

## ارزیابی تغییرپذیری جوانه‌زنی بذر کینوا (*Chenopodium quinoa var. Titicaca*)

### در پاسخ به دما، تنش شوری و خشکی

آرش مامدی<sup>۱</sup>، فرزاد شریف‌زاده<sup>۲\*</sup>، رضا معالی امیری<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران  
۲. دانشیار و استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۸)

#### چکیده

در این تحقیق تغییرپذیری مولفه‌های جوانه‌زنی بذر کینوا (*Chenopodium quinoa var. Titicaca*) به دما و تعیین دماهای کاردینال با آزمون جوانه‌زنی بذر در سطوح مختلف دمایی ۱- تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل دندان-مانند نشان داد که دمای پایه و دمای سقف کینوا به ترتیب ۳/۰۴- و ۴۵/۴۵ درجه سانتی‌گراد و دمای بهینه از ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد بودند. برای بررسی اثر تنش شوری و خشکی بر جوانه‌زنی در دمای مطلوب میانی ۲۵ درجه سانتی‌گراد، بذور در معرض پتانسیل‌های اسمزی صفر تا ۲۸- بار قرار گرفتند که برای القای تنش‌های شوری و خشکی به ترتیب از ماده‌های کلرید سدیم (NaCl) و پلی‌اتیلن گلایکول (PEG) به عنوان محلول جوانه‌زنی استفاده گردید. نتایج نشان داد که کاهش پتانسیل اسمزی تا ۱۲- بار قادر به کاهش معنی‌داری مولفه‌های جوانه‌زنی نسبت به شرایط نرمال (بدون تنش) نداشت. اما با کاهش پتانسیل اسمزی به ۱۸- و ۲۴- بار در صد جوانه‌زنی به طور معنی‌داری کاهش یافت. به طوریکه در پتانسیل ۲۴- بار تنش القایی-خشکی جوانه‌زنی به طور کامل متوقف گردید، اما ۲۴٪ جوانه‌زنی در همان نقطه از پتانسیل اسمزی ناشی از تنش شوری مشاهده گردید. بنابراین، جوانه‌زنی بذرها تحت تنش القایی-شوری نسبت به تنش القایی-خشکی در همه سطوح پتانسیل‌های اسمزی متحمل‌تر بودند. به احتمال زیاد، به دلیل هالوفیت بودن کینوا، با جذب عناصر یونی نمک موجب منفی‌تر شدن پتانسیل درون سلولی شده که در نهایت منجر به تحمل بیشتر به تنش شوری می‌گردد. بدین ترتیب کینوا (رقم Titicaca)، از پتانسیل زیادی برای کشت در بسیاری از مناطق از جمله استان‌های دارای اقلیم خشک‌تر را دارا خواهد بود.

**کلمات کلیدی:** جوانه‌زنی بذر، دماهای کاردینال، تنش شوری، تنش خشکی و کینوا

## Evaluation of quinoa seed germination variability to temperature, drought and saline stress

A. Mamedi<sup>1</sup>, F. Sharifzadeh<sup>2\*</sup>, R. Maali Amiri<sup>2</sup>

1. Ph.D student, seed science and technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
2. Associate professor and professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

(Received: Mar. 10, 2021 – Accepted: Jun. 29, 2021)

#### Abstract

Quinoa has attracted a lot of attention in recent years due to its low ecological needs and rich nutritional value. Therefore, the variability of germination components to temperature and determination of cardinal temperatures were performed by seed germination test at different constant temperatures from -1 to 45°C. The results of the dent-like model showed that the base temperature and ceiling temperature of quinoa were -0.04 and 45.45°C, respectively, and the optimum temperature was from 20 to 35°C. To investigate the effect of salinity and drought stress on germination at 25°C, the seeds were exposed to osmotic potentials from 0 to -28 bar, which were made of sodium chloride (NaCl) and polyethylene glycol (PEG), respectively, to induce stresses. The results showed that the reduction of osmotic potential up to -12 bar was not able to significantly reduce the germination components compared to normal conditions. However, with decreasing osmotic potential to -18 and -24 bar, the germination percentage decreased significantly. The germination was completely stopped at -24 bar of drought-induced, while 24% germination was observed at the same point of the salinity-induced osmotic potential. Therefore, seed germination capacity under salinity-induced stress was more tolerant than drought-induced stress at all levels of osmotic potentials. Most likely, due to the fact that quinoa is halophyte, by absorbing the ionic elements of salt, required for the maintenance of the cell turgor, which concurrent increase in cytosolic osmolality. Thus, this species has a great potential for distribution to other areas such as provinces with dry climate.

**Key words:** seed germination, cardinal temperatures, drought stress, salinity stress and quinoa.

\* Email: sharifz@ut.ac.ir

## مقدمه

کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa* Willd)، یک گیاه دو لپه‌ی با حدود ۹۵ درصد خود گشنی از کوه‌های آند کرانه غربی آمریکای لاتین (جنوبی) منشأ گرفته است (Jacobsen, 1998). گیاهی یک ساله، پهن برگ، ارتفاع ۱-۲ متر و دارای ریشه با نفوذپذیری عمیق می‌باشد. این گیاه تحمل قابل ملاحظه‌ی در برابر طیف وسیعی از تنش‌های غیر زنده از قبیل سرما، شوری و خشکی از خود نشان می‌دهد و هم‌چنین به خوبی قابلیت رشد در خاک‌های حاشیه‌ی دارد (Jacobsen et al., 2009). در حال حاضر به دلیل کیفیت بالای محصولات دانه‌ی گیاه کینوا و پتانسیل تولیدی بالای آن در شرایط سخت در بیشتر مناطق دنیا مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Risi and Galwey, 1984). دانه‌ی کینوا حاوی (۲۰-۱۴) درصد پروتئین و سرشار از اسید آمینه‌های ضروری از قبیل لیزین و متیونین می‌باشد که در اکثر محصولات غله‌ی به مقدار خیلی کمی وجود دارد (Jacobsen et al., 2009). نتایج بسیاری از تحقیقات نشان داده است، کشت ارقام مختلف کینوا به به طیف وسیعی از شرایط اقلیمی از قبیل نواحی با بارندگی بالا یا خشک، نواحی سرد یا گرم، نواحی با ارتفاع بیش از ۴۰۰۰ متر از سطح دریا، بیشتر نواحی آمریکا، آسیا و اروپا قابلیت سازگاری بالایی دارد (Jacobsen, 2003).

فاصله زمانی از شروع جوانه‌زنی تا وقوع در صدهای مختلف جوانه‌زنی (مثلاً ۱۰، ۲۰، ۳۰، ...) شاخصی است که به شدت تحت تأثیر شرایط حاکم بر جوانه‌زنی و به ویژه دما قرار می‌گیرد. به طور کلی، دماهای کاردینال جوانه‌زنی، به دامنه سازگاری محیطی گونه گیاهی بستگی دارد و تطابق زمان جوانه‌زنی با شرایط مطلوب برای مراحل بعدی رشد و نمو گیاهچه را تضمین می‌نماید (Alvarado et al., 2002). دامنه دمایی که مقدار جوانه‌زنی در آن حداکثر است با توجه به نوع گونه‌ها و

کیفیت بذر تغییر می‌کند (Ellis et al., 1986). واکنش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر به دما و شناخت دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف) برای تهیه مدل‌های پیش‌بینی کننده‌ی جوانه‌زنی و سبز شدن، انتخاب تاریخ کاشت مناسب، غربال کردن گونه‌ها و ژنوتیپ‌ها برای تحمل دماهای پایین یا بالا و تعیین نواحی جغرافیایی که در آنجا گونه‌ها یا ژنوتیپ‌ها بتوانند با موفقیت جوانه بزنند و استقرار یابند، بررسی می‌شود (Mwale et al., 1994). انواع مختلفی از مدل‌های ریاضی برای شرح رابطه بین جوانه‌زنی بذر گیاه و دما استفاده شده است. از جمله آنها می‌توان به توابع بتا (Beta)، دوتکه‌ای (Segmented)، دندان‌مانند (Dent-like) و بتای تغییر یافته (Beta modified) اشاره نمود که امتیاز این توابع این است که دارای مفاهیم بیولوژیکی مانند دماهای کاردینال و سرعت جوانه‌زنی و تعداد ساعات بیولوژیک مورد نیاز برای رسیدن به درصد خاصی از جوانه‌زنی بذر است (Jame et al., 2004).

یکی از عوامل‌های محدود کننده دیگر در بهره‌وری محصولات زراعی تنش خشکی می‌باشد و بیان شده است که وسعت مناطق خشک و نیمه خشک در ایران بیش از ۱/۵ میلیون کیلومتر مربع است (Aboulhasani et al., 2006). اصلاح ژنتیکی گیاهان برای القای تحمل به تنش خشکی همواره با مشکلات خاص خود مواجه بوده است. بنابراین در مرحله‌ی اول، کشت گیاهان مقاوم به خشکی مانند کینوا بهترین راهکار برای کاهش عملکرد محصولات است به طوری که در شرایط یکسان افت عملکرد کمتری داشته باشند (Vega-Gálvez et al, 2010). حساس‌ترین مرحله‌ی زندگی گیاه، جوانه‌زنی است و موفقیت در گذراندن این دوره نقش مهمی در مراحل دیگر استقرار گیاه خواهد داشت (Nonogaki et al., 2010). زیرا تنش خشکی موجب کاهش پتانسیل اسمزی شده که در نتیجه باعث کاهش دسترسی بذر به رطوبت می‌شود. بنابراین پتانسیل آب محیط بر سرعت جذب آب و جوانه‌زنی بذر

می کند (Gupta and Huang, 2014).

بنابراین هدف از این مطالعه، تعیین دلیل مانع اسمزی و یا سمی بودن اثر NaCl بر کاهش جوانه‌زنی بذر کینوا تحت تنش شوری، با مقایسه‌ی تغییر پذیری واکنش جوانه‌زنی بذر تحت پتانسیل‌های اسمزی ناشی از PEG و NaCl جهت شناسایی محدوده مناسب رطوبتی برای جوانه‌زنی بذر کینوا می‌باشد. همچنین تعیین طیف معجاز دمایی جوانه‌زنی بذر با برآورد دقیق دماهای کاردینال توسط مدل رگرسیونی از اهداف دیگر این پژوهش می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

در مرحله اول، به منظور بررسی عکس‌العمل جوانه‌زنی بذر کینوا (واریته Titicaca از جمله متحمل ترین واریته های کینوا به شوری) به دما و تعیین دماهای کاردینال، آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط آزمایشگاه بذر دانشگاه تهران اجرا گردید. بذرهای مورد آزمایش در مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تولید و تا زمان استفاده در شرایط مناسب انباری (دمای ۵ درجه سلسیوس) نگهداری گردید. پاشخ جوانه‌زنی در یازده سطح دمایی ثابت (۱-، ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵) درجه سلسیوس در چهار تکرار ۵۰ بذری به مدت ۱۰ روز ارزیابی گردید. جوانه‌زنی هر کدام از تکرار ۵۰ بذری تیمارهای دمایی در پتری شیشه‌ای ۹ سانتی‌متر بر روی دو لایه از کاغذ صافی که حاوی ۷ میلی‌لیتر آب مقطر بود، انجام گردید. بذرهایی به عنوان جوانه‌زده در نظر گرفته می‌شدند که حداقل دو میلی‌متر خروج ریشه‌چه نمایان بود (Causin et al., 2020) و جهت تعیین سرعت جوانه‌زنی، شمارش بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه انجام می‌گرفت. با توجه به مشاهدات نتایج آزمایش، مدل رگرسیونی دندان-مانند به عنوان مناسب‌ترین مدل جهت پیش‌بینی دقیق دماهای کاردینال (دمای پایه، مطلوب و سقف) به داده‌ها برازش داده شد که

تأثیر مستقیم دارد (Yam, 2015). هرگاه پتانسیل اسمزی کمتر از حد بحرانی باشد، بذر با تنش آب روبرو خواهد شد و بسته به شدت کاهش پتانسیل اسمزی، زمان مورد نیاز برای جوانه‌زنی جمعیت درون بذری به تأخیر افتاده که باعث عدم یکنواختی و کاهش استقرار گیاه می‌شود. زیرا فرایند جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردیده و به دنبال آن فعالیت‌های متابولیکی فرایند جوانه‌زنی دچار اختلال می‌گردد که در نتیجه مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش و از این رو سرعت جوانه‌زنی کاهش خواهد یافت (Nonogak et al, 2010).

عمده‌ترین محدودیت بهره‌وری محصولات زراعی، افزایش فاجعه‌بار شور شدن خاک و آب می‌باشد که چالش‌های زیادی را در سیستم کشاورزی ایجاد کرده است (Soliman et al., 2020). زیرا، هر ساله ۱/۵ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی را تغییر کاربری داده و از تولیدات کشاورزی حذف می‌کند (Ibrahim, 2016). تنش شوری با اثرگذاری بر مرحله حساس رشدی جوانه‌زنی و گیاهچه، استقرار موفقیت آمیز گیاه را محدود می‌کند (Hubbard et al., 2012; Sen et al., 2020). در بسیاری از مطالعات، گزارش شده است که جوانه‌زنی بذرهای با کیفیت بالا ممکن است با تأثیر تنش شوری به تأخیر بیفتد و یا جلوگیری شود (Biswas et al., 2020). بذرهای گیاهان زراعی اغلب در ۱۰ سانتی‌متری لایه بالایی خاک کشت می‌شوند و این لایه شورتر از لایه‌های پایین است که باعث غیر یکنواختی جوانه‌زنی بذر و به دنبال کاهش استقرار گیاهچه‌ها می‌شود (Ibrahim, 2016). در بسیاری از مطالعات، همچنین گزارش شده است که شوری کاهش درصد نهایی جوانه‌زنی را از طریق تنش اسمزی، سمیت یونی و تنش اکسیداتیو موجب می‌شود (Tang et al., 2015). بنابراین، شوری از طریق فاکتورهای مختلفی از جمله کاهش در دسترس بودن آب، تغییر در مواد غذایی ذخیره شده در بذر و تغییر در ساختار پروتئین‌های حیاتی سلول به جوانه‌زنی بذر آسیب وارد

به روش زیر محاسبه گردید (Mobli et al., 2018):

$$f(T) = \frac{(T-T_b)}{(T_{O1}-T_b)} \quad \text{if } T_b < T \leq T_{O1}$$

$$f(T) = \frac{(T_c-T)}{(T_c-T_{O2})} \quad \text{if } T_{O2} < T \leq T_c$$

$$f(T) = 1 \quad \text{if } T_{O1} < T \leq T_{O2}$$

$$f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

در این رابطه،  $T$  دمای متوسط روزانه (دمای آزمایش)،  $T_b$  دمای پایه،  $T_{O1}$  دمای مطلوب تحتانی،  $T_{O2}$  دمای مطلوب فوقانی و  $T_c$  دمای سقف بر حسب درجه سانتی‌گراد است.

در آزمایش دوم، به منظور بررسی تأثیر تنش شوری و خشکی بر جوانه‌زنی بذر کینوا، دو آزمایش جداگانه در قالب طرح کاملاً تصادفی به اجرا درآمد. برای اعمال تنش شوری از ماده NaCl (کلرید سدیم) استفاده گردید و پتانسیل‌های مختلف آن بر اساس معادله ونت-هوف آماده (Ford, 2015) گردید:

$$\psi = CIRT$$

در این رابطه  $\psi$  پتانسیل اسمزی بر حسب بار،  $C$  برابر با مقدار مول ماده مورد نظر،  $I$  عددیونیزاسیون که مربوط به نمک (۱/۸) می‌باشد،  $R$  عدد ثابت معادله است که برابر با  $0.083$ ،  $T$  درجه حرارت محیط بر حسب کلون است. جهت اعمال تنش خشکی از پلی اتیلن گلابکول ۶۰۰۰ استفاده گردید و محاسبات برای تعیین غلظت استفاده از این ماده برای اعمال پتانسیل‌های اسمزی لازم از رابطه میشل-کافمن (۱۹۷۳) به دست آمد:

$$\psi = -(1.18 \times 10^{-2})C - (1.18 \times 10^{-4})C^2 + (2.67 \times 10^{-4})CT + (8.39 \times 10^{-7})C^2T$$

جوانه‌زنی بذر در سطوح وسیع پتانسیل‌های اسمزی تنش شوری و خشکی با مقادیر یکسان (صفر، -۳، -۶، -۹، -۱۲، -۱۸، -۲۴ و -۲۸) بر حسب بار در سه تکرار ۵۰ بذری در پتری دیشه‌های که حاوی ۷ میلی لیتر محلول مربوطه بود، در دمای مطلوب ۲۵ درجه سانتیگراد انجام گردید. به طوریکه ۵۰ درصد از سطوح بذر در محلول

اسمزی غوطه ور بودند. در نهایت جوانه‌زنی بذر ها به صورت روزانه انجام گرفت و دو صفت در صد (Ikic et al., 2012) و سرعت جوانه‌زنی (Ellis and Roberts 1980) به روش زیر محاسبه گردید:

$$\text{درصد جوانه‌زنی} = \left( \frac{\text{تعداد بذرهاى جوانه‌زده}}{\text{کل تعداد بذرها}} \right) * 100$$

$$\text{سرعت جوانه‌زنی} = \left( \frac{\text{تعداد بذرهاى جوانه‌زده}}{\text{تعداد روز تا اولین شمارش}} \right) + \dots + \left( \frac{\text{تعداد بذرهاى جوانه‌زده}}{\text{تعداد روز تا آخرین شمارش}} \right)$$

در نهایت هر کدام از آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی آنالیز گردید و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن با یکدیگر مقایسه شدند. آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار SAS و رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

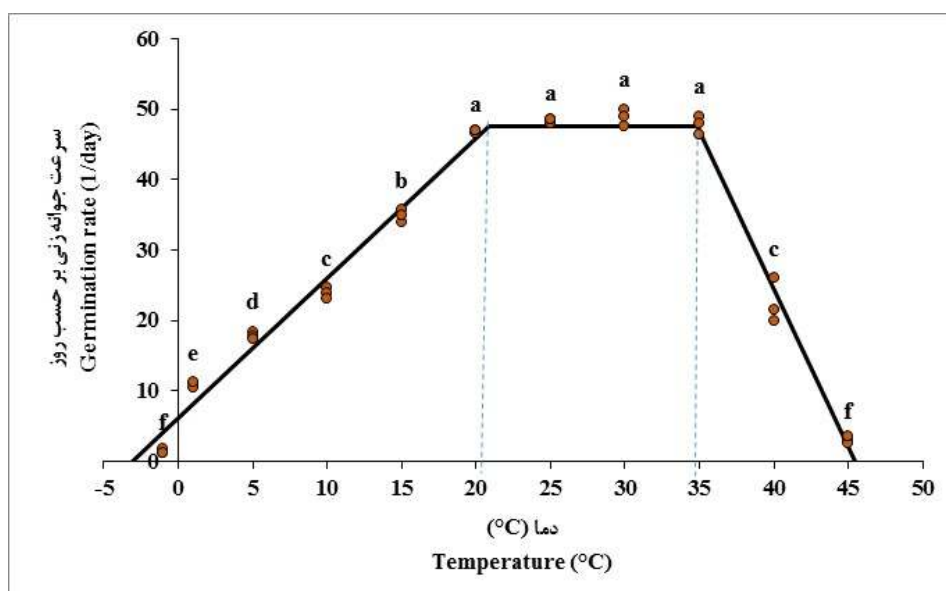
## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان نمود که اثر سطوح مختلف تیمار دمایی بر درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). از مدل دندان-مانند با دقت برازش مناسب برای مطالعه واکنش سرعت جوانه‌زنی بذر و تعیین دماهای کاردینال بذر کینوا تحت دماهای مختلف استفاده گردید (شکل ۱). افزایش دما تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد و طبق برازش مدل، سرعت نسبی جوانه‌زنی در دمای مطلوب زیرین (۲۰/۸۶ درجه سلسیوس) به بیشینه رسید. مقدار بیشینه سرعت جوانه‌زنی تا دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد ثابت بود و دماهای ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، دماهای مناسب جوانه‌زنی بودند. به طوریکه، با افزایش دما از مطلوب فوقانی (۳۴/۸۸ درجه سانتی‌گراد)، سرعت جوانه‌زنی به طور خطی کاهش یافت (شکل ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر دما بر صفات جوانه‌زنی بذر کینوا. (\*\* معنی دار بودن در سطح پنج درصد).

Table 1- Analysis of variance for germination indices of quinoa under different temperature treatments (\*\* difference in value of  $P < 0.05$ )

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (MS)	
		درصد جوانه‌زنی Germination	سرعت جوانه‌زنی Germination rate
دما Temperature (°C)	10	3589.67**	1023.57**
خطا Error	22	9.09	1.41
ضریب تغییرات (CV%)		3.92	4.27



شکل ۱- ارزیابی تغییرپذیری سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا در مقابل دما و تعیین دماهای کاردینال با برازش مدل دندان-مانند

Figure 1- The changes of seed germination rate of quinoa versus temperatures and determine cardinal temperatures using dent-like model.

گیاه نخود در دماها و عمق‌های مختلف استفاده کردند و مدل دندان مانند را به عنوان مدل برتر در پیش‌بینی سبز شدن این گیاه را معرفی کرده‌اند. بنابراین می‌توان از پارامترهای برآورد شده از این مدل در پیش‌بینی جوانه‌زنی بذر کینوا در مناطقی که محدودیت دمایی دارد، استفاده کرد. زیرا رایج‌ترین مدل‌های مورد استفاده در توصیف پاسخ دمایی جوانه‌زنی بر مفاهیم دماهای کاردینال مبتنی هستند. همچنین دماهای کاردینال نشان داد که کینوا به علت پایین‌تر بودن دمای پایه،  $3/04$  - درجه سانتی‌گراد،

طبق برازش مدل و تخمین پارامترهای رگرسیون خطی دماهای پایین‌تر از ایتیمم زیرین و دماهای بالاتر از دمای ایتیمم فوقانی، دمای پایه و دمای سقف کینوا به ترتیب  $3/04$  - و  $45/45$  درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی گردید (جدول ۲). در بسیاری از تحقیقات از جمله گیاه *Alyssum dinifolium* از مدل دندان-مانند به عنوان مدل مناسب و دقیق استفاده شده است (Mobli et al., 2018). همچنین گنجعلی و همکاران (Ganjeali et al, 2006)، از مدل‌های بتا، دو تکه ای و دندان مانند برای مدل‌سازی سبز شدن

چرخه‌ی زندگی گیاه است، افزایش یافته و در نتیجه بهتر می‌تواند با علف‌های هرز برای دسترسی به منابع آبی و غذایی خاک رقابت کند.

می‌تواند در اواخر زمستان یا اوایل بهار زودتر جوانه بزند. بنابراین در این شرایط که معمولاً آب خاک (حاصل از ذوب شدن برف و بارندگی اوایل بهار) فراهم است، شانس استقرار موفق و زودتر گیاهیچه که از مراحل حساس

جدول ۲- مقادیر پیش‌بینی شده دمای پایه، دماهای اپتیمم، دمای سقف، ضریب تبیین و ضرایب رگرسیون

(a و b برای دماهای زیر مطلوب و فوق مطلوب) با استفاده از مدل دندان-مانند

Table 2- predicted values of base, optimum and ceiling temperatures, R<sup>2</sup> and regression parameters using dent-like model

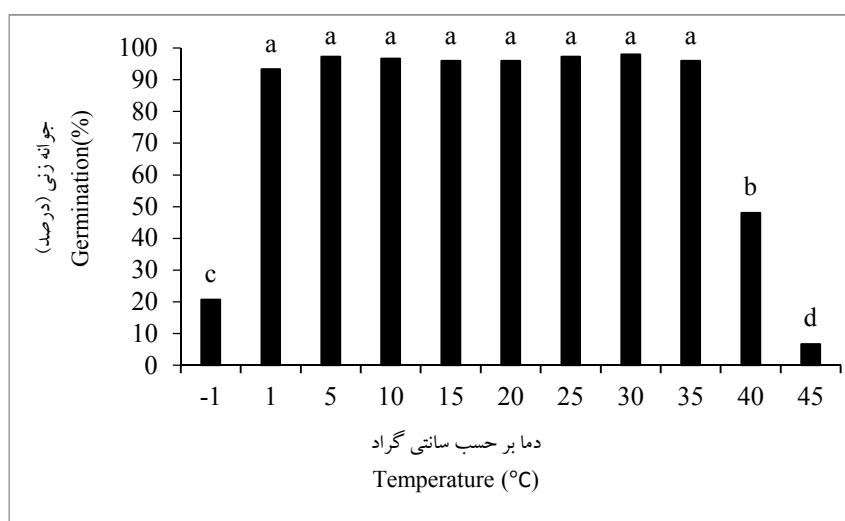
دمای پایه Temperature (°C)	دمای اپتیمم T <sub>o1</sub> -T <sub>o2</sub>	دمای سقف T <sub>c</sub>	عرض از مبدا a ± SE	شیب رگرسیون b ± SE	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	
دماهای زیر مطلوب Sub-optimal temperature	-3.04	20.86	-	6.096±0.78	1.98±0.07	0.98
دماهای فوق مطلوب Supra-optimal temperature	-	34.88	45.45	203.53±7.87	-4.47±0.19	0.98

عنوان گیاه علوفه‌ای یا غله‌ای احتمالاً قابلیت جوانه‌زنی بالایی را داشته باشد. همچنین گزارش شده است که کاهش کارایی متابولیکی بذر در دماهای بالاتر و پایین‌تر از دماهای بهینه از عوامل کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌باشد (Thygerson *et al.*, 2002). به نظر می‌رسد گیاه مورد مطالعه از لحاظ متابولیکی کارآیی لازم برای حفظ جوانه‌زنی در دماهای بالا تر و پایین‌تر از دمای بهینه را داراست.

نتایج تجزیه واریانس نشان نمود که اثر سطوح مختلف تیمارهای خشکی و شوری بر درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که جوانه‌زنی بذر کینوا در ۲۴ ساعت اول آبنوشی انجام گردید و پتانسیل‌های اسمزی محلول PEG و سطوح مختلف شوری روی نقطه شروع جوانه‌زنی تأثیرنگذاشت (شکل ۳). بیشترین درصد جوانه‌زنی در سطوح رطوبتی صفر تا ۱۲- مشاهده گردید که مقدار آن بالای ۹۷٪ جوانه‌زنی بود و بین تیمارهای NaCl و PEG تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید.

همان‌طور که بیان گردید، دما تأثیر بالایی بر سرعت جوانه‌زنی داشت، به طوری که محدوده دمایی مناسب برای سرعت جوانه‌زنی از ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد بود. اما درصد جوانه‌زنی در مقایسه با سرعت جوانه‌زنی حساسیت کمتری نسبت به تیمارهای دمایی داشت. به طوری که از دمای ۱ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد به عنوان محدوده دمایی مناسب درصد جوانه‌زنی بود و از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۲). گزارش شده است که سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی حساس‌ترین شاخص است که می‌تواند جوانه‌زنی بذر را تحت تأثیر قرار دهد (Tabrizi, 2004). نتایج نشان داد که با کاهش دما به ۱- درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی به ۲۰٪ کاهش یافت و این نشان دهنده متحمل بودن جوانه‌زنی بذر کینوا به تنش سرما می‌باشد. همچنین با افزایش دما به ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی به ترتیب به ۴۸ و ۶ درصد کاهش یافت. بنابراین، کینوا در طیف وسیع دمایی قابلیت جوانه‌زنی را دارد و در مناطقی که بیشتر محدودیت دمایی برای کشت وجود دارد، به



شکل ۲- مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی بذر کینوا تحت تیمارهای مختلف دمایی.

Figure 2- Mean comparison of quinoa seed germination under different temperature treatments.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارهای شوری و خشکی بر صفات جوانه‌زنی بذر کینوا. (\*\* معنی دار بودن در سطح پنج درصد).

Table 3- Analysis of variance for germination indices of quinoa under different salinity and drought treatments (\*\* difference in value of  $P < 0.05$ )

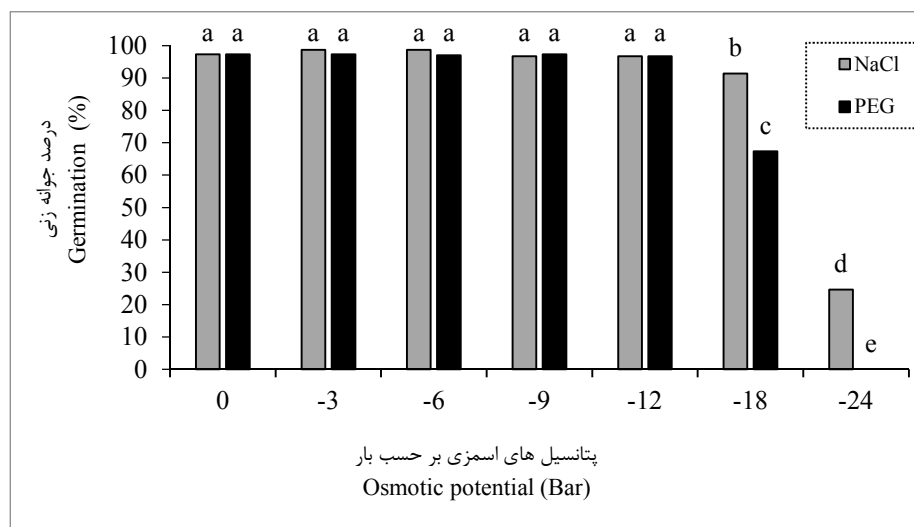
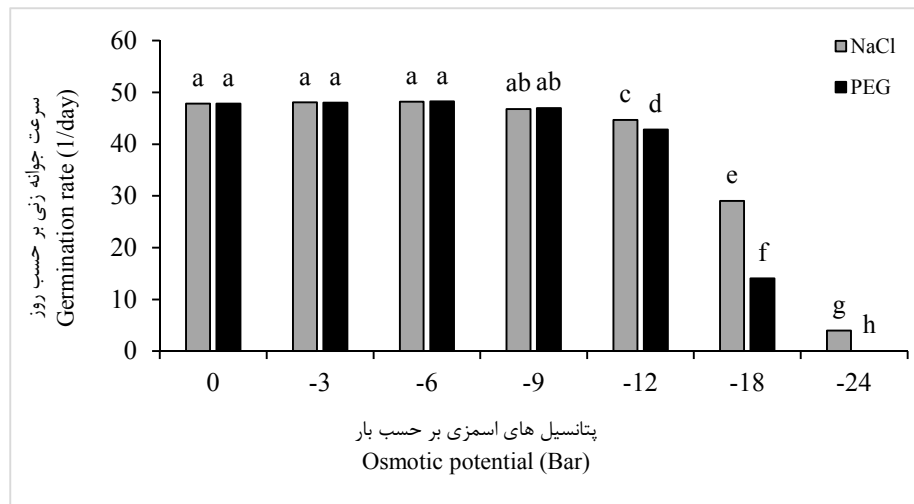
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (MS)	
		درصد جوانه‌زنی Germination	سرعت جوانه‌زنی Germination rate
تیمار (خشکی و شوری) Treatments (salinity and drought)	13	2918.32**	926.57**
خطا Error	28	5.42	0.803
ضریب تغییرات (CV%)		2.82	2.44

خشکی قرار گرفت، بیشترین سرعت جوانه‌زنی بذر در پتانسیل‌های صفر تا ۹- بار مشاهده گردید و بین دو تیمار القاء شده (PEG و NaCl) تا پتانسیل اسمزی ۹- بار تفاوت معنی‌دار حاصل نگردید. بنابراین بین شرایط عدم تنش و پتانسیل ۹- بار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و با کاهش پتانسیل اسمزی به ۱۲- بار، سرعت جوانه‌زنی به طور معنی‌داری از ۴۸ (در شرایط عدم تنش) به ۴۴ (در شرایط تنش شوری حاصل از NaCl) و ۴۲ (در شرایط تنش خشکی) کاهش یافت و با کاهش پتانسیل اسمزی به ترتیب

هنگامی که بذرهای در پتانسیل ۱۸- بار قرار گرفتند، جوانه‌زنی بذرهای به طور معنی‌داری به ترتیب به ۹۱٪ و ۶۷٪ در تیمارهای شوری و PEG کاهش یافت. نقطه پژمردگی دائمی جوانه‌زنی در پتانسیل اسمزی PEG در پتانسیل ۲۴- بار اتفاق افتاد. به عبارتی کاهش ۱۰۰ درصد در جوانه‌زنی بذر کینوا از شرایط عدم تنش تا پتانسیل خشکی ۲۴- بار مشاهده شد. به طوریکه در همان نقطه از پتانسیل شوری، بذرهای ۲۴٪ ظرفیت جوانه‌زنی را داشتند. سرعت جوانه‌زنی کینوا نیز به شدت تحت تأثیر پتانسیل‌های پایین شوری و

جوانه‌زنی بذر کینوا، در پتانسیل اسمزی ۲۸- بار مشاهده گردید. گزارش شده است که اثر قابل توجه شوری بر بازدارندگی جوانه‌زنی کینوا در غلظت‌های بالاتر از ۴۰۰ میلی‌مولار صورت می‌گیرد (Hariadi et al., 2011).

به ۲۹ و ۱۴ کاهش یافت. همان‌طور که بیان گردید، نقطه‌ی ۲۴- بار به عنوان نقطه پزمردگی دائمی جوانه‌زنی کینوا بود و این نقطه از تنش شوری، سرعت جوانه‌زنی را تقریباً به ۴ کاهش داد. تحت تنش شوری، نقطه بازدارندگی کامل



شکل ۳- مقایسه میانگین تنش شوری و خشکی در پتانسیل‌های متفاوت رطوبتی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کینوا.

Figure 3- mean comparison of quinoa seed germination traits under various potentials of salinity and drought stress.

تنش شوری و خشکی در سطوح پایین پتانسیل اسمزی (۱۸- و ۲۴- بار) متفاوت بود و میزان بازدارندگی درصد و سرعت جوانه‌زنی در پتانسیل‌های منفی‌تر پتانسیل خشکی در مقایسه با تنش شوری شدیدتر بود. این نتایج با تحقیق Cavallaro et al., 2016 هم‌خوانی دارد که نشان دادند

به طور قابل توجه، نتایج این مطالعه نشان داد که جوانه‌زنی بذرهای کینوا بسیار متحمل به استرس رطوبتی حاصل از کمبود آب (القا با ماده PEG) یا ناشی از پتانسیل اسمزی مواد معدنی و شور بودن آب (القا با NaCl) می‌باشند. اما نتایج نشان داد که میزان تحمل جوانه‌زنی به



بنابراین تنش شوری با اثرات یونی نمک و همین‌طور کاهش پتانسیل اسمزی بر جوانه‌زنی بذر اثر می‌گذارد.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج مدل دندان-مانند نشان داد که بذر کینوا رقم Titicaca در سطح وسیع دمایی از ۳/۰۴- تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد قابلیت جوانه‌زنی را دارد. بنابراین، در مناطقی که محدودیت دمایی برای کشت و کار کشاورزی وجود دارد، به احتمال زیاد می‌توان کینوا رقم Titicaca را به عنوان گیاه علوفه‌ای یا غله‌ای کشت کرد. همچنین با استناد به نتایج تنش‌های القایی شوری و خشکی، کینوا ظرفیت جوانه‌زنی بالایی در تنش‌های خشکی حاصل از کمبود آب و یا ناشی از یون‌های نمکی را دارد. به طوریکه نتایج نشان داد، میزان تحمل جوانه‌زنی بذر کینوا تحت تنش شوری بیشتر از تنش القایی خشکی بود. به احتمال زیاد، به دلیل هالوفیت بودن گیاه کینوا، با جذب یون‌های نمکی موجب حفظ پتانسیل اسمزی سلول شده که در نتیجه به تنش اسمزی حاصل از یون‌های نمکی متحمل‌تر شده است.

جوانه‌زنی بذر *Ceratonia siliqua* تحت تنش القایی با PEG در مقایسه با NaCl بیشتر تحت تأثیر قرار گرفت. گزارش شده است که توانایی بالای جوانه‌زنی بذر گیاهان هالوفیت در پتانسیل پایین اسمزی مربوط به خصوصیات فزیولوژیکی تنظیم اسمزی می‌باشد که با جذب یون‌های نمک موجب منفی‌تر شدن اسمزی درون سلول می‌شود (Liang et al., 2018). این یافته‌ها نشان می‌دهد که شوری قبل از تأثیر بر درصد جوانه‌زنی، در درجه اول شروع جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد. تحمل بالای جوانه‌زنی کینوا به شوری، مربوط به شیب قابل توجه در توزیع یون‌های سمی  $Na^+$  و  $Cl^-$  با یون‌های ضروری مانند  $Ca^{2+}$  و  $K^+$  در پوسته بذر و تخصیص عناصر در جنین بذر باشد (Koyro and Eisa, 2008). همچنین گزارش شده است که قابلیت جوانه‌زنی بالایی بذر کینوا در شوری به ظرفیت بالای آن در هومئوستازی نسبت عناصر سدیم و پتاسیم جهت کاهش اثرات سمی سدیم مربوط می‌باشد (Hariadi et al., 2011). در مطالعات قبلی و همکاران (Kaboli et al., 2001)، کاهش جوانه‌زنی تحت تأثیر تنش خشکی به کاهش رطوبت سلول و تأثیر آن بر ساخت پروتئین‌ها و ترشح هورمون‌ها نسبت داده شد.

### Reference

### منابع

- Aboulhasani, M., A. Lakzian, G.H. Haghnia, and M. Sarcheshmehpoor. 2006.** The study of salinity and drought tolerance of *Sinorhizobium meliloti* isolated from province of Kerman in vivo condition. J. Crops Res. 4(2): 183-193. (In Persian)
- Alvarado, V., and K.J. Bradford. 2002.** A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. Plant Cell Environ. 25: 1061-1069.
- Biswas, S., A.K. Biswas, and B. De. 2020.** Influence of sodium chloride on growth and metabolic reprogramming in nonprimed and haloprime seedlings of blackgram (*Vigna mungo* L.). Protoplasma. 257(6):1559-1583.
- Causin, H.F., D.A. Bordón, and H. Burrieza. 2020.** Salinity tolerance mechanisms during germination and early seedling growth in *Chenopodium quinoa* Wild. genotypes with different sensitivity to saline stress. Environ. Exp. Bot. 172: 103995.
- Cavallaro, V., A.C. Barbera, C. Maucieri, G. Gimma, C. Scalisi, and C. Patanè. 2016.** Evaluation of variability to drought and saline stress through the germination of different ecotypes of carob (*Ceratonia siliqua* L.) using a hydrotime model. Ecol. Eng. 95: 557-566.

- Ellis, R.H., S. Covell, E.H. Roberts, and R.J Summerfield. 1986.** The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. J. Exp. Bot. 37: 1503-1515.
- Ellis R.H. and E.H. Roberts. 1980.** Towards a rational basis for testing seed quality. Pp. 605- 635. In: P. Hebblethwaite(ed.). Seed Product. Butterworths, London.
- Fazlali, R., D.E. Asli, and P. Moradi. 2013.** The effect of seed priming by ascorbic acid on bioactive compounds of naked Seed pumpkin (*Cucurbita pepovar*) under salinity stress. Int. J. Sci. 2: 587-590.
- Ford, R. 2015.** Demonstrating Osmotic Potential: One Factor in the Plant Water Potential Equation. Article 29 in Tested Studies for Laboratory Teaching, Volume 36 (K. McMahon, Editor). Proc. 36<sup>th</sup> Conf. Assoc. Biol. Lab. Educ. (ABLE).
- Gupta, B., and B. Huang. 2014.** Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. Int. J. Genomics. 2014.
- Hubbard, M., J. Germida, and V. Vujanovic. 2012.** Fungal endophytes improve wheat seed germination under heat and drought stress. Bot. 90(2): 137-149.
- Hariadi, Y., K. Marandon, Y. Tian, S.E. Jacobsen, and S. Shabala. 2011.** Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. J. Exp. Bot. 62(1): 185-193.
- Hatfield, J.L. and J.H. Prueger. 2015.** Temperature extremes: Effect on plant growth and development. Weather Clim. Ext. 10:4-10.
- Ibrahim, E.A. 2016.** Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. J. Plant Physiol. 192: 38-46.
- Ikic, I., M. Maric evic, S. Tomasovic, J. Gunjaca, Z.S. Atovic, and H.S. Arcevic. 2012.** The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheats. Euphytica. 188:25-34.
- Jacobsen, S. E. 1998.** Developmental stability of quinoa under European conditions. Ind. Crops Prod. 7(2): 169-174.
- Jacobsen, S.E., F. Liu, and C.R. Jensen, C. R. 2009.** Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)? Sci. Hortic. 122(2): 281-287.
- Jacobsen, S.E., A. Mujica, C.R. Jensen. 2003.** The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. Food Agric. Immunol. 19 (1 and 2): 99-109.
- Jami Al-Ahmadi, M. and M. Kafi. 2007.** Cardinal temperatures for germination of *Kochia scoparia* (L.). J. Arid Environ. 68: 308-314.
- Ganjeali, A., M. Parsa, and M. Khatib. 2006.** Quantifying seed germination response of Chickpea genotypes under temperature and drought stress regimes. J. Agric. 8(1): 25-89.
- Kaya, C., and D. Higgs. 2003.** Response of salt-stressed strawberry plants to supplementary calcium nitrate and/or potassium nitrate. J. Plant Nutr. 26(3): 543-560.
- Kaboli, M., and M. Sadeghi. 2001.** Effect of drought stress on germination of three Onobrochis species. Pajohesh va Sazandegi. 64(2): 51-57.(In Persian)
- Koyro, H.W., and S.S. Eisa. 2008.** Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. Plant Soil. 302(1): 79-90.
- Liang, W., X. Ma, P. Wan, and L. Liu. 2018.** Plant salt-tolerance mechanism: A review. Biochem. Physiol. 495(1): 286-291.
- Maraghni, M., M. Gorai, and M. Neffati. 2010.** Seed germination at different temperatures and water stress levels, and seedling emergence from different depths of *Ziziphus lotus*. J. Bot. 76(3): 453-459.
- Michel, B.E. and Kaufmann, M.R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiol. 51: 914-916.
- Mobli, A., A. Ghanbari, and M. Rastgoo. 2018.** Determination of cardinal temperatures of flax-leaf alyssum (*Alyssum linifolium*) in response to salinity, pH, and drought stress. Weed Sci. 66(4): 470-476.
- Munns, R., and M. Tester. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol. 59: 651-681.

- Mwale, S.S., S.N. Azam-Ali, J.A. Clark, R.G. Bradley, and M.R. Chatha. 1994.** Effect of temperature on germination of sunflower. *Seed Sci. Technol.* 22: 565–571.
- Nonogaki, H., G.W. Bassel, and J.D. Bewley. 2010.** Germination- Still a mystery. *Plant Sci.* 179(6): 574-581.
- Risi, J., and N.W. Galwey. 1984.** The Chenopodium grains of the Andes Inca crops for modern agriculture. *Adv. Appl. Biol.* 10: 145–216.
- Sen, A., and J.T. Puthur. 2020.** Influence of different seed priming techniques on oxidative and antioxidative responses during the germination of *Oryza sativa* varieties. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 25: 1-15.
- Soliman, M., A. Elkelish, T. Souad, H. Alhaithloul, and M. Farooq. 2020.** Brassinosteroid seed priming with nitrogen supplementation improves salt tolerance in soybean. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 26(3): 501-511.
- Tabrizi, L., M. Nasiri Mahalati, and A. Kochaki. 2004.** Investigation on the cardinal temperature for germination of *Plantago ovate* and *Plantago psyllium*. *J. Crops Res.* 2(4): 143-151. (In Persian)
- Tang, X., Mu, X., Shao, H., Wang, H., & Brestic, M. 2015.** Global plant-responding mechanisms to salt stress: physiological and molecular levels and implications in biotechnology. *Crit. Rev. Biotechnol.* 35(4): 425-437.
- Thiam, M., A. Champion, D. Diouf, and M. Ourèye. 2013.** NaCl effects on in vitro germination and growth of some senegalese cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivars. *J. Biol.* 34:45-65.
- Thygersson, T., J.M. Harris, B.N. Smith, L.D. Hansen, R.L. Pendleton and D.T. Booth. 2002.** Metabolic response to temperature for six populations of winterfat (*Eurotia lanata*). *Therm. Acta.* 394(1-2): 211-217.
- Vega-Gálvez, A., M. Miranda, J. Vergara, E. Uribe, L. Puente, and E.A. Martínez. 2010.** Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *J. Sci. Food Agric.* 90(15): 2541-2547.
- Wang, W., B. Vinocur, and A. Altman. 2003.** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta.* 218(1): 1-14.
- Yadav, P.V., M. Kumari, and Z. Ahmed. 2011.** Seed priming mediated germination improvement and tolerance to subsequent exposure to cold and salt stress in capsicum. *J. Seed Sci.* 4(3): 125-136.
- Yan, M. 2015.** Seed priming stimulate germination and early seedling growth of Chinese cabbage under drought stress. *South. J. Bot.* 99: 88-92.

