمان برای جبران اثرات تنش خشکی با شدت محدود، ۳ روز بعد از آبیاری بود. در هر دور آبیاری، سورگوم اسپیدفید بیش‌ترین عملکرد را تولید کرد. حداکثر عملکرد خشک علوفه نیز از دور آبیاری شاهد و سورگوم اسپیدفید (۹۳۷۶ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. پرولین و ساکارز برگ به عنوان تنظیم‌کننده اسمزی، با عملکرد علوفه همبستگی مثبت داشتند. هم‌چنین سورگوم اسپیدفید دارای قدرت تطابق‌پذیری بیش‌تری بوده و بعد از انجام آبیاری، سریع‌تر از ارقام ارزن مورد مطالعه ترمیم خسارت‌های وارده را انجام داد.

واژه‌های کلیدی: دور آبیاری، خشکی، پرولین، ساکارز

۱، ۲، ۳ و ۴. به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، استادیار و دانشیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

* نویسنده مسئول Email: arman.azari@vru.ac.ir

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده اول به راهنمایی آرمان آذری می‌باشد.

کرد که دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش خشکی از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مناسب جهت مقاومت به تنش خشکی هستند. تنش خشکی در ابتدا باعث کاهش پتانسیل آب برگ، تغییرات در تورژانس سلول و بسته شدن روزنه‌ها به علت اسید آبسزیک تولیدی در برگ یا ریشه‌ها می‌گردد که این امر موجب کاهش غلظت CO₂ درون سلول‌ها و افزایش مقاومت مزوفیل و در نتیجه تغییر در فتوسنتز می‌شود (پینهیرو و چاوز^۹، 2011). تنظیم اسمزی نوعی سازگاری به تنش کمبود آب است که از طریق تجمع مواد محلول درون سلول‌ها، می‌تواند منجر به حفظ تورژانس سلول‌ها و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های پایین آب شود (وینکور و آلتمن^{۱۰}، 2005). این کار از طریق تولید بیش‌تر انواع مختلف مواد آلی مانند پرولین، پروتئین، بتائین و قندهای محلول در ریشه‌ها و اندام‌های هوایی صورت می‌گیرد (محمدخانی و حیدری^{۱۱}، 2008). پرولین، علاوه بر نقش تنظیم‌کننده اسمزی، منجر به برقراری ثبات در ساختار غشاء و پروتئین و مهار رادیکال‌های آزاد سلول در شرایط تنش می‌شود. تجمع پرولین در بسیاری از گونه‌های گیاهی در ایجاد مقاومت به تنش اهمیت دارد و میزان آن به‌طور عمومی در گیاهان مقاوم نسبت به گیاهان حساس بیشتر است (شرف^{۱۲} و همکاران، 2007). پرولین علاوه بر تنظیم اسمزی، به‌عنوان محافظ در برابر تنش نیز عمل می‌کند. بدین ترتیب که به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم با ترکیبات درشت مولکول برهمکنش داشته و از این طریق به حفظ شکل و ساختار طبیعی آن‌ها کمک می‌کند. راماک^{۱۳} و همکاران گزارش کردند که با افزایش میزان تنش خشکی، محتوای پرولین ریشه و اندام هوایی در گونه‌های *Onobrychis radiata* و *O. viciifolia* افزایش یافت. هم‌چنین پیردشتی^{۱۴} و همکاران (2009) گزارش کردند که تنش خشکی در مراحل مختلف رشد ارقام برنج، سبب افزایش پرولین برگ شد. تنش خشکی در ارقام پنبه باعث افزایش در پرولین برگ شد (پاریدا^{۱۵} و همکاران، 2008). قندهای محلول نیز به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی، ثبات‌دهنده غشاهای سلولی و حفظ‌کننده تورژانس سلول‌ها، عمل می‌کنند. در حقیقت، در گیاهانی که قندهای محلول در پاسخ به تنش خشکی تجمع می‌یابند، تنظیم اسمزی بهتر صورت می‌گیرد

خشکی مهم‌ترین عامل اصلی محدودکننده تولیدات کشاورزی به‌شمار می‌رود. در کشاورزی، کمبود آب یا تنش خشکی هنگامی حادث می‌شود که تقاضای تبخیر اتمسفری برگ‌ها از ظرفیت و توانایی ریشه‌ها برای استخراج آب از خاک، تجاوز نموده و فراتر می‌رود (تیلور^۱ و همکاران، 1996) ارزن و سورگوم گیاهانی چهارکربنه بوده که در بین غلات از تحمل بالایی نسبت به تنش خشکی و شوری برخوردار هستند (کوساکا^۲ و همکاران، 2005). کمبود آب، رشد و عملکرد را از طریق کاهش سطح برگ و فتوسنتز آن، کاهش می‌دهد. گلمبک و آل‌رامنه^۳ (2002) در بررسی سازوکارهای تحمل خشکی در ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*) نشان داد که خشکی از طریق کاهش سطح برگ و تعداد برگ‌های فعال، سطح جذب دی‌اکسیدکربن را کاهش می‌دهد. کنگ^۴ و همکاران (2000) گزارش کردند که در اثر تنش خشکی، مقدار فتوسنتز ذرت کاهش می‌یابد. هم‌چنین کاهش ارتفاع ساقه، وزن برگ، وزن ساقه، عملکرد علوفه‌تر و بر اثر تنش خشکی در سورگوم علوفه‌ای (اشتری لرکی، 1386) و ارزن علوفه‌ای (صادقی و همکاران، 1386) نیز گزارش شده است. طی آزمایشی که روی سه گیاه علوفه‌ای ذرت، سورگوم و ارزن تحت تنش خشکی انجام شد، مشخص گردید که بیش‌ترین عملکرد علوفه خشک و ارتفاع بوته در تیمار شاهد (یک هفته فاصله آبیاری) به‌دست آمد (نباتی و رضوانی‌مقدم، 1389). در پژوهشی کاهش محتوای کلروفیل گیاهچه‌های برنج در شرایط تنش را به‌دلیل کاهش در سنتز آنزیم گلوتامات لیگاز گزارش کردند (دلال و تریپاتی^۵، 2012). بخش عمده‌ای از نیتروژن برگ در ساختار مولکول کلروفیل شرکت داشته و تجمع رنگیزه‌ها در بافت‌ها می‌تواند به‌طور مستقیم با فیزیولوژی تنش مرتبط باشد. چنان‌که تحت شرایط تنش و پیری، غلظت کاروتنوئیدها افزایش و غلظت کلروفیل کاهش می‌یابد. هم‌چنین غلظت‌های نسبی رنگیزه‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی تغییر می‌کند (استیل^۶ و همکاران، 2003). در همین ارتباط گریگرسن و هولم^۷ (2007) بیان کردند که طی تنش خشکی، محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد و ارقام دارای محتوای کلروفیل بالاتر، مقاومت بیش‌تری در شرایط تنش از خود نشان می‌دهند. هم‌چنین پسرکلی^۸ (1999) بیان

9. Pinheiro and Chaves
10. Vinocur and Altman
11. Mohammadkhani and Heidari
12. Ashraf
13. Ramak
14. Pirdashti
15. Parida

1. Taylor
2. Kusaka
3. Golombek and Al-Ramamneh
4. Kang
5. Dalal and Tripathy
6. Steele
7. Gregersen and Holm
8. Pessarkli

آرنون^۲ (۱۹۶۷)، محتوای پرولین با استفاده از روش بیتس^۳ (۱۹۷۳) و قندهای محلول (ساکارز، گلوکز، سوربیتول، مانیتول، گلیسرول و ترهالوز) با استفاده از روش /ریگوئن^۴ و همکاران (۱۹۹۲) و ساکارز از روش ون هندل^۵ (۱۹۶۸) اندازه‌گیری شد. تجزیه‌های آماری در محیط نرم‌افزار SAS (portable ver. 9.3.1) و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

رنگیزه‌های برگ

برهم‌کنش عوامل سه‌گانه آزمایشی بر کلروفیل a معنی‌دار بود (جدول ۲). در هر سه زمان نمونه‌برداری، بیش‌ترین مقدار کلروفیل a مربوط به سورگوم اسپیدفید و ارزن نوتریفید در شرایط آبیاری شاهد بود و کم‌ترین مقدار آن نیز در سورگوم اسپیدفید در دور آبیاری ۱۶۰ میلی‌متر مشاهده شد (جدول ۳). کم‌تر بودن کلروفیل a در سورگوم اسپیدفید می‌تواند دلیل بر تطابق‌پذیری زیاد این گیاه با محیط باشد. تغییرات کلروفیل a در تمامی تیمارهای دور آبیاری و در تمامی رقم‌ها نشان می‌دهد که در زمان قبل از آبیاری (حداکثر میزان تنش در هر سطح) به دلیل کاهش توانایی فتوسنتز، کمتر از زمان یک و سه روز بعد از آبیاری بوده است (جدول ۳). در هر سه دور آبیاری و در همه ارقام، بلافاصله پس از آبیاری با فراهم شدن شرایط لازم، ظرفیت فتوسنتزی گیاه و در نتیجه میزان کلروفیل a افزایش می‌یابد و این روند تا سه روز بعد از آبیاری همچنان وجود دارد، که نشان‌دهنده‌ی وضعیت مطلوب رطوبتی خاک تا سه روز بعد از آبیاری است. اما در دور آبیاری شاهد، فراهمی رطوبت در طول دوره رشد، سبب حساس شدن گیاهان نسبت به تغییرات رطوبت نیز می‌گردد، که باعث شده میزان کلروفیل a در فاصله نمونه‌برداری دوم و سوم، تقریباً ثابت باقی بماند (شکل ۱)، که در دو رقم باستان و نوتریفید در این فاصله زمانی حتی کاهش در مقدار آن دیده می‌شود (جدول ۲).

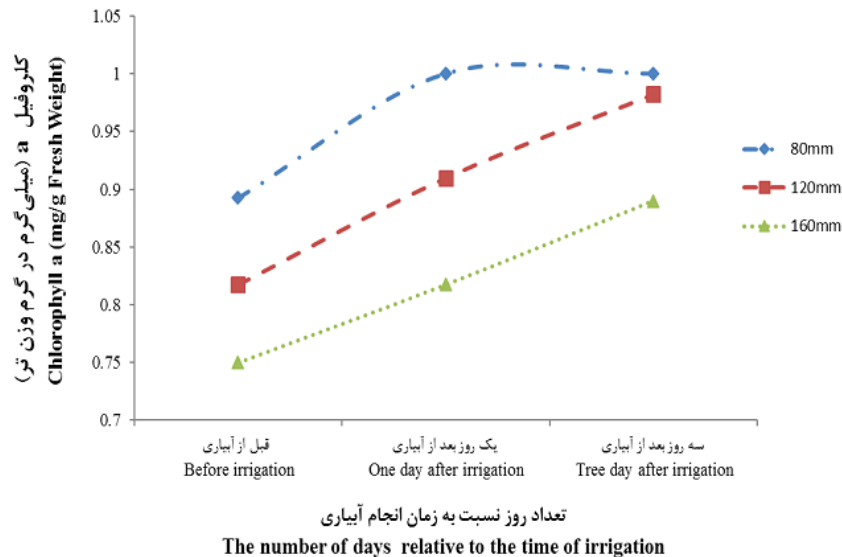
(سلما^۱ و همکاران، ۲۰۰۷) با توجه به مطالب گفته شده تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی میزان تحمل به خشکی سه رقم ارزن و مقایسه آن با سورگوم، تعیین بهترین دور آبیاری برای تولید مطلوب عملکرد علوفه و بررسی برخی از راه‌کارهای فیزیولوژیک تحمل به تنش خشکی در ارقام موردبررسی به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در منطقه رفسنجان در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر، به‌صورت آزمایش کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، طی تابستان ۱۳۹۳ انجام گرفت. عامل اصلی، سه دور آبیاری شامل انجام آبیاری پس از ۸۰ (شاهد)، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس آ و عامل فرعی در چهار سطح شامل سه رقم ارزن شامل رقم‌های باستان (*Setaria italica* cv. Bastan)، پیشاهنگ (*Panicum miliaceum* cv. Pishahang) و نوتریفید (*Pennisetum americanum* cv. Nutrifeed) و سورگوم اسپیدفید (*Sorghum bicolor* cv. Speedfeed) و عامل فرعی فرعی زمان نمونه‌برداری برگ برای صفات فیزیولوژیک، شامل سه زمان قبل، یک و سه روز بعد از آبیاری بود. سورگوم اسپیدفید، به‌عنوان معیاری برای ارزیابی بهتر ارقام ارزن مدنظر قرار گرفت. کاشت در دو طرف پشته‌های با عرض ۸۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف حدود ۶/۲۵ سانتی‌متر (تراکم ۴۰ بوته در مترمربع، مطابق بروشور ترویجی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر) در نیمه دوم اردیبهشت ماه انجام شد. هر کرت شامل شش خط کاشت و به طول نه متر بود که حد فاصل بین سطوح عامل فرعی یک پشته و بین عامل اصلی، دو پشته در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج تجزیه خاک محل انجام آزمایش (جدول ۱)، مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل (به‌صورت پایه) و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع کود اوره (به‌صورت سرک، یک‌سوم در مرحله دو الی چهار برگی و دو‌سوم باقیمانده آن با آغاز گره‌بندی) مصرف شد. اعمال تیمارهای دور آبیاری پس از استقرار گیاه و رسیدن به مرحله پنج تا شش برگی اجرا و تا پایان دوره ادامه یافت. برای اندازه‌گیری صفات موردنظر، از زمان مشاهده گل آذین نمونه‌برداری برای صفات فیزیولوژیک رنگدانه‌های برگ، پرولین، ساکارز و قندهای محلول برگ از جوان‌ترین برگ بالغ (برگ پرچم) در سه مرحله و عملکرد علوفه در یک نوبت و در مرحله خمیری نرم و از مساحت دو مترمربع انجام شد. کلروفیل (کلروفیل a، b، نسبت کلروفیل a به b و کاروتنوئید) به روش

2. Arnon
3. Bates
4. Irigoyen
5. VanHandel

1. Slama



شکل ۱: روند تغییرات کلروفیل a
Fig. 1: Changes trend of chlorophyll a

a، سایر رنگدانه‌های موجود در برگ به‌عنوان رنگدانه‌های کمکی محسوب شده که هم نقش آنتن (گیرنده‌های پرتوهای نوری و انتقال به مراکز فتوسنتزی و کلروفیل a) و هم نقش محافظتی نوری از کلروفیل a در تابش‌های شدید یا در تنش‌های محیطی (که منجر به بسته شدن روزنه‌ها می‌گردد) دارند (کافی و همکاران، ۱۳۹۱)، لذا تغییرات نسبت کلروفیل a به b باید با توجه به وضعیت هر دو رنگیزه مورد بررسی قرار گیرد. در این ارتباط، در دور آبیاری شاهد، در قبل از آبیاری که مقدار هر دو نوع کلروفیل پایین است، کم‌تر بودن این نسبت، به دلیل زیاده‌تر بودن مقدار کلروفیل b است، زیرا کلروفیل b دارای نقش کمکی و محافظتی بوده و مقدار آن از کلروفیل a بیش‌تر است. در روز بعد از آبیاری هر دو نوع کلروفیل افزایش یافته‌اند که این افزایش در کلروفیل a بیش‌تر بوده، چرا که ظرفیت فتوسنتزی رو به افزایش است. اما در سه روز پس از آبیاری این نسبت مجدداً شروع به کاهش کرده که با توجه به افزایش کلروفیل a (شکل ۱)، می‌تواند به دلیل افزایش بیش‌تر کلروفیل b و نقش محافظتی آن به دلیل کاهش مجدد رطوبت خاک باشد. در دوره‌های آبیاری ۱۲۰ و ۱۶۰ نیز روند تغییرات مانند شرایط شاهد بود.

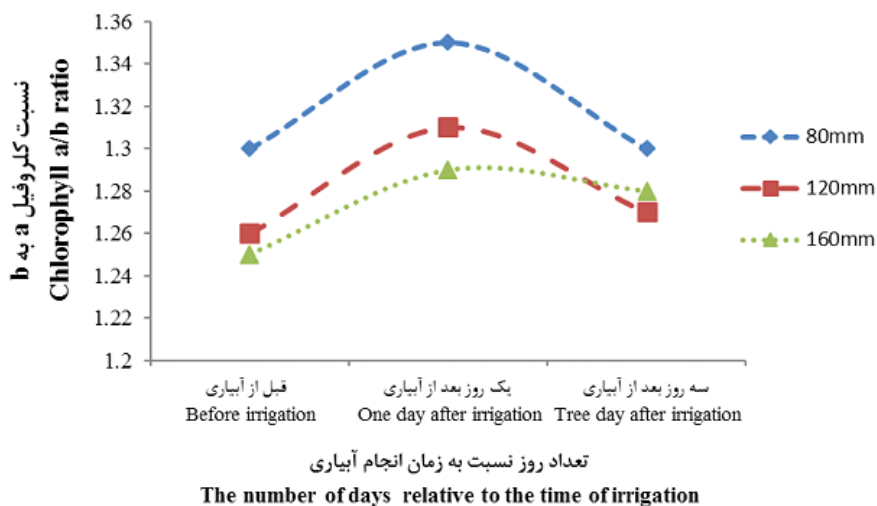
اثر اصلی آبیاری و برهم‌کنش آن با زمان نمونه‌برداری بر کارتنوئید برگ معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار کارتنوئید مربوط به مرحله قبل از آبیاری و در تیمار آبیاری شاهد و نیز تیمارهای آبیاری روز سوم بعد از آبیاری بود (جدول ۶). تغییرات میزان کارتنوئید برگ در سه مرحله نمونه‌برداری با نقش آن به‌عنوان یک رنگیزه کمکی مطابقت دارد (شکل ۳). روند تغییرات در دور آبیاری شاهد، متفاوت از سطوح دیگر

تنها اثر اصلی آبیاری و رقم بر کلروفیل b معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد که با تأخیر در آبیاری از مقدار کلروفیل b کاسته شد اما تفاوت دور آبیاری ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر معنی‌دار نبود (جدول ۴). کم‌ترین مقدار کلروفیل b در دور آبیاری ۱۶۰ به دست آمد (جدول ۴) که این رویداد، نوعی هم‌روندی با کلروفیل a را نشان می‌دهد. در بین ارقام نیز رقم باستان دارای بیش‌ترین مقدار و سورگوم اسپیدیفید و ارزن پیشاهنگ دارای کم‌ترین مقدار کلروفیل b بودند (جدول ۵).

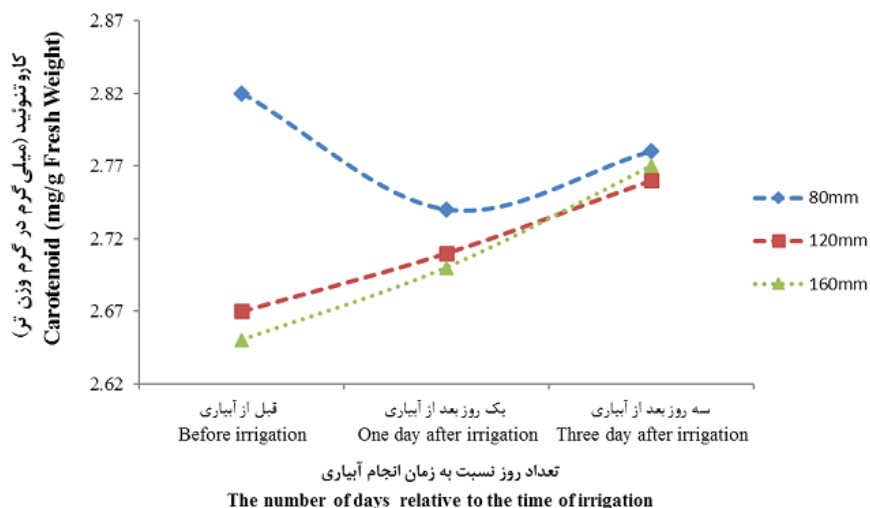
در رابطه با نسبت کلروفیل a به b، اثر زمان، رقم و برهم‌کنش زمان و دور آبیاری بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار این نسبت مربوط به مرحله بعد از آبیاری و در دور آبیاری شاهد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به قبل از آبیاری و در دور آبیاری ۱۶۰ میلی‌متر بود (جدول ۶). نتایج نشان داد که در هر سه مرحله نمونه‌برداری به‌موازات افزایش دور آبیاری از مقدار این نسبت کاسته شد (جدول ۶)، اما این کاهش به‌صورت یکسان صورت نپذیرفت و تغییرات آن با افزایش دور آبیاری، محدودتر بود و بیش‌ترین نوسانات در دور آبیاری شاهد وجود داشت و باعث شد در روز سوم بعد از آبیاری، تفاوت بین دوره‌های آبیاری غیرمعنی‌دار شود که نشان‌دهنده حساسیت بیش‌تر ارقام در دور آبیاری شاهد است. همچنین بیش‌ترین مقدار این صفت در رقم نوتریفید ارزن به‌دست آمد (جدول ۵). این نسبت، بیش‌تر از تغییرات کلروفیل a تبعیت کرد. به‌عبارت‌دیگر تنش خشکی غلظت کلروفیل a را بیش‌تر از b کاهش داد که در منابع دیگر (شرف و همکاران، ۲۰۰۷) نیز به این واکنش اشاره شده است. در ارتباط با روند تغییرات نسبت کلروفیل a به b، از آنجایی‌که به غیر از کلروفیل

که کاروتنوئیدها بیش تر نقش محافظتی دارند و برای جمع آوری و انتقال پرتوهای نوری، حضور کلروفیل b کفایت می کند. با انجام آبیاری به دلیل رفع تنش و محدودیت موجود در فتوسنتز و نیز افزایش کلروفیل a، نقش کمکی کاروتنوئیدها به عنوان گیرنده طیف نوری، اهمیت بیش تری یافته و مقدار آن ها نیز افزایش می یابد. این نوسانات حاکی از تغییر وظایف رنگیزه های برگ به مقتضای شرایط گیاه است.

آبیاری بود. نتایج نشان داد که در شرایط عدم وجود تنش (شاهد) که فتوسنتز بدون محدودیت و در بیش ترین میزان خود است، کاروتنوئیدها نیز در بالاترین میزان خود هستند و انتقال پرتوهای نوری به مراکز فتوسیستمی را به خوبی انجام می دهند. اما در دوره های آبیاری ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی متر، به علت محدودیت در انجام فتوسنتز و یا تخریب به علت تنش وارده، از غلظت کمتری در قبل از آبیاری (بالاترین شدت تنش موجود در هر سطح) برخوردار بوده و با توجه به بیش تر بودن میزان کلروفیل b در این زمان نسبت به کلروفیل a، به نظر می رسد



شکل ۲: روند تغییرات نسبت کلروفیل a به b
Fig. 2: Changes trend of chlorophyll a/b ratio



شکل ۳: روند تغییرات کارتنوئید
Fig. 3: Changes trend of carotenoid

به دست آمد (جدول ۶). این نتیجه، نشان می دهد که غلظت پرولین از میزان فراهمی آب در خاک پیروی کرده است. با بررسی غلظت پرولین در هر زمان نمونه برداری، به نظر می رسد که پیش زمینه تنش اولیه می تواند در تغییرات این صفت در روزهای بعد از آبیاری مؤثر بوده و سبب شده در دور آبیاری

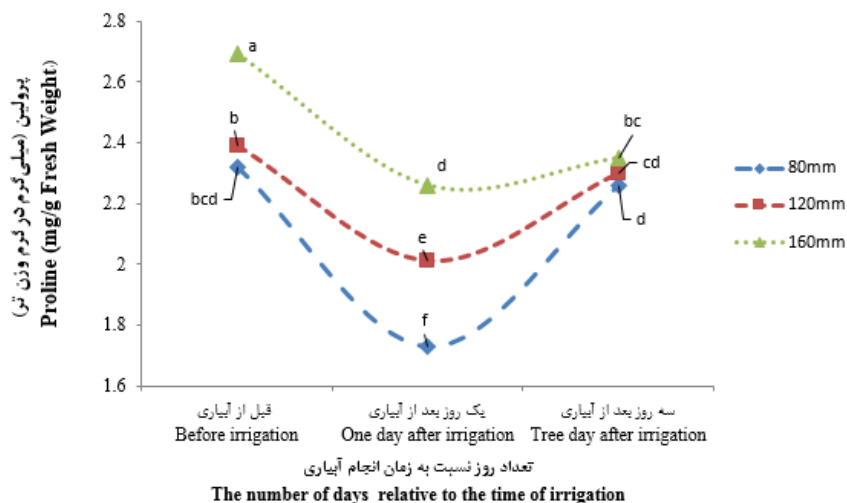
پرولین برگ

اثرات اصلی زمان، آبیاری و رقم و برهم کنش زمان در آبیاری و آبیاری در رقم بر پرولین برگ معنی دار بود (جدول ۲). بیش ترین مقدار پرولین در زمان قبل از آبیاری و در دور آبیاری ۱۶۰ میلی متر و کمترین آن در بعد از آبیاری و شرایط شاهد

صفائی طبقه و همکاران: تغییرات فیزیولوژیک و عملکرد ناشی از تأخیر در...

برطرف شدن اثرات تنش خشکی و فراهمی آب برای گیاهان، مقدار پرولین آن‌ها کاهش پیدا کرد. ولی با گذشت زمان و کاهش مقدار فراهمی رطوبت در خاک، مقدار پرولین روند افزایشی نشان داد. از طرف دیگر، هرچه شدت تنش بیش‌تر باشد، برگ‌های گیاه از میزان پرولین بیش‌تری برخوردار می‌باشند. به‌نحوی که سطح پرولین در دور آبیاری ۱۶۰ میلی‌متر بیشتر از دو سطح دیگر بوده است و پس از انجام آبیاری نیز با اختلاف قابل توجهی بیشتر از دو سطح تنش ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر قرار می‌گیرد. انباشت پرولین در شرایط تنش خشکی و افزایش آن با افزایش شدت تنش خشکی به‌عنوان یک سازوکار مهم جهت تحمل به تنش اسمزی قابل توجه است.

۱۶۰ میلی‌متر، همچنان میزان پرولین نسبت به دوره‌های آبیاری دیگر بیش‌تر بوده و یا برعکس، در دور آبیاری ۸۰ میلی‌متر، مقدار پرولین کم‌تر باشد. همچنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار پرولین مربوط به سورگوم اسپیدفید و ارزن باستان در دور آبیاری ۱۶۰ و کم‌ترین مقدار آن در ارزن نوتریفید در دور آبیاری شاهد مشاهده شد (جدول ۷). با تأخیر در آبیاری غلظت پرولین روند افزایشی داشت. به‌طوری که در دور آبیاری ۱۶۰ میلی‌متر، میزان پرولین برگ در هر چهار رقم به بیش‌ترین سطح رسید (جدول ۷). با این‌حال ارقام پاسخ یکسانی نسبت به تنش نشان ندادند. به‌صورتی که ارزن پیشاهنگ، کم‌ترین تغییر را داشت. بر اساس روند تغییرات پرولین (شکل ۴) می‌توان گفت که در قبل از آبیاری، مقدار پرولین در بالاترین میزان خود بود. بعد از آبیاری، به علت

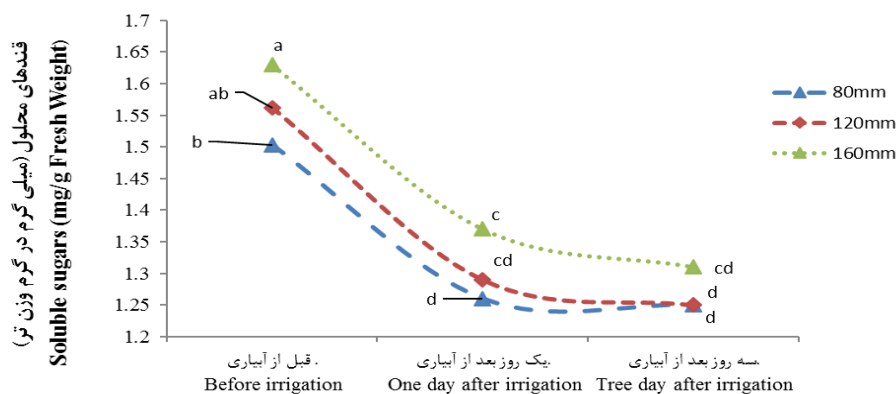


شکل ۴: روند تغییرات پرولین
Fig. 4: Changes trend of proline

نوتریفید و در دور آبیاری ۱۶۰ و کم‌ترین آن مربوط به سورگوم اسپیدفید و در شرایط شاهد حاصل شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که در روزهای اول و سوم بعد از آبیاری، همچنان تأخیر صورت گرفته در آبیاری سبب بیش‌تر بودن میزان ساکارز برگ در دوره‌های آبیاری ۱۲۰ و ۱۶۰ نسبت به شرایط شاهد گردیده است (جدول ۳). در شرایط تنش رطوبتی، دو عامل کاهش فتوسنتز و کاهش رشد گیاه، بر میزان ساکارز برگ مؤثر می‌باشند. از آنجایی که در شرایط کمبود رطوبت، رشد سریع‌تر از فتوسنتز متوقف می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۹۱)، تجمع ساکارز در برگ و افزایش میزان آن اتفاق می‌افتد. با توجه به جدول ۳ می‌توان گفت سورگوم اسپیدفید در مرحله قبل از آبیاری، دارای یک روند افزایشی به‌موازات تأخیر در آبیاری است.

ساکارز برگ

اثرات اصلی آبیاری و رقم و برهم‌کنش زمان در رقم و آبیاری در رقم و همچنین برهم‌کنش عوامل سه‌گانه آزمایشی بر ساکارز برگ معنی‌دار گردید (جدول ۲). با تأخیر در آبیاری میزان ساکارز در همه دوره‌های زمانی و همه ارقام از روند افزایشی برخوردار بود. به‌نحوی که در هر سه مرحله نمونه‌برداری، در دور آبیاری ۱۶۰ میلی‌متر، بیش‌ترین مقدار ساکارز مشاهده شد (جدول ۳). در قبل از آبیاری کم‌ترین مقدار ساکارز مربوط به ارزن نوتریفید در شرایط شاهد و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به سورگوم اسپیدفید در دور آبیاری ۱۶۰ میلی‌متر بود. همچنین نتایج نشان داد که در روز بعد از آبیاری، بیش‌ترین مقدار ساکارز مربوط به رقم پیشاهنگ در دور آبیاری ۱۶۰ و کم‌ترین مربوط به رقم نوتریفید در شرایط شاهد مشاهده شد. در سه روز پس از آبیاری بیش‌ترین مقدار ساکارز مربوط به ارزن



تعداد روز نسبت به زمان انجام آبیاری
The number of days relative to the time of irrigation

شکل ۵: روند تغییرات قندهای محلول
Fig. 5: Changes trend of Soluble sugars

جدول ۱: نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1: Soil physical and chemical properties of experimental site

ماده آلی Organic matter	نیتروژن N	سیلت Silt	رس Clay	شن Sand	فسفر P	پتاسیم K	هدایت الکتریکی EC	پی‌اچ pH
		درصد %			پی‌پی‌ام ppm		دسی‌زیمنس بر متر dS/m	
0.093	0.097	40	17	43	7	252	4.41	7.6

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی

Table 2: Analysis of variance of physiological traits

قندهای محلول Soluble sugars	ساکارز Sucrose	پرولین Proline	کاروتنوئید Carotenoid	نسبت کلروفیل a به b Chlorophyll a/b ratio	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a	درجه آزادی df	منبع تغییر SOV	بلوک
0.41 ^{ns}	0.005	0.23 [*]	0.08 ^{**}	0.006 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.014 ^{ns}	2	Block	بلوک
0.13 [*]	0.57 ^{**}	0.89 ^{**}	0.058 [*]	0.0002 ^{ns}	0.055 [*]	0.052 ^{**}	2	Irrigation cycle (I)	دور آبیاری
0.020	0.027	0.021	0.015	0.001	0.003	0.003	4	Main error	خطای اصلی
0.054 ^{ns}	0.08 [*]	0.37 ^{**}	0.022 ^{ns}	0.014 [*]	0.033 [*]	0.047 ^{**}	3	Cultivar (C)	رقم
0.038 ^{ns}	0.11 ^{**}	0.36 ^{**}	0.017 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.012 ^{ns}	6	I×C	دور آبیاری × رقم
0.029	0.016	0.050	0.017	0.005	0.006	0.007	18	Sub error 1	خطای فرعی ۱
0.82 ^{**}	0.028 ^{ns}	2.04 ^{**}	0.007 ^{ns}	0.019 [*]	0.003 ^{ns}	0.006 ^{ns}	2	Time (T)	زمان
0.35 ^{**}	0.016 ^{ns}	0.20 ^{**}	0.037 [*]	0.016 ^{**}	0.02 ^{ns}	0.017 ^{ns}	4	T × I	زمان × دور آبیاری
0.087 ^{ns}	0.12 ^{**}	0.04 ^{ns}	0.027 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.02 [*]	6	T × C	زمان × رقم
0.059 ^{ns}	0.098 ^{**}	0.091 ^{ns}	0.022 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.022 ^{ns}	0.030 ^{**}	12	T × I × C	زمان × دور آبیاری × رقم
0.038	0.02	0.051	0.01	0.004	0.011 ^{ns}	0.009	48	Sub error 2	خطای فرعی ۲
14.33	30.32	9.99	4.20	5.02	17.55	10.93			ضریب تغییرات (٪) CV (%)

*, **, و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، غیرمعنی‌دار
*, **, and ns: Significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, not significant respectively

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر متقابل زمان، دور آبیاری و رقم بر کلروفیل a و قندهای محلول

Table 3: Mean comparison of interaction effect of time, irrigation and cultivar on Chlorophyll a and soluble sugars

ساکارز Sucrose	کلروفیل a Chlorophyll a	رقم Cultivar	دور آبیاری Irrigation cycle	زمان Time	
میلی‌گرم در گرم وزن تازه mg/g Fresh Weight			میلی‌متر mm		
0.53c	0.89ab	Bastan	80	قبل از آبیاری Before irrigation	
0.64bc	0.79bcd	Pishahang			
0.26e	0.93a	Notrifeed			
0.39 d	0.93a	Speedfeed			
0.55c	0.84b	Bastan	120		
0.65bc	0.77cd	Pishahang			
0.33de	0.89ab	Notrifeed			
0.57c	0.75d	Speedfeed			
0.57c	0.84b	Bastan	160		
0.73b	0.76cd	Pishahang			
0.38de	0.81bc	Notrifeed			
1.11a	0.59e	Speedfeed			
0.43bc	1.00ab	Bastan	80		یک روز بعد از آبیاری One day after irrigation
0.49bc	0.97b	Pishahang			
0.28 d	1.03a	Notrifeed			
0.29 d	1.03a	Speedfeed			
0.44bc	0.94abc	Bastan	120		
0.52ab	0.87def	Pishahang			
0.27d	0.98ab	Notrifeed			
0.29d	0.85ef	Speedfeed			
0.54ab	0.84f	Bastan	160		
0.63a	0.84f	Pishahang			
0.37cd	0.9cde	Notrifeed			
0.42bc	0.65g	Speedfeed			

در هر زمان، میانگین‌های دارای حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند
Means in each time followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan Test

ادامه جدول ۳: مقایسه میانگین اثر متقابل زمان، دور آبیاری و رقم بر کلروفیل a و قندهای محلول

Table 3 Continued: Mean comparison of interaction effect of time, irrigation and cultivar on chlorophyll a and soluble sugars

ساکارز Sucrose	کلروفیل a Chlorophyll a	رقم Cultivar	دور آبیاری Irrigation cycle	زمان Time
میلی گرم در گرم وزن تازه mg/g Fresh Weight				
0.51cd	0.98b	Bastan	80	سه روز بعد آبیاری Three days after irrigation
0.50cd	1.01ab	Pishahang		
0.49cd	1.03a	Notrifeed		
0.38d	1.02a	Speedfeed	120	
0.46cd	0.99ab	Bastan		
0.50cd	0.97b	Pishahang		
0.64ab	1.01ab	Notrifeed	160	
0.40d	0.96b	Speedfeed		
0.66ab	0.84c	Bastan		
0.64ab	0.83c	Pishahang	160	
0.72a	1.00ab	Notrifeed		
0.54bc	0.76d	Speedfeed		

در هر زمان، میانگین‌های دارای حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند
Means in each time followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan Test

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر دورهای آبیاری مختلف بر کلروفیل b و عملکرد علوفه

Table 4: Mean comparisons of different irrigation on Chlorophyll b and soluble sugars and forage yield

عملکرد علوفه Forage yield	کلروفیل b Chlorophyll b	دور آبیاری Irrigation cycle
کیلوگرم در هکتار Kg/ha	میلی گرم در گرم وزن تازه mg/g Fresh Weight	
6762a	0.63a	80
5445b	0.60a	120
4531c	0.55b	160

میانگین‌های دارای حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند
Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan Test

جدول ۵: مقایسه میانگین ارقام مورد استفاده بر کلروفیل b و نسبت کلروفیل a به b

Table 5: Mean comparisons of leaf Chlorophyll b and Chlorophyll a/b ratio in cultivars

عملکرد علوفه Forage yield	نسبت کلروفیل a به b Chlorophyll a / b ratio	کلروفیل b Chlorophyll b	رقم Cultivar
کیلوگرم در هکتار Kg/ha	میلی گرم در گرم وزن تازه mg/g Fresh Weight		
5000b	1.28b	0.64a	Bastan
5323b	1.28b	0.57b	Pishahang
4730b	1.33a	0.61ab	Notrifeed
7355a	1.30ab	0.56b	Speedfeed

میانگین‌های دارای حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند
Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan Test

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و دور آبیاری بر نسبت کلروفیل a به b، کارتنوئید و پرولین

Table 6: Mean comparison of interaction effect of time and irrigation level on Chlorophyll a/b ratio, Carotenoid and Proline

پرولین (میلی گرم در گرم وزن تازه) Proline (mg/g Fresh Weight)	کارتنوئید (میلی گرم در گرم وزن تازه) Carotenoid (mg/g Fresh Weight)	نسبت کلروفیل a به b Chlorophyll a/b ratio	دور آبیاری Irrigation cycle	زمان Time
2.32bcd	2.82a	1.30bc	80	قبل از آبیاری
2.39b	2.67d	1.26de	120	Before irrigation
2.69a	2.65d	1.25e	160	یک روز بعد از آبیاری
1.73f	2.74bc	1.35a	80	One day after irrigation
2.01e	2.71bcd	1.31b	120	سه روز بعد از آبیاری
2.26d	2.70cd	1.29bcd	160	Three days after irrigation
2.26d	2.78ab	1.30bc	80	
2.30cd	2.76abc	1.27cde	120	
2.35bc	2.77abc	1.28bcde	160	

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan Test

جدول ۷: مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و رقم بر پرولین و عملکرد علوفه

Table 7: Mean interaction comparison of irrigation level and cultivar on proline and forage yield

عملکرد علوفه Forage yield کیلوگرم در هکتار Kg/ha	پرولین Proline میلی گرم در گرم وزن تازه mg/g Fresh Weight	رقم Cultivar	دور آبیاری Irrigation cycle
5986bcd	1.80f	Bastan	80
6251bc	2.26bc	Pishahang	
5434cdef	2.10e	Notrifeed	
9376a	2.24bcd	Speedfeed	
5226cdef	2.18de	Bastan	120
4978defg	2.25bc	Pishahang	
4532efg	2.19cd	Notrifeed	
7042b	2.32b	Speedfeed	
3787g	2.64a	Bastan	160
4466efg	2.27b	Pishahang	
4226fg	2.23bcd	Notrifeed	
5648cde	2.69a	Speedfeed	

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan Test

جدول ۸: تجزیه واریانس عملکرد علوفه

Table 8: Analysis of variance of forage yield

عملکرد علوفه Forage yield	درجه آزادی df	منبع تغییر SOV
406935 ^{ns}	2	Block
15087871 ^{**}	2	Irrigation cycle (I)
590320	4	Main error
12994657 ^{**}	3	Cultivar (C)
1007417 ^{ns}	6	I×C
416252	18	Sub error
11.5		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

*, **, و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, **, and ns: Significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, not significant, respectively

عملکرد علوفه خشک

عملکرد علوفه تحت تأثیر اثر اصلی آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۸). با تأخیر در آبیاری از عملکرد علوفه کاسته شد (جدول ۴). فراهمی رطوبت در افزایش رشد گیاه، چه از طریق افزایش میزان آب سلول‌ها و چه از راه افزایش ظرفیت فتوسنتزی کاملاً مؤثر است. در بین ارقام نیز سورگوم اسپیدفید نسبت به ارقام ارزن دارای عملکرد بالاتری بود (۷۳۵۵ کیلوگرم در هکتار) و ارقام ارزن موردبررسی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵). علت این عدم مشاهده تفاوت علیرغم مشاهده برخی برتری در مشاهده شده در صفات موردبررسی، می‌تواند هم به دلیل تفاوت راه‌کارهای تحمل تنش ناشی از تفاوت جنس و گونه گیاهان مورد مطالعه بوده باشد و هم این که صفت تحمل به تنش‌های محیطی، یک صفت پلی‌زنی بوده و در آن باید چندین صفت با هم فعال باشند تا این ویژگی تحمل بروز نماید (کافی و همکاران، ۱۳۹۱). لذا گیاهی که از چندین راه‌کار در سطح متوسط استفاده می‌کند، در مقایسه با گیاهی که از تعداد محدودی صفت در سطح بالا بهره می‌برد، تحمل به تنش بیشتری از خود بروز خواهد داد. بیش‌ترین عملکرد خشک علوفه در هر دور آبیاری از سورگوم اسپیدفید به دست آمد. بیش‌ترین عملکرد نیز در دور آبیاری شاهد و سورگوم اسپیدفید (۹۳۷۶ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین عملکرد خشک علوفه از ارزن باستان در دور آبیاری ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر (۳۷۸۷ کیلوگرم در هکتار) تولید شد. در رابطه با ارقام، با توجه به نتایج قبل می‌توان گفت که تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی نظیر پرولین، ساکارز و کربوهیدرات‌های محلول باعث بهبود توانایی جذب آب می‌شود که نیروی تورژسانس لازم برای توسعه و رشد سلول را فراهم می‌نماید. این امر، افزایش رشد و در نتیجه افزایش عملکرد علوفه را به همراه دارد. البته این نتیجه زمانی حاصل خواهد شد با مجموعه‌ای از فرایندهای حیاتی (فتوسنتز، تنفس، واکنش‌های بیوشیمیایی و آنزیمی مطلوب) همراه و هم‌زمان باشد. همبستگی بین عملکرد علوفه با پرولین و ساکارز (به ترتیب $0/53^{**}$ و $0/58^{**}$) تأیید این موضوع است.

نتیجه‌گیری کلی

تأخیر در آبیاری علاوه بر کاهش عملکرد علوفه و رنگیزه‌های برگ، افزایش تنظیم‌کننده‌های اسمزی شامل پرولین، ساکارز و قندهای محلول را نیز به دنبال داشت. تنش خشکی وارده دارای اثرات ابقائی بوده به نحوی که تغییرات ناشی از تأخیر در آبیاری حتی در روزهای بعد از انجام آبیاری مشاهده شد. روند تغییرات پرولین، ساکارز و قندهای محلول نشان داد که در روز بعد از آبیاری کاهشی بود و شروع روند افزایشی این ترکیبات از

در روزهای بعد از آبیاری به دلیل این که از سرعت رشد مجدد بیش‌تری برخوردار بوده، باعث شده که ساکارز برگ در این رقم افت محسوسی یابد. که می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تحمل به خشکی بهتر (رشد سریع‌تر و بیش‌تر) این رقم نسبت به ارقام ارزن مورد مطالعه باشد. در ارزن‌های مورداستفاده، تغییرات چشمگیری در میزان ساکارز در مراحل مختلف نمونه‌برداری دیده نمی‌شود و می‌توان گفت که میزان عرضه و تقاضای ساکارز تقریباً با هم یکسان بوده است. برخی از محققان دریافتند که تنش خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم ساکارز فسفات فسفات از در گیاه سیب‌زمینی شده است (جیگنبرگر^۱ و همکاران، ۱۹۹۷). هم‌چنین تنش خشکی اثر منفی بر فعالیت آنزیم اینورتاز گذاشته که نقش مهمی در هیدرولیز ساکارز دارد (کاستریلو و ترخیلو^۲، ۱۹۹۴).

قندهای محلول

اثرات اصلی زمان و آبیاری و برهم‌کنش آن‌ها بر مقدار قندهای محلول برگ معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار آن در مرحله قبل از آبیاری و در دور آبیاری ۱۶۰ میلی‌متر و کم‌ترین آن در سه روز پس از آبیاری و در شرایط شاهد حاصل شد (جدول ۶). بر اساس شکل ۵ می‌توان گفت که مقدار قندهای محلول برگ در قبل از آبیاری در بیش‌ترین سطح خود بوده است و در روز بعد از آبیاری مقدار آن به سرعت کاهش می‌یابد که ناشی از رفع اثر کمبود رطوبت و کاهش نیاز به تنظیم اسمزی و فعال شدن رشد و مصرف کربوهیدرات‌های محلول است. از روز سوم بعد از آبیاری، روند کاهشی در مقدار آن کم‌تر می‌شود، که می‌تواند به علت شروع محدودیت رطوبتی بعد از آبیاری باشد. در مجموع افزایش در مقدار قندهای محلول در زمان تنش را می‌توان به علت توقف رشد و کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی یا تولید آن‌ها از مسیرهای غیرفتوسنتزی و هم‌چنین تخریب قندهای نامحلول بیان کرد. گروه‌های هیدروکسیل قندها ممکن است به منظور حفظ و ادامه واکنش‌های آبدوست در غشاها و نیز پروتئین‌های موجود در گیاه در طی دهیدراسیون جایگزین آب شوند. از این رو قندها از طریق پیوندهای هیدروژنی با پروتئین‌ها و فسفولیپیدهای غشاء واکنش نشان داده و از تغییر در ساختار پروتئین‌ها جلوگیری می‌کنند (کافی و همکاران، ۱۳۹۱).

آبیاری تا سطح ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر می‌تواند تنش محسوسی را در آن‌ها ایجاد نماید. این مطلب می‌تواند در رابطه با بحث کم آبیاری و افزایش راندمان مصرف آب آبیاری مورد توجه قرار گیرد. پرولین، ساکارز برگ به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی، با عملکرد علوفه همبستگی مثبت داشتند، اما رنگیزه‌های برگ، فاقد همبستگی معنی‌دار بودند. هم‌چنین سورگوم اسپیدفید دارای قدرت تطابق‌پذیری بیش‌تری بوده و بعد از انجام آبیاری، سریع‌تر از ارقام ارزن مورد مطالعه رشد مجدد و ترمیم خسارت‌های وارده را انجام می‌دهد.

روز سوم به بعد است. این مطلب نشان می‌دهد که در ارقام مورد استفاده، حداقل زمان لازم برای جبران اثرات تنش خشکی وارده، ۳ روز بعد از آبیاری است. البته این حالت صرفاً برای شدت تنش‌های محدود بوده و برای تنش‌های شدید، این مدت کفایت نمی‌کند. هم‌چنین بر اساس روند تغییرات صفات مورد بررسی می‌توان استدلال کرد که از روز سوم بعد از آبیاری، گیاه برای جذب آب با محدودیت مواجه می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان گفت برای ارقام مورد مطالعه، دور آبیاری تا سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشک تبخیر کلاس آ، تنش خشکی قابل‌ملاحظه‌ای ایجاد نمی‌شود، اما تأخیر در

منابع

- اشتری لرکی، س. ۱۳۸۶. تعیین عملکرد گیاه سورگوم علوفه‌ای تحت تنش رطوبتی و کارایی مصرف آب. اولین همایش منطقه‌ای اگر فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. صفحه ۱۱۸۰-۱۱۸۷.
- صادقی، ا.، موسوی، س. غ.، ر.، ثقه اسلامی، م. ج. و علیزاده، ج. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن نوتریفید. ششمین همایش ملی علوم کشاورزی و منابع طبیعی باشگاه پژوهشگران جوان. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج. صفحه ۱۹۹.
- کافی، م.، کمندی، ع.، برزویی، ا.، صالحی، م.، معصومی، ع. و نباتی، ج. ۱۳۹۱. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. جهاد دانشگاهی (دانشگاه فردوسی مشهد).
- نباتی، ج. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۹. اثر فواصل آبیاری بر عملکرد و خصوصیات مورفولوژیکی ارزن، سورگوم و ذرت علوفه‌ای. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۱ (۱): ۱۷۹-۱۸۶.
- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L., Saleem, M. F., Man, C. and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 2026-2032.
- Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23: 112-121.
- Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H. and Ala, S. A. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, 16 (3): 18-5.
- Bates, L. S., Waldern, R. P. and Tear, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-207.
- Castrillo, M. and Trujillo, I. 1994. Ribulose 1-5, Biphosphate carboxylase activity and chlorophyll & protein content in two cultivars of French bean plants under water stress and rewatering. *Photosynthetic*, 30: 175-181.
- Dalal, V. K. and Tripathy, B. C. 2012. Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis. *Plant, Cell and Environment*, 35: 1685-1703.
- Geigenberger, P., Reimholz, R., Geiger, M., Merlo, L., Canale, V. and Stitt, M. 1997. Regulation of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. *Planta*, 201: 502-518.
- Golombek, S. and Al-Ramamneh, E. A. D. 2002. Drought tolerance mechanisms of pearl millet. University of Kassel, Institute of Crop Science, Germany.
- Gregersen, P. L. and Holm, P. B. 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat. *Plant Biotechnology*. 5: 192-206.
- Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. and Sanchez Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants, *Physiol Plant*, 84: 55-60.
- Kang, Sh., Shi, W. and Zhang, J. 2000. An improved water use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field Crops Research*, 67: 207-214.
- Kusaka, M., Lalusin, A. G. and Fujimura, T. 2005. The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) cultivars with different root structures and osmo-regulation under drought stress. *Plant Science*, 168: 1-14.
- Matthews, M. A. and Anderson, M. M. 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to seasonal water deficits. *American Journal of Enology and Viticulture*, 39 (4): 313-320.
- Mohammadkhani, N. and Heidari, R. 2008. Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties. *World Applied Sciences Journal*, 3: 448-453.

- Parida, A. K., Dagaonkar, V. S., Phalakand, M. S., and Aurangabadkar, L. P. 2008. Differential response of the enzymes involved in proline biosynthesis and degradation in drought tolerant and sensitive cotton genotypes during drought stress and recovery. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30: 619-627
- Pessarkli, M. 1999. *Hand book of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker Inc. 697 pp.
- Pinheiro, C. and Chaves, M. M. 2011. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data. *Journal of Experimental Botany*, 62 (3): 869-82.
- Pirdashti, H., Sarvestani, Z. and Bahmanyar, M. A. 2009. Comparison of physiological response among four contrast rice cultivars under drought stress conditions. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49: 52-53.
- Ramak, P., Khavarinejad, R., Heidari, H. and Rafiee, M. 2002. Effect of deficit water stress on root and shoot proline content in *Onobrychis raduata* and *Onobrychis viciifolia* species. *Abstracts Proceeding of 7th Iranian Congress of Crop Production and Plant Breeding*, P 239
- Slama, I., Ghnaya, T., Hessini, K., Messedi, D., Savoure, A. and Abdelly, C. 2007. Comparative study of the effects of mannitol and PEG osmotic stress on growth and solute accumulation in *Sesuvium portulacastrum*. *Environmental and Experimental Botany*, 61: 10-17.
- Steele, M. R. and Hik, D. S. 2003. Is dimethyl sulfoxide a reliable solvent for extracting chlorophyll under field conditions. *Photosynthesis Research*, 78: 87-91.
- Taylor, B. 1996. Proline and water deficit: ups, downs, ins and outs. *The plant cell*, 8: 1221-1224.
- Van Handel, E. 1968. Direct microdetermination of sucrose. *Anal. Biochemistry*, 22: 280-283.
- Vinocur, B. and Altman, A. 2005. Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. *Current Opinion in Biotechnology*, 16: 123-132.

Physiological Changes and Yield in Speedfeed Sorghum and Millet Cultivares Affected by Delayed Irrigation

Safae Torghabeh¹, M., Azari^{2*}, A., Dashti³, H. and Maddah Hoseini⁴, S.

Abstract

To evaluate drought tolerance of three cultivares of forage millet and one variety of sorghum, this experiment was conducted as split split plot in a randomized complete block design with three replications. Irrigation frequencies consisted of irrigation after 80 (control), 120 and 160 mm evaporation from class A pan as main plots and sub plots was consisted of sorghum cultivar (*Sorghum bicolor* cv. Speedfeed) and three cultivares of millet (*Setaria italica* cv. Bastan, *Panicum miliaceum* cv. Pishahang and *Pennisetum americanum* cv. Nutrifeed). Flage leaf sampling has done at three stages, before, one and three days after irrigation. According to the results, delaying in irrigation caused reduced leaf pigments and yield of forage, and also increased proline, sucrose and soluble sugars of leaf. Residual effects of drought stress were observed at the days after irrigation. 120 and 160mm evaporation were moderate and sever respectively. It needs three days at least to recovery the effects of moderate stress. Speedfeed sorghum produced maximum yield, in each irrigation frequencies. The highest forage dry yield belonged to normal irrigation and speedfeed sorghum (9376Kg/ha). There were positive correlations between yield and proline and sucrose as osmotic regulators, but leaf pigments had no significant correlation. Also speedfeed sorghum had high ability to adaptation, and repaired damages faster than millet cultivares after irrigation.

Keywords: Drought irrigation, Frequency, Proline, Sucrose

1, 2, 3 and 4. Master Graduate, Assistant Professor and Associate Professors, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

*: Corresponding author Email: arman.azari@vru.ac.ir

This paper has been extracted from the first author's MSc thesis under the guidance of Arman Azari.