نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۲، شماره ۴ ، زمستان ۱۳۹۳، ص. ۸۶۱-۸۵۲

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 12, No. 4, Winter. 2015, p. 852-861

تأثیر سطوح مختلف پتانسیل آب بر مراحل جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای چهار رقم کلزا

احمد جعفرنژاد[۱*] - علی اکبر راه چمنی [۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۴
تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۱۰/۲۱

چکیده

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف پتانسیل آب بر مراحل جوانه‌زنی و گیاهچه ای چهار رقم کلزا، دو آزمایش جداگانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به صورت آزمایشگاهی در سال ۱۳۸۷ انجام شد. مؤلفه های جوانه‌زنی و خصوصیات مرحله گیاهچه ای چهار رقم کلزا در چهار سطح پتانسیل آب صفر (آب مقطر)، ۰/۲-، ۰/۴- و ۰/۶- مگاپاسکال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بطور کلی اثر اصلی رقم، سطوح مختلف پتانسیل آب و اثر متقابل آن ها بر تمام صفات مرحله جوانه زنی معنی دار بود و وزن تر، خشک و طول ریشه چه و ساقه چه را به طور معنی داری تحت تأثیر قرار دادند. با کاهش پتانسیل آب، درصد جوانه زنی بیشتر از سرعت جوانه زنی کاهش یافت. در مرحله جوانه زنی، ارقام اکاپی و هایولا به ترتیب از بیشترین و کمترین سطح تحمل به کاهش پتانسیل آب برخوردار بودند. ارقام، پتانسیل آب و اثر متقابل آنها بر وزن خشک ساقه و ریشه، نسبت کلروفیل a/b و میزان پرولین برگ در مرحله گیاهچه ای اثر بسیار معنی داری داشتند. با کاهش پتانسیل آب، نسبت کلروفیل a/b کاهش و میزان پرولین برگ به طور معنی داری افزایش یافت. به طور کلی نتایج نشان داد در مرحله جوانه زنی اکاپی برترین رقم بوده و بیشترین مقادیر صفات اندازه گیری شده را به خود اختصاص داده بود، ولی در مرحله گیاهچه ای، زرفام در اکثر صفات از بقیه ارقام برتر بود. چنین نتیجه گیری می شود تحمل به تنش خشکی در مراحل مختلف نموی کلزا متفاوت می باشد.

واژه های کلیدی: پرولین، تنش خشکی، درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، کلروفیل برگ

مقدمه

تنش خشکی از مهم ترین و شایع ترین عواملی است که در اکثر مراحل رشد گیاهان زراعی تأثیر گذاشته و دستیابی به عملکرد مطلوب را دشوار می سازد. برآورد شده تنش خشکی تولیدات زراعی را در ۲۵ درصد اراضی کشاورزی جهان محدود می کند (۸).

جوانه زنی مرحله مهمی از چرخه زندگی گیاهان در محیط های خشک می باشد، زیرا جوانه زنی از نظر تعداد گیاه سبز شده در واحد سطح برای بهبود تولید و عملکرد تعیین کننده می باشد. جوانه زنی سریع، یکنواخت و کامل بذرها، باعث سبز شدن مطلوب و رشد اولیه سریع گیاهان زراعی شده و رشد اولیه مطلوب به نوبه خود باعث دریافت بیشتر تشعشع خورشیدی و افزایش عملکرد می شود. بنابراین اولین مرحله ای که گیاه ممکن است با خشکی مواجه شود، جوانه زنی است و خسارت وارد شده در این مرحله تقریباً غیر قابل جبران است (۱۶). از آنجائیکه جوانه زنی با جذب آب آغاز می شود، کمبود آب بر حسب طول دوره و شدت تنش موجب عدم جوانه زنی و یا کاهش درصد و سرعت جوانه زنی می شود. در این راستا ارقامی که در مرحله جوانه زنی به خشکی متحمل باشند از نظر تولید زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک اهمیت زیادی دارند (۱۱).

کلزا (*Brassica napus*) یکی از مهم ترین گیاهان روغنی دنیا است و بخش اعظم تولید آن تحت شرایط دیم انجام می شود بنابراین واکنش این گیاه به تنش آب از اهمیت زیادی برخوردار است. به دلیل اینکه بذور کلزا ریز بوده و نیاز به بستر بذر مناسب جهت جذب آب و جوانه زنی دارند، گزینش ارقام متحمل به تنش از این حیث می تواند بسیار حائز اهمیت باشد (۲۴). قدرت یک بذر در جوانه زنی و تولید گیاهچه در شرایط تنش خشکی نشانگر این است که آن بذر دارای ظرفیت ژنتیکی لازم برای تحمل به خشکی بوده، ولی الزاماً به این معنی نیست که گیاهچه ای که در شرایط تنش خشکی شروع به رشد کرده، رشد را در همان شرایط ادامه داده و در تمام مراحل رشد از همان تحمل برخوردار باشد (۱۸). در این رابطه برخی محققین (۵) بیان کردند هر گیاهی که بتواند در مرحله جوانه زنی تحمل بیشتری به خشکی داشته باشد، در مراحل بعدی رشد نیز گیاهچه هایی با بنیه بهتر و سیستم ریشه ای قوی تری تولید می کند و

۱-استادیار پژوهش ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی نیشابور
(*- نویسنده مسئول: Email: ajafarnzhad@yahoo.com)
۲-دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور

ممکن است بین تحمل به تنش های ابتدای فصل با عملکرد دانه ارتباط مستقیمی وجود داشته باشد. از این رو به دلیل حساسیت مرحله جوانه زنی به وضعیت رطوبتی، عکس العمل ارقام به تنش رطوبتی باید مورد بررسی قرار گیرد. در بین و داخل گونه های براسیکا به خصوص گونه *Brassica napus* تنوع قابل ملاحظه ای برای خصوصیات تحمل به خشکی از قبیل تجمع پرولین، پایداری کلروفیل و جوانه زنی بالاتر در شرایط تنش آب وجود دارد که از این تنوع می توان در گزینش ارقام متحمل و بررسی واکنش ارقام به پتانسیل آب استفاده نمود (۱۲ و ۲۱). در برخی منابع، حد تحمل کلزا در مرحله جوانه زنی ۰/۲- مگاپاسکال ذکر شده است (۱۹).

این مطالعه با هدف بررسی عکس العمل جوانه زنی برخی از ارقام رایج کلزا نسبت به پتانسیل آب و همچنین ارزیابی میزان تحمل یا حساسیت به تنش خشکی در دو مرحله جوانه زنی و گیاهچه ای صورت گرفت.

مواد و روش ها

این پژوهش در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۸۷ انجام شد. تیمارها شامل چهار رقم کلزا (اکاپی، هایولا، زرفام و طلایه) و چهار سطح مختلف پتانسیل آب (صفر، ۰/۲-، ۰/۴-و ۰/۶- مگاپاسکال) بودند. جهت ایجاد سطوح پتانسیل آب از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ (PEG 6000) و از روش میچل و کافمن(۱۷) استفاده شد.

مرحله جوانه زنی

بذور سالم و خالص ارقام کلزا به طور تصادفی از توده بذر شمارش (بذور ارقام فوق در سال قبل از اجرای آزمایش تولید شده بودند) و با محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به مدت دو دقیقه ضدعفونی شدند. سپس با آب مقطر به طور کامل شسته شده و در داخل ظروف پتری‌دیش استریل با قطر ۱۰ سانتیمتر قرار داده شدند. در کف ظروف پتری، کاغذ صافی واتمن قرار گرفت و ۱۰ میلی لیتر از محلول مربوط به هر تیمار، به آنها اضافه شد. در هر پتری‌دیش ۱۰۰ عدد بذر هم اندازه قرار داده شد. سپس روی بذور کاغذ صافی قرار داده شد و ظروف در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد در داخل دستگاه ژرمیناتور با دقت ۱ ± درجه سانتیگراد قرار گرفتند. با شروع جوانه‌زنی، تعداد بذور جوانه زده، روزانه در ساعت ۱۰ صبح یادداشت می شدند. بذوری جوانه زده تلقی شدند که طول ریشه چه آنها ۲ میلی متر یا بیشتر بود. تعداد جوانه های نرمال در هر تیمار با توجه به معیارهای ISTA ثبت شد (۱۵). در آخرین روز جوانه زنی که در تیمارهای مختلف با یکدیگر متفاوت بود و زمانی در نظر گرفته شد که در دو روز متوالی در هیچ بذری جوانه زنی مشاهده نشد، وزن تر، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه اندازه گیری شد. سپس جهت تعیین وزن خشک، نمونه ها به تفکیک در داخل آون و در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شده و پس از خشک شدن با ترازوی دارای دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. برای ارزیابی اجزای جوانه‌زنی (درصد و سرعت جوانه زنی، آغاز و خاتمه جوانه زنی) از برنامه Germin استفاده شد(۳).

چون توزیع درصد جوانه زنی نرمال نبود برای نرمال شدن توزیع درصد جوانه‌زنی از تبدیل زاویه‌ای($a\sin\sqrt{x}$) استفاده شد(۲۲).

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف پتانسیل آب بر روند درصد جوانه زنی ارقام کلزا از مدل لجستیک سه پارامتری استفاده شد:

$$Y=a/[1+(x/b)^c] \quad (۱)$$

که در این معادله Y درصد جوانه زنی ارقام کلزا در پتانسیل های مختلف آب(x)، a حداکثر درصد جوانه زنی، b پتانسیل آب جهت ۵۰ درصد کاهش جوانه زنی نسبت به حداکثر جوانه زنی و c شیب کاهش جوانه زنی در اثر کاهش پتانسیل آب می‌باشد (۷).

مرحله گیاهچه ای

جهت ارزیابی اثر تنش خشکی در مرحله گیاهچه ای، ارقام مذکور در سطوح پتانسیل آب همانند آزمایش مرحله جوانه زنی در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند. دمای آزمایشگاه در طول دوره آزمایش از ۱۸ تا ۲۴ درجه سانتیگراد متغیر بود. بدین منظور تیمارها در گلدانهایی با ارتفاع ۲۲ و قطر ۱۷ سانتیمتر اعمال شدند. گلدانها با ماسه دو بار شسته شده پر شدند و بذور در عمق ۲ سانتیمتری با تراکم ۴ بذر در هرگلدان کشت شدند. هر دو روز گلدانها آبیاری می شدند و زه آب گلدانها مجدداً به داخل گلدانهای مربوطه برگردانیده می شد. جهت جلوگیری از کمبود عناصر غذایی از دور دوم آبیاری از محلول هوگلند استفاده شدکه حاوی عناصر کم مصرف و پرمصرف بود (۱۴). پس از گذشت حدود دو ماه از آغاز آزمایش، طول ریشه و ساقه ، وزن خشک ریشه و ساقه، میزان پرولین و کلروفیل a و b برگ های تازه بوته های هر گلدان اندازه گیری و ثبت شد. با توجه به اثر تیمارها (سطوح مختلف رقم و پتانسیل آب)بر رشد بوته ها، مراحل نموی در زمان اندازه گیری از ۶ تا ۱۰ برگی متغیر بود. میزان کلروفیل a و b برگ تازه با استفاده از روش آرنون (۴) و پرولین برگ با استفاده از روش بیتز و همکاران (۶) در انتهای آزمایش اندازه گیری شدند.

تجزیه واریانس داده‌ها با برنامه آماری SAS و MSTAT-C و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند. جهت تعیین ضرایب همبستگی و برازش معادلات از نرم افزار JMP استفاده شد.

نتایج و بحث

مرحله جوانه زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم، پتانسیل آب و همچنین اثر متقابل آنها بر مؤلفه های جوانه زنی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). بیشترین و کمترین میزان جوانه زنی به ترتیب در ارقام اکاپی و هایولا به مقدار ۷۹/۸ و ۵۳ درصد ثبت شد (جدول ۲). کمبود آب مانع تورژسانس کافی لپه ها و فعال شدن آنزیم های آلفا آمیلاز، پروتئاز و هیدرولیز مواد اندوخته ای دانه ها شده و در نتیجه باعث کاهش درصد جوانه زنی می شود (۱۰). در این آزمایش ارقام از درصد جوانه زنی متفاوتی برخوردار بودند که نشاندهنده تفاوت ژنتیکی ارقام در جذب آب در شرایط تنش خشکی اولیه می باشد.

بیشترین و کمترین سرعت جوانه زنی نیز به ترتیب در ارقام اکاپی و طلایه مشاهده شد (جدول ۲). همبستگی مثبت و معنی دار بین درصد و سرعت جوانه زنی (جدول ۷) حاکی از آن است که ارقام با درصد جوانه زنی بالا از سرعت جوانه زنی بالاتری نیز برخوردار بودند. سرعت جوانه زنی یکی از مؤلفه های جوانه زنی است که نقش زیادی در استقرار گیاهچه ها در ابتدای فصل رشد دارد. برخی محققین بیان داشته اند بالا بودن کیفیت بذر موجب بهبود مدت زمان جوانه زنی، سرعت و میزان جوانه زنی می شود (۱۱). اثر رقم بر درصد و سرعت جوانه زنی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). سریع ترین و کندترین آغاز جوانه زنی به ترتیب در ارقام اکاپی و زرفام مشاهده شد (عدد کوچک تر نشان دهند آغاز جوانه زنی سریع تر می باشد) (جدول ۲).

پتانسیل آب تأثیر بسیار معنی داری بر کلیه اجزای جوانه زنی بذر داشت(جدول ۱). با کاهش پتانسیل آب درصد و سرعت جوانه زنی به طور معنی داری کاهش یافت. بیشترین و کمترین درصد جوانه زنی به ترتیب در تیمار شاهد (آب مقطر) و پتانسیل آب ۰/۶- مگاپاسکال با میزان ۹۶/۵ و ۲۸/۶ درصد مشاهده شد (جدول ۲). ویلنبورگ و همکاران (۲۶) بیان داشتند با کاهش پتانسیل آب، اجزای گیاهچه‌های کلزا کاهش رشد نشان دادند که میزان کاهش رشد اجزا در ارقام مختلف با یکدیگر تفاوت معنی داری داشت. سرعت جوانه زنی نیز با کاهش پتانسیل آب روند کاهشی داشت، ولی با منفی تر شدن پتانسیل آب، درصد کاهش سرعت جوانه زنی نسبت به کاهش درصد جوانه زنی کمتر بود. به عبارت دیگر سرعت جوانه زنی نسبت به درصد جوانه زنی حساسیت کمتری به کاهش پتانسیل آب داشت.

کاهش فرآیند جوانه زنی در اثر تنش می تواند به کاهش جذب آب توسط بذرها ارتباط داشته باشد. اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب آب به کندی انجام شود، فعالیت های متابولیکی جوانه زنی در داخل بذر به آرامی صورت خواهد گرفت، در نتیجه آن مدت زمان خروج ریشه چه از بذر افزایش و از این رو سرعت جوانه زنی نیز کاهش می یابد (۱۲).

جدول۱- مقادیر میانگین مربعات و درجه آزادی صفات مختلف مرحله جوانه‌زنی ارقام کلزا در پتانسیل‌های متفاوت آب

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه-زنی	آغاز جوانه‌زنی	خاتمه جوانه زنی	طول ریشه چه	طول ساقه‌چه
رقم	۳	۸۰۲/۹**	۰/۰۱۰**	۰/۵۹۲**	۰/۲۳**	۲۳۹/۵۸**	۲۵/۰۵**
پتانسیل آب	۳	۵۶۴۱/۷**	۰/۰۹۵**	۷/۰۸۲**	۸/۲۸**	۲۱۶۷/۱۰**	۷۸۶/۱۸**
رقم× پتانسیل آب	۹	۶۷/۸**	۰/۰۰۲**	۰/۰۴۸*	۰/۰۹ns	۷۸/۰۴**	۷/۶۶**
خطا	۳۲	۲۸/۱۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۹	۰/۰۴	۱/۲۵	۰/۴۱
ضریب تغییرات(درصد)		۹/۵۰	۴/۸۷	۵/۷۶	۴/۷۳	۷/۲۷	۶/۸۰

*، ** و ns – به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی‌دار

ادامه جدول۱- مقادیر میانگین مربعات و درجه آزادی صفات مختلف مرحله جوانه‌زنی ارقام کلزا در پتانسیل‌های متفاوت آب

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر ریشه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	وزن تر ساقه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	نسبت ریشه‌چه/ساقه‌چه
رقم	۳	۴۶۲۶/۵**	۱۷۲۰/۳**	۵۷۰۲/۳**	۳۰۵۹/۴**	۰/۱۰۴**
پتانسیل آب	۳	۴۱۴۶۲/۸**	۱۲۱۳۷/۶**	۲۲۹۱۵۲/۱**	۶۵۶۱۱/۰**	۶/۰۲۲**
رقم* پتانسیل آب	۹	۱۰۳۸/۵**	۵۶۷/۸**	۲۳۴۵/۶**	۱۶۶۴/۹**	۰/۲۴۶**
خطا	۳۲	۲۲/۹	۱۸/۵	۳۵/۸	۳۱/۲	۰/۰۱۰
ضریب تغییرات(٪)		۷/۰۲	۱۳/۴۹	۴/۹۸	۹/۳۸	۹/۴۸

*، ** و ns – به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج ، یک درصد و غیرمعنی‌دار

آغاز و خاتمه جوانه زنی به طور معنی داری تحت تأثیر پتانسیل آب قرار گرفت (جدول ۱). با کاهش پتانسیل آب جوانه زنی با تأخیرشروع شد. به طور مثال جوانه زنی در تیمار شاهد (آب مقطر) از روز ۱/۴ شروع و در روز ۳/۱ خاتمه یافت در صورتی که در پتانسیل آب ۰/۶- مگاپاسکال جوانه زنی از روز سوم آغاز و در روز ۴/۹ خاتمه یافت (جدول ۲). تنش رطوبتی اعمال شده بوسیله پلی اتیلن گلایکول احتمالاً از طریق کاهش سطح تماس آب با بذرها و پایین آوردن هدایت هیدرولیکی آب اطراف بذرها، کاهش جذب اکسیژن به وسیله محدود کردن مقدار اکسیژن محلول در محیط کشت و یا انتشار پذیری کمتر پوسته بذر نسبت به آب در پتانسیل های اسمزی پایین‌تر باعث کاهش جوانه‌زنی می شود (۹).

اثر متقابل رقم× پتانسیل آب بر مؤلفه های جوانه زنی به جز زمان خاتمه جوانه زنی معنی دار بود (جدول ۱). به عبارت دیگر عکس العمل خصوصیات مرحله جوانه زنی ارقام مختلف در پتانسیل های متفاوت آب با یکدیگر مشابه نبود (جدول ۳). به طور مثال با اینکه درصد جوانه زنی ارقام در پتانسیل آب صفر (شاهد) در یک گروه آماری قرار داشت ولی با منفی تر شدن پتانسیل آب درصد کاهش جوانه زنی ارقام با یکدیگر متفاوت بود. با کاهش پتانسیل آب از صفر به ۰/۶- مگاپاسکال درصد جوانه زنی رقم هایولا از ۹۲ به ۹ (۹۰ درصد کاهش) و در رقم اکاپی از ۹۹ به ۵۱ درصد (۴۸ درصدکاهش) کاهش یافت. بنابراین سطح حساسیت ارقام به پتانسیل آب، در رابطه با جوانه زنی با یکدیگر متفاوت بود. در مورد ارقام هایولا و زرفام سطحی از پتانسیل آب که باعث کاهش معنی دار درصد جوانه زنی نسبت به شاهد شد ۰/۲- و در مورد ارقام طلایه و اکاپی ۰/۴- مگاپاسکال بود (جدول۳). برخی منابع حداقل پتانسیل آب را برای جوانه زنی مطلوب کلزا ۰/۲- مگاپاسکال عنوان نموده اند (۱۹).

ضرایب رگرسیون لجستیک نشان داد پتانسیل آب ۰/۶- مگاپاسکال آستانه ۵۰ درصد بازدارندگی حداکثر جوانه زنی (پارامترb) رقم اکاپی و ۰/۳۳- مگاپاسکال برای رقم هایولا می باشد (جدول۴). بنابراین ارقام از حساسیت متفاوتی نسبت به کاهش پتانسیل آب برخوردار بودند. همچنین بیشترین و کمترین شیب کاهش درصد جوانه زنی نسبت به تقلیل پتانسیل آب (پارامتر c) که ناشی از حساسیت متفاوت ارقام نسبت به پتانسیل آب می باشد، به ترتیب مربوط به ارقام هایولا و اکاپی بود (جدول ۴).

در مورد سرعت جوانه زنی نیز همین روند وجود داشت. به عبارت دیگر سطح کاهش معنی دار سرعت جوانه زنی در ارقام مختلف نسبت به شاهد با یکدیگر متفاوت بود، ولی آغاز و خاتمه جوانه زنی ارقام، مشابه یکدیگر بود. بدین مفهوم که در پتانسیل های آب مشابه بین ارقام (به جز رقم اکاپی) تفاوت معنی داری وجود نداشت و در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۳).

اثر متقابل رقم× پتانسیل آب بر آغاز جوانه زنی در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۱). بنابراین برخی ارقام نسبت به جذب آب از کارایی بالاتری برخوردار بوده و واکنش های فیزیولوژیک مرحله جوانه زنی آنها سریع تر انجام شده است. ارقام از نظر وزن تر ریشه چه و ساقه چه، وزن خشک ریشه چه و ساقه چه، طول ریشه چه و ساقه چه و همچنین نسبت وزن خشک ریشه چه به ساقه چه با یکدیگر در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری داشتند (جدول۱). در اکثر خصوصیات مرحله جوانه زنی، رقم اکاپی از سایر ارقام برتر بود و در مقابل رقم هایولا در رده آخر قرار داشت (جدول ۳). تحمل به خشکی در اکثر گیاهان مشاهده می شود، ولی دامنه عمل آن در بین گونه ها و جنس ها و حتی ارقام مختلف بسیار متغیر می باشد (۱، ۲ و ۱۶). بنابراین نوع و عکس العمل های گیاهان در برابر تنش خشکی به شدت، دوام و به خصوص به ژنوتیپ گیاهی بستگی دارد.

اثر رقم، سطوح مختلف پتانسیل آب و اثر متقابل رقم × پتانسیل آب نیز بر وزن تر ریشه چه و ساقه چه، وزن خشک ریشه چه و ساقه چه، طول ریشه چه و ساقه چه و همچنین نسبت وزن خشک ریشه چه به ساقه چه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱).

ریشه چه نسبت به ساقه چه از حساسیت کمتری به کاهش پتانسیل آب برخوردار بود. یعنی در تنش خشکی وزن خشک ریشه و اندام های هوایی کاهش می یابد، ولی این کاهش در ساقه بیش از ریشه بوده و در نتیجه نسبت ریشه به ساقه افزایش یافت. در شرایط کمبود آب به علت عدم انتقال مناسب مواد غذایی و آنزیم ها، رشد اندام های هوایی بیش از ریشه کاهش یافت. رشد سلول ها نسبت به کمبود آب، از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است و حتی با کاهش جزئی در قابلیت دسترسی به آب، سرعت رشد سلول کاهش می یابد، زیرا فشار تورمی (تورژسانس) که نیروی لازم برای افزایش طول سلول ها را تأمین می نماید، به حد کافی وجود ندارد (۱۳).

با کاهش پتانسیل آب، رشد گیاهچه ها به شدت کاهش یافت و باعث کاهش طول ساقه، طول ریشه، وزن خشک ریشه و ساقه شد (جدول ۶). کاهش رشد در برخی اجزا بیشتر از سایرین بود. به طور مثال با کاهش پتانسیل آب از طول ساقه نسبت به طول ریشه به میزان بیشتری کاسته شد. با کاهش پتانسیل آب از صفر به ۰/۶- مگاپاسکال، طول ساقه ۷۵ درصد، ولی طول ریشه ۳۵ درصد کاهش یافت که حاکی از حساس تر بودن ساقه به تنش کمبود آب است. تنش خشکی وزن خشک اندام های هوایی را بیشتر از وزن خشک ریشه کاهش می دهد. تقدم رشد ریشه چه بر رشد اندام های هوایی امتیازی برای بقای گیاهچه می باشد (۲۳).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر ارقام و پتانسیل آب بر صفات مرحله جوانه‌زنی ارقام کلزا

صفات / عامل‌ها	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی (1/day)	آغاز جوانه‌زنی (day)	خاتمه جوانه زنی (day)	طول ریشه چه (mm)	طول ساقه‌چه (mm)	وزن تر ریشه‌چه (mg/Petri)	وزن خشک ریشه‌چه (mg/Petri)	وزن تر ساقه‌چه (mg/Petri)	وزن خشک ساقه‌چه (mg/Petri)	نسبت ریشه-چه/ساقه‌چه
ارقام											
هایولا	۵۳/۰c	۰/۳۱۲۲b	۲/۴۵a	۴/۳۸a	۱۲/۵۰c	۹/۳۳b	۵۱/۳۷d	۲۰/۶۸d	۹۸/۰۸d	۳۸/۹۸c	۰/۹۹b
طلایه	۶۳/۷b	۰/۳۰۴۶b	۲/۴۷a	۴/۴۴a	۱۴/۵۶b	۹/۲۶b	۶۶/۸۳b	۳۱/۹۳b	۱۲۱/۶b	۶۲/۴۵b	۱/۱۴a
زرفام	۶۱/۹b	۰/۳۰۶۰b	۲/۵۸a	۴/۴۴a	۱۲/۵۲c	۷/۸۷c	۵۸/۵۱c	۲۶/۵۰c	۱۱۱/۳c	۵۹/۱۳b	۰/۹۶b
اکاپی	۷۹/۸a	۰/۳۶۴۹a	۲/۰۷b	۴/۱۵b	۲۱/۹۲a	۱۱/۳۸a	۹۶/۰۸a	۴۸/۵۰a	۱۴۹/۴a	۷۷/۷۸a	۱/۱۴a
سطوح پتانسیل آب											
شاهد(آب مقطر)	۹۶/۵a	۰/۴۴۵۶a	۱/۴۴d	۳/۱۲c	۳۳/۲۹a	۲۰/۰۳a	۱۴۵/۶a	۷۶/۴۳a	۲۹۷/۹۰a	۱۶۲/۱۰a	۰/۴۷c
-۰/۲ MPa	۸۲/۳b	۰/۳۲۴۴b	۲/۱۳c	۴/۵۷b	۱۷/۹۵b	۱۱/۳۲b	۷۹/۹۲b	۳۲/۳۳b	۱۶۱/۱۰b	۶۵/۲۵b	۰/۴۷c
-۰/۴ MPa	۵۰/۹c	۰/۲۷۵۲c	۲/۸۲b	۴/۸۰ab	۶/۵۴c	۴/۶۵c	۳۵/۲۷c	۱۴/۱۳c	۱۵/۴۶c	۷/۹۸c	۱/۸۵a
-۰/۶ MPa	۲۸/۶d	۰/۲۴۲۶d	۳/۱۷a	۴/۹۱a	۳/۷۱d	۱/۸۳d	۱۲/۰۲d	۴/۷۳d	۵/۹۱a	۳/۰۳c	۱/۴۵b

در هر تیمار، میانگین های مربوط به هر صفت که دارای حروف مشترک هستند تفاوت آماری معنی‌داری ندارند (دانکن ۵٪).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و پتانسیل آب بر صفات مرحله جوانه‌زنی کلزا

ارقام	پتانسیل آب	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه-زنی	آغاز جوانه‌زنی (day)	خاتمه جوانه زنی (day)	طول ریشه چه (mm)	طول ساقه‌چه (mm)	وزن تر ریشه‌چه (mg/Petri)	وزن خشک ریشه‌چه (mg/Petri)	وزن تر ساقه‌چه (mg/Petri)	وزن خشک ساقه‌چه (mg/Petri)	نسبت ریشه-چه/ساقه‌چه
	شاهد(آب مقطر)	۹۲/۳abc	۰/۴۳۴۰b	۱/۴۲e	۳/۰۱d	۲۵/۶۷d	۲۰/۱۷b	۱۰۶/۳d	۴۲/۳e	۳۳۲/۷c	۹۲/۰c	۰/۴۶e
	-۰/۲ MPa	۷۴/۳c	۰/۳۲۴۰d	۲/۲۰c	۴/۳۴a	۱۵/۶۷e	۱۱/۹۰e	۶۴/۷e	۲۶/۶fg	۱۴۴/۳d	۵۶/۴d	۰/۴۷e
	-۰/۴ MPa	۳۶/۰def	۰/۲۶۳۷efg	۳/۰۰b	۴/۸۷a	۶/۰۰ghi	۴/۲۷hi	۳۰/۵gh	۱۲/۲hijk	۱۱/۸fg	۵/۸e	۲/۱۰ab
	-۰/۶ MPa	۹/۳g	۰/۲۳۷۳g	۳/۱۷ab	۴/۹۲a	۲/۶۷j	۱/۰۰k	۳/۹۷j	۱/۶l	۳/۵g	۱/۷e	۰/۹۴d
	شاهد(آب مقطر)	۹۷/۷a	۰/۴۲۱۷b	۱/۴۳e	۳/۱۸cd	۳۳/۵۰b	۲۰/۶۰b	۱۵۰/۰b	۸۰/۷b	۳۱۳/۳b	۱۷۷/۷b	۰/۴۵e
	-۰/۲ MPa	۸۲/۷abc	۰/۲۹۰۰def	۲/۲۵c	۴/۸۰a	۱۵/۲۳e	۱۰/۱۰f	۷۲/۰e	۲۹/۱f	۱۵۴/۳d	۶۲/۸d	۰/۴۶e
	-۰/۴ MPa	۴۰/۳de	۰/۲۶۱۰fg	۳/۰۲b	۴/۸۶a	۵/۳۳ghij	۴/۱۷hi	۳۲/۰gh	۱۲/۹hijk	۱۱/۸fg	۵/۹e	۲/۱۹a
	-۰/۶ MPa	۳۴/۰ef	۰/۲۴۵۷g	۳/۱۸ab	۴/۹۱a	۴/۱۷ij	۲/۱۷jk	۱۳/۳ij	۵/۰jkl	۶/۹fg	۳/۴e	۱/۴۷c
	شاهد(آب مقطر)	۹۷/۰a	۰/۴۰۷۷bc	۱/۷۳d	۳/۳۵c	۳۰/۰۰c	۱۶/۴۷c	۱۳۹/۷bc	۶۸/۰c	۳۰۲/۷b	۱۷۱/۳b	۰/۴۰e
	-۰/۲ MPa	۷۶/۷bc	۰/۳۰۲۰de	۲/۲۳c	۴/۷۱a	۹/۰۷f	۸/۳۳g	۴۸/۷f	۱۹/۷fgh	۱۲۰/۳e	۵۳/۷d	۰/۳۷e
	-۰/۴ MPa	۵۴/۳d	۰/۲۷۴۰efg	۳/۰۲b	۴/۷۶a	۷/۶۷fg	۵/۳۳h	۲۶/۹g	۱۴/۸hij	۱۷/۵fg	۹/۱e	۱/۶۳c
	-۰/۶ MPa	۱۹/۷fg	۰/۲۴۰۳g	۳/۳۴a	۴/۹۲a	۳/۳۳ij	۱/۳۳jk	۸/۸j	۳/۵kl	۴/۵g	۲/۴e	۱/۴۶c
	شاهد(آب مقطر)	۹۹/۰a	۰/۵۲۹۰a	۱/۱۸f	۲/۹۵d	۴۴/۰۰a	۲۲/۹۰a	۱۸۶/۳a	۱۱۴/۷a	۳۴۳/۰a	۲۰۷/۳a	۰/۵۵e
	-۰/۲ MPa	۹۵/۷ab	۰/۳۸۱۷c	۱/۸۲d	۴/۰۴b	۳۱/۸۳bc	۱۴/۹۳d	۱۳۴/۳c	۵۳/۹d	۲۲۵/۳c	۸۸/۱c	۰/۶۱e
	-۰/۴ MPa	۷۳/۰c	۰/۳۰۲۰de	۲/۲۸c	۴/۷۰a	۷/۱۷fgh	۴/۸۳h	۴۱/۷fg	۱۶/۶ghi	۲۰/۷f	۱۱/۱e	۱/۵۰c
	-۰/۶ MPa	۵۱/۳de	۰/۲۴۷۰g	۳/۰۰b	۴/۹۰a	۴/۶۷hij	۲/۸۳ij	۲۲/۰hi	۸/۸ijkl	۸/۷fg	۴/۶e	۱/۹۱b

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول٤- پارامترها و ضریب تبیین مدل رگرسیونی لجستیک درصد جوانه زنی چهار رقم کلزا در سطوح مختلف پتانسیل آب

پارامترهای مدل	هایولا			طلایه			زرفام			اکاپی		
	Value	SE	P	Value	SE	P	Value	SE	P	Value	SE	P
a	۹۱/۴۷	۳/۵۲۳	<۰/۰۱	۹۹/۰۲	۴/۹۶۴	<۰/۰۱	۹۴/۵۸	۴/۰۱۸	<۰/۰۱	۹۹/۸۴	۶/۳۱۵	<۰/۰۱
b	۰/۳۳	۰/۰۱۹	<۰/۰۱	۰/۳۹	۰/۰۳۵	<۰/۰۱	۰/۴۰	۰/۰۳۷	<۰/۰۱	۰/۶۱	۰/۰۶۹	<۰/۰۱
c	۰/۳۱	۰/۰۴۲	<۰/۰۱	۰/۲۵	۰/۰۳۹	<۰/۰۱	۰/۲۶	۰/۰۴۵	<۰/۰۱	۰/۲۱	۰/۱۰۰	<۰/۰۵
R^2	۰/۹۷			۰/۹۳			۰/۹۵			۰/۷۸		

جدول۵- تجزیه واریانس(میانگین مربعات) صفات مرحله گیاهچه ای کلزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ساقه	طول ریشه	وزن تر ریشه	وزن تر ساقه	نسبت کلروفیل a/b	میزان پرولین برگ
رقم	۳	۵۶۹۸**	۱۷۶**	۱۰۵۳**	۲۲۷۰۹۹**	۰/۱۲۴**	۱۰۹/۴**
پتانسیل آب	۳	۱۸۳۹۵۷**	۲۰۵۹**	۲۳۴۰۷**	۳۵۰۳۵۲۷**	۰/۲۹۱**	۱۳۵۳/۹**
رقم× پتانسیل آب	۹	۲۳۳۲**	۷۰**	۳۶۶**	۱۸۹۷۸۶**	۰/۰۸۱**	۶/۸**
خطا	۳۲	۱۰۵	۹/۵	۲۳	۲۲۸	۰/۰۱۵	۱/۹
ضریب تغییرات(درصد)		۵/۸۷	۵/۲۲	۹/۰۱	۳/۶۷	۷/۵۴	۶/۴۲

** و ns – به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی‌دار

در بررسی مذکور تأکید شده افزایش اسید آبسزیک در تنش های رطوبتی اثر متفاوتی بر رشد ریشه و اندام های هوایی دارد. بدین ترتیب که باعث توقف رشد اندام های هوایی شده، ولی ریشه ها به رشد خود با شدت کمتری ادامه می دهند. از وزن خشک ریشه در پتانسیل آب ۰/۶- مگاپاسکال نسبت به شاهد (آب مقطر) ۸۰ درصد و از طول ریشه ۳۵ درصد کاسته شد که نشان دهنده تأثیر بیشتر تنش خشکی بر وزن خشک ریشه نسبت به طول ریشه می باشد. به این دلیل ریشه ها نازک تر و باریک تر شده و به نوعی سطح تماس با محیط رشد افزایش یافته تا بتوانند آب بیشتری از محیط گلدان جذب نمایند. بنابراین گیاه سرمایه گذاری بیشتری روی طویل تر شدن ریشه نموده است. در شرایط تنش خشکی ریشه های ارقام مختلف گندم نازک‌تر و طویل تر شده که این عامل باعث می شود سطح تماس بیشتری جهت جذب آب ایجاد شود (۲۷).

اثر متقابل رقم × پتانسیل آب بر طول ساقه، طول ریشه، وزن خشک ریشه و ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). بنابراین ارقام کلزا در مقابل پتانسیل های آب، از عکس العمل های متفاوتی برخوردار بودند. به طور مثال، درصد کاهش طول ساقه رقم هایولا در پتانسیل آب ۰/۶- نسبت به شاهد ۷۰ درصد و در رقم زرفام ۸۰ درصد بود که حاکی از حساسیت بیشتر رقم زرفام به تنش خشکی نسبت به هایولا می باشد. با اینکه اکاپی از بیشترین طول ساقه در تیمار شاهد برخوردار بود، ولی با کاهش پتانسیل آب، طول ساقه این رقم با نسبت بیشتری کاهش یافت (جدول ۶). همین امر در مورد سایر ویژگی ها وجود داشت، ولی نسبت کاهش در مورد ویژگی های مختلف با یکدیگر متفاوت بود. به طور مثال، کاهش طول ریشه در پتانسیل آب ۰/۶- مگاپاسکال نسبت به شاهد در رقم هایولا، ۲۵ درصد و در رقم اکاپی، ۴۲ درصد بود. در حالیکه در همین تیمارها کاهش وزن خشک ریشه به ترتیب ۶۹ و ۸۷ درصد بود. بنابراین با کاهش پتانسیل آب، وزن خشک ریشه نسبت به طول ریشه بیشتر کاهش یافت. در مورد ساقه نیز همین روند وجود داشت، ولی شدت کاهش وزن خشک در مورد ساقه بسیار بیشتر از ریشه بود که بیانگر حساسیت بیشتر ساقه به تنش خشکی نسبت به ریشه می باشد.

رقم، پتانسیل آب و اثر متقابل رقم × پتانسیل آب بر نسبت کلروفیل a/b و میزان پرولین برگ در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). در بین ارقام، هایولا و اکاپی به ترتیب از بیشترین و کمترین نسبت کلروفیل a/b برخوردار بودند(جدول ۶). در ارقام متحمل این نسبت بالاتر می باشد چون کلروفیل a در ارقام متحمل نسبت به آنزیم های تخریب کننده از مقاومت بالاتری برخوردار می باشد. بنابراین، بالا بودن میزان این نسبت نشان دهنده بالاتر بودن تحمل به تنش خشکی می باشد (۱۶).

با کاهش پتانسیل آب نسبت کلروفیل a/b کاهش یافت (جدول ۶). کاهش میزان کلروفیل a در اثر تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکالهای اکسیژن می باشد، رادیکالهای آزاد باعث پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می شود. برخی محققین (۱۶ و ۲۵) نیز بیان نمودند تنش خشکی باعث کاهش سنتز و افزایش تخریب کلروفیل a شده، ولی بر کلروفیل b تاثیری زیادی ندارد به همین دلیل تنش خشکی نسبت کلروفیل a/b را کاهش می دهد.

اثر متقابل رقم× پتانسیل آب بر میزان پرولین برگ معنی دار بود (جدول ۵). در تیمار شاهد (به جز رقم طلایه) بین میزان پرولین ارقام آزمایش تفاوت معنی داری وجود داشت، ارقام هایولا و طلایه از بیشترین و کمترین مقدار پرولین برخوردار بودند (جدول ۶). با کاهش

پتانسیل آب افزایش پرولین برخی ارقام بیشتر بود. به طور مثال، با کاهش پتانسیل آب از شاهد به ۰/۴- مگاپاسکال میزان افزایش پرولین در رقم اکاپی ۳ برابر و در رقم طلایه ۲/۴ برابر افزایش یافت. پرولین یکی از اسید آمینه‌های فعال در پدیده تنظیم اسمزی می باشد که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش به سزایی دارد.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر رقم، سطوح مختلف پتانسیل آب و رقم* پتانسیل آب بر صفات مرحله گیاهچه ای کلزا

صفات / عامل‌ها	طول ساقه (mm)	طول ریشه (mm)	وزن خشک ریشه(mg)	وزن خشک ساقه(mg)	نسبت کلروفیل a/b	میزان پرولین برگ†
ارقام						
هایولا	۱۶۲/۳c	۵۹/۰۲b	۴۴/۷۵b	۲۲۵/۰d	۱/۷۷۴a	۲۴/۶۴a
طلایه	۱۵۵/۵c	۶۰/۳۰ab	۵۹/۸۳a	۳۸۹/۸c	۱/۵۸۶b	۱۷/۸۸d
زرفام	۱۷۵/۲b	۶۳/۱۰a	۶۳/۰۰a	۵۰۵/۷b	۱/۶۳۰b	۱۹/۸۵c
اکاپی	۲۰۴/۸a	۵۳/۹۵c	۴۶/۰۰b	۵۲۴/۰a	۱/۵۳۸b	۲۲/۸۵b
سطوح پتانسیل آب						
شاهد(آب مقطر)	۳۵۶/۴a	۷۳/۱۷a	۱۱۸/۴۰a	۱۲۱۹/۰a	۱/۷۴۳a	۹/۵۸d
۰/۲- MPa	۱۴۷/۲b	۶۷/۳۰b	۴۳/۴۶b	۲۰۳/۱b	۱/۶۱۸a	۱۶/۱۳c
۰/۴- MPa	۱۰۶/۱c	۴۸/۶۵c	۲۷/۸۸b	۱۳۱/۱c	۱/۷۵۰a	۲۵/۸۱b
۰/۶- MPa	۸۸/۱d	۴۷/۲۵c	۲۳/۸۳c	۹۱/۷d	۱/۴۱۷b	۳۳/۷۱a

ارقام	پتانسیل آب	طول ساقه (mm)	طول ریشه (mm)	وزن خشک ریشه(mg)	وزن خشک ساقه(mg)	نسبت کلروفیل a/b	میزان پرولین برگ#
هایولا	شاهد(آب مقطر)	۲۹۴/۰d	۶۶/۸bc	۹۳/۳c	۴۹۲/۳d	۱/۷۵۳bc	۱۱/۶۰fgh
	۰/۲- MPa	۱۵۳/۳ef	۶۶/۷bc	۳۲/۰e	۲۰۴/۳f	۱/۷۲۷bc	۱۹/۳۷d
	۰/۴- MPa	۱۱۳/۷ghi	۵۲/۳d	۲۵/۰ef	۱۰۰/۰ghi	۱/۸۹۹a	۳۰/۳۳b
	۰/۶- MPa	۸۸/۳ij	۵۰/۲d	۲۸/۷e	۱۰۳/۳ghi	۱/۳۹۰d	۳۷/۲۷a
طلایه	شاهد(آب مقطر)	۳۲۷/۰c	۷۹/۲a	۱۲۴/۰b	۱۲۷۵/۰c	۱/۷۹۷b	۸/۱۳i
	۰/۲- MPa	۱۱۶/۰gh	۷۲/۴ab	۵۹/۳d	۱۳۲/۳g	۱/۵۴۷bcd	۱۲/۷۳fg
	۰/۴- MPa	۸۹/۷ij	۴۱/۷ef	۳۱/۷e	۸۲/۷hi	۱/۵۹۰bcd	۱۹/۸۳d
	۰/۶- MPa	۸۹/۳ij	۴۸/۰de	۲۴/۳ef	۶۹/۳i	۱/۴۱۰d	۳۰/۸۳b
زرفام	شاهد(آب مقطر)	۳۸۰/۷b	۷۸/۷a	۱۴۲/۰a	۱۴۶۲/۰b	۱/۸۴۰b	۸/۹۷hi
	۰/۲- MPa	۱۵۱/۳ef	۷۰/۰b	۵۵/۰d	۲۵۹/۷e	۱/۵۷۳bcd	۱۴/۷۷ef
	۰/۴- MPa	۹۱/۰ij	۵۲/۱d	۲۷/۳e	۲۳۱/۷ef	۱/۶۴۳bcd	۲۴/۰۰c
	۰/۶- MPa	۷۷/۷j	۵۱/۷d	۲۷/۷e	۶۹/۷i	۱/۴۶۳cd	۳۱/۶۷b
اکاپی	شاهد(آب مقطر)	۴۲۴/۰a	۶۸/۰b	۱۱۴/۳b	۱۶۴۶/۰a	۱/۵۸۳bcd	۹/۶۰ghi
	۰/۲- MPa	۱۶۸/۰e	۶/۲c	۲۷/۵e	۲۱۶/۰f	۱/۶۲۷bcd	۱۷/۶۷de
	۰/۴- MPa	۱۳۰/۰fg	۴۸/۵de	۲۷/۵e	۱۱۴/۳gh	۱/۵۴۰bcd	۲۹/۰۷b
	۰/۶- MPa	۹۷/۰hij	۳۹/۱f	۱۴/۷f	۱۲۰/۰g	۱/۴۰۳d	۳۵/۰۷a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون و برای هر عامل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

† میکرومول بر گرم وزن تر برگ (µmol/g f.w leaf)

همبستگی میزان پرولین برگ با اکثر صفات در مرحله جوانه زنی و گیاهچه ای منفی بود (جدول ۷). به عبارتی، بیشتر بودن مقدار یا اندازه صفت باعث کاهش میزان پرولین برگ شده است که نتیجه ای منطقی می باشد. بدین مفهوم که گیاهچه ها هنگامی که از رشد مناسبی برخوردارند با تنش رطوبتی کمتری مواجه شده و در نتیجه پرولین کمتری نیز تولید می نمایند.

به طور کلی نتایج نشان داد در مرحله جوانه زنی اکاپی برترین رقم بوده و بیشترین مقادیر صفات اندازه گیری شده را به خود اختصاص داده بود، ولی در مرحله گیاهچه ای، زرفام در اکثر صفات از بقیه ارقام برتر بود. چنین نتیجه گیری می شود تحمل به تنش

خشکی در مراحل مختلف نموی کلزا متفاوت می باشد. یعنی گیاهچه ای که در شرایط تنش خشکی شروع به رشد کرده ممکن است نتواند رشد خودش را در همان شرایط ادامه داده و در تمام مراحل رشد خود از همان تحمل برخوردار باشد.

در بین صفات مورد بررسی در هر دو مرحله، وزن خشک و طول اندام های هوایی از حساسیت بیشتری به تنش خشکی برخوردار بود و به شدت تحت تأثیر پتانسیل آب قرار گرفتند. حساسیت مرحله جوانه زنی نسبت به مرحله گیاهچه ای به کاهش پتانسیل آب بیشتر بود. ممکن است جوانه ها برای سازگاری و سنتز برخی مواد نیاز به فرصت داشته باشند که با تنش خشکی مقابله نمایند. در تحقیقی بیان شده، تجمع پرولین در برگ ها پس از اعمال تنش به آهستگی انجام می شود چون پروتئین های جدیدی پس از تنش باید ساخته شود که این پروتئین ها سیگنال هایی برای تجمع پرولین می باشند (۲۰).

با کاهش پتانسیل آب ویژگی های مورد بررسی مرحله جوانه زنی نسبت به مرحله گیاهچه ای با شدت بیشتری کاهش یافت که حاکی از حساسیت بیشتر این مرحله به کمبود آب بود. با توجه به کاهش شدید درصد جوانه زنی در پتانسیل آب منفی تر توصیه می شود مزارعی که با تنش خشکی مواجه هستند با تراکم بیشتری کشت شوند تا پوشش گیاهی مناسب حاصل شود.

جدول ۷- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مرحله جوانه زنی و گیاهچه ای کلزا

	درصد جوانه زنی	سرعت جوانه زنی	آغاز جوانه زنی	خاتمه جوانه زنی	طول ریشه چه	طول ساقه چه	وزن تر ریشه چه	وزن خشک ریشه چه	وزن تر ساقه چه	وزن خشک ساقه چه	طول ساقه†	طول ریشه†	وزن خشک ریشه†	وزن خشک ساقه†	میزان پرولین برگ†
درصد جوانه زنی	۱														
سرعت جوانه زنی	۰/۸۴**	۱													
آغاز جوانه زنی	-۰/۹۴**	-۰/۹۵**	۱												
خاتمه جوانه زنی	-۰/۷۶**	-۰/۹۵**	۰/۸۹**	۱											
طول ریشه چه	۰/۸۵**	۰/۹۷**	-۰/۹۲**	-۰/۹۱**	۱										
طول ساقه چه	۰/۸۹**	۰/۹۷**	-۰/۹۷**	-۰/۹۳**	۰/۹۶**	۱									
وزن تر ریشه چه	۰/۸۸**	۰/۹۷**	-۰/۹۳**	-۰/۹۱**	۰/۹۹**	۰/۹۶**	۱								
وزن خشک ریشه چه	۰/۸۰**	۰/۹۶**	-۰/۸۸**	-۰/۹۰**	۰/۹۷**	۰/۹۲**	۰/۹۸**	۱							
وزن تر ساقه چه	۰/۸۷**	۰/۹۴**	-۰/۹۴**	-۰/۹۱**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۴**	۱						
وزن خشک ساقه چه	۰/۸۱**	۰/۹۴**	-۰/۹۰**	-۰/۲۷ns	۰/۹۶**	۰/۹۳**	۰/۹۶**	۰/۹۷**	۰/۹۸**	۱					
طول ساقه#	۰/۷۶**	۰/۹۵**	-۰/۸۸**	-۰/۶۷**	۰/۹۱**	۰/۹۱**	۰/۹۱**	۰/۹۳**	۰/۹۲**	۰/۹۶**	۱				
طول ریشه#	۰/۷۶**	۰/۷۰**	-۰/۷۹**	-۰/۸۸**	۰/۷۳**	۰/۸۰**	۰/۷۵**	۰/۷۰**	۰/۸۶**	۰/۸۲**	۰/۷۳**	۱			
وزن خشک ریشه#	۰/۶۹**	۰/۸۲**	-۰/۸۰**	-۰/۸۶**	۰/۸۰**	۰/۸۳**	۰/۸۲**	۰/۸۳**	۰/۸۸**	۰/۹۲**	۰/۹۳**	۰/۸۲**	۱		
وزن خشک ساقه#	۰/۶۲**	۰/۸۵**	-۰/۷۴**	۰/۲۳ns	۰/۸۴**	۰/۷۹**	۰/۸۵**	۰/۹۱**	۰/۸۵**	۰/۹۴**	۰/۹۵*	۰/۶۸**	۰/۹۲**	۱	
میزان پرولین برگ#	-۰/۸۷**	-۰/۸۰**	۰/۸۶**	-۰/۱۶ns	-۰/۸۱**	-۰/۸۸**	-۰/۸۵**	-۰/۷۹**	-۰/۸۹**	-۰/۸۴**	-۰/۷۷**	-۰/۸۵**	-۰/۸۲**	-۰/۶۹**	۱

** و ns – به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی دار

† : صفات مرحله گیاهچه ای، بقیه صفات مربوط به مرحله جوانه زنی بذر می باشند.

منابع

۱-حیدری شریف آباد، ح.۱۳۸۰. روشهای مقابله با خشکی وخشکسالی. جلد اول، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ۱۷۱ صفحه.

۲-دهشیری، ع.، م. ر. احمدی و ز. طهماسبی سروستانی. ۱۳۸۰. عکس العمل ارقام کلزا به تنش آب. علوم کشاورزی ایران. (۲)۳۲: ۶۵۹-۶۴۹.

۳-سلطانی ا. ۱۳۷۹. Germin. نرم افزاری برای محاسبه مؤلفه‌های جوانه‌زنی و سبز شدن .دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی گرگان.

4-Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23:112-121.

5-Assadian, N. W., and S. Miyamato. 1993. Salt and drought effects on alfalfa seedling emergence. Agronomy Journal, 79: 710- 714.

6- Bates, L. S., R. P. Waldern, and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.

7-Chauhan B. S., G. Gill, and C. Preston. 2006. Factors affecting seed germination of annual sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in southern Australia. Weed Science, 54: 854-860.

8- Christianse M. N. 1982. World environmental Limitations to food and fiber caltarer caltare,. *In*. Christansen M. N., and C. F. Lewis (Eds.), Breeding Plant for less favorable environment. John Wiley and Sons, New York, pp. 1-11

9-De R., and R. K. Kar. 1995. Seed germination and seedling growth of mungbean (*Vigna radiata*) under water stress induced by PEG-6000. Seed Science and Technology. 23: 301-308.

10- El-Sharkawi, H. M., and I. V. Springuel. 1997. Germination of some crop plant seed under reduced water potential. Seed Science and Technology, 5: 662-667.

11- Falleri, E. 1994. Effect of water stress on germination in six provenances of *pinus pinaster* Ait. Seed Science and Technology, 22: 591-599.

12-Haung, J., and R. E. Redmann. 1995. Salt and drought tolerance of *Hordeum* and *Brassica* species during germination and early seedling. Canadian Journal of Plant Science, 75: 815-819.

13-Hiaso, T. C., and E. Acevedo. 1974. Plant responses to water deficits, water use efficiency and drought resistance. Agriculture Metrology, 14: 56-84.

14-Hoagland, D. R., and D. I. Arnon. 1950. The water culture method for growing plants without soil. Circ. 347. University of California Agriculture Experiment Station, Berkley.

15- International Seed Testing Association (ISTA). 1985. International rules for seed testing. Annexes. Seed Science and Technology, 13: 356 – 513.

16- Jaleel, C. A., P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, R. Somasundaram, and R. Panneerselvam. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture Biology, 11: 100–105.

17- Michel, B. E., and M. R. Kaufman. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology, 51: 914-916.

18- Moradshahi, A., B. Salhi Eskandri, and B. Kholdbarin. 2004. Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) to water deficit stress under laboratory conditions. Iranian Journal of Science and Technology. Transaction A, 28(A1): 43-50.

19-Office of the Gene Technology Regulator. 2008. The bioloy of *Brassica napus* L [Online]. Available at http:// www.ogtr.gov.au (accessed at 29 Aug. 2011). Department of Health and Aging.

20-Patton, A. J., S. M. Cunningham, J. J. Volence, and Z. J. Reicher. 2007. Differences in freeze tolerance of zoysigrasses : II Carbohydrate and proline accumulation. Crop Science, 47: 2170-2181.

21-Richards, R. A., and N. Thurling. 1978. Variation between and within Species of rapeseed *(B.campestris and B.napus)* in response to drought stress. Australian Journal of Agriculture Research, 29: 469-477.

22-Scott, S. J., R. A. Jones, and W. A. Williams. 1984. Review of data analysis method for seed germination. Crop Science, 24: 1192-1199.

23-Sharp, R. E. 1990. Comparison sensitive of root and shoot growth and physiology to low water potential. Monograph British Society for plant growth regulation, 21: 29-44.

24-Shekari, F., R. Khoie, A. Javanshir, H. Alyari, and M. R. Shakiba. 2000. Effect of Sodium chloride salinity on germination of Rapeseed cultivars. Turkish Journal of Field Crops, 5: 21-28.

25-Voleti, S. R., and D. C. Uperty. 1998. Photosynthetic characteristics in *Brassica carinata* hybrids and their parents as influenced by moisture stress. Biological Planta, 40: 149- 153.

26-Willenborg, C. J., R. H. Gulden, E. N. Johnson, and S. J. Shirtliffe. 2004. Germination Characteristics of Polymer-Coated Canola (*Brassica napus* L.) Seeds Subjected to Moisture Stress at Different Temperatures. Agronomy Journal, 96: 786-791.

27- Yazdi Samadi, B., C. Abd Mishani, and P. Limberg. 1988. Effects of soil moisture stress on root and shoot development of seven wheat cultivars. Iranian Agriculture Research, 8: 49-61.