"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد هفتم، شماره ۲، پاییز و زمستان ۹۷
(ص ۱۱۸-۱۰۵)

Iranian Journal of
Seed Science and Technology
Vol.: 7, No.: 2, Autumn and Winter 2018
(pp: 95-118)
DOI: 10.22034/ijsst.2019.110331.1082

ارزیابی تأثیر تغییرات بیوشیمیایی ایجاد شده در مدت هیدروپرایمینگ بر بنیه بذر سه رقم گندم

نرگس خمدی[۱]، مجید نبی‌پور[۲*]، حبیب‌اله روشنفکر[۳]، افراسیاب راهنما[۴]

۱- دانشجوی سابق دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲- استاد دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳- دانشیار دانشگاه شهید چمران اهواز.
۴- دانشیار دانشگاه شهید چمران اهواز.

(تاریخ دریافت:۱۳۹۶/۰۲/۰۲؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۰۷/۲۰)

چکیده

یکی ازعوامل مهم در کاربرد موفق روش هیدروپرایمینگ بذر، مدت زمان خیساندن بذرها است. به منظور ارزیابی بنیه بذرهای هیدروپرایم شده سه رقم گندم تحت تأثیر مدت زمان‌های خیساندن بذر و همچنین بررسی تغییرات بیوشیمیایی بذرها در مدت هیدروپرایمینگ دو آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. در آزمایش اول، اثر ۷ مدت زمان خیساندن بذر (۰، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ ساعت) بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ارقام گندم استار، چمران و فونگ مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایش دوم، برخی صفات بیوشیمیایی و فعالیت‌های آنزیمی در بذرهای پرایم شده در سه مدت زمان ۶، ۸ و ۱۰ ساعت اندازه گیری شد. نتایج آزمایش اول نشان داد که هیدروپرایمینگ با مدت ۸ ساعت خیساندن بیشترین اثرات مثبت را بر بنیه بذر ارقام گندم داشت. درمیان ارقام نیز سرعت جوانه زنی در رقم‌های استار و چمران با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین سرعت جوانه‌زنی در رقم فونگ مشاهده شد. بیشترین طول و وزن خشک ریشه‌چه در رقم استار مشاهده شد.نتایج آزمایش دوم نشان داد که با افزایش مدت هیدروپرایمینگ، فعالیت آنزیم αآمیلاز و محتوی قندها و پروتئین های محلول در بذر افزایش یافت. همچنین افزایش محتوی مالون دی آلدئید و فعالیت ناکافی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (افزوده نشدن فعالیت آنزیم با افزایش مدت زمان هیدروپرایمینگ یا کاهش فعالیت آنزیمی) در مدت زمان ۱۰ ساعت هیدروپرایمینگ نسبت به مدت زمان ۸ ساعت مشاهده گردید. درمیان ارقام نیز بیشترین و کمترین فعالیت آنزیم αآمیلاز، محتوی قندها و پروتئین‌های محلول به ترتیب متعلق به رقم‌های استار و فونگ بود. در شرایط این آزمایش همبستگی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه مثبت و معنی دار بود.

کلمات کلیدی: جوانه‌زنی، رشد گیاهچه، مدت هیدروپرایمینگ، صفات بیوشیمیایی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

Evaluation of effect of induced biochemical changes during hydropriming on seed vigor of three wheat cultivars

N. Khamadi[1], M. Nabipour*[2], H. Roshanfekr[3] and A. Rahnama[4]

1- PhD Student, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Professor, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3- Associate Prof., Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4- Associate Prof., Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
(Received: Apr. 22, 2017 – Accepted: Oct. 12, 2017)

Abstract

One of factors in successful seed hydropriming technique is seed imbibition duration. To evaluate hydroprimed seed vigor of three wheat cultivars as affected by seed imbibition durations and also evaluation biochemical changes during hydropriming, two experiments was done as factorial arrangement with completely randomized design. In first experiment, effect of 7 hydropriming durations (0, 6, 8, 10, 12, 14 and 16 h) was research on germination and seedling growth of Star, Chamran and Fong cultivars. In second experiment, some biochemical traits and enzyme activities was measured in primed seeds for 6, 8 and 10 h hydropriming durations. Results of first experiment showed that hydropriming with 8 h imbibition has the most positive effect on seed vigor of wheat cultivars. Among of cultivars, Star has the higher root length and root weight. Star and Chamran cultivars have no significant difference for germination rate and the lowest of this trait was observed in fong cultivar. Results of second experiment showed thatlonger hydropriming duration caused greater α amylase enzyme activity and higher contents of soluble carbohydrates and proteins, also increase content of malondialdehyde and insufficient antioxidant enzyme activities in 10 h than 8 h hydropriming duration was observed. Among cultivars the highest and lowest α amylase enzyme activity and soluble carbohydrates and proteins was observed in Star and Fong cultivars respectively. In this research correlation antioxidant enzyme activities with germination and seedling growth was positive and significant.

Keywords: germination, seedling growth, hydopriming duration, biochemical traits, antioxidant enzymes

* Email: nabipourm@yahoo.com

مقدمه

پرایمینگ به صورت گسترده‌ای به منظور افزایش جوانه‌زنی و بنیه بذر در گونه های زراعی متنوعی استفاده شده است. فرایند هیدروپرایمینگ شامل قرار دادن بذرها در آب و خشک کردن آنها قبل از ظهور ریشه چه است (Khan, 1992; McDonald, 1999). این تکنیک موجب جوانه‌زنی سریع تر و یکنواخت تر بذر در یک محدوده دمایی وسیع (McDonald, 1999) و تحت شرایط خشکی در مناطق نیمه خشک می‌شود (Murungu *et al*., 2004). این بهبود در جوانه‌زنی در گندم (Hakoomat *et al*., 2013)، ذرت (Dezfuli *et al*., 2008)، گوجه فرنگی (Van Pijlen *et al*.,1996) و آفتابگردان (Hussain *et al*., 2006) نشان داده شده است. اثرات مثبت پرایمینگ روی جوانه‌زنی گونه‌های متعدد به القا مکانیسم‌های بیوشیمیایی ترمیم و بازسازی سلول نسبت داده می‌شود یعنی از سرگیری فعالیت متابولیکی که می‌تواند جامعیت سلولی را از طریق سنتز اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، سنتز و فعال‌سازی آنزیم‌های کاتالیز کننده شکستن و حرکت مواد غذایی دوباره برقرار کند (Girolamo and Barbanti, 2012). همچنین افزایش استقرار بذر در اثر پرایمینگ ناشی از فعالیت های بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است (Chiu *et al*., 2006). واکنش انواع اکسیژن فعال (AOS^1) مانند پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، آنیون سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$) و رادیکال هیدروکسیل ($OH^{\cdot}$) با بسیاری از مولکول های آلی، دلیل اکسیداسیون و کربونیلاسیون باقیمانده‌های آمینواسید و موتاسیون DNA است (Bailly, 2004). آنها همچنین با اسیدهای چرب غیراشباع که در غشاهای سلول یافت می‌شوند واکنش می‌دهند و منجر به پراکسیداسیون لیپیدها و بنابراین شکاف و ترک خوردگی غشا می‌شوند (Bailly *et al*., 1998). در گیاهان سیستم دفاعی شامل آنزیم های آنتی اکسیدان یعنی پاک کننده‌های AOS نظیر کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، سوپراکسیددیسموتاز (SOD) و گلوتاتیون ریداکتاز (GR) است (Bailly *et al*., 1998). به نظر می‌رسد که پرایمینگ این سیستم دفاعی را تقویت می‌کند. تیمار پرایمینگ با افزایش در بیان کاتالاز در *آرابیدوپسیس* (Gallardo *et al*., 200l) و آفتابگردان (Kibinza *et al*., 2011) و فعالیت کاتالاز در سویا (Posmyk *et al*., 2001) و بذرهای ذرت (Chiu *et al*., 2002) مرتبط شد. سانگ و چانگ (۱۹۹۳) نشان دادند که ماتریکس پرایمینگ بذرهای ذرت شیرین با ورمیکولایت فعالیت های چندین آنزیم پاک کننده لیپیدهای پراکسید شده را افزایش داد. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در بذور گیاهان دارویی ماریتیغال و سرخارگل نیز به واسطه پرایمینگ گزارش شده است (Chiu *et al*., 2006; Jowkar *et al*., 2012). در بذرهای آفتابگردان بایلی و همکاران (Bailly *et al*., 1998 and 2000) نشان دادند که اسموپرایمینگ با PEG منجر به افزایش سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز در پاسخ به بالا رفتن فعالیت متابولیکی در مدت پرایمینگ شد که این فعالیت متابولیکی دلیل تولید ثانویه AOS از تنفس میتوکندریایی و یا پراکسیداسیون لیپید است. کاهش مقدار مالون دی آلدهید (یک محصول حاصل از پراکسیداسیون لیپید) مرتبط با پرایمینگ به میزان ۲۰ درصد در *Echinacea* (*Echinacea purpurea* L.) (Chiu *et al*., 2006) و ۴۰ درصد در اسفناج (Chen and Arora, 2011) نشان داده شد. علاوه بر کاهش مالون دی آلدهید (MDA) همچنین غلظت‌های SOD، CAT و GR در *Echinacea* بوسیله پرایمینگ افزایش یافت. برعکس در اسفناج SOD و CAT کاهش یافت اگرچه این گونه، مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی دیگری را دارا بود مانند چرخه Asa-GSH که یک مسیر مهم پاک کننده AOS است (Bailly *et al*., 2001; De Tullio and Arrigoni, 2003; Garnczarska and Wojtyla, 2008).

1- Active oxygen species

یکی از عوامل مهم در کاربرد موفق پرایمینگ بذر مدت زمان خیساندن بذرها است. گیری و شیلینگر (Giri and Schillinger, 2003) عنوان داشتند که جذب آب برای مدت بیشتر از ۱۲ ساعت سبب کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی می‌شود و پیشنهاد نمودند که مدت زمان مناسب جذب آب برای گندم ممکن است کمتر از۱۲ ساعت باشد. پنالوزا و همکاران (Penalosa *et al.*, 1993) نیز گزارش کردند که زمان مناسب پرایمینگ مانع اثرات منفی روی سرعت جوانه‌زنی بذر گوجه فرنگی می‌شود. کوردوواتلز و باریس (Cordova- Tellez and Burris., 2002) دریافتند که کاهش جوانه زنی و بنیه بذرهای ذرت در اثر خشک کردن ممکن است با آسیب‌دیدگی لیپیدها در غشا پلاسمایی مرتبط باشد.

آزمایش حاضر با هدف ارزیابی مکانیسم تأثیر هیدروپرایمینگ و مدت زمان خیساندن بذرها بر جوانه‌زنی و بنیه بذرهای هیدروپرایم شده سه رقم گندم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر مدت زمان خیساندن بذرها بر جوانه‌زنی و ویژگی‌های گیاهچه بذرهای هیدروپرایم شده سه رقم گندم نان و نیز بررسی تغییرات بیوشیمیایی ایجاد شده در مدت هیدروپرایمینگ، دو آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. در آزمایش اول تیمارهای آزمایشی شامل فاکتور رقم (سه رقم گندم نان بهاره، در شرایط آب و هوایی اهواز ارقام بهاره گندم، در پاییز کشت می‌شوند) و فاکتور مدت زمان خیساندن بذرها در روش هیدروپرایمینگ (۰، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ ساعت) بودند. بذور ارقام مورد آزمایش از بذرهای نگهداری شده در بانک بذر دانشکده کشاورزی که از کشت سال زراعی۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز بدست آمده بودند تهیه گردید. ارقام مورد آزمایش شامل استار، چمران و فونگ (به ترتیب دیررس، متوسط رس و زودرس) بود، در شرایط اهواز این ارقام با توجه به فنولوژی آنها و متناسب با تاریخ کاشت گندم (کشت‌های زودهنگام، به موقع و تأخیری) کشت می‌شوند. برای انجام هیدروپرایمینگ، بذرها در محیط فیتوترون با دمای ۲۴ درجه سانتی گراد در آب مقطر خیسانده شدند و طی این مدت هوادهی با پمپ اکواریوم صورت گرفت، سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۷ درجه سانتی گراد خشک شدند (Giri and Schillinger, 2003). آزمایش در ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و تناوب نوری ۱۲ ساعت روشنایی، ۱۲ ساعت تاریکی به مدت هشت روز انجام و بررسی جوانه زنی در پتری های شیشه‌ای با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صورت گرفت (ISTA, 2007). قبل از شروع آزمایش پتری‌ها با استفاده از الکل ضدعفونی شدند و سپس در داخل هر پتری ۲۵ عدد بذر قرار داده شد. جهت تعیین درصد، سرعت و مدت زمان جوانه‌زنی، شمارش بذرهای جوانه زده ۲۴ ساعت پس از شروع آزمایش آغاز و هر روز در ساعتی معین انجام گرفت. به هنگام شمارش، بذرهایی جوانه زده تلقی شدند که طول ریشه چه آنها ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود. سرعت جوانه‌زنی (Agrawal, 2004) و متوسط زمان جوانه‌زنی (Ellis and Roberts, 1981) بااستفاده ازروابط ۱ و ۲ محاسبه شدند:

$$\text{سرعت جوانه‌زنی} = \sum_{i=1} \frac{n_i}{d_i} \qquad (۱)$$

$$\text{متوسط زمان جوانه‌زنی} = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i d_i}{\sum_{i=1}^{k} n_i} \qquad (۲)$$

در این روابط، n_i تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز iام، d_i تعداد روز پس از ابتدای جوانه زنی و k آخرین روز جوانه‌زنی می‌باشد.

در پایان روز هشتم، ۱۰ گیاهچه به طور تصادفی از هر پتری انتخاب شد و صفات طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه

با استفاده از خط کش و وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه (پس از قرار دادن در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت) با استفاده از ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

در آزمایش دوم، با توجه به نتایج آزمایش اول و تعیین بهترین مدت زمان هیدروپرایمینگ بذرها، ارزیابی برخی صفات بیوشیمایی (محتوی قندهای محلول، نشاسته، پروتئین های محلول، مالون دی آلدئید، فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شامل آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون ریداکتاز، کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز) بذرهای پرایم شده هر سه رقم در سه مدت زمان هیدروپرایمینگ شامل بهترین مدت زمان، یک سطح کمتر و یک سطح بیشتر از مدت زمان مناسب انجام شد. در مورد اندازه گیری صفات بیوشیمیایی به جز محتوی قندهای محلول و نشاسته، خشک شدن بذر پس از اتمام زمان خیساندن انجام نشد و بذرها بلافاصله پس از خیساندن تا زمان انجام آزمایش در فریزر $-20^{\circ}C$ نگهداری شدند. میزان کل قندهای محلول به روش دابیوس و همکاران (Dubios *et al.*, 1956)، نشاسته به روش شلیگل (Sheligl, 1986)، پروتئین‌های محلول به روش برادفورد (Bradford, 1976)، مالون دی‌آلدئید به روش هیث و پاکر (Heath and Packer, 1968)، فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز به روش میلر (Miller, 1959)، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به روش ناکانو و آسادا (Nakano and Asada, 1987)، فعالیت آنزیم گلوتاتیون ریداکتاز به روش اسمیت و همکاران (Smith *et al.*, 1988)، فعالیت آنزیم کاتالاز به روش آئبی (Aebi, 1984)، فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش چنس و مهلی (Chance and Maehly, 1955) و فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز به روش بیوچمپ و فریدوویچ (Beauchamp and Fridovich, 1971) در بذرهای پرایم شده اندازه‌گیری شدند. تجزیه آماری داده‌ها با نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین ویژگی های مورد ارزیابی با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

جوانه‌زنی و ویژگی‌های گیاهچه

اثر مدت زمان هیدروپرایمینگ بذر در همه صفات بررسی شده به جز درصد جوانه‌زنی معنی دار بود (جدول۱). در کلیه صفات هیدروپرایمینگ به مدت ۸ ساعت نسبت به سایر مدت‌های خیساندن بذر بیشترین تأثیر را در مقایسه با تیمار شاهد بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای ارقام گندم داشت (جدول۲). تیمارهای ۱۰ و ۱۲ ساعت از نظر سرعت جوانه‌زنی و متوسط زمان جوانه زنی بذرها با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند و به صورت معنی داری سبب بهبود سرعت جوانه زنی و کاهش متوسط زمان جوانه زنی نسبت به تیمار شاهد گردیدند. با این وجود در مورد صفات طول ریشه چه، طول ساقه چه و وزن خشک ساقه چه، تیمار ۱۲ ساعت خیساندن تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. زمان های ۶ و ۱۴ ساعت هیدروپرایمینگ نیز سبب افزایش سرعت جوانه زنی و کاهش متوسط زمان جوانه زنی نسبت به تیمار شاهد گردیدند که این اثر در مورد تیمار ۱۴ ساعت بیشتر بود، با این حال در ۶ ساعت هیدروپرایمینگ در مورد صفات طول ریشه چه و ساقه چه و وزن خشک ریشه چه و ساقه چه به صورت معنی‌داری مقادیر بیشتری مشاهده شد. در تیمار ۱۴ ساعت خیساندن، طول ریشه چه و وزن خشک ریشه چه اختلاف معنی داری با تیمار شاهد نداشت ولی طول ساقه چه و همچنین وزن خشک ساقه چه در مقایسه با شاهد به صورت معنی‌داری کاهش یافت (جدول۲). این نتایج بیان می‌دارد که مزایای پرایمینگ با افزایش مدت زمان خیساندن بذرها می‌تواند از دست برود. تغییرات در ساختار سلولی در مدت پرایمینگ ممکن است بر جوانه‌زنی و بنیه بذر اثرگذار باشد. رهنورد و همکاران (Rahnavard *et al.*, 2009) نیز اظهار داشتند که مدت زمان‌های طولانی پرایمینگ ممکن است تولید

رادیکال‌های آزاد نماید که می‌تواند به غشا سلول صدمه بزند. تغییرات احتمالی در ساختار سلول های بذر طی فرایندهای خیساندن بذرها، خشک شدن و سپس جذب مجدد آب می‌تواند بر جوانه‌زنی و بنیه بذر مؤثر باشد (Wattanakulpakin *et al*., 2012).در پژوهش حاضر، در مورد مدت زمان ۱۶ ساعت هیدروپرایمینگ، در انتهای زمان خیساندن، خروج ریشه چه از بذرها مشاهده شد که با اهداف کاربرد روش هیدروپرایمینگ مطابقت ندارد. زیرا در این روش مرحله سوم جوانه‌زنی (که جوانه‌زنی قابل رؤیت نامیده می‌شود و ریشه‌چه ظاهر می‌گردد) اتفاق نمی افتد.

اثر رقم نیز بر صفات مورد بررسی به جز درصد جوانه‌زنی معنی دار بود(جدول۱). رقم فونگ دارای کمترین سرعت جوانه‌زنی و بیشترین متوسط زمان جوانه‌زنی بود و رقم‌های استار و چمران از این نظر با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. در مورد سایر صفات نیز رقم فونگ کمترین مقدار را داشت. رقم استار دارای بیشترین طول و وزن خشک ریشه چه بود (جدول۲). اثر متقابل رقم و مدت هیدروپرایمینگ بذر در مورد متوسط زمان جوانه‌زنی بذرها معنی دار شد و در مورد سایر صفات مورد ارزیابی این اثر معنی دار نبود (جدول۱). اثر متقابل رقم و مدت هیدروپرایمینگ بر متوسط زمان جوانه‌زنی بذرها نشان داد که خیساندن به مدت ۶ و ۸ ساعت بیشترین تأثیر را در مقایسه با تیمار شاهد در رقم استار و کمترین تأثیر را در رقم فونگ داشته است و در مورد سایر زمان‌های خیساندن بذر (۱۰، ۱۲ و ۱۴ ساعت) بیشترین تأثیر در کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی نسبت به شاهد در رقم چمران دیده شد (شکل۱).

جدول۱- تجزیه واریانس جوانه‌زنی و ویژگی‌های گیاهچه ارقام گندم تحت تأثیر مدت زمان هیدروپرایمینگ بذر

Table1- Analysis of variance for germination and seedling growth of wheat cultivars affected by seed priming

منابع تغییرات sov	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	متوسط زمان جوانه‌زنی Mean germination time	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Primary shoot length	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	وزن خشک ساقه‌چه Primary shoot dry weight
پرایمینگ Priming	5	19.20 ^{ns}	35.52**	0.38**	3.26**	2.58**	5.75**	5.66**
رقم Cultivar	2	8.00 ^{ns}	152.08**	2.33**	71.01**	1.36**	38.25**	0.65*
پرایمینگ × رقم Priming Cultivar	10	5.87 ^{ns}	1.33 ^{ns}	0.021**	0.064 ^{ns}	0.031 ^{ns}	0.086 ^{ns}	0.02 ^{ns}
خطا Error	36	15.70	0.68	0.004	0.127	0.060	0.153	0.18
ضریب تغییرات (درصد) cv (%)		4.13	5.53	3.92	3.85	3.27	2.83	2.47

^{ns}، *و ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

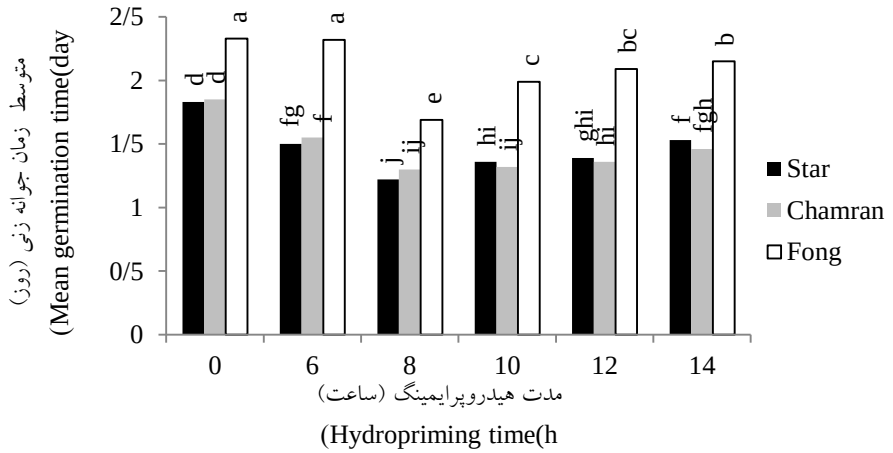
جدول۲- مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی تیمارهای مدت زمان هیدروپرایمینگ و ارقام بر جوانه‌زنی و ویژگی‌های گیاهچه

Table2- Mean comparison of the effect of hydropriming duration treatments and cultivar on germination and seedling characteristics of wheat

مدت هیدروپرایمینگ (ساعت) Hydropriming duration(h)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (seed/day)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Primary shoot length (cm)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم) Radicle dry weight (mg)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم) Primary shoot dry weight (mg)
0	96.00a	12.11 d	8.86 cd	7.23c	13.10d	16.97c
6	96.44 a	14.01 c	9.20 bc	7.50b	13.94b	17.40b
8	98.67 a	17.99a	10.35a	8.37a	15.13a	18.22a
10	95.11a	15.91b	9.53b	7.70b	14.27b	17.73b
12	95.11a	15.30b	9.00 cd	7.20c	13.53c	16.61c
14	94.67a	14.23c	8.70d	6.80d	13.00d	16.01d
رقم Cultivar						
استار Star	96.67a	16.71a	11.55a	7.48b	15.44a	17.14ab
چمران Chamran	95.33a	16.49a	8.37b	7.73a	13.44b	17.35a
فونگ Fong	96.00a	11.57b	7.89c	7.18c	12.61c	16.98b

میانگین‌ها در هر ستون که دارای یک حرف مشترک می‌باشند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level.



شکل۱- مقایسه میانگین اثر متقابل مدت هیدروپرایمینگ و رقم بر متوسط زمان جوانه‌زنی بذرها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

Fig.1- Mean comparison of hydropriming duration×cultivar interaction on seed mean germination time by Duncan's test at 5% probability level

صفات بیوشیمیایی

محتوی مالون دی آلدئید

مقایسه میانگین مدت زمان‌های هیدروپرایمینگ نشان داد که مدت زمان‌های ۶ و ۸ ساعت بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر در مقایسه با مدت زمان ۱۰ ساعت هیدروپرایمینگ به صورت معنی‌داری محتوی مالون دی آلدئید کمتری داشتند. ارقام از نظر محتوی مالون‌دی‌آلدئید با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول۴).

با آبنوشی بذر، تولید انواع فعال اکسیژن (AOS)در بذر افزایش می‌یابد، AOS در مقادیر خاص می‌تواند به عنوان پیام رسان در فرایندهای سلولی در زمان جوانه زنی بذر نقش داشته باشد. آستانه AOS بواسطه پیام رسانی در اکسیده کردن پروتئین‌ها، بیان ژن و پیام رسانی هورمونی نقش دارد که این تغییرات بذر را به سمت جوانه زنی هدایت می‌کند (Bailly *et al*., 2008). تجمع متعادلی از AOS اثر مثبت بر جوانه زنی و درنهایت رشد گیاهچه خواهد داشت، لذا پرایمینگ بواسطه فراهم شدن شرایط مناسب آبنوشی بذر و اثر بر پیام‌رسانی AOS سبب بهبود جوانه زنی و رشد گیاهچه می‌گردد. از سوی دیگر، تولید و تجمع AOS در غلظت‌های بالا برای سلول زیان آور است. تولید زیاد این ترکیبات باعث پراکسیداسیون چربی‌ها، غیرفعال شدن آنزیم ها، خسارت به اسیدهای نوکلئیک و تخریب غشاهای سلول می‌شود (McDonald, 1999;Bailly *et al*., 2004). مالون دی آلدئید (MDA) در اثر پراکسیداسیون غشای سلولی تولید می‌شود (Stewart and Bewley, 1980) تغییر در پراکسیداسیون لیپیدها به عنوان یک شاخص مهم جهت تعیین میزان خسارت اکسیداتیو در موجودات زنده محسوب شده و منجر به کاهش یکپارچگی غشا می‌گردد (Borsani *et al*., 2001; Del Rio *et al*., 2006). گزارش شده است که کاهش محتوی مالون دی آلدئید در بذرهای پرایم شده ممکن است همراه با فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باشد(Chiu *et al*., 2006).

فعالیت α آمیلاز

با افزایش مدت زمان هیدروپرایمینگ فعالیت این آنزیم نیز افزایش یافت به گونه‌ای که بیشترین فعالیت آنزیم متعلق به مدت زمان ۱۰ ساعت بود. در میان ارقام نیز بیشترین و کمترین فعالیتα آمیلاز به ترتیب مربوط به رقم استار و رقم فونگ بود (جدول۴). باتوجه به نتایج آزمایش اول به نظر می‌رسد که در مدت هیدروپرایمینگ، فعالیت آنزیمی در رقم استار زودتر و یا بیشتر از دو رقم دیگر افزایش یافته است.

محتوی قندهای محلول

مقایسه میانگین تیمارهای هیدروپرایمینگ از نظر محتوی قندهای محلول نشان داد که مدت زمان طولانی تر هیدروپرایمینگ سبب افزایش معنی دار محتوی قندهای محلول شده است به صورتی که بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب متعلق به مدت زمان های ۱۰ و ۶ ساعت بود. مقایسه میانگین ارقام از نظر این صفت نشان داد که رقم استار بیشترین و رقم فونگ کمترین مقدار قندهای محلول را داشتند (جدول ۴). که می‌تواند با میزان فعالیت آنزیم α آمیلاز در این ارقام مرتبط باشد.

محتوی نشاسته

مدت زمان‌های ۸ و ۱۰ ساعت هیدروپرایمینگ از لحاظ محتوی نشاسته اختلاف معنی‌داری نداشتند و تیمار ۶ ساعت هیدروپرایمینگ به صورت معنی داری مقدار نشاسته بیشتری داشت. مقایسه میانگین ارقام نیز نشان داد که رقم فونگ بیشترین محتوی نشاسته و رقم استار کمترین مقدار را داشت (جدول۴). در آزمایش حاضر، همبستگی فعالیت آنزیم α آمیلاز با محتوی قندهای محلول مثبت و معنی دار ($r=۰/۸۸^{**}$) و با محتوی نشاسته بذرهای پرایم شده منفی و معنی دار($r=-۰/۸۵^{**}$) بود (جدول۵) که نشان می‌دهد با فعالیت بیشتر آنزیم αآمیلاز و تجزیه بیشتر نشاسته، محتوی قندهای محلول افزایش یافته است.

محتوی پروتئین‌های محلول

محتوی پروتئین های محلول در مدت زمان ۶ ساعت کمترین مقدار را داشت و با افزایش زمان هیدروپرایمینگ محتوی پروتئین‌های محلول افزایش یافت به صورتی که در تیمار ۱۰ ساعت هیدروپرایمینگ بیشترین مقدار این صفت مشاهده شد. مقایسه میانگین ارقام از نظر این صفت نشان داد که رقم استار بیشترین و رقم فونگ کمترین مقدار را داشتند (جدول۴).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

مقایسه میانگین تیمارهای پرایمینگ نشان داد که با افزایش مدت زمان هیدروپرایمینگ از ۶ به ۸ ساعت فعالیت این آنزیم نیز افزایش یافت این درحالی بود که در تیمار ۱۰ ساعت هیدروپرایمینگ فعالیت این آنزیم اختلاف معنی‌داری با تیمار ۸ ساعت هیدروپرایمینگ نداشت. در بین ارقام نیز بیشترین و کمترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را به ترتیب ارقام استار و فونگ داشتند (جدول۴). همبستگی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با فعالیت آنزیم α آمیلاز مثبت و معنی‌دار (r=۰/۷۶**) بود بنابراین به نظر می‌رسد بیشتر بودن فعالیت α آمیلاز در رقم استار سبب افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شده باشد. همبستگی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ریشه‌چه مثبت و معنی دار (به ترتیب r=۰/۷۸**، r=۰/۷۴** و r=۰/۷۳**) بود (جدول۵).

فعالیت آنزیم گلوتاتیون ریداکتاز

مقایسه میانگین ها نشان داد که فعالیت این آنزیم با افزایش مدت زمان هیدروپرایمینگ از ۶ به ۸ ساعت به صورت معنی داری افزایش یافت اما افزایش این آنزیم در ۱۰ ساعت هیدروپرایمینگ نسبت به مدت زمان ۶ ساعت معنی دار نبود به عبارت دیگر با افزایش مدت زمان هیدروپرایمینگ از ۸ به ۱۰ ساعت فعالیت آنزیم گلوتاتیون ریداکتاز کاهش یافت. در مقایسه میانگین ارقام مشاهده شد که رقم‌های استار و چمران از نظر فعالیت این آنزیم با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند و به صورت معنی‌داری فعالیت آنزیمی بیشتری نسبت به رقم فونگ داشتند (جدول۴). همبستگی فعالیت آنزیم گلوتاتیون ریداکتاز با درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه چه مثبت و معنی دار (به ترتیب r=۰/۵۳**، r=۰/۷۴**، r=۰/۵۲**، r=۰/۴۵*، r=۰/۶۰** و r=۰/۵۶**) بود (جدول۵). آنزیم GR نیز یکی از آنزیم های مسیر گلوتاتیون آسکوربات است که با مصرف NADPH به عنوان دهنده الکترون باعث احیا گلوتاتیون می‌شود (Noctor and Foyer, 1998).چرخه گلوتاتیون آسکوربات دارای یک نقش مهم در ایجاد سیستم دفاعی در برابر تنش اکسیداتیو می‌باشد و افزایش فعالیت آنزیم‌های آن سبب حداقل شدن اثرات تنش اکسیداتیو می‌شود (Khanna-Chopra and Selote, 2007). APX و GR نقشی کلیدی در احیا پراکسیدهیدروژن به آب از طریق مسیر هالیول-آسادا ایفا می‌کنند (Noctor and Foyer, 1998).

فعالیت آنزیم کاتالاز

اثر مدت هیدروپرایمینگ بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین ارقام نشان داد که رقم استار بیشترین فعالیت این آنزیم را دارا بود و رقم های چمران و فونگ از این نظر با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول۴). همبستگی فعالیت آنزیم کاتالاز با درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ریشه‌چه مثبت و معنی دار (به ترتیب r=۰/۵۵**، r=۰/۶۳**، r=۰/۸۷** و r=۰/۸۰**) بود (جدول۵). آنزیم کاتالاز به طور مستقیم باعث تجزیه پراکسید هیدروژن می‌شود (Jiang and Huang, 2001).

جدول۳- تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده در بذرهیدروپرایم شده ارقام گندم تحت تأثیر مدت زمان هیدروپرایمینگ بذر

Table3- Analysis of variance for biochemical traits of wheat cultivars affected by seed hydropriming duration

منابع تغییرات s.o.v.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares									
		محتوی قندهای محلول Soluble sugars (mg/g Dw)	محتوی نشاسته Starch (mg/g Dw)	محتوی پروتئین‌های محلول Soluble protein (mg/g Fw)	محتوی مالون دی آلدئید Malondialdehyde (nmol/g Fw)	فعالیت آنزیم α آمیلاز α amylase activity (U/ml enzyme extract)	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز APX activity (U/mg protein)	فعالیت آنزیم گلوتاتیون ریداکتاز GR activity (U/mg protein)	فعالیت آنزیم کاتالاز CAT activity (U/mg protein)	فعالیت آنزیم پراکسیداز POD activity (U/mg protein)	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز SOD activity (U/mg protein)
رقم Cultivar	2	2438.427**	15381.333**	6.131**	0.112 ns	2.282**	0.251**	1.042**	2.075**	8.378**	0.004 ns
مدت پرایمینگ Priming duration	2	1332.404**	4505.333**	5.618**	21.900**	0.130**	0.210**	3.832**	0.080 ns	0.945**	0.368**
رقم ×مدت پرایمینگ Cultivar× Priming duration	4	16.514 ns	66.333 ns	0.028 ns	0.051 ns	0.005 ns	0.001 ns	0.022 ns	0.059 ns	0.228*	0.004 ns
خطا Erorr	18	16.723	566.889	0.038	0.172	0.021	0.003	0.118	0.054	0.056	0.005
ضریب تغییرات (درصد) cv (%)	3.09		5.04	2.40	2.53	4.02	4.10	3.70	5.19	1.97	3.80

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول۴- مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی تیمارهای مدت زمان هیدروپرایمینگ و ارقام بر صفات بیوشیمیایی بذر

Table4- Mean comparison of the effect of hydropriming duration treatments and cultivar on biochemical traits

مدت هیدروپرایمینگ (ساعت) Hydropriming duration (h)	محتوی قندهای محلول (میلی گرم بر گرم وزن خشک) Soluble sugars (mg/g Dw)	محتوی نشاسته (میلی گرم بر گرم وزن خشک) Starch (mg/g Dw)	محتوی پروتئین‌های محلول (میلی گرم بر گرم وزن تر) Soluble protein (mg/g Fw)	محتوی مالون دی آلدئید (نانومول بر گرم وزن تر) Malondialdehyde (nmol/g Fw)	فعالیت آنزیم α آمیلاز (واحد بر میلی لیتر عصاره آنزیمی) α amylase activity (U/ml enzyme extract)	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز APX activity (U/mg protein)	فعالیت آنزیم گلوتاتیون ریداکتاز GR activity (U/mg protein)	فعالیت آنزیم کاتالاز CAT activity (U/mg protein)	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز SOD activity (U/mg protein)
6	116.4c	495.7 a	7.27 c	15.46 b	3.46 b	1.17 b	8.77 b	4.37 a	1.74 b
8	130.0 b	471.0 b	8.08 b	15.50 b	3.56 ab	1.42 a	10.02 a	4.55 a	2.05 a
10	140.7 a	451.0 b	8.85 a	18.18 a	3.70 a	1.44 a	9.07 b	4.51 a	1.67 b
رقم Cultivar									
استار Star	148.5a	431.7 c	8.92 a	16.33 a	4.00 a	1.51 a	9.62 a	5.02 a	1.81 a
چمران Chamran	132.9 b	471.7 b	8.00 b	16.51 a	3.70 b	1.33 b	9.30 a	4.28 b	1.85 a
فونگ Fong	105.6 c	514.3 a	7.28 c	16.30 a	3.02 c	1.18 c	8.94 b	4.12 b	1.81 a

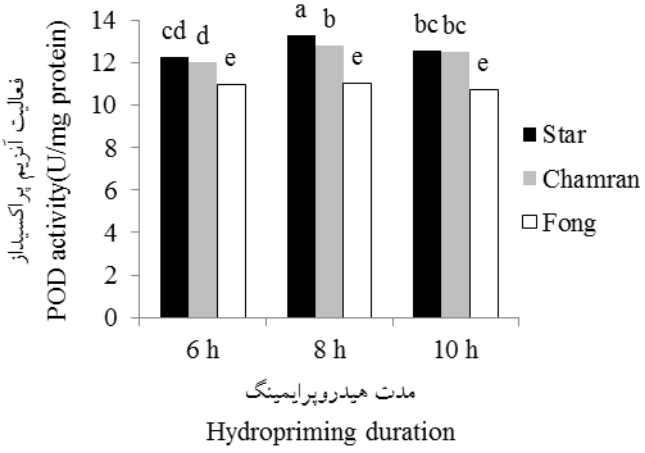
میانگین‌ها در هر ستون که دارای یک حرف مشترک می‌باشند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level.

فعالیت آنزیم پراکسیداز

فعالیت آنزیم پراکسیداز در مدت زمان ۸ ساعت هیدروپرایمینگ نسبت به مدت زمان ۶ ساعت به صورت معنی داری افزایش یافت سپس فعالیت این آنزیم در تیمار ۱۰ ساعت هیدروپرایمینگ درسطحی نزدیک به فعالیت آن در تیمار ۶ ساعت هیدروپرایمینگ رسید. در مقایسه میانگین ارقام مشاهده شد که رقم های استار و فونگ به ترتیب بیشترین و کمترین فعالیت این آنزیم را داشتند (جدول۴). همبستگی فعالیت آنزیم پراکسیداز با درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه مثبت و معنی دار (به ترتیب $r=۰/۴۱^{*}$، $r=۰/۸۸^{**}$، $r=۰/۶۷^{**}$، $r=۰/۴۷^{*}$ و $r=۰/۶۹^{**}$) بود (جدول۵). آنزیم پراکسیداز با استفاده ازموادفنولیک به عنوان دهنده الکترون باعث تجزیه پراکسیدهیدروژن می‌شود(Asada, 1994).

اثرات متقابل مدت هیدروپرایمینگ × رقم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی دار بود (جدول۳) و نشان داد که رقم‌های استار و چمران در تیمارهای ۶ و ۱۰ ساعت هیدروپرایمینگ از نظر فعالیت این آنزیم با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند. رقم استار در تیمار ۸ ساعت به صورت معنی‌داری فعالیت بیشتر آنزیم پراکسیداز را نشان داد. در مورد رقم فونگ فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمارهای ۶، ۸ و ۱۰ ساعت هیدروپرایمینگ اختلاف معنی‌داری نداشت و در هر سه مدت زمان هیدروپرایمینگ فعالیت آنزیمی کمتری نسبت به دو رقم دیگر داشت (شکل۲).



شکل۲- مقایسه میانگین اثر متقابل مدت هیدروپرایمینگ × رقم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

Fig2- Mean comparison of hydropriming duration×cultivar interaction on POD activity by Duncan's test at 5% probability level.

به نظر می‌رسد که تفاوت در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی القا شده بوسیله تیمارهای هیدروپرایمینگ درسه رقم مورد بررسی به دلیل تفاوت‌های ژنوتیپی آنها ایجادشده است زیرا بذر مورد آزمایش هرسه رقم از یک مزرعه و در شرایط مشابه مدیریت زراعی و انبارداری بذر بدست آمد.

فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز

بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در تیمار ۸ ساعت هیدروپرایمینگ مشاهده شد و تیمارهای ۶ و ۱۰ ساعت از نظر فعالیت این آنزیم با هم اختلاف معنی‌داری

نداشتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم بر فعالیت این آنزیم معنی‌دار نبود. همبستگی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با طول و وزن خشک ساقه چه مثبت و معنی‌دار (به ترتیب $r=۰/۳۹^*$ و $r=۰/۳۸^*$) بود (جدول۵).

همبستگی بین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش پراکسیداسیون لیپید (که بوسیله کاهش در محتوی مالون دی‌آلدئید نشان داده شد) در بذرهای پرایم شده سرخارگل صورتی (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) (Chiu *et al.*, 2006) و کدوی تلخ (*Momordica charantia* L.) (Hsu et al, 2003) یافت شده است. بایلی و همکاران (Bailly *et al.*, 2000) گزارش کردند که افزایش فعالیت کاتالاز بوسیله پرایمینگ با جوانه‌زنی بهتر بذرهای آفتابگردان مرتبط شد. عنوان شده است که آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در بهبود جوانه زنی بذرهای پرایم شده گوجه‌فرنگی مؤثر بودند(El-Araby and Hegazi, 2004). در مطالعه دیگری افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ریداکتاز با بهبود سبزشدن بذرهای پرایم شده ذرت شیرین مرتبط شد (Chiu *et al.*, 2003).درمورد اسفناج، اسموپرایمینگ محتوی آسکوربات و گلوتاتیون و همچنین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را افزایش داد که نتیجه‌اش تحمل تنش در بذرهای درحال جوانه‌زنی این گیاه بود (Chen and Arora, 2011). بهبود در جوانه‌زنی بذر ذرت در دماهای پایین به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز توسط گوان (Guan, 2009) گزارش شده است. در آزمایش واتاناکلپاکین و همکاران (Wattanakulpakin *et al.*, 2012) بر روی بذر دو لاین ذرت (PS54 و TSK11) مشاهده شد که فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز در هر دو لاین در تیمار هیدروپرایمینگ به مدت ۶ ساعت بیشتر بود و هیدروپرایمینگ به مدت طولانی تر برای ۱۲ یا ۱۸ ساعت، فعالیت این آنزیم‌ها را در مقایسه با بذرهای پرایم شده به مدت ۶ ساعت به صورت معنی‌داری کاهش داد. در آزمایش ایشان، کاهش در جوانه‌زنی بذرهای ذرت (در تیمارهای هیدروپرایمینگ به مدت بیشتر از ۱۲ ساعت) با پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مرتبط دانسته شد.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که هیدروپرایمینگ به مدت ۸ ساعت بیشترین اثرات مثبت را بر بنیه بذر ارقام گندم مورد بررسی داشت که این موضوع می‌تواند با افزایش محتوی قندها و پروتئین‌های محلول در این تیمار نسبت به تیمار شاهد (بذرهای پرایم نشده) و همچنین فعالیت مناسب آنزیم های آنتی اکسیدان نسبت داده شود. در شرایط این آزمایش همبستگی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه مثبت و معنی دار بود. در پژوهش حاضر، افزایش محتوی مالون دی‌آلدئید و فعالیت ناکافی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (افزوده نشدن فعالیت آنزیم با افزایش مدت زمان هیدروپرایمینگ یا کاهش فعالیت آنزیمی) در مدت زمان ۱۰ ساعت هیدروپرایمینگ نسبت به مدت زمان ۸ ساعت مشاهده گردید. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که مزایای پرایمینگ با افزایش مدت زمان هیدروپرایمینگ بیشتر از مدت مناسب، می‌تواند به دلیل تغییرات بیوشیمیایی و احتمالاً ساختاری ایجاد شده در بذر از دست برود. درمیان ارقام نیز سرعت جوانه زنی در رقم‌های استار و چمران با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین سرعت جوانه‌زنی در رقم فونگ مشاهده شد. بیشترین طول و وزن خشک ریشه‌چه در رقم استار مشاهده شد. بیشترین و کمترین فعالیت آنزیم α آمیلاز، محتوی قندها و پروتئین‌های محلول به ترتیب متعلق به رقم‌های استار و فونگ بود. بر اساس این نتایج می‌توان بیان داشت که استفاده از بذرهای هیدروپرایم شده ارقام گندم در شرایطی که جوانه زنی و سبز شدن بیشتر و سریعتر بذرها

مهم می‌باشد مفید بوده و این بذرها گیاهچه‌های نیرومندتری تولید خواهند کرد که در مواجه با تنش های محیطی به صورت کارآمدتری از منابع محیطی استفاده می‌کنند، همچنین به نظر می‌رسد که در این رابطه استفاده از رقم استار مفیدتر خواهد بود.

جدول۵- ضرایب همبستگی بین جوانه‌زنی، ویژگی‌های گیاهچه و صفات بیوشیمیایی بذر پرایم شده سه رقم گندم

Table5- Correlation coefficients between germination, seedling characteristics and biochemical traits in three wheat primed seeds

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
۱- درصد جوانه‌زنی 1- Germination (%)	1															
۲- سرعت جوانه‌زنی 2- Germination rate	0.49**	1														
۳- طول ریشه‌چه 3- Radicle length	0.43*	0.64**	1													
۴- طول ساقه‌چه 4- Shoot length	0.45*	0.53**	0.15ns	1												
۵- وزن خشک ریشه‌چه 5- Radicle dry weight	0.45*	0.69**	0.88**	0.33ns	1											
۶- وزن خشک ساقه‌چه 6- Shoot dry weight	0.14ns	0.37*	0.15ns	0.10ns	0.28ns	1										
۷- مالون دی آلدئید 7-Malondialdehyde	-0.16ns	0.01ns	-0.05ns	-0.11ns	0.06ns	-0.24ns	1									
۸- فعالیت آنزیم α آمیلاز 8- α amylase activity	0.28ns	0.75**	0.76**	0.29ns	0.75**	0.09ns	0.24ns	1								
۹- قندهای محلول 9- Soluble sugars	0.21ns	0.71**	0.73**	0.22ns	0.72**	0.03ns	0.49**	0.88**	1							
۱۰- نشاسته 10- Starch	-0.28ns	-0.65**	-0.75**	-0.28ns	-0.76**	0.09ns	-0.42*	-0.85**	-0.89**	1						
۱۱- پروتئین‌های محلول 11- Soluble protein	0.29ns	0.67**	0.70**	0.17ns	0.70**	0.12ns	0.58**	0.78**	0.95**	-0.86**	1					
۱۲- فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز 12- APX activity	0.34ns	0.78**	0.74**	0.33ns	0.73**	0.25ns	0.35ns	0.76**	0.91**	-0.75**	0.92**	1				
۱۳- فعالیت آنزیم گلوتاتیون ریداکتاز 13- GR activity	0.53**	0.74**	0.52**	0.45*	0.60**	0.56**	-0.24ns	0.35ns	0.42*	-0.30ns	0.43*	0.65**	1			
۱۴- فعالیت آنزیم کاتالاز 14- CAT activity	0.55**	0.63**	0.87**	0.13ns	0.80**	0.06ns	0.09ns	0.69**	0.68**	-0.74**	0.72**	0.67**	0.45**	1		
۱۵- فعالیت آنزیم پراکسیداز 15- POD activity	0.41*	0.88**	0.67**	0.47*	0.69**	0.27ns	-0.03ns	0.86**	0.74**	-0.72**	0.64**	0.71**	0.58**	0.65**	1	
۱۶- فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز 16- SOD activity	0.21ns	0.29 ns	0.17 ns	0.39*	0.28ns	0.38*	-0.55**	-0.03ns	-0.05ns	0.07ns	-0.12ns	0.15ns	0.68**	0.02ns	0.31ns	1

ns، *و **به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns,* and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

References منابع

Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Methods Enzymol. 105:121–126.

Asada, K.1994. Production and action of active oxygen species in photosynthetic tissues. *In*: C. Foyer, and P.M. Mullineaux. (eds). Causes of photooxidative stress and amelioration of defense systems in plants. CRC Press, Boca Raton, London, pp. 77–100.

Bailly, C. 2004. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. Seed Sci. Res. 14:93–107.

Bailly, C., A. Benamar, F. Corbineau, and D. Côme. 1998. Free radical scavenging as affected by accelerated ageing and subsequent priming in sunflower seeds. Physiol. Plant. 104:646-652.

Bailly, C., A. Benamar, F. Corbineau, and D. Côme. 2000. Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. Seed Sci. Res. 10:35–42.

Beauchamp, C.O., and I. Fridovich. 1971. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Anal. Biochem. 44:276–287.

Borsani, O., P. Diaz, M.F. Agius, V. Valpuesta, and J. Monza. 2001. Water stress generates anoxidative stress through the induction of a specific Cu/Zn superoxide dismutase in Lotus corniculatus leaves. Plant Sci. 161:757–763.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Ann. Biochem. 72: 248-254.

Chance, B., and A.C. Maehly. 1955. Assay of catalases and peroxidase. Methods Enzymol. 2:764–775.

Chen, K., and R. Arora. 2011. Dynamics of the antioxidant system during seed osmopriming, post-priming germination, and seedling establishment in spinach (*Spinacia oleracea*). Plant Sci. 180:212–220.

Chiu, K.Y., C.L. Chen, and J.M. Sung. 2002. Effects of priming temperature on storability of primed sh-2 sweet corn seed. Crop Sci. 42:1996-2003.

Chiu, K.Y., C.L. Chen, and J.M. Sung. 2003. Partial vacuum storage improves the longevity of primed sh-2 sweet corn seeds. Sci. Hortic. (Amsterdam) 98:99–111.

Chiu, K.Y., S.J. Chuang, and J.M. Sung. 2006. Both anti-oxidation and lipid-carbohydrate conversion enhancements are involved in priming-improved emergence of *Echinacea purpurea* seeds that differ in size. Sci. Hortic. (Amsterdam) 108:220–226.

Cordova-Tellez, L. and J.S. Burris. 2002. Alignment of lipid bodies along the plasma membrane during the acquisition of desiccation tolerance in maize seed. Crop Sci. 42:1982–1988.

Del Rio, L.A., L.M. Sandalio, F.J. Corpas, J.M. Palma, and J.B. Barroso. 2006. Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in peroxisomes. Production, scavenging, and role in cell signaling. Plant Physiol. 141, 330–335.

Dezfuli, P.M., F. Sharif-zadeh, and M. Janmohammadi. 2008. Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays* L.). ARPN. J. Agric. Biol. Sci. 3:22–25.

Dubios, M., K.A. Gills, J.K. Hamilton, P.A. Rebers, and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 28(3): 350-356.

El-Araby, M.M. and A.Z. Hegazi. 2004. Responses of tomato seeds to hydro- and osmo-priming, and possible relations of some antioxidant enzymes and endogenous polyamine fractions. Egypt. J. Biol. 6:81–93.

De Tullio, M.C. and O. Arrigoni. 2003. The ascorbic acid system in seeds: to protect and to serve. Seed Sci. Res. 13:249-260.

Gallardo, K., C. Job, S.P.C. Groot, M. Puype, H. Demol, J. Vandekerckhove. and D. Job. 2001. Proteomic analysis of *Arabidopsis* seed germination and priming. Plant Physiol. 126:835-848.

Garnczarska, M. and L. Wojtyla. 2008. Ascorbate and glutathione metabolism in embryo axes and cotyledons of germinating lupine seeds. Biol. Plant. 52:681-686.

Giri, G.S. and W.F. Schillinger. 2003. Seed priming winter wheat for germination, emergence and yield. Crop Sci. 43: 2135–2141.

Girolamo, G. Di. and L. Barbanti. 2012. Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. Ital. J. Agron. 7: 178-188.

Guan, Y.J., J. Hu, X.J. Wang, and C.X. Shao. 2009. Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. J. Zhejiang Univ. Sci. B. 10:427–433.

Heath, R. L. and I. Packer. 1968. Photoperoxidant in isolated chloroplast. I. Kinetics and stochiometry of fatty acid peroxidation. Arch. Biochem. Biophysics. 125:189–198.

Hsu, C.C., C.L. Chen, J.J. Chen, and J.M. Sung. 2003. Accelerated aging-enhanced lipid peroxidation in bitter gourd. Sci. Hortic. (Amsterdam) 98:201–212.

Hussain, M., M. Farooq, S.M.A. Basra, and N. Ahmad. 2006. Influence of seed priming techniques on the seedling establishment, yield and quality of hybrid Sunflower. Int. J. Agric. Biol. 8:14–18.

ISTA. 2007. International rules for seed testing, 2007 edition. Int. Seed Testing Assoc., Basserdorf, Switzerland.

Jiang, Y. and B. Huang. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Sci. 41: 436–442.

Khan, A.A. 1992. Preplant physiological seed conditioning. Hortic. Rev. (Am. Soc. Hortic. Sci.) 14:131–181.

Khanna-Chopra, R. and Selote, D.S. 2007. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than susceptible wheat cultivar under field conditions. Environ. Exp. Bot. 60: 276–283.

Kibinza, S., J. Bazin, C. Bailly, J.M. Farrant, F. Corbineau, and H. El-Maarouf- Bouteau. 2011. Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. Plant Sci. 181:309-315.

McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: Physiology, repair and assessment. Seed Sci. Technol. 27: 177–237.

Miller, G.L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal. Chem. 31:426–428.

Murungu, F.S., C. Chiduza, P. Nyamugafata, L.J. Clark, and W.R. Whalley. 2004. Effect of on-farm seed priming on emergence, growth and yield of cotton and maize in a semiarid area of Zimbabwe. Exp. Agric. 40:23–36.

Nakano, Y. and K. Asada. 1987. Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts: Its inactivation in ascorbate depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. Plant Cell Physiol. 28:131–140.

Noctor, G., and C. Foyer. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49: 249–279.

Posmyk, M.M., F. Corbineau, D. Vinel, C. Bailly, and D. Côme. 2001. Osmoconditioning reduces physiological and biochemical damage induces by chilling in soybean seeds. Physiol. Plant. 111:473-482.

Sheligl, H.Q. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. Planta J. 47:5-10.

Smith, I.K., T.V. Vierheller, and C.A. Thorne. 1988. Assay of Glutathione reductase in crude tissue homogenates using 5, 5'-Dithiobis (2-nitrobenzoic Acid). Analytical Biochem. 175, 408–413.

Stewart, R.C.R. and D. Bewley. 1980. Lipid peroxidation associted with accelerated aging of soybean Axes. Plant Physiol. 62: 245–248.

Tamagnone, L., A. Merida, N. Stacey, K. Plaskitt, A. Parr, C.F. Chang, D. Lynn, J.M. Dow, K. Roberts, and C. Martin. 1998. Inhibition of phenolic acid metabolism results in precocious cell death and altered cell morphology in leaves of transgenic tobacco plants. Plant Cell. 10:1801–816.

Van Pijlen, J.G., S.P.C. Groot, H.L. Kraak, J.H.W. Bergervoet, and R.J. Bino. 1996. Effects of pre-storage hydration treatments on germination performance, moisture content, DNA synthesisand controlled deterioration tolerance of tomato (*Lycopersicon esculentum* -Mill) seeds. Seed Sci. Res. 6:57–63.

Wattanakulpakin, P., S. Photchanachai, S. Miyagawa, and K.H. Ratanakhanokchai. 2012. Loss of Maize Seed Vigor as Affected by Biochemical Changes during Hydropriming. Crop Sci. 52:2783–2793.