Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 49, No 3, Autumn 2018 (49-57)
DOI: 10.22059/ IJFCS-201605-654105

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۳، پائیز۱۳۹۷ (ص ۵۷-۴۹)

مدل‌سازی حیات بذر کینوا (*Chenopodium quinoa*) با تجزیهٔ پروبیت

آرش مامدی[۱] و رضا توکل افشاری[۲*]
۱. دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۲. استاد گروه اگروتکنولوژی دانشگاه فردوسی مشهد
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۱۵)

چکیده

حفظ کیفیت بذر از زمان برداشت تا کشت بعدی هدف اصلی نگهداری و انبارمانی بذر است و شرایط محیط انبار، به‌ویژه دو عامل دما و رطوبت از مهم‌ترین عامل‌های زوال و کاهش بنیه بذر هستند. بنابراین به‌منظور تعیین معادلهٔ بقای بذر الیس و روبرتز در رابطه با انبارمانی بذر کینوا و معرفی ثابت‌های معادلهٔ حیات بذر، آزمایشی در آزمایشگاه گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران در سال ۱۳۹٤ انجام شد. پس از تعیین قوهٔ نامیه و رطوبت اولیهٔ بذر، رطوبت آن‌ها به مقدار ۵، ۹، ۱۳ و ۱۷ درصد رسانیده شد و در بسته‌های نانو در دماهای ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درجهٔ سلسیوس قرار گرفتند. نمونه‌برداری از بذرها در فاصله‌های زمانی معین، بسته به شرایط نگهداری انجام گرفت و درصد بذر جوانه‌زده، ضریب‌های معادله و رابطهٔ سیگما با رطوبت و دما تعیین و پس از تجزیه‌وتحلیل پروبیت نمودارهای مربوط به هر شرایط رسم شد. کمترین سطح زوال بذر در دمای ۵ درجهٔ سلسیوس با رطوبت محتوی ۵ درصد بود که پس از هشت ماه انبارمانی، جوانه‌زنی از ۹۸درصد به ۹٤درصد کاهش یافت. بیشترین زوال بذر در دمای ۳۵ و ۲۵ درجهٔ سلسیوس با رطوبت محتوی ۱۷درصد بود. مقدار ضریب‌های حیات KE، CW، CH و CQ به‌ترتیب ۲/۹۳، ۰/۵۱ ، ۰/۰۱۹ و ۰/۰۰۰۳۱ بود. نتایج نشان داد، با افزایش رطوبت بذر و دما در مدت انبارمانی، درصد زنده‌مانی بذر کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: **دما، رطوبت، زوال بذر، طول عمر بذر، معادله بقای بذر.**

Modeling of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seed viability with probit analysis

Arash Mammadi [1] and Reza Tavakol Afshari [2 *]
1. Ph.D. student of Agronomy and Plant Breeding Department of Agricultural and Natural Resources University of Tehran
2. Professor of Agrotechnology Department of Ferdowsi University of Mashhad
(Received: May 10, 2016 - Accepted: December 5, 2016)

ABSTRACT

The main goal of seed storage is to maintain its quality from harvesting to sowing time. Among all factors, storage temperature and seed moisture content are the most important factors affecting seed longevity. This experiment was conducted at University of Tehran, Department of Agronomy and Plant Breeding during 1394 to determine the Ellis and Roberts deterioration model of *Chenopodium quinoa* seeds and introduce constants of viability equation. Seed viability and initial moisture content was measured and after that seeds were adjusted to 5, 9, 13 and 17% moisture content and sealed hermetically in Nano packets. Storage temperatures were 5, 15, 25 and 35˚C. The interval of sampling depended on the storage conditions. Seed viability constants were estimated to predict seed longevity in this species and relationship between sigma and moisture content and temperatures was determined. After probit analysis, survival curves were depicted in each condition. Results showed that seeds with 5% moisture content stored at 5°C had the highest germination percentage, and after 8 months seed viability decreased from 98% to 94%. But, seeds which were stored at 17% moisture content and 25 and 35°C had the highest deterioration rate. Estimates of KE, CW, CH and CQ were 2.93, 0.51, 0.019 and 0.00031, respectively. Also, the results showed that seed longevity decrease with increased seed moisture and temperature.

Keywords: moisture, seed deterioration, seed longevity, seed viability equation, temperature.

* Corresponding author E-mail: tavakolafshari@um.ac.ir

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa*)، گیاهی دولپه‌ای با حدود ۹۵ درصد خودگشنی از کوه‌های آند در منطقهٔ آمریکای جنوبی منشأ گرفته است (Jacobsen,1998). گیاهی یک‌ساله، پهن‌برگ، به ارتفاع ۲-۱ متر و ریشه‌هایی عمیق دارد. این گیاه مقاومت فراوانی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیرزنده مانند سرما، شوری و آبی از خود نشان می‌دهد و همچنین به‌خوبی قابلیت رشد در خاک‌های حاشیه‌ای دارد (Jacobsen *et al*., 2009). امروزه به دلیل کیفیت بالای محصولات دانه‌ای گیاه کینوا و ظرفیت (پتانسیل) تولیدی بالای آن در شرایط سخت در بیشتر مناطق جهان کشت و کار می‌شود (Risi and Galwey, 1984). با توجه به اینکه سرشار از پروتئین است، جایگزینی عالی برای برنج (*Oryza Sativa*) به شمار می‌آید و پروتئین موجود در کینوا از معدود پروتئین‌های غیر حیوانی است که از نظر کمی و کیفی بهتر از دانهٔ دیگر غلات است و میزان پروتئین آن دو برابر گندم (*Triticum aestivum*) است (Ruales and Naiv, 1993). بیشتر رقم‌های کینوا به‌خوبی قابلیت رشد در شوری با غلظت ۴۰ دسی زمینس بر متر و حتی بیشتر هم دارند. این میزان شوری برای بیشتر گیاهان زراعی بیش‌ازحد آستانه است (Jacobsen *et al*., 2001). بسیاری از محصولات کشاورزی (به‌ویژه زراعی) با بذر و در سراسر جهان به مقدار زیادی تولید، ذخیره و انتقال داده می‌شوند. بذرها باید جوانه‌زنی مناسب و قوهٔ نامیهٔ کافی برای رشد و نمو گیاه جدید داشته باشند (Roberts, 1973). موفقیت در مسیر تولید و برداشت به فرآیندهای پس از برداشت شامل خشک‌کردن، انبارمانی بذر و درنهایت بازگشت دوبارهٔ بذر به مزرعه بستگی دارد (Dikie *et al*., 1990). پیر شدن بذر ممکن است در اثر تولید گیاهچه‌های غیرطبیعی و عدم ظهور گیاهچه سبب ایجاد غیریکنواختی رشد محصول شود (Mondoni *et al*., 2014). به‌طورمعمول بذرها برای باقی ماندن در شرایط زنده‌مانی مناسب از زمان برداشت تا کشت دوباره در انبار نگهداری می‌شوند. دمای نگهداری بذر با توجه به هدف نگهداری متفاوت است و هرچه مدت‌زمان نگهداری بیشتر باشد، هزینهٔ آن بیشتر خواهد بود (Dehghan & Sharifzaded, 2012). آگاهی از شرایط نگهداری مناسب می‌تواند مشکلات کاهش بقای بذر را حل کند و از هزینهٔ اضافی برای پایین نگه‌داشتن دما جلوگیری کند (Roberts, 1973). پیش‌بینی طول عمر بذر کینوا می‌تواند به نگهداری بذر این‌گونه در هر مدت‌زمان خواسته‌شده کمک کند. پیش‌بینی کیفیت بذر در فرایند دورهٔ انبارمانی به درک رابطهٔ بین سه عامل رطوبت بذر، دمای نگهداری و زمان نگهداری آن بستگی دارد که در واقع بر میزان زنده‌مانی بذر مؤثرند (Dikie *et al*., 1990).

امروزه استفاده از فناوری نانو در صنایع بسته‌بندی غذا آغاز شده است. این بسته‌بندی‌ها هوشمند هستند و به تغییرپذیری‌های محیط واکنش نشان می‌دهند. فناوری نانو به‌عنوان یک فناوری بین‌رشته‌ای و پیشتاز، رفع تنگناها و کمبودها در بسیاری از عرصه‌های علمی، صنعتی و کشاورزی به اثبات رسیده است (Sánchez-Valdes *et al*., 2009). فناوری نانو کاربردهای گسترده‌ای در همهٔ مرحله‌های تولید، فراوری، نگهداری، بسته‌بندی و انتقال تولیدات کشاورزی دارد (Scott & Chen, 2012). از سودمندی‌های این فناوری می‌توان به افزایش عمر انبارمانی، حفظ کیفیت محصول در طول حمل‌ونقل اشاره کرد (Scott *et al*., 2012).

زوال بذر در طول دورهٔ انبارمانی در نتیجهٔ ترکیبی از سه عامل اصلی طول دورهٔ نگهداری، دما و رطوبت محتوای بذر رخ می‌دهد. شرایط نامساعد انبارداری منجر به زوال و کاهش کیفیت بذرها در مدت نگهداری می‌شود که به‌شدت تحت تأثیر شرایط محیطی انبارداری قرار می‌گیرد (Ellis and Hong, 2007). به‌طورکلی بذرها از نظر طول عمر و رفتار انبارمانی به سه گروه ارتدکس (Orthodox)، حد واسط (Intermediate)، و ریکال سیترانت (Recalcitrant) تقسیم می‌شوند (Plucknet *et al*., 1987). مهم‌ترین ویژگی بذرهای ارتدکس، حفظ ذخایر توارثی گیاهی و توانایی نگهداری آن‌ها به مدت طولانی در خارج از رویشگاه طبیعی است. از ویژگی‌های دیگر بذر ارتدکس، امکان نگهداری بلندمدت آن‌هاست، زیرا توان تحمل به خشکی و دمای پایین را دارند. تا حدودی بذر همهٔ گیاهان مرتعی، دارویی، زراعی و بسیاری از گیاهان جنگلی در گروه بذرهای (Orthodox) قرار می‌گیرند (Plucknet *et al*., 1987). Roberts (1973) گزارش کرد که بقای بذرهای ارتدکس (Orthodox) قابلیت کمی شدن را دارند.

Ellis and Roberts (1980) برای کمی سازی طول عمر بذر روش‌هایی را ارائه دادند که قسمت نخست آن

به‌صورت زیر است:

$$v = \frac{Ki - p}{\sigma}$$

این معادله کاهش حیات بذر را در شرایط محیطی ثابت توصیف می‌کند، به‌گونه‌ای که هر دو شرایط دمایی و رطوبت محتوای بذر ثابت باشد. v درصد جوانه‌زنی بذر به پروبیت پس از p روز نگهداری، Ki جوانه‌زنی اولیهٔ بذر به پروبیت و σ انحراف معیار توزیع نرمال از بین رفتن بذر در طول زمان (d) را نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که مقدار σ به کمک روش دوم زیر محاسبه می‌شود:

$$\log_{10}\sigma = K_E - C_W \log_{10} m - C_H t - C_Q t^2$$

این معادله، رابطهٔ بین طول عمر (σ, d) و دمای ثابت (t, °C) و رطوبت محتوی (m, %) محیط انبارمانی را نشان می دهد، به‌گونه‌ای که KE, CW, CH و CQ ضریب‌های ثابت هستند. این روش تعیین زنده‌مانی به‌صورت موفقیت‌آمیزی برای بیش از ۵۰ گونهٔ متفاوت گیاهی از جمله بذرهای علف هرز، گیاهان زراعی، گیاهان زینتی، درختان میوه‌دار و درختان جنگلی استفاده شده است (*Hong et al.*, 1996). این معادلهٔ بقا همچنین به‌صورت گسترده‌ای در شرایط خشکی برای پیش‌بینی بقای اسپورهای قارچ لکه برگی (*Alternaria porri*) (Hong *et al.*, 1997) و برای دانهٔ گردهٔ گیاه لوئی (*Typha latifolia*) (Hong *et al.*, 1999) نیز استفاده شده است. همچنین مدل ریاضی بالا برای تعیین زنده‌مانی اسپورهای قارچ (*B. bassiana*) به‌کاررفته است (Hong *et al.*, 1997). درهرصورت ضریب‌های بقا ویژه هرگونه بوده و برای هرگونه با توجه به علایق علمی، بوم‌شناختی (اکولوژیکی) و اقتصادی آن باید تعیین شوند. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر بستهٔ نانو بر طول عمر بذر و تعیین ضریب‌های معادلهٔ بقا برای بذر کینوا و ارزیابی روند کاهش قوهٔ نامیه در طول دورهٔ نگهداری با توجه به شرایط نگهداری از نظر دما و رطوبت محتوای بذر است، به‌گونه‌ای که بتوان بهترین شرایط دمایی و رطوبتی را برای نگهداری بذر پیش‌بینی کرد.

مواد و روش‌ها

بذر کینوا رقم Sajama از مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر کرج تهیه شد و در مزرعهٔ پژوهشی دانشگاه تهران کشت شد. بذرها به‌صورت دستی برداشته و در فضای باز آزمایشگاه خشک شدند. آزمایش در آزمایشگاه بذر گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۴ انجام شد. برای اندازه‌گیری رطوبت اولیهٔ محتوای بذر از روش آون با دمای بالا استفاده شد. در این روش دو نمونهٔ ۴ گرمی از بذر کینوا در دمای ۱۳۰ درجهٔ سلسیوس در آون به مدت یک ساعت استفاده شد و مقدار آن نزدیک به ۹/۲درصد به دست آمد (ISTA, 1999). برای ارزیابی جوانه‌زنی اولیه (بذرهای برداشت‌شده و پیش از انبارمانی)، چهار تکرار ۵۰ بذری در دماهای ۵، ۱۵، ۲۵، ۳۵ در پتری دیش روی کاغذ صافی به مدت ۷ روز آزمایش شد و مقدار آن در همهٔ دماها ۱۰۰ درصد بود. در همهٔ مرحله‌های این آزمایش بذرهایی در پایان هر شرایط انبارمانی زنده به‌شمار می‌آمدند که بنا بر استانداردهای انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA, 1999)[1]، توانایی تولید گیاهچه‌های معمولی را داشتند (در واقع تنها خروج ریشه‌چه هنگام جوانه‌زنی به معنی زنده ماندن بذر در پایان انبارمانی نبود). بذرها با محتوای رطوبت ۵، ۹، ۱۳ و ۱۷ درصد در دماهای ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درجهٔ سلسیوس به مدت ۸ ماه نگهداری شدند. به فاصلهٔ یک ماه یک‌بار نمونه‌برداری انجام شد (آخرین نمونه‌برداری در ماه هشتم) و آزمون جوانه‌زنی همان‌طور که در بالا توضیح داده شد، انجام می‌گرفت. برای ایجاد رطوبت‌های مورد نظر از رابطهٔ زیر استفاده شد (Hampton and Teckrony, 1995):

$$W2 = W1\frac{(A - B)}{(100 - A)}$$

در این معادله B درصد رطوبت اولیهٔ بذر، A درصد رطوبت مورد نظر، w1 وزن اولیهٔ تودهٔ بذر و W2 وزن آب مقطر است. بذرها را درون بسته‌های نانو قرار داده و سپس مقدار آب مورد نظر به آن اضافه شد و برای اطمینان از عدم تبادل رطوبت با بیرون در بسته‌ها توسط دستگاه دوخت پلاستیکی بسته شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۵ درجهٔ سلسیوس قرار گرفتند تا رطوبت بذرها یکسان شود. بسته‌های نانو از شرکت نانو بسپار آیتک شهر تهران فراهم شد. برای کاهش رطوبت بذر از ۹درصد به ۵درصد، بذرها

1. International Seed Testing Association (ISTA)

در آزمایشگاه در بالای دستگاه آون که گرم بود، قرار گرفتند. این بذرها هر یک ساعت وزن می‌شدند، تا اینکه به رطوبت ۵درصد رسید، بسته‌بندی شد. بسته‌های نانو نسبت به رطوبت و گازها نفوذناپذیر است (Scott & Chen, 2012). پس‌ازاینکه رطوبت بذرها به درصد مورد نظر رسانده شدند، برای اطمینان از نبود تبادل رطوبت بذر با محیط بیرون و ثابت ماندن رطوبت بذر، بسته‌های نانو استفاده شدند. داده های به‌دست‌آمده با استفاده از معادله‌های بقای بذر با به‌کارگیری نرم‌افزار آماری SAS تجزیهٔ پروبیت شدند (Ellis and Roberts, 1980). نمودار مربوطه با نرم‌افزار Excel ترسیم شد. منحنی‌های بقای بذر با درصد جوانه‌زنی تهیه‌شده با تبدیل پروبیت رسم شدند. تأثیر رطوبت محتوای بذر و دما بر طول عمر بذر با تجزیهٔ رگرسیونی در مدل‌های خطی بررسی شدند.

نتایج و بحث

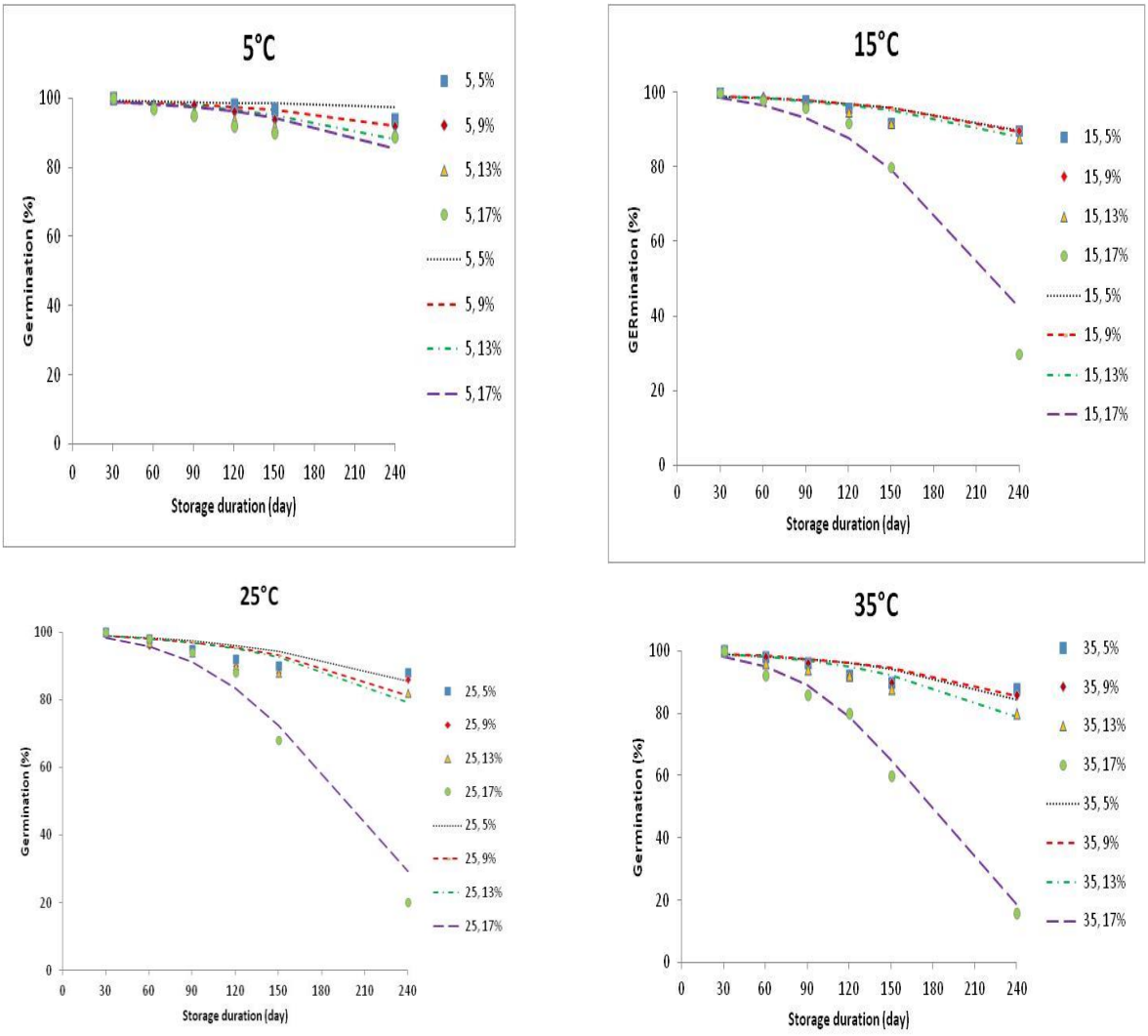
در آغاز به دلیل یکی بودن تودهٔ بذر اولیه، می‌توان از مدل عرض از مبدأ ثابت (Common intercept line)، محاسبهٔ یک عرض از مبدأ برای همهٔ محیط‌های نگهداری و شیب های متفاوت برای محیط نگهداری مختلف، استفاده کرد. برای امکان استفاده از ضریب‌های مدل عرض از مبدأ ثابت (حالتی که شیب‌های کاهش قوهٔ نامیهٔ بذر متفاوت هستند) با آزمون F این امکان بررسی شد. نتایج مربوطه در جدول (۱) بیانگر این مطلب است که استفاده از این مدل خطای آزمایش را نسبت به مدل خطای جداگانه (Separate line)، محاسبهٔ شیب و ثابت معادله برای هر یک از محیط‌ها، افزایش نمی‌دهد. لذا می‌توان ثابت معادله را برای همهٔ محیط‌ها یکسان فرض کرد و تنها عامل متغیر بین محیط های مختلف نگهداری شیب خواهد بود. به دلیل معنی‌دار نشدن F در آزمون برای محاسبهٔ شیب‌ها از مدل عرض از مبدأ ثابت استفاده شد (جدول ۱). درصورتی‌که در مدل سازی حیات بذر اگر F معنی‌دار شود، ضریب‌های حیات بذر قابل پیش‌بینی نخواهد بود. معنی‌دار بودن میزان F value بیانگر این است که افزون بر متغیر بودن میزان شیب برای هریک از معادله‌ها یک مقدار ثابت عرض از مبدأ نیز در معادله تأثیر خواهد شد. در این صورت برازش کردن مدل خطای آزمایشی را افزایش می‌دهد (Ellis and Hong, 2007).

درصد جوانه‌زنی با افزایش رطوبت بذر و دمای انبار کاهش یافت (شکل ۱). در دمای ۵ درجهٔ سلسیوس، افزایش رطوبت بذر از ۵ به ۱۷درصد سبب کاهش ۱۵درصد جوانه‌زنی در رطوبت ۱۷درصد پس از ۲۴۰روز انبارمانی شد و در رطوبت‌های ۵ تا ۱۳درصد تغییر چندانی وجود نداشت. لیکن در مدت انبارمانی کمتر از ۱۲۰ روز تفاوت چندانی نداشت. با افزایش دما از ۵ به ۱۵ درجهٔ سلسیوس تا ۹۰ روز تفاوت زیادی در کاهش جوانه‌زنی در همهٔ سطوح رطوبتی وجود نداشت. ولی با افزایش مدت انبارمانی تنها در رطوبت ۱۷درصد تغییر شدیدی در کاهش جوانه‌زنی صورت گرفت، به‌گونه‌ای که تا ۲۴۰ روز انبارمانی درصد جوانه‌زنی نزدیک به ۴۰درصد کاهش یافت. اما در دیگر سطوح رطوبتی تفاوت چندانی تا ۲۴۰ روز انبارمانی وجود نداشت.

با افزایش دما به ۲۵ درجهٔ سلسیوس، در سطوح رطوبتی ۵، ۹ و ۱۳درصد تا ۱۵۰ روز انبارمانی تفاوت چندانی وجود نداشت. اما پس از ۲۴۰ روز انبارمانی درصد جوانه‌زنی نزدیک به ۹۰ درصد کاهش یافت. در رطوبت بذر ۱۷درصد، همانند دمای ۱۵ درجهٔ سلسیوس پس از ۹۰ روز انبارمانی تغییرپذیری شدیدی در کاهش جوانه‌زنی معمولی وجود داشت، به‌طوری‌که درصد جوانه‌زنی به ۳۰ درصد کاهش یافت و این مقدار کاهش نسبت به دمای ۱۵ درجهٔ سلسیوس بیشتر بود. در دمای ۳۵ درجهٔ سلسیوس، پس از ۹۰ روز انبارمانی در رطوبت محتوای بذر ۱۷درصد تغییرپذیری شدیدی در کاهش جوانه‌زنی صورت گرفت، به طوری‌که تا روز آخر انبارمانی درصد جوانه‌زنی به حدود ۲۰ درصد کاهش یافت. اما در دیگر سطوح رطوبتی پس از ۲۴۰ روز انبارمانی درصد جوانه‌زنی معمولی به حدود ۸۵ درصد کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهد، با افزایش توأم دما و رطوبت بقای بذر در مدت‌زمان کمتری کاهش می یابد. در نتیجه با افزایش دما به ۲۵ درجهٔ سلسیوس و افزایش رطوبت به ۱۷درصد در مدت انبارمانی، زنده‌مانی بذر با سرعت بیشتری کاهش یافت. در بررسی روی بذر گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، مشخص شد که با افزایش دما طول عمر بذر کاهش یافت (Hung *et al.*, 2001). در آزمایش دیگر روی ماش (*Vigna radiata*) نیز مشخص شد که با افزایش دما و رطوبت، در رطوبت‌های اولیه ۷، ۹، ۱۱ و ۱۳ درصد و دماهای نگهداری ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۲۷ درجهٔ سلسیوس در یک دورهٔ ۱۸ ماهه، زوال بذر

افزایش یافت (Pradidwang, 2004).

تغییرپذیری‌های کوچک در رطوبت بذر هنگامی‌که بین ۱۲ تا ۱۶ درصد باشد، تأثیر زیادی بر قابلیت انبارمانی دارد (Tang *et al*., 1999). با افزایش رطوبت بذر و دما، توان بذر نخستین جزء کیفیت بذر است که کاهش می‌یابد و به دنبال آن جوانه‌زنی و قوهٔ نامیه کاهش می‌یابند (Basra *et al*., 2003). هر یک از شرایط متفاوت دمایی و رطوبت بذر، سبب اختلاف‌های معنی‌داری در جوانه‌زنی بذر کینوا شد. شرایط انبارمانی متفاوت، سبب اختلاف‌های معنی‌داری در جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهان می‌شود (Marshal and Lewis, 2004). در آزمایش دیگر روی بذر ذرت (*Zea mays* L.) نیز مشخص شد با افزایش رطوبت بذر، بنیهٔ بذر با شیب بیشتری کاهش یافت (Tang *et al*., 2000). منحنی طول عمر بذر به‌صورت سیگموئیدی است (Basra *et al*., 2003)، به‌طوری‌که در آغاز انبارمانی، جوانه‌زنی تا مدتی بدون تغییر بوده که بسته به شرایط انبارمانی متفاوت است.



شکل ۱. بقای (جوانه‌زنی معمولی در طول مدت انبارمانی) بذرهای ذخیره‌شدهٔ کینوا در سطح‌های گوناگون دمایی و رطوبتی ثابت. نمادها مقدار مشاهده‌شده و خطوط مقدار پیش‌بینی‌شده را نشان می‌دهد.

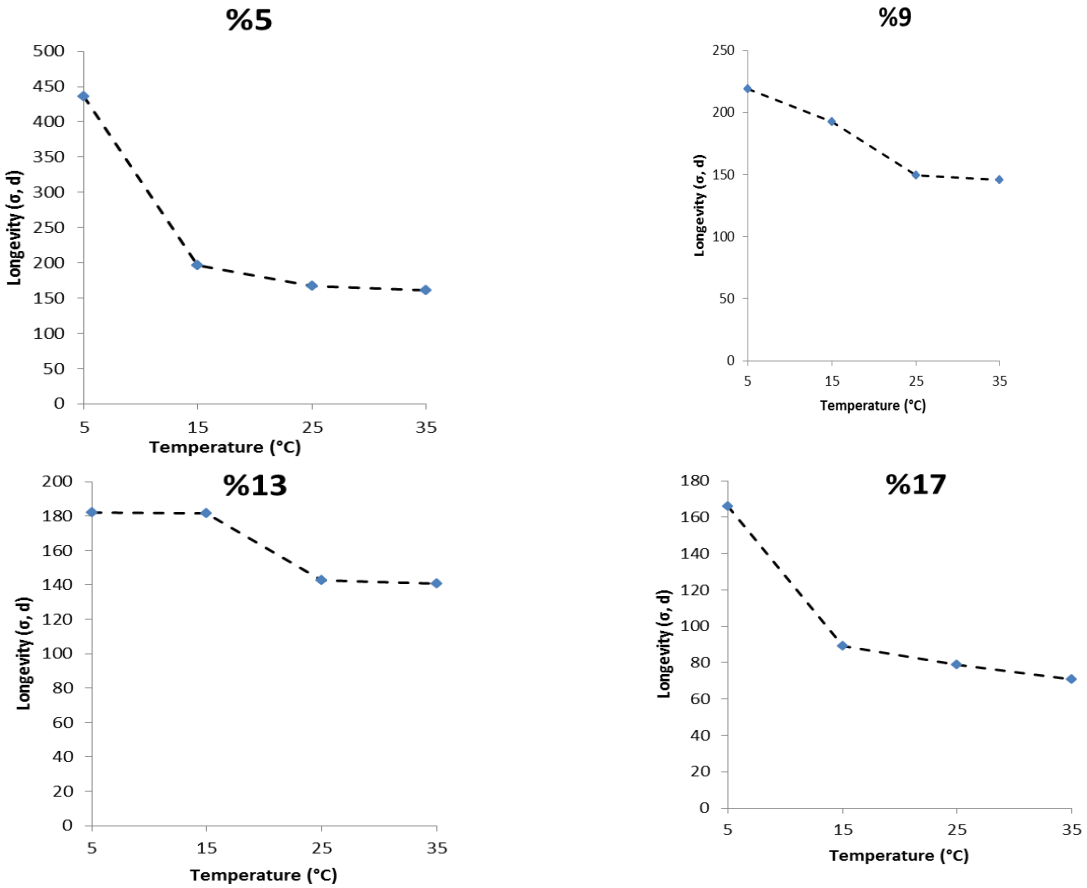
Figure 1. Survival (normal germination duration of experimental storage) of seeds of quinoa stored at constant temperatures and moistures. The symbols shows observed germination and the fitted curves shows predict germination.

ارتباط بین مقدار سیگما (مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا یک واحد پروبیت جوانه‌زنی کاهش یابد) برحسب روز با دما در سطوح گوناگون رطوبتی نشان داده شده است (شکل

۲). بنابراین در شکل (۲) خطوط طول عمر به‌دست‌آمده در رطوبت‌های مختلف محتوای بذر کینوا را نشان می‌دهد که در هر یک از سطوح رطوبتی با افزایش دما، مقدار سیگما (طول عمر بذر) کاهش می‌یابد. Fantinati و Usberti (2007) نیز برای بذر اکالیپتوس (*Eucalyptus spp*) نشان دادند، با افرایش رطوبت محتوای بذر و دمای نگهداری مقدار سیگما کاهش یافت، به‌عبارت‌دیگر با افرایش دما در مدت‌زمان کمتر یک واحد پروبیت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که با افرایش سطوح رطوبتی بذر مقدار سیگما در دماهای بالا بیشتر کاهش یافت و معادلهٔ طول عمر بذر (یادشده در قسمت مقدمه) به‌درستی، رابطهٔ بین سیگما، دما و نگهداری را تعیین می کند. ضریب‌های حیات محاسبه‌شده برای شرایط بررسی‌شده به‌صورت زیر است:

KE= 2.93, CW= 0.51, CH=0.019, CQ=0.00031

$$V = \frac{Ki - p}{10^{2.93 - 0.51 \log_{10} m - 0.019t - 0.00031 t^2}}$$



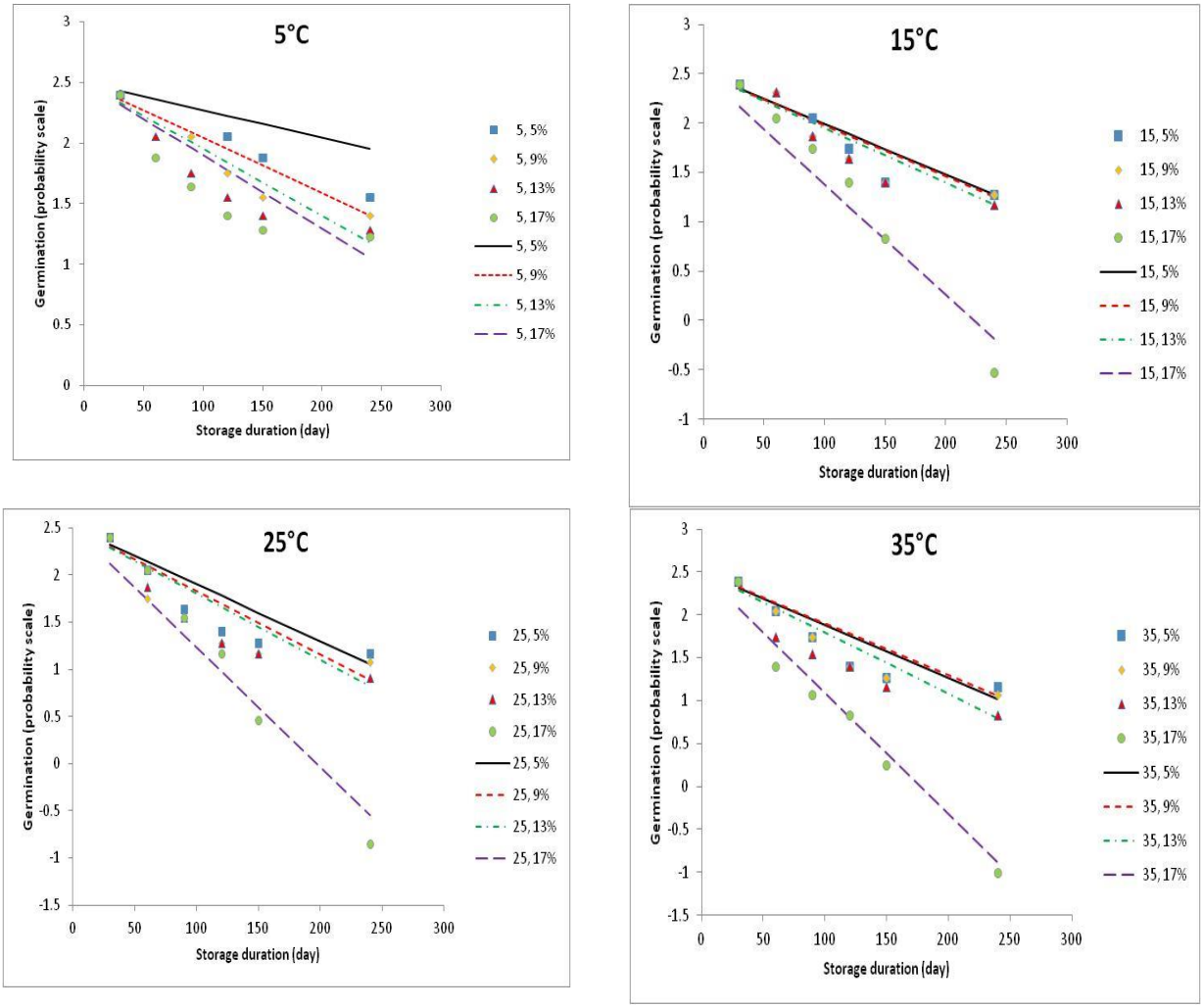
شکل ۲. ارتباط بین سیگما بذرهای ذخیره‌شدهٔ کینوا در سطح گوناگون رطوبتی و دمایی ثابت (۵ تا ۳۵ درجهٔ سلسیوس) .

Figure 2. Relationship between the longevity of quinoa seed stored at varied moisture contents and constant temperatures between 5 and 35°C

با داشتن قوهٔ نامیهٔ اولیهٔ بذر و دمای نگهداری بذر و رطوبت بذر پس از P روز نگهداری، کیفیت بذر قابل محاسبه است. این معادله برای بذر گونه‌های جنگلی نیز استفاده می‌شود (Dickie *et al.*, 1990). البته ضریب‌های

محاسبه‌شده برای هرگونه متفاوت بوده و مختص به همان‌گونه است (Usberti *et al.*, 2006). از معادلهٔ حیات برای پیش‌بینی قابلیت حیات (جوانه‌زنی طی نگهداری) استفاده شده است (Tang *et al.*, 2000). در شکل ۳ مقادیر جوانه‌زنی بذرها برحسب پروبیت در طول زمان نشان داده شده است که نقاط مقادیر مشاهده شده هستند. این تبدیل درصد جوانه‌زنی به پروبیت جوانه‌زنی به دلیل ایجاد رابطه‌ای خطی بین کاهش قوهٔ نامیه و زمان در مدت انبارمانی است (ایجاد یک شیب ثابت در طول زمان).

خطوط نیز، مقدار محاسبه‌شده با فرمول معادلهٔ بقا برای هر محیط جوانه‌زنی است. خطوط بقای بذر در دماهای نشان داده شده (شکل ۳) تأثیر رطوبت محتوای بذر و دما را بر قابلیت نگهداری بذر نشان می‌دهد. توزیع معمولی در طول عمر بذر و خطوط بقا، نتایج Ellis (1984) را تأیید می‌کند، به‌طوری‌که هنگامی رطوبت بذر (در محدوده ۱/۲ تا ۱۸درصد) و دمای نگهداری کاهش یابند، افزایش قابل پیش‌بینی در طول عمر بذر وجود دارد.



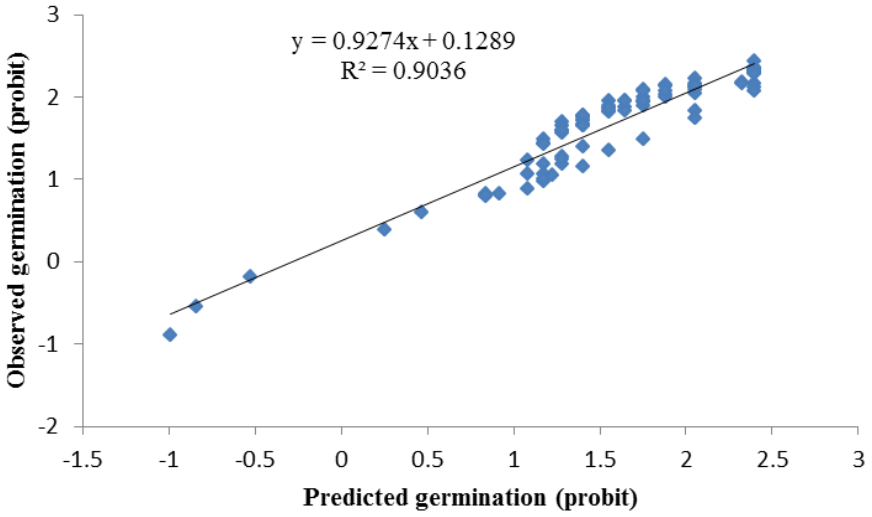
شکل ۳. رابطه‌های رگرسیونی بقای بذر بین مقادیر مشاهده شده (نقطه‌ها) و محاسبه‌شده (خط‌ها) در دماها و رطوبت‌های مختلف (برحسب مدل پروبیت).

Figure 3. Regression relationship of quinoa seed survival at different moistures and temperatures (in terms of probit model).

مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهده شده قوهٔ نامیه پس از مدت‌زمان نگهداری در شکل ۴ مشاهده می‌شود. متناسب

شدن رابطهٔ Y=X بین دو متغیر به معنی یکسان بودن مقادیر مشاهده شده و برآوردی است (Dehghani and

Sharifzadeh, 2012)، بنابراین در مورد معادلهٔ یادشده اعتبار مدل تأیید می‌شود. به‌عبارت‌دیگر پس از انجام رگرسیون، به‌گونه‌ای که ثابت معادله با عدد ۰ و شیب معادله با عدد ۱ تفاوت معنی‌داری نداشته باشد، به منزلهٔ درستی رابطهٔ بالا و تأیید مدل است. همچنین پراکندگی مناسب نقاط اطراف خط رگرسیون (شکل ۴) تأییدی بر این مدعاست.



شکل ۴. معادلهٔ خط رگرسیونی بین مقادیر مشاهده شده و محاسبه‌شده داده‌های بذرهای کینوا.

Figure 4. Regression line between observed and predicted of seed germination of quinoa.

جدول ۱. مقایسهٔ دو مدل و محاسبهٔ F.

Table1. Comparison between models and F calculation.

Model	Free degree	Scaled Deviance	Scaled Deviance means	
Separate line	60	86.85	1.447	$F=1.95^{ns}$
Common intercept line	75	129.34	1.724	

نتیجه‌گیری کلی

از مهم‌ترین عامل‌های دخیل در انبارمانی، دمای نگهداری و رطوبت محتوی بذر است. با استفاده از معادلهٔ حیات به‌دست‌آمده می‌توان بهترین شرایط نگهداری برای بذر کینوا را به‌گونه‌ای که کمترین سطح زوال را در پی داشته باشد، اعمال شود. با افزایش دما و رطوبت بذر، کاهش درصد جوانه‌زنی را به همراه داشت که کاهش بنیهٔ بذر با افزایش رطوبت محتوی آن به ۱۷درصد در دماهای ۳۵ و ۲۵ درجهٔ سلسیوس شیب بیشتری داشت، ولی در دماهای پایین با رطوبت بذر کمتر، کاهش بنیهٔ بذر شیب کمتری داشت. به نظر می‌رسد کاهش کمتر قوهٔ نامیهٔ بذر در دماها و رطوبت محتوی بالا به دلیل بسته‌بندی از نوع نانو بوده است.

REFERENCES

1. Basra, S.M.A., Ahmad, N., Khan, M.M., Iqbal, N. & Cheema, M. A. (2003). Assessment of cotton seed deterioration during accelerating aging. *Seed Science and Technology*, 31, 531-540.
2. Dehghan, M. & Sharifzadeh, F. (2012). The estimation of viability equation in seeds of perennial rye (*Secale montanum*) under different conditions of temperature and moisture content. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*, 94, 16-22 (In Farsi).
3. Dikie, J.B., Ellis, R.H., Kraak, H.L., Ryder, K. & Tompsett, P.B. (1990). Temperature and seed storage longevity. *Annals of Botany*, 65, 197-204.
4. Ellis, R. H. & Roberts, E. H. (1980). Improved equations for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany*, 45, 13-30.
5. Ellis, R. H. (1984). The meaning of viability seed management techniques for bank. *International board for plant Genetic Resources*, 75, 12-27.

6. Ellis, R.H. & Hong, T.D. (2007). Quantitative response of the longevity of seed of twelve crops to temperature and moisture in hermeric storage. *Seed Science and Technology*, 35,432-444.
7. Fantinatti, J. B. & Usberti, R. (2007). Seed viability constants for *Eucalyptus grandis. Pesquisa Agropecuaria Brasilia*, 42,111-117.
8. Hampton, J.G. & TecKrony, D.M. (1995). Handbook of vigor test methods. *The International Seed Testing Association*, 117p.
9. Hong, T. D., Ellis, R. H. & Moore, D. (1997). Development of a model to predict the effect of temperature and moisture content on fungal spore longevity. *Annals of Botany*, 79, 121-128.
10. Hong, T. D., Ellis, R. H., Buitink, J., Walters, C., Hoekstra, F. A. & Crane. J. (1999). A model of the effect of temperature and moisture on pollen longevity in air-dry storage environments. *Annals of Botany*, 83, 167-173.
11. Hung, L. Q., Hong, T. D. & Ellis, R. H. (2001). Constant, fluctuating and effective temperature and seed longevity: a tomato (*Lycopersiconesculentum Mill*.) example. *Annals of Botany*, 88, 465-470.
12. International Seed Testing Association (ISTA). (1999). International rules for seed testing. *Seed Science and Technology*, 27, 1-303.
13. Jacobsen, S. E. (1998). Developmental stability of quinoa under European conditions. *Industrial Crops and Products*, *7*(2), 169-174.
14. Jacobsen, S. E., Liu, F. & Jensen, C. R. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, *122*(2), 281-287.
15. Jacobsen, S. E., Quispe, H. & Mujica, A. (2001). Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. Scientist and Farmer-Partners in Research for the 21st Century. *CIP Program Report*, 2000, 403-408.
16. Marshal, A. & Lewis, D.N. (2004). Influence of seed storage conditions on seedling emergence, seedling growth and dry matter production of temperate forage grasses. *Seed Science and Technology*, 32, 493-501.
17. Mondoni, A., Orsenigo, S., Donà, M., Balestrazzi, A., Probert, R. J., Hay, F. R. & Abeli, T. (2014). Environmentally induced transgenerational changes in seed longevity: maternal and genetic influence. *Annals of Botany*, 113(7), 1257-1263.
18. Plucknett, D.L., Smith, N.J.H., Williams, J.T. & Anishetty, N.M. (1987). Seed Banks and the World's Food. *Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA*, 8, 1987- 264.
19. Pradidwong, S., Isarasenee, A. & Pawelzik, E. (2004). Prediction of mungbean seed longevity and quality using the relationship of seed moisture content and storage temperature. *Deutscher Tropentag*, 91, 2-7.
20. Risi, N.W. & Galwey, j. (1984). The *Chenopodium* grains of the Andes Inca crops for modern agriculture. *Advances in Applied Mathematics*, 10, 145–216.
21. Roberts, E. H. (1961). The viability of rice seed in relation to temperature, moisture content and gaseous environment. *Annals of Botany*, 25(3), 381-390.
22. Roberts, E. H. (1973). Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology* ,1, 499-514.
23. Ruales, J. & Nair, B.M. (1993). Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. *Food Chemistry*. 48, 131-136.
24. Sánchez-Valdes, S., Ortega-Ortiz, H., Ramos-de Valle, L. F., Medellín-Rodríguez, F. J. & Guedea-Miranda, R. (2009). Mechanical and antimicrobial properties of multilayer films with a polyethylene/silver nanocomposite layer. *Journal of applied polymer science*, 111(2), 953-962.
25. Scott, N. & Chen, H. (2012). Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems. *Industrial Biotechnology*, 8(6), 340-343.
26. Tang, S., Tekriny, D.M., Egli, D.B. & Cornelius, P.L. (1999). Survival characteristics of corn seed during storage. II. Rate of seed deterioration. *Crop Science*, 39, 1400-1406.
27. Tang, Sh, Dennis, M. & TeKrony, B. (2000). An alternative model to predict corn seed deterioration during Storage. *Crop Science*, 40, 463-470.
28. Usberti, R., Roberts, E.H. & Ellis, R.H. (2006). Prediction of cotton seed longevity. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41 (9), 1435-1441.