



نشریه زراعت

شماره ۱۰۵، زمستان ۱۳۹۳

(پژوهش و سازندگی)

بررسی واکنش جوانه زنی و برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برنج رقم هاشمی، تحت تاثیر تنش خشکی

- سید وحیه الله حسینی، عضو هیئت علمی گروه زیست شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
- علی گنجعلی، عضو هیئت علمی گروه زیست شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
- مهرداد لاهوتی، عضو هیئت علمی گروه زیست شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
- عبدالله بیک خورمیزی، کارشناس ارشد فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست شناسی دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)

تاریخ دریافت: بهمن ماه ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: فروردین ماه ۱۳۹۲
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۱۲۰۸۹۸۳
پست الکترونیک نویسنده مسئول: svh977@yahoo.com

چکیده:

دو آزمایش جداگانه، با هدف بررسی تاثیر تنش خشکی بر صفات مربوط به جوانه زنی و برخی از صفات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برنج رقم هاشمی (*Oryza sativa* L. cv. Hashemi) در مرحله رشد رویشی در محل پژوهشگاه علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، در سال ۱۳۹۰ انجام شد. در آزمایش اول صفات مربوط به جوانه زنی برنج در سطوح مختلف تنش خشکی شامل (صفر، ۲-، ۴-، ۶-، ۸- و ۱۰- بار) که به وسیله پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ تهیه شدند، مورد بررسی قرار گرفت. بذور جوانه زده در هر روز شمارش و پس از ده روز درصد و سرعت جوانه زنی تعیین و پس از تفکیک ریشه چه و ساقه چه طول و وزن خشک آنها تعیین شد. در آزمایش دوم سطوح مختلف تنش خشکی شامل شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، ۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی بر رشد رویشی برنج مورد بررسی قرار گرفت. گیاهچه ها در داخل گلدان های پلاستیکی حاوی ماسه کاشته و نمونه برداری ۲۸ روز پس از کاشت انجام شد. هر دو آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که در مرحله جوانه زنی، تنش خشکی تاثیر منفی و معنی داری بر درصد و سرعت جوانه زنی، طول و وزن خشک ساقه چه و ریشه چه داشتند. در مرحله رشد رویشی، صفات ارتفاع، سطح برگ و ریشه، تنها در تیمار ۲۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید خشکی) و میزان پرولین و پتاسیم بخش هوایی در تمام سطوح خشکی مورد بررسی، نسبت به شاهد بصورت معنی داری کاهش نشان دادند. نتایج این آزمایش نشان داد که سطوح خشکی معادل ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، بر صفات مورفولوژیکی نشاهای برنج هاشمی تاثیر بارزی ندارند.

کلمات کلیدی: پلی اتیلن گلایکول، سرعت جوانه زنی، ظرفیت زراعی، *Oryza sativa* L.

Effect of drought stress on seed germination and some morphophysiological and biochemical traits of *Oryza sativa* L. cv. Hashemi seedlings

By:

- S. V. Hossaini, Scientific Staff of Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- A. Ganjeali, Scientific Staff of Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- M. Lahouti, Scientific Staff of Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- A. Beyk Khormizi, (Corresponding Author; Tel: 09111208983), M.Sc. of Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Received: January 2013

Accepted: March 2013

Two separate experiments were carried out with the aim of investigating the effect of drought stress on of germination, morphological and biochemical traits of *Oryza sativa* L. cv. Hashemi in vegetative growth at the Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi university of Mashhad, in 2011. At first experiment, different level of drought stress (0, -2, -4, -6, -8, -10 bar) by polyethylenglycol 6000 were studied on germination of rice. The number of germinated seeds was counted each day and was sampled after ten days. Then, the percentage and rate of germination and length and dry weight of shoot and root were determined. The next experiment, levels of drought stress including control (field capacity), 20, 40, 60, 80 of field capacity on vegetative growth rice plantlets were investigated. Plantlets were transferred to the plastic pots and the sampling of seedlings was carried out 22 days after planting. Both experiments were conducted in Completely Random Design with three replications. The results showed that levels of drought had a negative effect on the percentage and rate of germination and length and dry weight of shoot and root. In vegetative stage, height, leaf area and root only in 20% field capacity treatment and amount of prolin and potassium in shoot in all drought levels were significantly decreased. We concluded the level of drought stress in 40, 60, 80 field capacity have not sensible effect on vegetative growth *Oryza sativa* L. cv. Hashemi.

key Words: field capacity, *Oryza sativa* L., Polyethylenglycol, Rate of germination

مقدمه

برنج از گیاهان زراعی مهم اغلب کشورهای آسیایی و از جمله ایران است (Moradi and Younesi, 2009). در سال های اخیر، به دلیل کمبود نزولات و کاهش منابع آب جاری، خشکی به عنوان مانع جدی برای تولید برنج مطرح است (Moradi and Younesi, 2009).

تنش خشکی در گیاه پدیده ی است طبیعی و علت اصلی آن افزایش میزان تلفات آب، یا کافی نبودن میزان جذب آن یا ترکیبی از هر دو عامل می باشد (Hajebi and Haydari Sharifabad, 2005). در چنین شرایطی گیاه به منظور ادامه جذب آب از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و کربوهیدرات های محلول، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می دهد (Tarahomi et al, 2010).

خشکی مشکل جدی تولید برنج در دنیا است، این گیاه در تمام مراحل فنولوژی حساس به خشکی است و تنش های شدید خشکی، ممکن است به از دست دادن کل محصول منتهی شود (Lasaltia et al., 2008). Pirdashti و همکاران (۲۰۰۱) اثرات تنش خشکی را در مراحل مختلف رشد رویشی، گلدهی و پرشدن دانه ها، بر عملکرد و اجزای عملکرد چهار رقم برنج طارم، خزر، فجر و نعمت بررسی کردند. نتایج آن ها نشان داد که تنش خشکی در مرحله رویشی به طور معنی داری باعث کاهش ارتفاع بوته و تعداد پنجه ها شد، در حالی که تنش خشکی در مرحله زایشی و پرشدن دانه، تعداد دانه و وزن دانه ها را کاهش داد. در مرحله رویشی حساسیت بوته های برنج به کمبود آب بیشتر بود. برنج، گیاهی است حساس به خشکی و این مسئله

نشان می دهد که کمبود آب، توسعه نسبی برگ و سرعت تقسیم سلولی را در برگ کاهش داده و منجر به کاهش سطح برگ می شود (Li et al., 2009). در تحقیقی، وقتی بوته های برنج در محیط تنش خشکی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به مدت ۲۰ روز قرار گرفتند، میزان سطح برگ، ارتفاع، زیست توده، وزن خشک ریشه، وزن تر و وزن خشک گیاهچه در مقایسه با شاهد به صورت معنی داری کاهش یافت (Farooq et al., 2009). بررسی ها نشان داده است که ارتفاع بوته برنج و محتوی نسبی آب در گیاهچه های ۱۴ روزه در رژیم های مختلف تنش خشکی کاهش می یابد (Farooq et al., 2008; Lasaltia et al., 2009). خشکی سبب کاهش رشد اندام هوایی و افزایش رشد ریشه می شود و بنابراین نسبت ریشه به ساقه افزایش می یابد. نتیجه چنین امری کاهش سطح تعرق و افزایش مقدار جذب آب می باشد (Silva, 1995; Marchner, 1995). با بررسی تأثیر تنش خشکی بر نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) دریافت که ارتباط مثبتی میان خصوصیات فیزیولوژیکی (فتوسنتز) و رشد (سطح برگ، زیست توده و ارتفاع گیاه) وجود دارد، به طوری که تجزیه رنگیزه ها و همچنین بسته شدن روزنه سبب محدودیت فعالیت های فتوسنتزی (واکنش های نوری و تاریکی) شده و نتیجه آن کاهش رشد گیاه در شرایط تنش خشکی است. Sharp (۱۹۹۰) نیز با تحقیقاتی بر روی گیاه ذرت نشان داد که افزایش هورمون اسید آبسزیک در پتانسیل های پایین آب، اثرات متفاوتی بر رشد ریشه و اندام های هوایی دارد، به طوری که رشد اندام های هوایی را متوقف می کند ولی ریشه به رشد خود همچنان ادامه می دهد.

کردن آب سطح ریشه، به وسیله دستگاه اندازه گیری ریشه (ساخت شرکت Delta-T SCAN انگلستان) تعیین شدند.

برای سنجش محتوای آب نسبی از معادله ۳ استفاده شد: (Bian and Jiang, 2008).

$$RWC = \left(\frac{FW-DW}{TW-DW} \right) \times 100 \quad (\text{معادله ۳})$$

در این معادله، RWC = محتوای آب نسبی، FW = وزن تر برگ، DW = وزن خشک برگ و TW = وزن برگ در حالت تورژانس کامل است.

به منظور تعیین میزان عناصر کلسیم و پتاسیم موجود در بافت برگ، از روش نورسنجی شعله ای (Chapman and Pratt, 1982) و برای اندازه گیری پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار Mstat-C انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال خطای ۵ درصد ($P \leq 0.05$) استفاده شد.

نتایج

تأثیر تنش خشکی بر صفات مربوط به جوانه‌زنی درصد و سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که درصد جوانه‌زنی در سطوح خشکی ۸- و ۱۰- بار نسبت به شاهد به صورت معنی‌داری کاهش یافت ($P \leq 0.05$). بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰ درصد) در تیمار شاهد و کم‌ترین آن (۱۷ درصد) در پتانسیل ۱۰- بار مشاهده شد. در این آزمایش سرعت جوانه‌زنی در همه سطوح خشکی نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت، در این راستا تفاوت معنی‌داری میان سطوح خشکی ۶-، ۸- و ۱۰- بار و همچنین بین ۲- و ۴- بار از نظر سرعت جوانه‌زنی وجود نداشت (جدول ۱).

طول ساقچه‌ها و ریشه‌ها

نتایج حاصل از مقایسه میانگین طول ساقچه‌ها در تیمارهای مختلف خشکی نشان داد که پتانسیل صفر با میانگین ۴۵ میلی‌متر، بیش‌ترین و پتانسیل ۱۰- بار با میانگین ۳ میلی‌متر، کم‌ترین طول ساقچه‌ها را دارا بودند. سطح خشکی ۲- بار از نظر طول ساقچه‌ها تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت ولی در سطوح بالاتر خشکی (۴-، ۶-، ۸- و ۱۰- بار) طول ساقچه‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین نتایج حاصل از مقایسه میانگین طول ریشه‌ها نشان داد که سطوح خشکی ۲- و ۴- بار تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند، ولی سطوح خشکی ۶-، ۸- و ۱۰- بار از نظر طول ریشه‌ها اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند ($P \leq 0.05$). بیش‌ترین طول ریشه‌ها در تیمار شاهد با میانگین ۶۶ میلی‌متر و کم‌ترین طول ریشه‌ها مربوط به پتانسیل ۱۰- بار با میانگین ۸ میلی‌متر بود (جدول ۱).

وزن خشک ساقچه‌ها و ریشه‌ها

نتایج مقایسه میانگین مشاهدات حاکی از آن بود که با افزایش تنش خشکی، وزن خشک ساقچه‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک ساقچه‌ها به ترتیب مربوط به تیمار شاهد (پتانسیل صفر) و پتانسیل ۱۰- بار بود. مقایسه میانگین داده‌های مربوط به وزن خشک ریشه‌ها نیز حاکی از تفاوت معنی‌دار میان سطوح مختلف خشکی بر این صفت است. وزن خشک ریشه‌ها در سطوح خشکی ۶-، ۸- و ۱۰- بار نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار داشت (جدول ۱).

با توجه به پیامد های ناشی از تغییر اقلیم در مناطق کشت برنج و کمبود منابع آبی، آزمایشی با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف خشکی بر رفتار جوانه زنی و نیز برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه برنج رقم هاشمی (رقم رایج منطقه) انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر رفتار جوانه زنی و برخی صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه های رقم هاشمی، دو آزمایش جداگانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۰ در پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، انجام شد. در آزمایش اول، سطوح مختلف تنش خشکی شامل صفر، ۲-، ۴-، ۶-، ۸- و ۱۰- بار به وسیله پلی اتیلن گلاپیکول ۶۰۰۰ و به روش میچل و کافمن (۱۹۷۳) تهیه گردید (۲۰). هر پتری‌دیش که در کف آن کاغذ صافی استریل تعبیه شده بود به عنوان واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. به هر واحد آزمایشی، پنج میلی‌لیتر از محلول مورد نظر (برای تیمار شاهد پنج میلی‌لیتر آب مقطر) اضافه گردید، در هر پتری‌دیش ۱۵ عدد بذر قرار گرفت و اطراف ظروف با پارافیلیم بسته شد. پتری‌دیش‌ها در ژرمناتور با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و تاریکی قرار گرفتند. تعداد بذر های جوانه‌زده در هر روز شمارش و برداشت نمونه‌ها ده روز بعد از شروع تیمار انجام شد. پس از برداشت، ریشه‌ها و ساقچه‌ها از بذر جدا و طول آن‌ها به وسیله خط کش اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین وزن خشک اندام‌های فوق، ساقچه‌ها و ریشه‌ها در ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و سپس توزین شدند. درصد جوانه‌زنی بذور از معادله ۱ (Farahani et al., 2011) و سرعت جوانه‌زنی با استفاده از معادله ۲ (Ghasemi Golazani et al., 2007) محاسبه شد:

$$\%GP = \frac{\sum ni}{N} \times 100 \quad (\text{معادله ۱})$$

$$GR = \frac{\sum Gi}{\sum NiGi} \quad (\text{معادله ۲})$$

در معادله‌های فوق، GP = درصد جوانه‌زنی، ni = تعداد بذرها، جوانه‌زده تا روز i و N = تعداد کل بذر، GR = سرعت جوانه‌زنی، Gi = تعداد بذر جوانه‌زده در روز i و Ni = شماره روز می‌باشد.

در آزمایش دوم تأثیر تنش خشکی شامل شاهد (ظرفیت زراعی)، ۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی بر رشد گیاهچه‌ای برنج مورد بررسی قرار گرفت. برای کشت بذرها از سینی پلاستیکی که قبلاً با الکل ضدعفونی شده بود، استفاده گردید. برای جوانه‌دار کردن بذرها از ژرمناتور با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و محیط تاریک استفاده شد. پس از یک هفته از رشد بذرها، نشاهای سالم و یک‌اندازه، به گلدان‌های پلاستیکی حاوی ماسه منتقل شدند. هر ۴۸ ساعت یکبار، آب تبخیر شده از گلدان‌ها به وسیله محلول غذایی دوباره به ظرف برگردانده شده و با ترازی دیجیتال اندازه‌گیری می‌شد تا رطوبت مورد نظر در سطوح تعیین شده ثابت بماند. گلدان‌ها در اتاقک رشد با درجه حرارت ۲۵ درجه سانتیگراد و ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار گرفتند. پس از گذشت ۲۸ روز، گلدان‌ها تخریب و بخش هوایی و ریشه گیاه از یکدیگر تفکیک شدند. سپس ارتفاع گیاه به وسیله خط‌کش، سطح برگ‌ها به وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (ساخت شرکت ADC انگلستان) و صفات مربوط به ریشه مانند سطح و مجموع طول ریشه‌ها پس از رنگ‌آمیزی با پرمنگنات منیزیم و خارج

جدول ۱- نتایج مقایسه میانگین صفات مربوط به جوانه‌زنی بذور برنج تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی ناشی از PEG (Polyethyleneglycol)

میزان خشکی (بار)	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی (تعداد در روز)	طول ساقه چه (میلی‌متر)	طول ریشه چه (میلی‌متر)	وزن خشک ساقه چه (میلی‌گرم)	وزن خشک ریشه چه (میلی‌گرم)
۰	۱۰۰a	۰/۴۳a	۴۵a	۶۶a	۲/۲۷a	۱/۲۷b
۲	۱۰۰a	۰/۳۰b	۴۱a	۵۹ab	۱/۹۷b	۱/۳۷a
۴	۹۷a	۰/۲۶b	۲۵b	۵۰abc	۱/۷۰c	۱/۲۷b
۶	۸۳a	۰/۲۱bc	۲۱b	۴۴bc	۱/۲۷d	۰/۹۰c
۸	۵۳b	۰/۱۹bc	۱۵b	۳۴c	۰/۷۳c	۰/۵۷d
۱۰	۱۷c	۰/۱۴c	۳c	۸d	۰/۲۰f	۰/۱۰e

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون چند دامنه ای دانکن ($P \leq 0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی گیاهچه‌های چهار هفته‌ای برنج تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی

ظرفیت زراعی (درصد)	ارتفاع گیاه (میلی‌متر)	سطح برگ (میلی‌متر مربع)	سطح ریشه (میلی‌متر مربع)	مجموع طول ریشه‌ها (میلی‌متر)	وزن خشک بخش هوایی (میلی‌گرم)	وزن خشک ریشه (میلی‌گرم)
۱۰۰	۲۶۹a	۲۸۳a	۲۴۵/۰a	۲۹۶b	۳۳/۰۰a	۵/۴۷d
۸۰	۲۵۴a	۲۶۷a	۲۲۴/۶ab	۳۱۵ab	۲۹/۳۰b	۷/۸۳b
۶۰	۲۵۲a	۲۵۵a	۲۸۹/۰a	۳۲۲ab	۲۰/۵۰c	۹/۴۳a
۴۰	۲۳۸a	۲۴۴a	۲۸۶/۰a	۳۷۶ab	۱۶/۳۰d	۷/۶۳c
۲۰	۱۲۲b	۲۴b	۱۶۰/۰b	۴۲۶a	۵/۳۰e	۳/۴۷e

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون چند دامنه ای دانکن ($P \leq 0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه‌های چهار هفته‌ای برنج تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی

ظرفیت زراعی (درصد)	محتوی نسبی آب (درصد)	میزان پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر)	پتاسیم بخش هوایی (گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک)	کلسیم بخش هوایی (گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک)
۱۰۰	۸۵a	۱/۹۰c	۶/۵۳a	۳/۲۳a
۸۰	۸۳a	۴/۶۰b	۴/۹۷b	۲/۷۵ab
۶۰	۸۰a	۴/۹۰b	۴/۹۳b	۲/۴۳ab
۴۰	۷۵b	۶/۲۲ab	۵/۰۰b	۲/۰۰b
۲۰	۱۴c	۷/۶۳a	۲/۵۴c	۰/۵۲c

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند مطابق آزمون چند دامنه ای دانکن ($P \leq 0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

تأثیر تنش خشکی بر صفات مربوط به مرحله گیاهچه‌ای

ارتفاع گیاه

نتایج داده‌ها حاکی از تأثیر معنی‌دار تنش خشکی بر ارتفاع گیاه است ($P \leq 0.05$). مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که با افزایش تنش خشکی، ارتفاع گیاه کاهش یافت، اما این کاهش، تنها بین تیمار شاهد و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی معنی‌دار بود (جدول ۲).

سطح برگ

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ برنج داشت. سطح برگ در تیمار ۲۰٪ ظرفیت زراعی با تیمار شاهد و همچنین سایر سطوح خشکی، تفاوت معنی‌داری داشت ($P \leq 0.05$). بیش‌ترین مقدار سطح برگ مربوط به تیمار شاهد (۲۸۳ میلی‌متر مربع) و کم‌ترین مقدار این صفت متعلق به تیمار ۲۰ درصد ظرفیت زراعی (۲۴ میلی‌متر مربع) بود (جدول ۲).

سطح و مجموع طول ریشه‌ها

مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که سطح و مجموع طول ریشه‌ها در تیمار ۲۰٪ ظرفیت زراعی نسبت به شاهد به ترتیب کاهش و افزایش معنی‌داری نشان دادند. سایر سطوح تنش خشکی با یکدیگر و با شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر این دو صفت نداشتند (جدول ۲).

وزن خشک بخش هوایی و ریشه

بر اساس داده‌های جدول ۲، تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه داشت. با افزایش سطوح خشکی، وزن خشک بخش هوایی بشدت کاهش یافت. بیش‌ترین وزن خشک بخش هوایی مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین آن مربوط به تیمار ۲۰٪ ظرفیت زراعی بود. وزن خشک ریشه نیز در مواجهه با سطوح خشکی ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار و در خشکی ۲۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۲).

محتوی نسبی آب برگ

نتایج مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که محتوی نسبی آب برگ در سطوح خشکی ۴۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد به صورت معنی داری کاهش یافت ($P \leq 0/05$). بیشترین (۸۵ درصد) و کمترین (۱۴ درصد) مقدار محتوی نسبی آب، به ترتیب به تیمار شاهد و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی مربوط بود (جدول ۳).

میزان پرولین

نتایج حاکی از آن بود که تیمارهای مختلف تنش خشکی تأثیر معنی داری بر میزان پرولین بخش هوایی داشت. تفاوت پرولین بین تیمار شاهد و سایر تیمارهای خشکی معنی دار بود ولی این تفاوت بین تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی معنی دار نبود ($P \leq 0/05$). بیشترین مقدار پرولین با میزان ۷/۶۳ میکرومول بر گرم وزن تر مربوط به تیمار ۲۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین میزان پرولین مربوط به تیمار شاهد (ظرفیت زراعی) با میزان ۱/۹۰ میکرومول بر گرم وزن تر بود (جدول ۳).

غلظت پتاسیم در بخش هوایی

مقایسه میانگین پتاسیم بخش هوایی مؤید آن بود که تغییرات پتاسیم میان تیمار شاهد و سایر تیمارهای خشکی معنی دار می‌باشد، اما میان تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد معنی دار نبود. مقدار پتاسیم بخش هوایی در تیمار ۲۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد، ۲/۵ برابر کاهش داشت (جدول ۳).

غلظت کلسیم در بخش هوایی

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود با افزایش تنش خشکی، به تدریج میزان کلسیم بخش هوایی و ریشه روند کاهشی را نشان دادند. در این رابطه تفاوت معنی داری در تیمار شاهد و تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد و همچنین بین تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد در بخش هوایی مشاهده نشد، اما این تفاوت در تیمار شاهد و ۴۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی معنی دار بود (جدول ۳).

بحث

نتایج نشان داد که تنش خشکی درصد و سرعت جوانه‌زنی را کاهش داد به طوری که بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد به میزان ۱۰۰ درصد و کمترین آن در پتانسیل ۱۰- بار مشاهده شد. تیمار شاهد با میانگین ۰/۴۳ درصد در روز بیشترین و تیمار ۱۰- بار با میانگین ۰/۱۴ درصد در روز از کمترین سرعت جوانه‌زنی برخوردار بودند. همچنین بر طبق نتایج، تنش خشکی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را به صورت معنی داری کاهش داد به طوری که طول ساقه‌چه از ۴۵ میلی‌متر در تیمار شاهد به ۳ میلی‌متر در تیمار ۱۰- بار و طول ریشه‌چه نیز از ۶۶ میلی‌متر در تیمار شاهد به ۸ میلی‌متر در تیمار خشکی ۱۰- بار تقلیل یافت. وزن خشک ساقه‌چه در حضور تمامی سطوح خشکی و وزن خشک ریشه‌چه در سطوح خشکی ۴-، ۶- و ۸- بار نسبت به شاهد به صورت معنی داری کاهش نشان دادند ($P \leq 0/05$). (Masudi et al., 2006) بیان داشتند که کاهش پتانسیل آب محلول اطراف بذر، تقسیم سلولی را کاهش می‌دهد. افت پتانسیل آب سبب کاهش قدرت استفاده جنین از اندام ذخیره ای می‌شود و متعاقب آن قدرت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. در فرآیند جوانه‌زنی، پس از جذب آب و آماس، ترشح هورمون جیبرلین به‌وسیله جنین و سنتز آنزیم‌های هیدرولیتیکی صورت می‌گیرد که با فعالیت آنزیم‌های آمیلاز، لیپاز و

پروتاز، مواد ذخیره‌ای به مواد قابل انتقال (ساکارز و گلوکز) تبدیل و به جنین انتقال می‌یابند و عامل رشد جنین تلقی می‌شوند. عامل اصلی انتقال ترکیبات محلول، حلالیت آن‌ها در آب است که با کاهش میزان رطوبت، انتقال آن‌ها به جنین میسر نمی‌شود (Naghdabadi et al., 2006 Falliri, 1994). نتایج مشابهی به‌وسیله‌ی Rahimi و Kafi (۲۰۰۶) در گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) گزارش شده است. De و Kar (۱۹۹۴) نیز اعلام کردند که در مواجهه با تنش خشکی، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاه *Vigna radiate* کاهش یافت. ارتفاع و سطح برگ گیاه در شرایط تنش شدید خشکی (۲۰ درصد زراعی) و وزن خشک بخش هوایی در تمامی سطوح خشکی بصورت معنی داری نسبت به شاهد کاهش یافت. کاهش سطح برگ یک سازوکار اکولوژیک در جهت حفظ آب گیاه و بهبود تحمل به خشکی است (Lasaltia et al., 2008). تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ و متعاقب آن مهار تقسیم سلولی در بافت‌های مرستمی باعث کاهش سطح فتوسنتزکننده می‌شود (Zubaer et al., 2007) و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش کردند که کاهش سطح برگ در برنج عاملی برای بهبود تحمل در مقابل خشکی است. Farooq و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی بر برنج بیان داشتند که خشکی سبب چروکیدگی سلول و متعاقب آن کاهش حجم سلول خواهد شد. این عمل برهم کنش پروتئین-پروتئین را افزایش داده و سبب تجمع و دنا توره شدن آن‌ها می‌شود. غلظت زیاد مواد محلول باعث سمیت سلول شده و از این طریق بر عملکرد بسیاری از آنزیم‌های درگیر در سیستم فتوسنتزی مؤثر واقع می‌شود. کاهش وزن خشک به دلیل کاهش رشد گیاهی، بسته شدن روزنه‌ها و متعاقباً آن کاهش فتوسنتز و پیری و ریزش برگ‌ها می‌باشد (Gisele et al., 2007). نتایج میانگین مشاهدات مؤید آن بود که بر خلاف ارتفاع گیاه، مجموع طول ریشه‌ها در مواجهه با تنش خشکی افزایش یافت که این افزایش در تیمار ۲۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با تیمار شاهد، معنی دار بود. همچنین سطح ریشه در تیمار ۲۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد به صورت معنی داری کاهش یافت. وزن خشک ریشه در سطوح خشکی ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بصورت معنی داری افزایش یافت و لی در خشکی ۲۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش معنی داری داشت. بررسی‌ها نشان می‌دهند که در شرایط تنش خشکی، ریشه‌های برنج در بخش‌های عمقی‌تر خاک نفوذ می‌کنند ولی وزن خشک ریشه در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد (Wang et al., 2007). در تنش خشکی ملایم، تفاوتی در توزیع ماده خشک میان ریشه و بخش هوایی گیاه برنج دیده نشد، در عین حال زیست توده ریشه افزایش یافت. اما در تنش شدید خشکی، اختصاص ماده‌ی خشک به طرف ریشه‌ها متوقف شد. در واقع، ریشه‌ها یک جزء کلیدی سازگاری برنج به محیط‌های دارای تنش خشکی هستند. چنانچه رطوبت در عمق خاک قابل دسترس باشد، عمیق بودن ریشه و نفوذ آن به درون قسمت‌های عمیق خاک برای افزایش عملکرد تحت تنش خشکی حیاتی است (Farooq et al., 2009). یکی از ساز و کار های گندم (*Triticum aestivum* L.)، افزایش طول ریشه در شرایط تنش خشکی است تا آب را از قسمت‌های عمیق خاک تخلیه نماید (Yagmur and Kaydan, 2008). به نظر White و Castillo (۱۹۸۹) گیاهان سازگار به خشکی، از سیستم‌های ریشه‌ای گسترده‌ای برخوردار هستند تا امکان جذب بیشتر آب از خاک بیشتر شود. در این آزمایش محتوی نسبی آب

منابع مورد استفاده

1. Abaszade, B., A. Sharifi Ashurabadi., M. Lebaschi., M. Naderi Hajibagher kondi and F. Moghadam. 2006. Effect of drought stress on proline, soluble sugars, chlorophyll and relative water content (RWC) of *Melissa Officinalis* L. Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants. 23: 504-513 (in Farsi).
2. ates, L. S., R. P. Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free praline for water stress studies. Plant and soil. 39:205-207.
3. Bian, Sh., and Y. Jiang. 2008. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. Scientia Horticulturae. 120:264-270.
4. Cabuslay, G. S., O. Ito and A. A. Alejar. 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to coater deficite. Plant Science. 163:815-827.
5. Chapman, H. D., and P. F. Pratt. 1982. Method of Analysis for Soil, Plants and Water, Chapman publisher: Riverside, CA.
6. De, R., R. K. kar. 1994. seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiate*). Under water stress included by PEG-600. Seed Science and Technology. 23:301-304.
7. Falliri, E. 1994. Effect of water stress on germination in six provances of pinaster ait. Seed Science and Technology. 22:591-599.
8. Farahani, A. H and K. Maroufi. 2011. Effect of hydropriming on seedling vigour in basil (*Ocimum basilicum* L.) Under salinity conditions. Advances in Environmental Biology. 5:828-833.
9. Farooq, M., A. Wahid, D. J. Lee, O. Ito and K. H. M. Siddique. 2009. Advances in drought resistance of rice. Critical Reviews in Plant Science. 28:199-217.
10. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development. 29:185-212.
11. Ghasemi Golazani, K., P. Shaikhzade Mosadeq and M. Valizade. 2007. effects of hydro-priming on seed germination, emergence, and yield chick pea. Journal of Sustainable Agriculture. 19:49-58 (in Farsi).
12. Gisele, A., M. Torres, A. Gimenes, V. E. de Rosa and V. Quecini. 2007. Identifying water stress-response mechanisms in citrus by in silico transcriptome analysis. Genetics and Molecular Biology. 30:888-905.
13. Hajebi, A and H. Haydari Sharifabad. 2005. Effect of drought stress on growth and nodulation of clover species. Journal of

برگ در شرایط تنش خشکی (۴۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی) بصورت معنی داری کاهش یافت. Yadav و Bhushan (۲۰۰۱) نیز کاهش میزان نسبی آب برگ را در گیاه برنج در مواجهه با تنش خشکی گزارش کردند. آن‌ها بیان داشتند که مقدار نسبی آب برگ به طور مستقیم با آماس یاخته و پتانسیل آبی گیاه ارتباط دارد. از طرف دیگر تورم، در ارتباط با توسعه و تقسیم سلولی است و بدین ترتیب ارتباط نزدیکی بین میزان نسبی آب برگ و عملکرد بیولوژیک وجود دارد. Schubert و همکاران (۱۹۹۵) اعلام کردند که کاهش محتوی نسبی آب گیاه یونجه (*Medicago Salvia*) در هنگام تنش خشکی، باعث کاهش آماس سلول‌ها و در نتیجه کاهش رشد و توسعه آن‌ها شد. همچنین طول ریشه و ساقه کاهش یافت. نتایج آزمایش حاکی از آن است که تنش خشکی، میزان پرولین برگ را به طور معنی‌داری افزایش داد. سایر محققان افزایش میزان پرولین را در شرایط تنش خشکی در گیاه *Melissa officinalis* L. گزارش کردند (Abaszade et al., 2006). تجمع پرولین یکی از مهم‌ترین واکنش‌های گیاهان نسبت به کمبود آب یا افزایش فشار اسمزی است. در گیاه خرفه، مقدار پرولین در پاسخ به تنش خشکی در برخی از بافت‌ها، بیش از ۱۰۰ برابر افزایش یافت. تجمع پرولین در گیاهان عالی احتمالاً محصول نهایی متابولیسم است (Rahimi and Kafi, 2008). پرولین در تمام اندام‌های گیاه در طی تنش وجود دارد، با این وجود میزان تجمع آن در برگ‌ها سریع‌تر و بیش‌تر از سایر نقاط می‌باشد. پرولین یک ترکیب اسمزی ذخیره شده در سیتوپلاسم می‌باشد و احتمالاً در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌ها نقش دارد. هیدروکسی پرولین نیز در سنتز دیواره سلول نقش دارد و تجمع آن در شرایط تنش خشکی ثابت شده است (Abaszade et al., 2006). میزان پتاسیم بخش هوایی در تمام سطوح خشکی و میزان کلسیم بخش هوایی در سطوح ۲۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد به صورت معنی‌داری کاهش یافت. علت کاهش پتاسیم احتمالاً این است که تنش خشکی موجب کاهش میزان حلالیت پتاسیم در خاک شده و در نتیجه جذب آن به‌وسیله‌ی ریشه کم‌تر می‌شود. پتاسیم یکی از عناصر مهم در متابولیسم گیاه می‌باشد. این عنصر چندین آنزیم را که در سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها مشارکت دارند فعال می‌کند و کاهش پتاسیم بر روی فعالیت فتوسنتز نیز تاثیرگذار است. باز و بسته شدن روزنه‌ها نقش مهمی در تنظیم اسمزی گیاه تحت شرایط تنش خشکی دارد و پتاسیم در مکانیسم کنترل روزنه مؤثر است، به همین لحاظ، گیاهانی که پتاسیم بیشتری دارند، سازگاری بیشتری با کمبود آب خواهند داشت. در ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی، افزایش پتاسیم در زمان وقوع تنش خشکی در اندام‌های هوایی مشهود است (Tarahomi et al., 2010). اثرات مثبت پتاسیم در مقاومت به خشکی به دلیل نقش تحریکی این یون در جذب آب است چرا که این عمل، با کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه و شیره آوند آبکش مرتبط است (Marchner, 1995). با کاهش پتانسیل آب، محتوی پتاسیم آوند چوبی در سویا (*Glycine max* L.) نیز کاهش یافته است (Osugwu, 1987). Mcquate et al., 1987 و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعه اثر تنش خشکی بر گیاه *Ocimum gratissimum* دریافتند که میزان عناصر پتاسیم و کلسیم در برگ‌های گیاه کاهش می‌یابد، این کاهش به دلیل حرکت این عناصر از برگ‌ها به ریشه‌ها می‌باشد، در این شرایط دو عنصر مذکور به عنوان محافظت‌کننده‌های اسمزی عمل کرده و سبب افزایش مقاومت گیاه به خشکی می‌شوند.

- Research in Agriculture and Horticulture. 66:13-21 (in Farsi).
14. Lafitte, H., R. A. Ismail and J. Bennet. 2004. Abiotic stress tolerance in rice for Asia: Progress and the future. Proceedings of the 4th International Crop science congress 26 Sep – 1 Oct. 1-17.
 15. Lasaltia, F., J. G. Miranda and I. Michelle. 2008. Physiological characterization for drought tolerance of selected rice varieties in Lake Sebu, Philippines. USM R & D Journal, 16:13-16.
 16. Li, Y., Y. Gao, L. Ding, Q. Shen and S. Guo. 2009. Ammonium enhances the tolerance of rice seedlings (*Oryza sativa* L.) to drought condition. Agricultural Water Management, 96:1746–1750
 17. Marchner., H. 1995. Mineral nutrition of higher plant. Second reprint. Academic press.
 18. Masudi, P., A. Gazanchian., V. Jajermi and A. Bozorgmehr. 2006. Effect of priming on improving seed germination and seedlings in three grass species under constant salinity. Journal of Agricultural Science and Technology, Special Horticultural Science. 22:57-67 (in Farsi).
 19. Mcquate, G. T., P. F. Germann and E. F. Connor. 1986. Soybean cell sap response to water deficits. Journal of Plant Physiology 125:105-114.
 20. Michel, B. E and M. R. Kaufmann. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol. Plant Physiology. 51:914-916.
 21. Moradi, A and O. Younesi. 2009. Effects of osmo- and hydro-priming on seed parameters of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.). Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 3:1696-1700.
 22. Naghdabadi, H., H. Omid., H. Shams., I. Kian., M. Dehqan Meshkani and M. Saif Sahandi. 2006. Inhibitory effects of aqueous extract of *Peganum harmala* (*Peganum harmala* L.) on germination and seedling growth of purslane (*Portulaca oleracea* L.) and *Chenopodium* (*Chenopodium album* L.). Journal of Medicinal Herbs. 33:116-127 (in Farsi).
 23. Osuagwu, G. G. E., H. O. Edeoga and A. N. Osuagwa. 2010. The influence of water stress (drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves *Ocimum gratissimum* L. Recent Research in Science and Technology. 2:27-33.
 24. Pirdashti, H., Z. Tahmasebi Servestani., Gh. Nematzade and A. Abdolbaghi. 2001. Effects of drought stress at different growth stages of rice varieties. Abstracts 8th Iranian Crop Science Congress. Sep. 3-5. Gilan, Iran (in Farsi).
 25. Rahimi, Z and M. Kafi. 2008. Effect of drought stress on germination characteristics of purslane (*Portulaca oleracea* L.). Environmental Stress in Agriculture Science. 2:78-91 (in Farsi).
 26. Schubert, S., R. Seerraj and P. E. Balzer. 1995. Effect of drought stress on growth sugar concentrations and amino acid accumulation in N-2-fixig alfalfa (*Medicago Salvia*). Journal of Plant Physiology. 146:541-546.
 27. Sharp, R. E. 1990. Comarative sensitivity of root and shoot growth and physiology to low water potential. Monograph-British Society for Plant Growth Regulation. 21:29-44.
 28. Silva, M. A., J. Jifon, L. Da Silva and V. Sharma. 2007. Use of physiological parameters as fast to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazilian journal of Plant Physiology. 19:193-201.
 29. Tarahomi, G., M. Lahuti and F Abasi. 2010. Effects of drought stress on changes in soluble carbohydrates, chlorophyll and potassium in *Salvia lerifol* Benth. Journal of Biological Sciences, Islamic Azad University, Zanjan. 3:1-7 (in Farsi).
 30. Wang, W. X., B. Vinocur, O. Shoseyov and A. Altman. 2001. Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. Acta Horticulture. 560:285-293.
 31. White, J.w., J.A. Castillo. 1989. Relation effet of root and shoot genotype on yield of common bean under drought stress. Croke Science. 29:360-362.
 32. Yadav, R. S and C. Bhushan. 2001. Effect of moisture stress on growth and yield in rice genotypes. Indian Journal of Agricultural Research. 2:104-107.
 33. Yagmur., M and D. Kaydan. 2008. Early seedling growth and relative water content of triticale varieties under osmotic stress of water and NaCl. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 4:767-772.
 34. Zubaer, M., A. Chowdhury, M. Z. Islam, T. Ahmed and M. A. Hasan. 2007. Effects of water stress on growth and yield attributes of aman rice genotypes. International Journal of Sustainable Crop Production. 2:25-30.