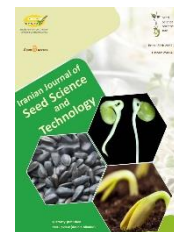







Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Effect of planting date on germination indices and biochemical activity of seed in different genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)

Hassan Nasiri Avanaki¹ , Seyed Mohammad Reza Ehteshami^{2*} , Mahmoud Bagheri³ 

1. Ph.D student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
3. Faculty member, Seedling and Seed Breeding Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Article Information

Received: 31 Jul. 2023
Revised: 16 Aug. 2023
Accepted: 20 Aug. 2023

Keywords:

Anti-oxidant,
Germination,
Malondialdehyde,
Protein,
Quinoa

Corresponding Author:

smrehteshami@yahoo.com



Abstract

In order to investigate the effect of planting date on germination characteristics and biochemical activity of seed in different quinoa genotypes, an experiment was conducted in the Research Laboratory of Seed Physiology and Biotechnology of the Faculty of Agricultural Sciences at University of Guilan in 2019. The experiment was performed as a split plot in the form of a Randomized Complete Block Design in three replications. The seeds of three genotypes T, R and Q29 were planted on six planting dates: 15 January, 15 February, 15 March, 15 February, 15 May and 15 June in the research farm of Karaj Seedling and Seed Breeding Research Institute. The harvested seeds from the treatments available in the field were transferred to the laboratory in order to investigate seed germination characteristics and vigour, and were measured germination percentage and rate, length and weight of the seedling, length and weight index of the seed vigour, electrical conductivity of the seed solution, and biochemical characteristics of soluble protein content, malondialdehyde content, alpha amylase, catalase and peroxidase enzyme activity. The interaction of two factors was significant on germination percentage, germination rate, number of abnormal seedlings, activity of alpha-amylase, catalase, peroxidase and superoxide dismutase enzymes, soluble protein content, malondialdehyde content and electrical conductivity of seed solution. The number of abnormal seedlings was highest in Rosada genotype in April, May and June and in Titicaca genotype was in May. The three planting dates of 15 January, 15 February, 15 March in Q29 genotype showed the highest percentage, germination rate, alpha-amylase enzyme activity and the highest number of abnormal seedlings. Electrical conductivity of the seed solution and malondialdehyde content in Q29 genotype were higher than the other two genotypes.

How to cite this paper: Nasiri Avanaki, H., Ehteshami, S.M.R., Bagheri, M. (2024). Effect of planting date on germination indices and biochemical activity of seed in different genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 13 (2), 79-99. <https://doi.org/10.22092/ijst.2023.363046.1496>



© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) is a highly nutritious food product with excellent protein quality, high content of vitamins and minerals, and low gluten. In addition, quinoa, as a drought and salinity-resistant plant, has the ability of high yield under abiotic stress conditions such as drought and salinity. Seed vigor is an important characteristic of its quality that is used to describe seed yield in the field, and it includes acceptable and uniform seed germination, seedling growth, the ability to emerge under adverse environmental conditions, and the maintenance of these characteristics after storage. One of the most important factors affecting seed vigor is the planting date, because environmental factors, especially temperature and humidity, change during seed development and maturation through planting date. Seeds with strong vigor have a high ability to tolerate environmental stresses and high germination percentage. They are also able to produce stronger seedlings.

Material and Methods

In order to investigate the effect of planting date on germination characteristics and biochemical activity of seed in different quinoa genotypes, an experiment was conducted in the Research Laboratory of Seed Physiology and Biotechnology of the Faculty of Agricultural Sciences at University of Guilan in 2019. The experiment was performed as a split plot in the form of a Randomized Complete Block Design in three replications. The seeds of three genotypes T, R and Q29 were planted on six planting dates: 15 January, 15 February, 15 March, 15 February, 15 May and 15 June in the research farm of Karaj Seedling and Seed Breeding Research Institute. The harvested seeds from the treatments available in the field were transferred to the laboratory in order to investigate seed germination characteristics and vigour, and were measured germination percentage and rate, length and weight of the seedling, length and weight index of the seed vigour, electrical conductivity of the seed solution, and biochemical characteristics of soluble protein content, malondialdehyde content, alpha amylase, catalase and peroxidase enzyme activity.

Results and Discussion

The interaction of two studied factors on germination percentage, germination rate, length index of seedling vigor, activity of alpha-amylase, catalase, peroxidase and superoxide dismutase enzymes, soluble protein content, malondialdehyde content and electrical conductivity of the seed solution was significant, while the effect of genotype on seedling dry weight and seedling vigor index was significant. Germination

percentage and alpha-amylase enzyme activity were high in Rosada and low in other two genotypes. Obtained seeds from the months of January, March, and April in Rosada, February and April in Q29, and January, March, and April in Titicaca had similar germination rates and were placed in the same statistical group. Seedling length and seedling vigor index were higher in the planting dates of January and February than in March and April in Rosada. The electrical conductivity of seed solution and malondialdehyde content were maximum in obtained seeds from Q29 and sowing date in January. The electrical conductivity of seed solution in Rosada was lower than other two genotypes at all planting dates. Titicaca recorded the highest seed soluble protein content in all planting dates. Catalase and peroxidase enzyme activities in Rosada and superoxide dismutase enzyme activity in Q29 were higher than other two genotypes.

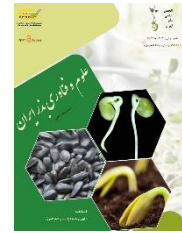
Free radicals in cells cause damage to membrane lipids and fatty acids and produce lipid, peroxy and hydroperoxy radicals. These produced radicals can accelerate lipid (fatty acid) oxidation reactions. Seeds with lower vigor had higher MDA content, and damage to the plasma membrane represents a loss of membrane integrity following changes in its phospholipid composition. These seeds also show low germination and seedling growth. In the present research, on the first sowing date, its delay probably caused an increase in malondialdehyde content by reducing the activity of antioxidant enzymes (catalase and peroxidase). These changes have led to lower seed vigor, as a result of the coincidence of the development and seed filling period with unfavorable weather conditions, which has affected the quality of produced seed. High-vigorous seeds prevent damage to cell membranes by synthesizing antioxidant enzymes, making cell membranes more stable, and producing lower malondialdehyde content.

Conclusion

The success of seed germination is highly dependent on the antioxidant mechanisms that operate during germination. The reduction in antioxidant enzymes activity is an explanation for the decrease in germination percentage and rate, radicle length, and reduced vigor in low-quality seeds. It seems two factors of temperature and humidity, which change with sowing date, change both the quantity and quality of produced seeds. The occurrence of high temperatures or moisture stress, which is often associated with delayed planting, causes a decrease in the rate of photosynthesis and a decrease in seed size compared to optimal temperatures, it also affects the production of sugars, proteins, and other metabolites in seed.

انجمن
علمی
بذر
ایرانسازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات بذر و نهال

نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

اثر تاریخ کشت بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و فعالیت بیوشیمیایی بذر
در ژنوتیپ‌های مختلف کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*)حسن نصیری اوانکی^۱ ID، سید محمدرضا احتشامی^{۲*} ID، محمود باقری^۳ ID

۱. دانشجوی دکترای زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۳. عضو هیأت علمی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹

واژه‌های کلیدی:

مالون دی آلدئید،

پروتئین،

آنتی‌اکسیدان،

کینوا،

جوانه‌زنی

نویسنده مسئول:

smrehteshami@yahoo.com

به منظور بررسی اثر تاریخ کشت بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و فعالیت بیوشیمیایی بذر در ژنوتیپ‌های مختلف کینوا، آزمایشی در آزمایشگاه تحقیقاتی فیزیولوژی و زیست فناوری بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. بذور سه ژنوتیپ T، Rosada و Q29 در شش تاریخ کشت ۱۵ دی، ۱۵ بهمن، ۱۵ اسفند، ۱۵ فروردین، ۱۵ اردیبهشت و ۱۵ خرداد در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج کشت شدند. بذور برداشت شده از تیمارهای موجود در مزرعه به منظور بررسی ویژگی‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر به آزمایشگاه منتقل شده و صفات در صد و سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن خشک گیاهچه، شاخص طولی و وزنی بنیه بذر و هدایت الکتریکی محلول بذر و صفات بیوشیمیایی محتوی پروتئین محلول، محتوی مالون‌دی‌آلدئید، فعالیت آنزیم آلفا‌آمیلاز، کاتالاز و پراکسیداز اندازه‌گیری شد. اثر متقابل دو عامل بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، تعداد گیاهچه غیرعادی، فعالیت آنزیم‌های آلفا‌آمیلاز، کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیداز و محتوی پروتئین محلول، محتوی مالون‌دی‌آلدئید و هدایت الکتریکی محلول بذر معنی‌دار شد. بیشترین تعداد گیاهچه غیرطبیعی در ژنوتیپ Rosada در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد و در ژنوتیپ Titicaca در اردیبهشت بود. سه تاریخ کشت دی، بهمن و اسفند در ژنوتیپ Q29 بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم آلفا‌آمیلاز و بالاترین تعداد گیاهچه غیرعادی را نشان دادند. هدایت الکتریکی محلول بذر، محتوی مالون‌دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیداز در ژنوتیپ Q29 بالاتر از دو ژنوتیپ دیگر بود.

نحوه استناد به این مقاله:

Nasiri Avanaki, H., Ehteshami, S.M.R., Bagheri, M. (2024). Effect of planting date on germination indices and biochemical activity of seed in different genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 13 (2), 79-99. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2023.363046.1496>

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) یک محصول غذایی بسیار مغذی با کیفیت پروتئین فوق‌العاده و محتوی بالا از ویتامین‌ها و مواد معدنی و گلوتن پایین می‌باشد. این گیاه از محصولات غذایی اصلی در کوه‌های آند بوده، اما در سال‌های اخیر علاقه‌مندی به این گیاه در ایالات متحده، اروپا و آسیا افزایش یافته است. از این گیاه می‌توان در پخت و پز، خوراک دام، علوفه سبز، صنایع غذایی مانند تولید ماکارونی و کلوچه، استفاده صنعتی از نشاسته، پروتئین و ساپونین استفاده کرده (Jacobsen, 2003) و پتانسیل بالایی برای کشت به‌عنوان گیاه جدید در سراسر دنیا دارد (Hirich et al., 2014). علاوه بر این کینوا به‌عنوان گیاه مقاوم به خشکی و شوری، توانایی عملکرد بالا در شرایط تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و شوری را دارا می‌باشد (Rezzouk et al., 2020).

برای رسیدن به عملکرد بالا در همه گونه‌های گیاهی، نیازمند استفاده از بذر با کیفیت می‌باشیم (Zhu et al., 2015). بنیه بذر، ویژگی مهمی از کیفیت بذر بوده که برای توصیف عملکرد بذر در مزرعه مورد استفاده قرار می‌گیرد و شامل جوانه‌زنی قابل قبول و یکنواخت بذر، رشد گیاهچه، قابلیت ظهور در شرایط نامساعد محیطی و حفظ این خصوصیات پس از انبارداری می‌باشد (Finch-savakg & Bassel, 2016). این ویژگی فیزیولوژیک در بذر را می‌توان با تعداد بذرهای جوانه‌زده در آزمایش جوانه‌زنی و وزن یا طول نهایی گیاهچه‌ها ارزیابی کرد. این صفت به‌طور مستقیم تحت تاثیر زمینه ژنتیکی گیاه و شرایط محیطی حین نمو بذر قرار می‌گیرد (Sun et al., 2007). در این بین شاید از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر بنیه بذر بتوان تاریخ کاشت را معرفی کرد، چون عوامل محیطی به‌ویژه دما و رطوبت حین نمو بذر و رسیدگی از طریق تاریخ کاشت تغییر می‌کند (Gorzin et al., 2015). با انتخاب تاریخ کشت مناسب می‌توان، شرایط محیطی دوره نمو را کنترل کرده و کیفیت بذرهای تولیدی را تضمین کرد. تاریخ‌های مختلف کاشت از طریق به حداقل رساندن اثرات منفی تنش‌های غیرزیستی بر گیاهان، نقش عمده‌ای در عملکرد کمی و کیفی و نیز ظرفیت جوانه‌زنی بذر تولیدی خواهند داشت، زیرا درجه حرارت، تابش و طول روز در دوره گل‌دهی و نمو بذر با

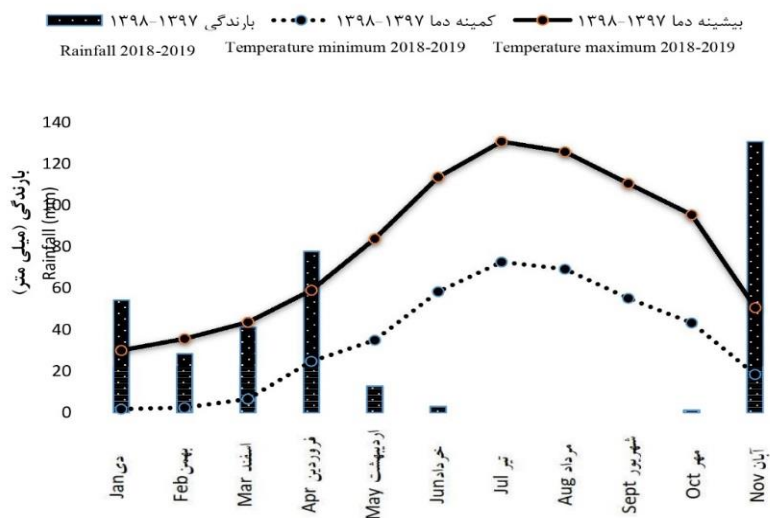
تغییر تاریخ کشت، تغییر خواهد کرد (Mirshekari et al., 2013). Gusta et al. (2004) گزارش کردند که تاریخ کاشت کیفیت و بنیه بذر تولیدی در کلزا را تغییر داده و در نتیجه بنیه گیاهچه و عملکرد گیاه در نسل بعدی را تغییر می‌دهند. در نخود فرنگی گزارش شده است که تاریخ کاشت بر بنیه بذر اثرگذار بوده و بذرهای کاشته شده در ماه نوامبر که دوره رسیدگی آن‌ها در ماه ژانویه اتفاق افتاده، نسبت به بذر کاشته شده در ماه دسامبر با دوره رسیدگی در ماه فوریه، شرایط محیطی متفاوتی (دما، بارندگی و رطوبت نسبی) را تجربه کرده و بنیه و عملکرد در مزرعه متفاوتی را از خود نشان دادند، از این روی با تعیین تاریخ کشت مناسب می‌توان با جلوگیری از برخورد دوره رسیدگی بذر با شرایط نامناسب آب و هوایی جلوگیری کرده و بذر با کیفیت‌تری را برداشت کرد (Castillo et al., 1994). افت بنیه بذر با نشت املاح از بذر و تجمع بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن در بذر همراه می‌باشد (Swami et al., 2016). محافظت در برابر گونه‌های فعال اکسیژن توسط آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز صورت گرفته و اختلال در آن‌ها عوامل کلیدی در از دست دادن بنیه بذر محسوب می‌شود (Sahu et al., 2017). در پنبه کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان همسو با کاهش بنیه بذر، ناشی از تاخیر در کاشت و کاهش اندازه بذر گزارش شده است (Wang et al., 2019). به منظور دستیابی به حداکثر ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و جوانه‌زنی بذر لازم که برداشت بذر در مرحله رسیدگی کامل و در شرایط محیطی مناسب صورت گیرد تا بیشترین قدرت بذر مشاهده شود (Shakerian et al., 2019). بذرهایی که دارای بنیه قوی باشند، قابلیت بالایی در تحمل تنش‌های محیطی دارند و با داشتن درصد بالایی از جوانه‌زنی قادرند گیاهچه‌های قوی‌تری نیز تولید کنند، بنابراین هدف در تولید بذر گیاهان زراعی رسیدن به بذر با بنیه بالاتر می‌باشد. با توجه به گیاه کینوا و ارزش غذایی آن و اهمیت بذر با کیفیت، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تاریخ کاشت گیاه مادری و ژنوتیپ بر بنیه بذرهای تولیدی در کینوا، طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی اثر تاریخ کشت و ژنوتیپ بر قدرت

باعث ظهور گل در زمان‌های مختلف و ارزیابی بهتر این گیاه در منطقه کرج می‌شود) در شش تاریخ کشت ۱۵ دی، ۱۵ بهمن، ۱۵ اسفند، ۱۵ فروردین، ۱۵ اردیبهشت و ۱۵ خرداد در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج کشت شدند. خصوصیات خاک مزرعه مطالعاتی، و اطلاعات هواشناسی سال انجام آزمایش به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۱ آورده شده است. همچنین مشخصات ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است.

جوانه‌زنی و بینه بذر در گیاه کینوا در سال ۱۳۹۹ در آزمایشگاه تحقیقاتی فیزیولوژی و زیست فناوری بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان اجرا شد. آزمایش به صورت کرت خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. بذور سه ژنوتیپ T، Rosada و Q29 (دلیل انتخاب این ژنوتیپ‌ها تفاوت آنها در تاریخ رسیدگی می‌باشد، به طوری که ژنوتیپ T زودرس، ژنوتیپ Q29 متوسط رس و ژنوتیپ R دیررس می‌باشند و این تفاوت در رسیدگی به همراه تاریخ کاشت‌های مختلف،



شکل ۱- میانگین دمای ماهانه و میزان بارش تجمعی طی فصل رشد در منطقه کرج

Figure 1- Average monthly temperature and cumulative rainfall during the growing season in Karaj region

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of the location of the experiment

خواص خاک Soil properties	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)	اسیدیته pH	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K (mg/Kg)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg/Kg)	نیترژن کل (درصد) N (%)	بافت Texture
	4.31	7.7	0.58	274	14.45	0.51	لومی Loamy

جدول ۲- نام ژنوتیپ، منشأ پیدایش و شناسه سه ژنوتیپ مورد مطالعه کینوا

Table 2- Genotype name, origin and identifier of the ten studied quinoa genotypes

ردیف Row	شناسه ID	سال ورود/ تولید Year of entry/production	منشأ Origin	منبع Reference
1	Titicaca	2002	دانمارک- دانشگاه کپنهاگ Denmark-University of Copenhagen	Final Repot Quinoa TCP
2	CHILE 2011- FAO (Q29)	2013	FAO	Final Repot Quinoa TCP
3	Rozada	2006	Peru	FAO

برای انجام آزمون هدایت الکتریکی از دستگاه هدایت‌سنج در چهار تکرار استفاده گردید. برای این منظور ۵۰ بذر از هر تیمار انتخاب و با ترازوی دقیق توزین شد. ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش ظرف‌های حاوی ۲۵۰ سی‌سی آب دو بار تقطیر در انکوباتور در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس ظروف خارج شدند و بذور وزن‌شده به آن‌ها افزوده و کاملاً تکان داده شدند. در ادامه نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. سپس با دستگاه هدایت‌سنج EC محلول‌ها خوانش شد و هدایت الکتریکی هر نمونه بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر و رابطه زیر گزارش شد (Farooq et al., 2005).

شاهد EC-محلول EC
وزن بذر (گرم)

(رابطه ۵)

جهت سنجش محتوی پروتئین محلول و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از ۰/۵ گرم بذر توسط محلول تریس یک مولار (Tris-HCl) با pH=۶/۸ عصاره‌گیری شده و در یخچال با دمای ۷۰- درجه سلسیوس نگهداری شد. جهت اندازه‌گیری محتوی پروتئین محلول از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد. فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز، به ترتیب به روش‌های (Abeles & Biles, 1991) و (Aebi, 1984) انجام گرفته و بر اساس واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین (Unit mg⁻¹ protein) گزارش شد. برای اندازه‌گیری محتوی مالون‌دی‌آلدئید با استفاده از تری کریوکسیلیک اسید (TCA) ۲۰ درصد حاوی ۰/۵ درصد تیوباریتوریک اسید (TBA) اندازه‌گیری شد (Heath & Packer, 1968). برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آلفا‌آمیلاز از محلول DNS (دی‌نیترو سالیسیلیک اسید) و بذرهای جوانه‌دار شده در ۲۵ درجه سلسیوس و بافر فسفات استفاده گردید (Liliana & Lozano, 2002). پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS Version 9.2 انجام گرفت. مقایسات میانگین نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

بر اساس نتایج جدول تجزیه وایانس، اثر متقابل دو عامل ژنوتیپ و تاریخ کاشت بر درصد جوانه‌زنی بذر در سطح احتمال یک

بذور برداشت‌شده از تیمارهای موجود در مزرعه به منظور بررسی ویژگی‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر به آزمایشگاه منتقل شده و صفات در صد و سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن خشک گیاهچه، شاخص طولی و وزنی بنیه بذر و هدایت الکتریکی محلول بذر و صفات بیوشیمیایی محتوی پروتئین محلول، محتوی مالون‌دی‌آلدئید، فعالیت آنزیم آلفا‌آمیلاز، کاتالاز و پراکسیداز اندازه‌گیری و گزارش شد. در ابتدای این پژوهش به منظور انجام آزمون جوانه‌زنی استاندارد، تعداد ۲۵ بذر یکنواخت بر روی کاغذ صافی در پتری‌دیش با فاصله مشخص قرار داده شدند. پتری‌دیش‌ها به مدت ۷ روز در ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. از شروع آزمایش هر روز تعداد بذرهای جوانه‌زده با معیار طول ریشه‌چه ۲ میلی‌متر شمارش و یادداشت شدند. جهت ضدعفونی بذرهای از محلول هیپوکلریت سدیم ۱ درصد به مدت ۳ دقیقه استفاده شده و سپس ۲ تا ۳ بار با آب مقطر شسته شدند. در روز آخر آزمایش (ثابت شدن جوانه‌زنی) طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در ده گیاهچه جوانه‌زده اندازه‌گیری شد. سپس وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه در همه گیاهچه‌های جوانه‌زده با استفاده از ترازوی دقیق دیجیتال اندازه‌گیری شد. پس از آن، وزن خشک آن‌ها پس از خشک کردن به وسیله آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت با استفاده از ترازوی دقیق مشخص شده و وزن خشک گیاهچه محاسبه شد. در صد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی به ترتیب از رابطه ۱ و ۲ محاسبه شدند (Maguire, 1962).

$$GP = \frac{n}{N} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

n = تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز آخر، N = تعداد کل بذرهای کشت شده

$$\text{Germhination rate} = \sum Gi/di \quad (\text{رابطه ۲})$$

Gi = تعداد بذرهای جوانه‌زده عادی و di روز شمارش شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه نیز با استفاده از درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای و روابط زیر محاسبه گردیدند (Abdual baki & Anderson, 1973).

$$= \text{شاخص بنیه طولی گیاهچه} \quad (\text{رابطه ۳})$$

طول گیاهچه (سانتی‌متر) × درصد جوانه‌زنی

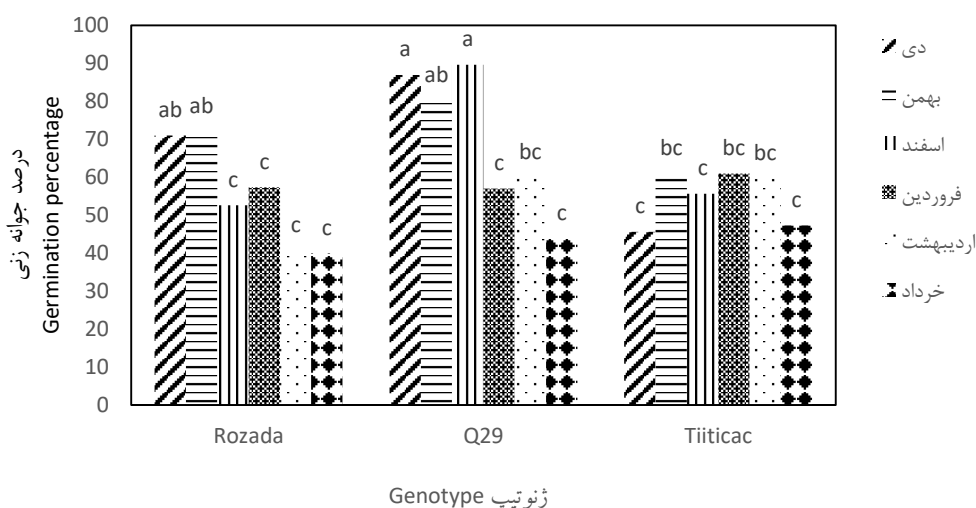
$$= \text{شاخص بنیه وزنی گیاهچه} \quad (\text{رابطه ۴})$$

وزن خشک (گرم) × درصد جوانه‌زنی

بذر در نتاج خواهد شد. این اثر در مورد تفاوت قدرت جوانه‌زنی گیاه *Brassica oleracea* در بذور نسل بعدی، ناشی از تفاوت شرایط محیطی حین نمو گیاه مادری نیز گزارش شده است (Awan et al., 2018). در این پژوهش تاخیر در کاشت سبب کاهش قدرت جوانه‌زنی بذور کینوا شد. اثر تاریخ کاشت بهینه بر افزایش قدرت جوانه‌زنی بذور سویا در نسل بعدی توسط Navya et al. (2022) نیز گزارش شده است که ناشی از همزمانی دوره نمو بذور با آب و هوای مطلوب بود. اهمیت تاریخ کاشت در گیاهان به دلیل برخورد دوره رشد زایشی و نمو دانه گیاه به شرایط محیطی مطلوب در دوره رشد گیاه مادر ارتباط دارد. پاسخ ژنوتیپ‌های کینوا به تاریخ کشت در مطالعه Salehi et al. (2019) نیز آمده است. این افراد بیان کردند دما در دوره پر شدن دانه در کشت کینوا اهمیت زیادی داشته و بر اندازه بذر نیز موثر است. در پژوهش حاضر مشاهده شد که ژنوتیپ Q29 جوانه‌زنی بالایی داشته و در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر، تاخیر در کاشت سبب افت کم‌تر درصد جوانه‌زنی در آن شد. مشابه این نتایج در ارقام مختلف ذرت که در دو تاریخ کشت متفاوت کشت شده بودند، نیز گزارش شده است (Koca & Canavar, 2014). این نتایج، انتخاب رقم از نظر عملکرد کمی و کیفی دانه در تاریخ‌های کاشت دیرهنگام را بسیار حائز اهمیت می‌کند، زیرا می‌تواند در پاسخ رشد رویشی و زایشی گیاهان اثرگذار باشد.

درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج بررسی داده‌ها، نشان داد که بذرها برداشت‌شده از ماه‌های دی، بهمن و اسفند در ژنوتیپ Q29 درصد جوانه‌زنی مشابهی داشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند، اما بذرها برداشت شده از سه ماه فروردین، اردیبهشت و خرداد از این ژنوتیپ، جوانه‌زنی کم‌تری نشان دادند. بالاتر بودن درصد جوانه‌زنی از بذرها برداشت شده در دو ماه اول مطالعه در ژنوتیپ Rozada نیز مشاهده شد، اما ژنوتیپ Titicaca در دی ماه جوانه‌زنی پایینی را نشان داده و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی از این ژنوتیپ در دی‌ماه ثبت شد (شکل ۲). جوانه‌زنی بذر از مهم‌ترین مراحل چرخه زندگی گیاه بوده و جوانه‌زنی سریع و یکنواخت بذور، از عوامل کلیدی تعیین‌کننده عملکرد محصولات کشاورزی هستند. هم عوامل درونی گیاهان و هم عوامل محیطی حین نمو در تنظیم جوانه‌زنی بذور نقش دارند (Bentsink & Koornneef, 2008; Graeber et al., 2012; Shu et al., 2013, 2016b).

مطالعات محدودی تاثیر شرایط محیطی رشد گیاه مادری، بر جوانه‌زنی بذرها در نسل بعد را بررسی کرده‌اند (Chen et al., 2020; Wijewardan et al., 2019). Chen et al. (2014) اهمیت دمای محیط حین نمو در آراییدوپیسیس را گزارش کردند و بیان کردند که دمای بهینه در این دوره از رشد گیاه، سبب جوانه‌زنی سریع‌تر، رشد سریع‌تر ریشه، زیست‌توده برگ بیشتر و حتی افزایش تولید



شکل ۲- اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر درصد جوانه‌زنی بذور

Figure 2- Interactive effect of Genotype×Planting date on seeds germination percentage

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ و تاریخ کاشت بر صفات کمی بذر کینوا

Table 3- Variance analysis of genotype and planting date on seed quantitative characteristics of quinoa

میانگین مربعات Means of Squares							
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	گیاهچه غیرعادی Abnormal seedlings	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه Seedling length	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	شاخص طولی بینه گیاهچه Length index of seedling vigor	شاخص وزنی بینه گیاهچه Weight index of seedling vigor
تکرار Block	2	1.9*	0.0001 ^{ns}	2.2 ^{ns}	9.6×107 ^{ns}	37266.3 ^{ns}	0.01 ^{ns}
تاریخ کاشت Planting date	5	3**	0.0001 ^{ns}	0.7 ^{ns}	5.9×107 ^{ns}	68954 ^{ns}	0.03*
خطای عامل اول (بلوک در تاریخ کاشت) First Factor Error (Genotype×Planting date)	10	0.4	0.00004	1.1	0.0000004	31059.1	0.007
ژنوتیپ Genotype	2	8.2*	0.0005**	11.7**	0.0002**	233904.9**	0.2**
ژنوتیپ در تاریخ کاشت Genotype×Planting date	10	7.1**	0.0003**	1.8 ^{ns}	0.000003**	34795.2 ^{ns}	0.03**
خطای عامل دوم Second Factor Error	24	1.7	0.00004	1.3	0.0000006	19223	0.007
ضریب تغییرات (درصد) CV%		34.1	11.4	12.7	17.2	25.1	29.9

، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار، * and ^{ns} Significant at the probability level of 1%, 5% and non-significant, respectively

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ و تاریخ کاشت بر صفات بیوشیمیایی بذر کینوا

Table 4- Variance analysis of genotype and planting date on seed biochemical characteristics of quinoa

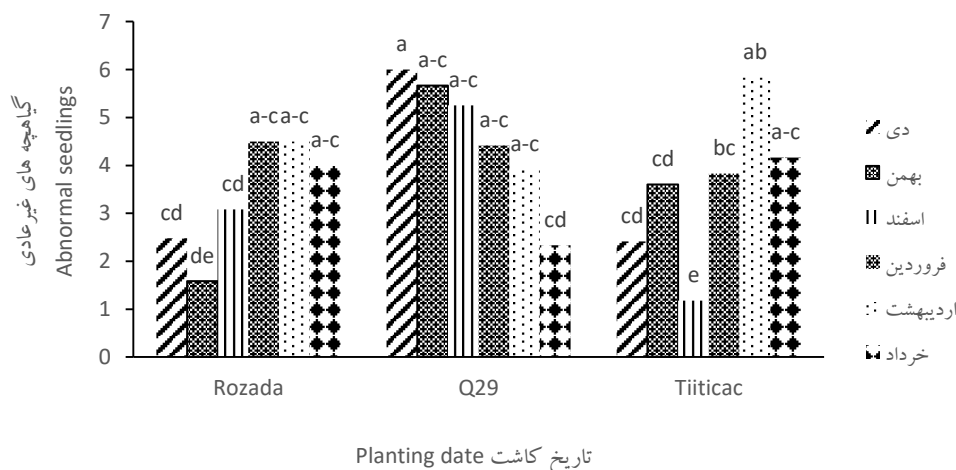
میانگین مربعات Means of Squares							
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز α-amylase enzyme activity	محتوی پروتئین محلول Protein solution content	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase enzyme activity	فعالیت آنزیم پراکسیداز Peroxidase enzyme activity	محتوی مالون دی‌آلدئید Malondialdehyde content	هدایت الکتریکی محلول بذر Electrical conductivity of seed solution
تکرار Block	2	0.0005 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	4.6×10 ^{-10ns}	2318 ^{ns}
تاریخ کاشت Planting date	5	0.007**	0.4**	0.002**	0.012**	5.4×10 ^{-9**}	1195.1*
خطای عامل اول (بلوک در تاریخ کاشت) First Factor Error (Genotype×Planting date)	10	0.0009	0.01	0.0002	0.002	1.4×10 ⁻¹⁰	319.4
ژنوتیپ Genotype	2	0.017**	4.7**	0.024**	0.101**	1.4×10 ^{-10ns}	16117.2**
ژنوتیپ در تاریخ کاشت Genotype×Planting date	10	0.003**	1.3**	0.008**	0.015**	1.4×10 ^{-9**}	5054.3**
خطای عامل دوم Second Factor Error	24	0.0007	0.014	0.0002	0.001	1.4×10 ^{-10ns}	456.3
ضریب تغییرات (درصد) CV%		17.5	4.4	20.5	12.6	14.2	15.8

، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار، * and ^{ns} Significant at the probability level of 1%, 5% and non-significant, respectively

گیاهچه‌های غیر عادی

تعداد گیاهچه‌های عادی و غیر عادی معیارهایی مناسب برای ارزیابی کیفیت بذر محسوب می‌شوند، به طوری که تعداد کم‌تر گیاهچه‌های غیر عادی معیاری از بالا بودن کیفیت جوانه‌زنی بذر محسوب می‌شوند. بر اساس نتایج جدول تجزیه وایانس، اثر متقابل دو عامل مورد مطالعه بر تعداد گیاهچه‌های غیر عادی در سطح احتمال یک در صد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج بررسی داده‌ها، نشان داد که بذره‌های برداشت شده از ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت در ژنوتیپ Q29 تعداد گیاهچه‌های غیر عادی مشابهی داشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند، اما بذره‌های برداشت شده از ماه خرداد مقدار کم‌ترین تعداد گیاهچه

غیر عادی را در این ژنوتیپ نشان داد. نتایج در ژنوتیپ Rosada نشان داد که تعداد گیاهچه‌های غیر عادی از بذور حاصل از سه ماه فروردین، اردیبهشت و خرداد بیشینه بوده و در یک گروه آماری قرار گرفتند. در ژنوتیپ Titicaca بیش‌ترین مقدار این صفت در بذور حاصل از ماه اردیبهشت مشاهده شد (شکل ۳). تفاوت تعداد گیاهچه‌های غیر عادی کینوا، در ژنوتیپ‌های مختلف در مطالعه Ahmadpour et al. (2021) نیز مشاهده شد. در پژوهش این افراد که جوانه‌زنی ده ژنوتیپ کینوا را بررسی کرده بودند، مشاهده شد که دو ژنوتیپ Q29 و Titicaca، تعداد گیاهچه غیر عادی بالایی بین ژنوتیپ‌ها ثبت کردند.



شکل ۳- اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر تعداد گیاهچه‌های غیر عادی بذور

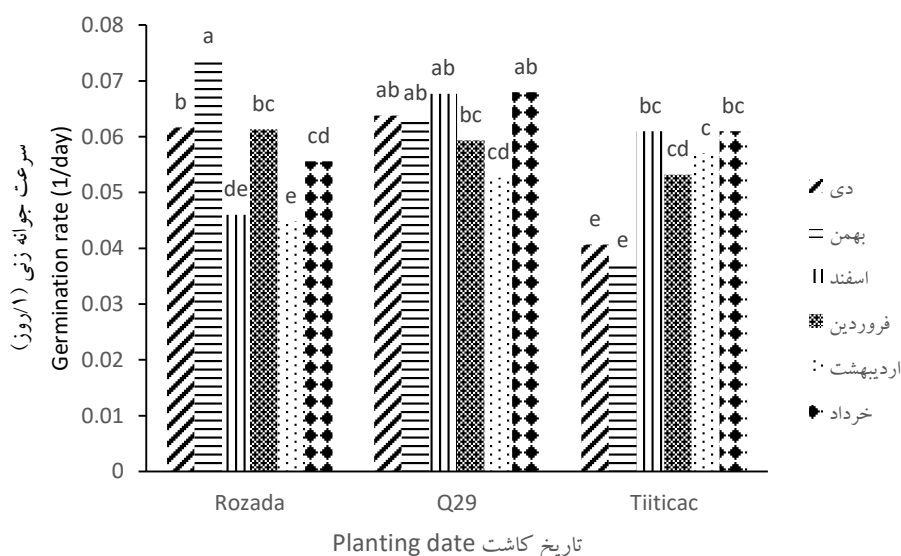
Figure 3- Interactive effect of Genotype×Planting date on seeds abnormal seedlings number

با انتخاب تاریخ کاشت مناسب، می‌توان اثر منفی بسیاری از تنش‌های غیرزیستی و زیستی بر گیاه را کاهش داده و عملکرد، کیفیت و جوانه‌زنی بذور در نسل بعد را بهبود داد (Cantarero et al., 2000). تاریخ کشت مختلف می‌تواند دوره نمو بذور را با عوامل محیطی مختلف از جمله دما و رطوبت را تغییر داده و کیفیت جوانه‌زنی بذور را تغییر دهد. در سویا گزارش شده است که رسیدگی بذر در دمای بالا، کیفیت بذر تولیدی را کاهش داده و در نتیجه تعداد گیاهچه غیر عادی بالاتری در نتیجه استحکام کمتر ساختار غشا و عدم رسیدگی بذور مشاهده شد (Pasandideh et al., 2014). در کینوا، تاریخ کشت، دما و

فتوپریود حین نمو بذر روی گیاه مادری را تغییر داده و این عوامل به شدت بر میزان خواب و جوانه‌زنی بذور این گیاه اثر گذار هستند (Ceccato et al., 2011; Ceccato et al., 2015). تاثیر شرایط رشدی گیاه مادری بر کیفیت جوانه‌زنی بذره‌های نتاج هم در گیاهان اهلی و هم وحشی مشاهده شده است. جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای بالاتر به عوامل محیطی این دوره از جمله درجه حرارت، طول روز، شرایط نوری، رطوبت و سطوح نیتروژن در گیاه مادری بستگی داشته که این اثرات احتمالاً نتیجه تغییر در کمیت، تحرک یا فعالیت عوامل رشدی مانند هورمون‌ها می‌باشند (Fenner, 1991).

سرعت جوانه‌زنی

نتایج جدول تجزیه واریانس در این مطالعه نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر سرعت جوانه‌زنی بذور حاصل از مزرعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه داده‌ها در این صفت نشان داد که پاسخ سه ژنوتیپ به تغییرات تاریخ کاشت گیاه مادری متفاوت بود. شدت کاهش سرعت جوانه‌زنی در ژنوتیپ Q29، با تاخیر در کاشت، کم‌تر بود و با دو ژنوتیپ دیگر تفاوت داشت که احتمالاً ناشی از منسایهای متفاوت این ژنوتیپ‌ها باشد (شکل ۴).



شکل ۴- اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر سرعت جوانه‌زنی بذور

Figure 4- Interactive effect of Genotype×Planting date on seeds germination rate

(Penfield & MacGregor, 2017). (Rastegar et al. (2018) نیز کاهش سرعت جوانه‌زنی بذور در بادام‌زمینی را با تاخیر در کاشت گیاه مادر گزارش کرده و بیان کردند که با تاخیر در کاشت طول دوره رشد بذور کوتاه شده و مصادف شدن این دوره با دماهای خنک موجب تولید غلاف‌های کوچک‌تر و کم‌وزن‌تری می‌شود که ۵۰ درصد جوانه‌زنی کم‌تری را نسبت به بذور شاهد داشته و از سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی کم‌تری نیز برخوردار بودند. بذور دارای سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی پایین، بر ظهور گیاهچه در مزرعه اثر سوء گذاشته و همچنین در رقابت با علف‌های هرز ضعیف عمل کرده و در شرایط مختلف محیطی،

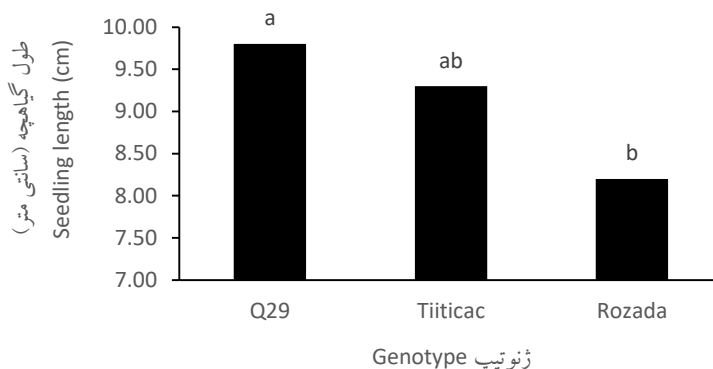
بررسی داده‌های سرعت جوانه‌زنی نشان داد که در ژنوتیپ Q29، بذور حاصل از تاریخ‌های کشت دی، بهمن، اسفند و خرداد، سرعت جوانه‌زنی بالاتری در مقایسه با تاریخ کشت فروردین و اردیبهشت داشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند. در ژنوتیپ Rosada، دو تاریخ کشت اسفند و اردیبهشت، سرعت جوانه‌زنی کم‌تری در مقایسه با دیگر تاریخ‌های کشت نشان دادند، در حالی که در ژنوتیپ Titicaca، بذور حاصل از دو ماه دی و بهمن سرعت جوانه‌زنی کم‌تری داشتند (شکل ۴). گزارش شده است که، دما در کل دوره رشد گیاه مادر دارای اهمیت بسیار زیادی بوده و می‌تواند بر سرعت جوانه‌زنی نتایج اثر مستقیم بگذارد

میانگین داده‌ها نشان داد که دو ژنوتیپ Q29 و Titicaca طول گیاهچه بالاتری داشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۵). تفاوت در طول گیاهچه کینوا در آزمون جوانه‌زنی در مطالعه Karami et al. (2000) نیز گزارش شده است که می‌تواند ناشی از منشاهای جغرافیایی متفاوتی باشد که بذور ژنوتیپ‌های مختلف از آن منشأ گرفته‌اند (جدول ۲).

عملکرد قابل قبولی از خود نشان نمی‌دهند (He et al., 2018).

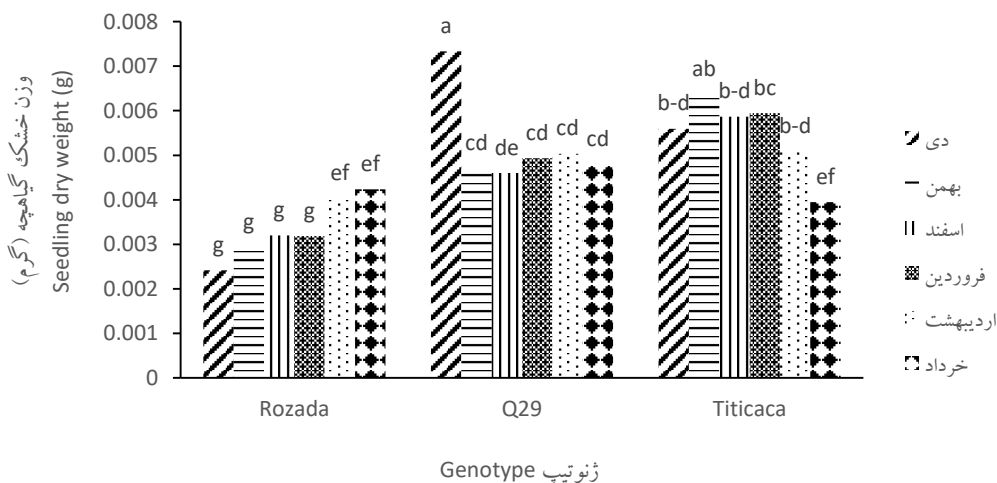
طول و وزن خشک گیاهچه

بررسی داده‌ها نشان داد که اثر ساده ژنوتیپ بر طول گیاهچه و اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کشت بر وزن خشک گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۳). مقایسه



شکل ۵- اثر ساده ژنوتیپ بر طول گیاهچه

Figure 5- Effect of Genotype on seedling length



شکل ۶- اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر وزن خشک گیاهچه

Figure 6- Interactive effect of Genotype x Planting date on seedling dry weight

Titicaca بذرهای حاصل از ماه بهمن، بالاترین مقدار این صفت را نشان دادند (شکل ۶). Ghaderifar et al. (2005) در بررسی تاریخ کشت بر بنیه بذر سویا، سه رقم ویلیامز، اس.آ.آ.اف و پرشینگ را در تاریخ‌های مختلف در مزرعه کشت کرده و بذور

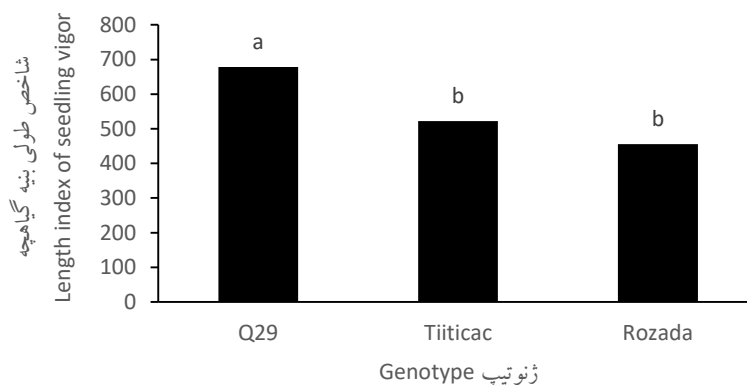
بررسی داده‌های وزن خشک گیاهچه نشان داد که بذور برداشت شده ژنوتیپ Rosada از دو تاریخ کاشت اردیبهشت و خردادماه، وزن خشک گیاهچه بالاتری را نشان داد، در حالی که در ژنوتیپ Q29، بذرهای تاریخ کشت دی ماه و در ژنوتیپ

شاخص وزنی بینه گیاهچه معنی‌دار شدند (جدول ۳-۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که رقم Q29 بالاترین مقدار شاخص طولی بینه گیاهچه را نشان داد، در حالی که بذور حاصل از دو ژنوتیپ دیگر، شاخص طولی بینه گیاهچه مشابه‌ای نشان داده و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۷). تفاوت در بینه بذر ارقام مختلف گیاهان توسط محققین مختلف گزارش شده است (Avcı et al., 2017; Munir et al., 2011; Agrawal (1995)). بینه بذر را ویژگی مهم در کیفیت بذور گزارش کرد که علاوه بر عوامل محیطی از ژنتیک نیز تاثیر می‌پذیرد. وجود تنوع ژنتیکی در بینه بذور برنج (Okelola, 2007) و کینوا (Ahmadpour et al., 2021) نیز گزارش شده است. بینه بذر ویژگی مهمی است که بر استقرار گیاهچه، رشد و بهره‌وری محصول تاثیر گذار است. هر عاملی اعم از زنده یا غیرزنده که بر بینه و زنده ماندنی بذر در طول نمو تاثیر منفی بگذارد، عواقب نامطلوبی بر تولید محصول در نسل بعدی خواهد داشت، به‌ویژه زمانی که بذرها تحت شرایط نامساعد محیطی مانند آماده سازی ضعیف بستر بذر، دمای پایین، رطوبت بیش از حد یا ناکافی، آفات و علف‌های هرز کشت شوند (Sawan et al., 2009).

را در مرحله رسیدگی کامل برداشت کردند. درصد و سرعت ظهور گیاهچه و همچنین طول و وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و کل گیاهچه بذور برداشت‌شده در شرایط آزمایشگاه و گلخانه مورد ارزیابی قرار داده و گزارش کردند که طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در بذور به دست آمده از تاریخ‌های کاشت به‌موقع، کم‌تر از کشت‌های تاخیری بود. در سال انجام آزمایش در پژوهش این افراد، بذور به‌دست آمده از کاشت تاخیری (اواخر خرداد و اوایل تیر) نسبت به بذور تاریخ‌های کاشت زودتر (فروردین و اردیبهشت) در شرایط محیطی گرگان با شرایط مساعدتر محیطی روبرو شده و دارای بینه گیاهچه بالاتری بودند که اهمیت شرایط محیطی دوره نمو بذور را نشان می‌دهد. واضح است ویژگی‌های ژنتیکی، شرایط محیطی حین نمو و شرایط انبار بر بینه بذر گیاهان اثر گذار بوده و بذور دارای بینه متفاوت، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای متفاوتی نیز از خود نشان می‌دهند (Finch-savakg et al., 2016; Sun et al., 2007).

شاخص طولی و وزنی بینه گیاهچه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر ساده ژنوتیپ بر شاخص طولی بینه گیاهچه و اثر متقابل دو عامل مورد مطالعه بر



شکل ۷- اثر ساده ژنوتیپ بر شاخص طولی بینه گیاهچه

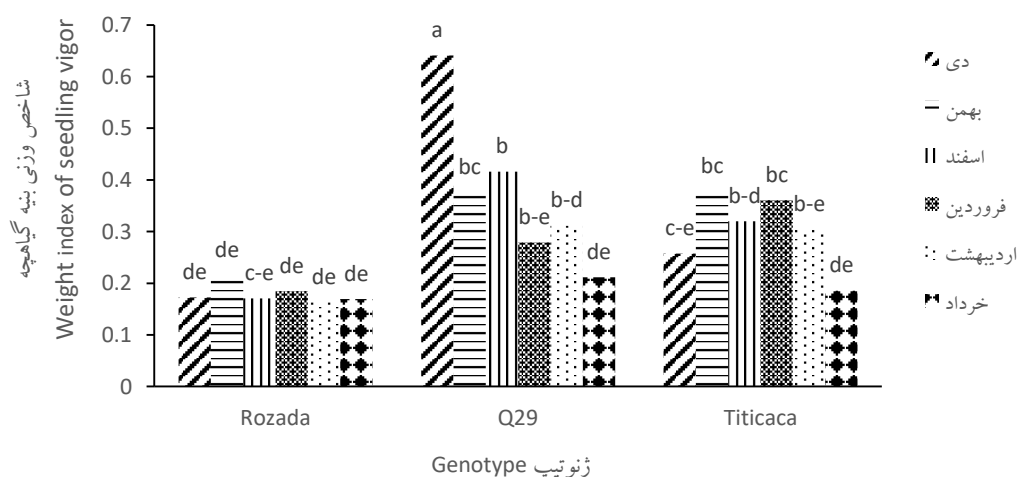
Figure 7- Effect of Genotype on length index of seedling vigor

بینه گیاهچه در کشت‌های تاخیری در ژنوتیپ Q29 و Titicaca مشاهده شد، در حالی که شاخص وزنی بینه گیاهچه در ژنوتیپ Rozada در تمامی تاریخ‌های کشت به هم نزدیک بوده و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۸).

بررسی داده‌های شاخص طولی بینه گیاهچه نیز نشان داد که ژنوتیپ Q29، بالاترین شاخص وزنی بینه گیاهچه را در تاریخ کشت دی‌ماه نشان داد، در حالی که ژنوتیپ Rosada کم‌ترین مقدار این صفت را در تاریخ کشت اردیبهشت نشان داد. کاهش

افت را به ترتیب در درصد جوانه‌زنی و شاخص بنيه گیاهچه نشان دادند. کاهش درصد جوانه‌زنی ناشی از تاخیر در کاشت در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد که همراه با کاهش رشد گیاهچه، به عنوان دو عامل موثر بر شاخص بنيه گیاهچه، کاهش این صفت را موجب شدند (Wang et al., 2020). کاهش قدرت بذر در کشت‌های تاخیری همراه با کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها نیز گزارش شده است. باید اذعان شود که وجود ارتباط بین ویژگی‌های بیوشیمیایی و بنيه بذر در گیاهان اثبات شده است (Randhir & Shetty, 2003). شرایط محیطی دوره نمو در وضعیت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی که در مرحله پس‌ایدگی برای کسب تحمل به خشک شدن ضروری هستند، نقش دارد (Angelovici et al., 2010). کشت بذرها در تاریخ کشت دیر هنگام و تاخیر در کاشت این دوره را با دمای نامناسب مواجه کرده و سبب کاهش فعالیت آنزیم‌ها و کاهش بنيه بذور تولیدی می‌شود. گزارش شده است که وقوع دمای نامناسب در این مرحله از رشد گیاه، می‌تواند فعالیت آنزیم‌ها را مهار کند (Wang et al., 2019). اگرچه رابطه بین سازوکارهای حذف رادیکال آزاد و بنيه گیاهچه نامشخص است، اما پذیرفته شده است که تنش اکسیداتیو ناشی از تجمع ROS منجر به از دست دادن زنده‌مانی بذر می‌شود، بنابراین یک سازوکار آنتی‌اکسیدانی موثر، پیش‌نیاز رسیدن به بذور با یک بنيه قوی در نظر گرفته می‌شود (Bailly, 2004).

کاهش بنيه گیاهچه ناشی از تاخیر در کاشت در نخودفرنگی و کتان (Siddique & Wright, 2004)، کلزا (Rashid et al., 2017) و برنج نیز گزارش شده است. در دو گونه نخود فرنگی و کتان گزارش شده است که همراه با تاخیر در کاشت، کاهش بنيه گیاهچه همراه با کاهش عملکرد بذر گزارش شد که ناشی از تفاوت در شرایط محیطی است که بین اولین گلدهی و برداشت، طول دوره پر شدن دانه، گیاه مادر تجربه کرده و وزن هزاردانه و غلظت چربی، کربوهیدرات محلول در آب، محتوی پروتئین و نشاسته در دانه‌ها را تغییر می‌دهد که تغییر این عوامل ناشی از تاریخ کاشت متفاوت می‌تواند از علل بالقوه تفاوت در بنيه گیاهچه‌ها باشد (Siddique & Wright, 2004). شرایط محیطی که بذر در آن تولید می‌شود و حتی روش برداشت بر حفظ قدرت و زنده‌مانی و ظرفیت جوانه‌زنی بذور اثر مستقیم دارد (Kundu et al., 2016). در برنج گزارش شده است که تاریخ کشت متفاوت، گیاه مادر را با دماهای متفاوتی در دوره پر شدن دانه مواجه کرده و سرعت و مدت پر شدن دانه را تغییر می‌دهد که این موارد درصد جوانه‌زنی و شاخص بنيه گیاهچه را تغییر می‌دهد. در این گیاهان بذرهایی که به دلیل بروز دمای نامناسب حین نمو گیاه مادر، سرعت پر شدن بذر پایین و یا مدت پر شدن دانه طولانی را پشت سر می‌گذارند، نسبت به بذرهایی با سرعت پر شدن بذر بالا و مدت پر شدن بذر کوتاه، ۱۱/۹ و ۲۲/۷ درصد،



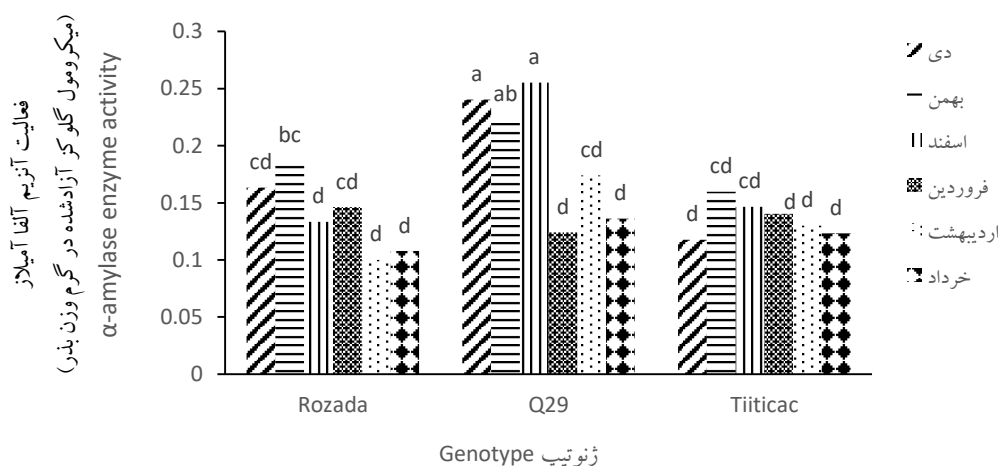
شکل ۸- اثر ساده ژنوتیپ بر شاخص وزنی بنيه گیاهچه

Figure 8- Effect of Genotype on weight index of seedling vigor

فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز

همان‌طور که نتایج جدول ۴ نشان داد، اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر فعالیت آلفا آنزیم در سطح احتمال یک در صد معنی‌دار شد. بررسی داده‌ها در مطالعه حاضر نشان داد که فعالیت آلفا آنزیم در ژنوتیپ Q29 در سه تاریخ کاشت دی، بهمن و اسفند همسو با درصد جوانه‌زنی بذور (شکل ۲) بالا بوده و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۹). بیش‌ترین و کم‌ترین

فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز به ترتیب از ژنوتیپ Q29 در تاریخ کاشت اسفند و ژنوتیپ Rosada در تاریخ کاشت اردیبهشت معادل ۰/۲۵۵ و ۰/۰۰۱ میکرومول گلوکز آزادشده در گرم وزن بذر ثبت شد (شکل ۹). به‌طور کلی می‌توان گفت که در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، از فعالیت آنزیمی بذرها، همسو با تاخیر در کاشت کاسته شد. تغییر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و جوانه‌زنی می‌تواند ناشی از تفاوت در بنیه بذر باشد.



شکل ۹- اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز

Figure 9- Interactive effect of Genotype×Planting date on α-amylase enzyme activity

گلوکز تبدیل شده و به جنین انتقال می‌یابند و موجب رشد جنین شده و در نتیجه جوانه‌زنی و رشد گیاهچه افزایش می‌یابد (Parera & Cantliffe, 1994). تفاوت در فعالیت آنزیمی ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در پژوهش احمدپور و همکاران (Ahmadpour et al., 2021) نیز گزارش شده است. در مطالعه این افراد فعالیت آنزیم در دو ژنوتیپ Q29 و Titicaca مشابه بوده و در یک گروه آماری قرار گرفتند.

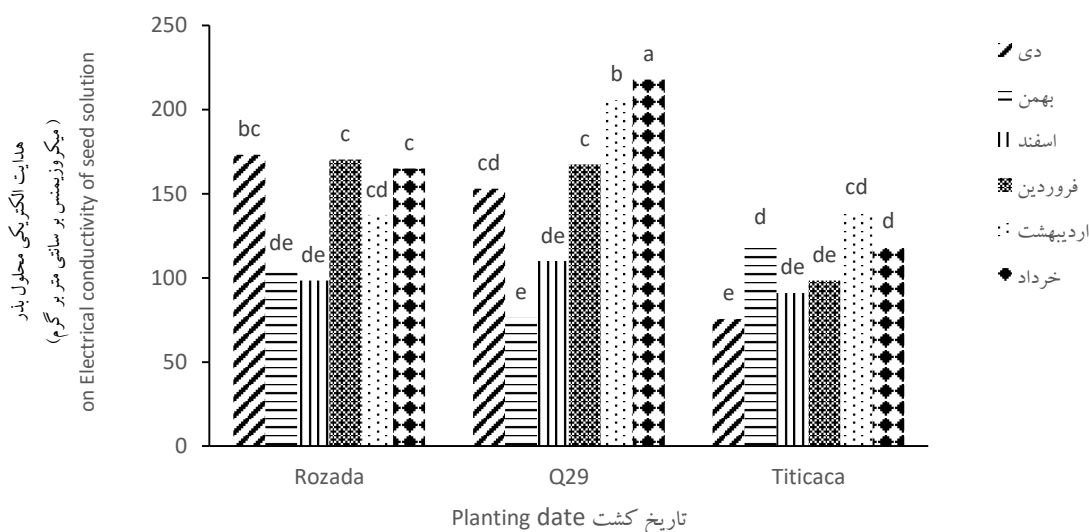
هدایت الکتریکی محلول بذر

آزمون هدایت الکتریکی بذر، می‌تواند تخمین خوبی از جوانه‌زنی و بنیه بذر ارائه دهد. بررسی داده‌های نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر هدایت الکتریکی محلول بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که به‌طور کلی، با تاخیر در کاشت هدایت الکتریکی محلول بذر افزوده شد. در دو ژنوتیپ Q29 و Rosada،

در پژوهش (Navya et al., 2019) در گیاه سویا گزارش شد که بنیه بذور تولیدی در همه ارقام که در تاریخ کاشت بهینه (۱۵ دسامبر) کشت شده بودند بالا بوده و ناشی از شرایط آب و هوایی مناسب در طول دوره نمو بذر حاصل شد که تولید بذر با کیفیت را تسهیل کرد. (Rahman et al., 2013) نیز گزارش کردند که رعایت زمان بهینه کاشت، سبب تولید بذور با بنیه بالا و کیفیت جوانه‌زنی بیشینه خواهد شد. این بذور جوانه‌زنی بیش‌تر را به دلیل شرایط آب و هوایی مطلوب در طول نمو بذر نشان می‌دهند (Avilla et al., 2003) که با محتوی پروتئین‌های محلول و فعالیت آنزیمی، سرعت جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه بیشینه در این بذور همراه است. آنزیم آلفا آمیلاز جزو آنزیم‌های هیدرولیتیک بوده که در تجزیه ذخایر نشاسته‌ای حین جوانه‌زنی بذور، نقش مهمی ایفا می‌کند. این آنزیم از طریق تحریک هورمون جیبرلین سنتز می‌گردد. با افزایش فعالیت این آنزیم، مواد ذخیره‌ای به ساکارز و

Titicaca، بالاترین مقدار این صفت در ماه‌های بهمن، اردیبهشت و خرداد ثبت شد که در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱۰).

بذور حاصل از تاریخ کشت دی، فروردین، اردیبهشت و خرداد هدایت الکتریکی محلول بذر بیش‌تری نشان دادند، در ژنوتیپ



شکل ۱۰- اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر هدایت الکتریکی محلول بذر

Figure 10- Interactive effect of Genotype×Planting date on Electrical conductivity of seed solution

گول و همکاران (Gul et al., 2012)، بیش‌ترین جوانه‌زنی، بذر در کاشت ۲۴ اکتبر ثبت شد، اما کم‌ترین مقدار جوانه‌زنی نیز در کاشت تاخیری به‌دست آمد. تاخیر در کاشت سبب افزایش EC دانه گندم شده، درحالی‌که بذور در کشت به‌موقع، EC کم‌تری داشتند. تاخیر در کاشت، منجر به کاهش قدرت بذر شده که آندوسپرم کوچک‌تر و وزن کم‌تر بذر را از دلایل اصلی تاخیر در کاشت برای کاهش قدرت بذر و افزایش EC گزارش کردند.

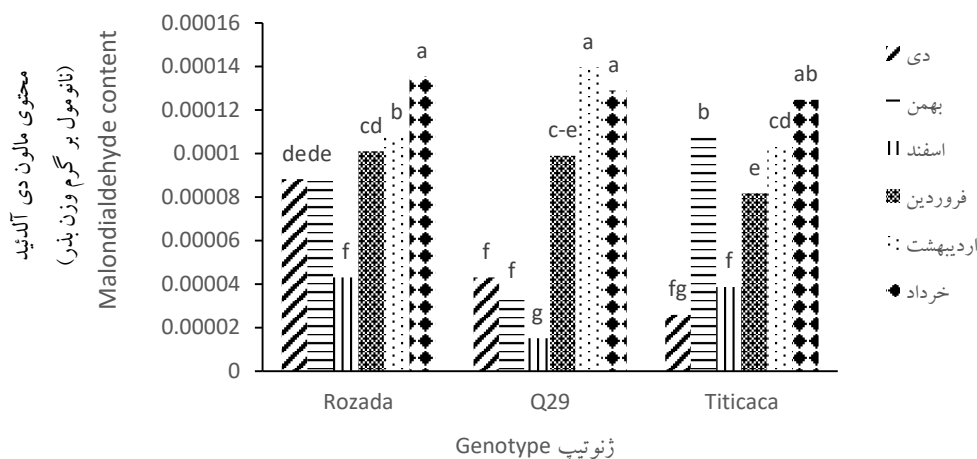
محتوی مالون‌دی‌آلدئید

با توجه به این‌که مالون‌دی‌آلدئید، محصول اصلی پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشد، سنجش محتوی مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان روشی برای بررسی میزان صدمات غشا در نظر گرفته می‌شود (Ghalkhani et al., 2020). بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر محتوی مالون‌دی‌آلدئید بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین محتوی مالون‌دی‌آلدئید بذر در هر دو ژنوتیپ Rosada و Titicaca در تاریخ کشت خرداد ماه و در ژنوتیپ Q29 در تاریخ

سلامت غشای سلول می‌تواند برای ارزیابی قدرت بذر استفاده شود. در آب قرار دادن بذوری که غشای آن‌ها آسیب‌دیده باشند، موجب نشت محتویات سلول به داخل آب شده که به‌طور مستقیم نشت این الکترولیت‌ها با آزمون هدایت الکتریکی سنجیده می‌شود. بذرهایی با نشت الکترولیت بیش‌تر، قدرت کم‌تری از بذرهایی با نشت الکترولیت کم‌تر دارند (Bam et al., 2006; Milosevic et al, 2010). ارتباط بین قدرت جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه بذور با هدایت الکتریکی محلول بذر در سویا (Gorzin et al., 2005) و لوبیا (Muasya et al., 2002) گزارش شده است. در پژوهش حاضر، افزایش هدایت الکتریکی بذور ناشی از تاخیر در کاشت مشهود بود و مقدار این صفت در بذور برداشت شده از اردیبهشت و خرداد نسبتاً در مقایسه با دیگر ماه‌ها بیش‌تر بود (شکل ۱۰). نتایج مشابهی در ارقام مختلف گندم که در تاریخ‌های کشت مختلف مورد بررسی قرار گرفتند، نیز گزارش شده است (Gul et al., 2012). نشت بیش‌تر املاح یا آزاد شدن الکترولیت‌ها و افزایش مقدار EC در کشت تاخیری گندم، ناشی از بنیه کم توسط (Khan et al. (2010) نیز گزارش شده است. در مطالعه

AmirYousefi et al. (شکل ۱۱). Rosada و Titicaca بالا بود (شکل ۱۱). (2021) نیز تفاوت در تولید مالون‌دی‌آلدئید بذر در ژنوتیپ‌های مختلف کینوا را گزارش کردند.

کشت بهمن ماه ثبت شد. ژنوتیپ Q29 محتوی مالون‌دی‌آلدئید بذر کم‌تری را در سه تاریخ کشت اول نشان داد، در حالی که در سه تاریخ کشت فروردین، اردیبهشت و خرداد، سطح محتوی مالون‌دی‌آلدئید بذر در این ژنوتیپ و همچنین دو ژنوتیپ



شکل ۱۱- اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر محتوی مالون دی‌آلدئید

Figure 11- Interactive effect of Genotype×Planting date on Malondialdehyde content

محتوی پروتئین محلول

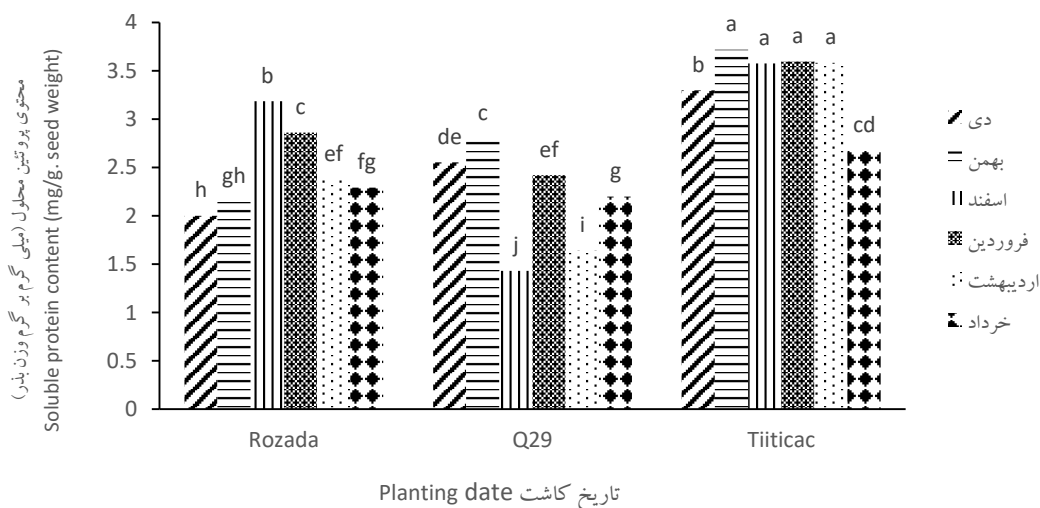
نتایج جدول تجزیه واریانس در سال اول مطالعه نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر شاخص محتوی پروتئین محلول بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). محتوی پروتئین محلول در تمامی تاریخ‌های کاشت در ژنوتیپ Titicaca بالاتر از دو ژنوتیپ دیگر بود. بالاترین مقدار این صفت در تاریخ کشت بهمن و رقم Titicaca معادل ۳/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن بذر مشاهده شد که با تاریخ کشت اسفند، فروردین و اردیبهشت در این رقم تفاوت معنی‌دار نشان نداده و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱۲).

بذرهای با قوه نامیه بالاتر محتوی پروتئین محلول بیش‌تری داشته و قدرت جوانه‌زنی بالاتری نیز نشان می‌دهند. در پژوهش Sheidaei et al. (2020) در سویا نیز گزارش شده است که بین بذرهای با قوه نامیه اولیه متفاوت، تفاوت معنی‌داری از نظر محتوی پروتئین محلول و محتوی قندهای محلول مشاهده شد. تاثیر تاریخ کشت بر کیفیت بذرهای تولیدی در سویا گزارش شده است. کشت در دمای بهینه با تغییر محتوی روغن و پروتئین

رادیکال‌های آزاد موجود در سلول‌ها باعث صدمه به لیپیدها و اسیدهای چرب غشا شده و رادیکال‌های لیپید و پراکسی و هیدروپراکسی تولید می‌کنند، این رادیکال‌های تولیدشده می‌توانند به واکنش‌های اکسیداسیون لیپیدها (اسیدهای چرب) سرعت بخشند (Ding et al., 2019). بذور با بنیه پایین‌تر، محتوی MDA بالاتر داشته و آسیب در غشای پلاسمایی، از دست دادن یکپارچگی غشا را به دنبال تغییر در ترکیب فسفولیپید خود نشان می‌دهند (Ebene et al., 2019). این بذور قدرت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای پایینی نیز نشان می‌دهند. در پژوهش حاضر تاخیر در کاشت احتمالاً با کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز، افزایش محتوی مالون‌دی‌آلدئید را موجب شده است. این تغییرات به بنیه بذر کم‌تر در نتیجه همزمانی دوره نمو و پر شدن دانه با شرایط آب و هوایی نامناسب بوده که کیفیت بذر تولیدی را تحت الشعاع قرار داده است. بذور با بنیه بالا با ستر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از خسارت به غشای سلولی جلوگیری کرده، سبب پایداری بیشتر غشای سلولی شده و محتوی مالون‌دی‌آلدئید کم‌تری را نیز تولید می‌کند (Ghalkhani et al., 2020).

کاهش سرعت فتوسنتز و کاهش اندازه بذر را موجب شده، همچنین بر تولید قندها، پروتئین ها و دیگر متابولیت های بذر اثر می گذارد (Hu & Wiatrak, 2012).

بر کیفیت بذر اثر گذار بود. دو عامل درجه حرارت و رطوبت که با تاریخ کشت تغییر می کنند، هم کمیت و هم کیفیت بذور تولیدی را تغییر می دهند. وقوع دمای بالا و یا تنش رطوبتی که اغلب با تاخیر در کاشت همراه است، در مقایسه با دمای بهینه هوا،



شکل ۱۲- اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر محتوی پروتئین محلول

Figure 12- Interactive effect of Genotype×Planting date on protein solution content

آنتی اکسیدان که در طول جوانه زنی عمل می کنند، وابسته است (Yao et al., 2012). کاهش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان توجهی بر علت کاهش درصد و سرعت جوانه زنی، طول ریشه چه و کاهش بنیه در بذرها با کیفیت پایین است (Tilebeni & Golpaygani, 2011).

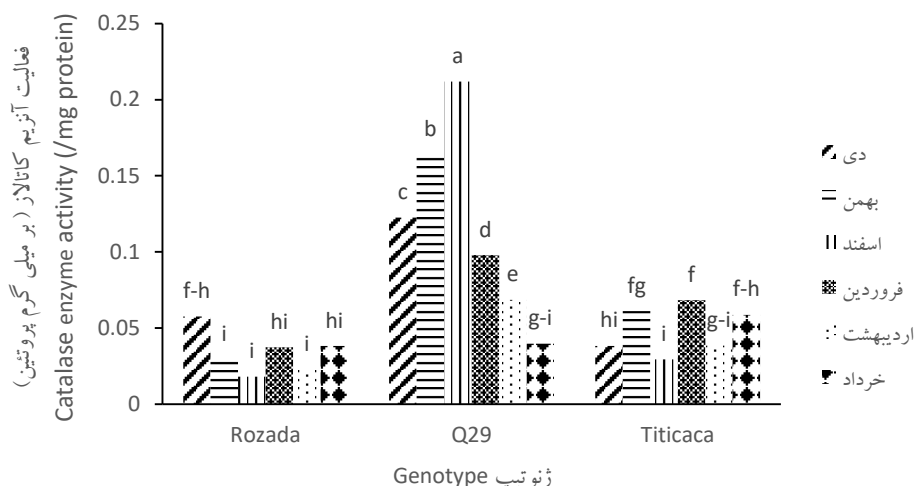
فعالیت آنزیم پراکسیداز

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر فعالیت آنزیم پراکسیداز بذر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). فعالیت این آنزیم در سه تاریخ کشت اول در ژنوتیپ Q29 بیش تر از دو ژنوتیپ دیگر بود (شکل ۱۴). (Wang et al. 2019) همبستگی بالای فعالیت آنزیم پراکسیداز را با بنیه بذر گزارش کرده و بیان کردند که تاخیر در کاشت، در ارقام مختلف پنبه فعالیت آنزیم پراکسیداز را کاهش می دهد. علت کاهش فعالیت آنزیم با کاهش بنیه بذر ناشی از برخورد زمان رسیدگی با دماهای نامناسب و کاهش اندازه دانه و

فعالیت آنزیم کاتالاز

کاتالاز آنزیمی است که در تمام موجودات زنده از جمله سلول های گیاهی، جانوری و میکروگانیزم های هوازی یافت شده و به عنوان یکی از مهم ترین آنزیم های آنتی اکسیدانی با تجزیه H_2O_2 به آب و اکسیژن نقش مهمی در کاهش پراکسید هیدروژن دارد (Kibinza et al., 2011). نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر فعالیت آنزیم کاتالاز بذر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). بالاترین فعالیت آنزیم در ژنوتیپ Q29 و تاریخ کشت اسفند مشاهده شد، در حالی که کم ترین فعالیت آنزیم در ژنوتیپ Rosada و در تاریخ کشت اسفند ثبت شد (شکل ۱۳). بررسی بین ژنوتیپ ها نیز نشان داد که بذور ژنوتیپ Q29 همسو با جوانه زنی بالا، فعالیت آنزیم کاتالاز بالایی نیز نشان دادند (شکل ۱۳)، در حالی که دو ژنوتیپ دیگر فعالیت آنزیم کاتالاز در آن ها در مقایسه با Q29 کم بود (شکل ۱۳). موفقیت در جوانه زنی بذرها به شدت به سازو کارهای

نیز وقوع تنش اکسیداتیو و آسیب به غشاها گزارش شد.

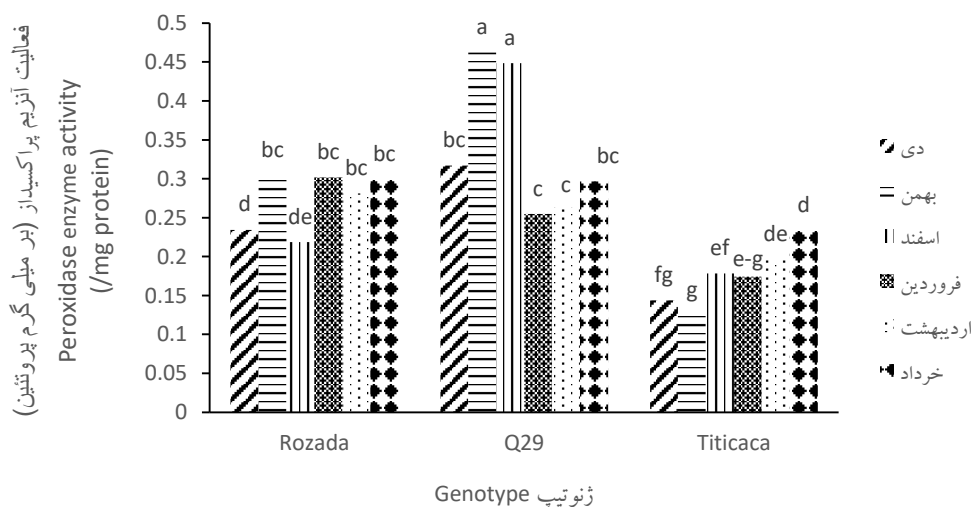


شکل ۱۳- اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر فعالیت آنزیم کاتالاز

Figure 13- Interactive effect of Genotype×Planting date on Catalase enzyme activity

تنش گرمایی بر فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانی در پنج ژنوتیپ PBW 343، HD 2815، HD 2865، HDR-77، PBW 175، HD 2815، CAT، GR، APX، SOD، HD 2815، HDR-77 فعالیت POX نسبتاً بالاتری را در کاشت های دیررس نسبت به PBW 343، HD 2815، HD 2865 نشان دادند، که با افزایش شاخص آسیب غشایی در تیمارهای تاخیر در کاشت همراه بود (Almeselmani et al., 2006).

ظرفیت آنتی اکسیدانی موثر به عنوان پیش نیاز برای به رسیدن به بذر با بنیه بالا در نظر گرفته می شود، هر چند که ارتباط بین سازوکارهای حذف رادیکال آزاد و بنیه بذر نامشخص می باشد. در پژوهش حاضر فعالیت آنزیم پراکسیداز در ژنوتیپ Titicaca پایین تر از دو ژنوتیپ دیگر بود (شکل ۱۴). (Tavakkol Afshari et al. (2019). ارقام کلزا گزارش کردند که ارقام دارای بنیه بالاتر جوانه زنی بیش تر همراه با افزایش فعالیت آنزیم های کاتالاز و پراکسیداز را در مراحل اولیه جوانه زنی نشان می دهند. در گندم، بررسی اثر تاریخ کشت و



شکل ۱۴- اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بر فعالیت آنزیم پراکسیداز

Figure 14- Interactive effect of Genotype×Planting date on Peroxidase enzyme activity

Andrade, G. C. D., Coelho, C. M. M., & Padilha, M. S. (2019). Seed reserves reduction rate and reserves mobilization to the seedling explain the vigour of maize seeds. *Seed Science*, 41(4), 488-497. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n4227354>

Angelovici, R., Galili, G., Fernie, A. R., & Fait, A. (2010). Seed desiccation: A bridge between maturation and germination. *Trends in Plant Science*, 15(4), 211-218. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.01.003>

Avila, M. R., Braccini, A. L., Motta, I. S., Scapim, C. A., & Braccini, M. C. L. (2003). Sowing seasons and quality of soybean seeds. *Scientia Agricola*, 60(2), 245-252. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000200007>

Avci, S., İleri, O., & Demirkaya, M. (2017). Determination of genotypic variation among sorghum cultivars for seed vigor, salt, and drought stress. *Journal of Agricultural Science*, 23(3), 335-343. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.447645>

Bailly, C., Leymarie, J., Lehner, A., Rousseau, S., Come, D., & Corbineau, F. (2004). Catalase activity and expression in developing sunflower seeds as related to drying. *Journal of Experimental Botany*, 55(396), 475-483. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh050>

Bam, R., Kumaga, F., Ofori, K., & Asiedu, E. (2006). Germination, vigour, and dehydrogenase activity of naturally aged rice (*Oryza sativa* L.) seeds soaked in potassium and phosphorus salts. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(6), 948-955. <https://doi.org/10.3923/ajps.2006.948.955>

Bhargava, A., & Srivastava, S. (2013). *Quinoa: Botany, production and uses*. CABI.

Cantarero, M. G., Lague, S. F., & Rubiolo, O. J. (2000). Effects of sowing date and plant density on grain number and yield of a maize hybrid in the central region of Cordoba, Argentina. *Journal of Agricultural Science*, 17, 3-10.

Castillo, A. G., Hampton, J. G., & Coolbear, P. (1994). Effect of sowing date and harvest timing on seed vigour in garden pea (*Pisum sativum* L.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 22(1), 91-95. <https://doi.org/10.1080/01140671.1994.9513810>

Ceccato, D. V., Bertero, H. D., & Batlla, D. (2011). Environmental control of dormancy of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds: Two potential genetic resources for pre-harvest sprouting tolerance. *Seed Science Research*, 21, 133-141. <https://doi.org/10.1017/S096025851100002X>

Ceccato, D. V., Bertero, H. D., Batlla, D., & Galati, B. (2015). Structural aspects of dormancy in quinoa (*Chenopodium quinoa*): Importance and possible action mechanisms of the seed coat. *Seed Science Research*, 25, 267-275. <https://doi.org/10.1017/S096025851500015X>

نتیجه گیری کلی

دوره نمو و رسیدگی برای تولید بذر با بنیه بالا دارای اهمیت است. کاهش بنیه بذر در اثر رشد و نمو گیاه مادر در شرایط محیطی نامناسب قابل پیش بینی است. در صورت تولید بذر با کیفیت، قدرت جوانه زنی بذر در نسل بعد تضمین شده و عملکرد آنزیم های آنتی اکسیدانت مانند کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز بذر نیز حین جوانه زنی بالا خواهد بود. موفقیت در جوانه زنی بذرها به شدت به مکانیسم های آنتی اکسیدانت که در طول جوانه زنی عمل می کنند، وابسته است. کاهش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت توجهی بر علت کاهش درصد و سرعت جوانه زنی، طول ریشه چه و کاهش بنیه در بذرهای با کیفیت پایین می باشد. به نظر می رسد دو عامل درجه حرارت و رطوبت که با تاریخ کشت تغییر می کنند، هم کمیت و هم کیفیت بذر تولیدی را تغییر می دهند. وقوع دمای بالا و یا تنش رطوبتی که اغلب با تاخیر در کاشت همراه است، در مقایسه با دمای بهینه هوا، کاهش سرعت فتوسنتز و کاهش اندازه بذر را موجب شده، همچنین بر تولید قندها، پروتئین ها و دیگر متابولیت های بذر اثر گذار است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت معنوی آزمایشگاه تحقیقاتی فیزیولوژی و زیست فناوری بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان تشکر و قدردانی می شود.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تعارض منافی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

Reference

- Agrawal, R. L. (1995). *Seed technology* (2nd ed.). Oxford and IBH Publishing.
- Almeselmani, M., Deshmukh, P. S., Sairam, R. K., Kushwaha, S. R., & Singh, T. P. (2006). Protective role of antioxidant enzymes under high temperature stress. *Plant Science*, 171(3), 382-388. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.04.009>

- Ding, Y., Bai, X., Ye, Z., Ma, L., & Liang, L. (2019).** Toxicological responses of Fe₃O₄ nanoparticles on *Eichhornia crassipes* and associated plant transportation. *Science of the Total Environment*, 671, 558-567. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.344>
- Fenner, M. (1991).** The effects of the parent environment on seed germinability. *Seed Science Research*, 1, 75-84. <https://doi.org/10.1017/S0960258500000696>
- Finch-Savage, W. E., & Bassel, G. W. (2016).** Seed vigour and crop establishment: Extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*, 67(3), 567-591. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv490>
- Galwey, N. W. (1995).** Quinoa and relatives. In *Evolution of crop plants* (pp. 41-46). Longman.
- Gandarillas, H. (1979).** Genética y origen. In M. Tapia (Ed.), *Quinua y Kañiwa: Cultivos andinos* (pp. 45-64). CIID.
- Ghalkhani, E., Hassanpour, H., & Niknam, V. (2020).** Sinusoidal vibration alleviates salt stress by induction of antioxidative enzymes and anatomical changes in *Mentha pulegium*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42(3), 39-42. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-3017-4>
- Gul, H., Khan, A. Z., Saeed, B., Nigar, S., Said, A., & Khan Khalil, S. (2012).** Determination of seed quality tests of wheat varieties under the response of different sowing dates and nitrogen fertilization. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(1), 34-37. <https://doi.org/10.3923/pjn.2012.34.37>
- Gusta, L. V., Johnson, E. N., Nesbitt, N. T., & Kirkland, K. J. (2004).** Effect of seeding date on canola seed quality and seed vigour. *Canadian Journal of Plant Science*, 84(2), 463-471. <https://doi.org/10.4141/P03-100>
- He, Y., Cheng, J., He, Y., Yang, B., Cheng, Y., Yang, C., Zhang, H., & Wang, Z. (2018).** Influence of isopropylmalate synthase OsIPMS1 on seed vigour associated with amino acid and energy metabolism in rice. *Plant Biotechnology Journal*, 17, 332-337. <https://doi.org/10.1111/pbi.12979>
- Hirich, A., Choukr-Allah, R., & Jacobsen, S. E. (2014).** Quinoa in Morocco – Effect of sowing dates on development and yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(5), 371-377. <https://doi.org/10.1111/jac.12071>
- Hu, M., & Wiatrak, P. (2012).** Effect of planting date on soybean growth, yield, and grain quality: Review. *Agronomy Journal*, 104(3), 785-790. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0382>
- Jacobsen, S. E. (2003).** The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19(1-2), 167-177. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018883>
- Khan, A. Z., Shah, P., Mohd, F., Khan Amanullah, H., Parveen, S., Nigar, S., Khalil, S. K., & Zubair, M. (2010).** Vigor test used to rank seed lot quality and predict field emergence in wheat. *Pakistan Journal of Botany*, 42, 3147-3155.
- Kibinza, S., Bazin, J., Bailly, C., Farrant, J. M., Corbineau, F., & El-Maarouf-Bouteau, H. (2011).** Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant Science*, 181(3), 309-315. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.06.003>
- Koca, Y. O., & Canavar, O. (2014).** The effect of sowing date on yield and yield components and seed quality of corn (*Zea mays* L.). *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 57, 227-231. <https://doi.org/10.22034/CAJPSI.2021.02.06>
- Kundu, P. K., Roy, T. S., Hossain Khan, Md. S., Parvin, K., & Khairul Mazed, H. E. M. (2016).** Effect of sowing date on yield and seed quality of soybean. *Journal of Agricultural Ecology Research International*, 9(4), 1-7. <https://doi.org/10.9734/JAERI/2016/29301>
- Milosevic, M., Vujakovic, M., & Karagic, D. (2010).** Vigour tests as indicators of seed viability. *Genetika*, 42(1), 103-118. <https://doi.org/10.2298/GENSR1001103M>
- Mirshekari, M., Majnounhosseini, N., Amiri, R., Moslehi, A., & Zandvakili, O. R. (2013).** Effects of sowing date and irrigation treatment on safflower seed quality. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15, 505-515.
- Muasya, R. M., Lommen, W. J. M., & Struik, P. C. (2002).** Differences in development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crops and pod fractions within a crop: II. Seed viability and vigour. *Field Crops Research*, 79(1), 79-89. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00014-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00014-X)
- Munir, H., Basra, S. M. A., Cheema, M. A., & Wahid, A. (2011).** Phenotypic flexibility in exotic quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm for seedling vigor and viability. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 48(4), 255-261.
- Okelola, F. S., Adebisi, M. A., Kehinde, O. B., & Oluwole, A. M. (2007).** Genotypic and phenotypic variability for seed vigour traits and seed yield in West African rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *American Journal of Science*, 3, 34-41.
- Penfield, S., & MacGregor, D. R. (2017).** Effects of environmental variation during seed production on seed dormancy and germination. *Journal of Experimental Botany*, 68(4), 819-825. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw436>
- Qun, S., Wang, J. H., & Sun, B. Q. (2007).** Advances on seed vigor physiological and genetic mechanisms. *Agricultural Sciences in China*, 6(9), 1060-1066. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(07\)60147-3](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60147-3)

- Rahman, M. M., Rahman, M. M., & Hussain, M. M. (2013).** Effect of sowing date on germination and vigour of soybean (*Glycine max L.*) seeds. *The Agriculturist*, *11*(1), 67-75.
- Randhir, R., & Shetty, K. (2003).** Light-mediated fava bean (*Vicia faba*) response to phytochemical and protein elicitors and consequences on nutraceutical enhancement and seed vigour. *Process Biochemistry*, *38*(6), 945-952. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00219-4](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00219-4)
- Rashid, M., Hampton, J. G., Trethewey, J., & Rolston, M. P. (2017).** Effect of sowing date on forage rape seed quality. *Agronomy New Zealand*, *47*, 55-64.
- Rezzouk, F. Z., Shahid, M. A., Elouafi, S. A., Zhou, B., Araus, J. L., & Serret, M. D. (2020).** Agronomic performance of irrigated quinoa in desert areas: Comparing different approaches for early assessment of salinity stress. *Agricultural Water Management*, *204*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106205>
- Rosa, M., Hilal, M., González, J. A., & Prado, F. E. (2004).** Changes in soluble carbohydrates and related enzymes induced by low temperature during early developmental stages of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings. *Journal of Plant Physiology*, *161*(6), 683-689. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01257>
- Sahu, B., Sahu, A. K., Chennareddy, S. R., Soni, A., & Naithani, S. C. (2017).** Insights on germinability and desiccation tolerance in developing neem seeds (*Azadirachta indica*): Role of AOS, antioxidative enzymes, and dehydrin-like protein. *Plant Physiology and Biochemistry*, *112*, 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.12.022>
- Sawan, Z. M., Fahmy, A. H., & Yousef, S. E. (2009).** Direct and residual effects of nitrogen fertilization, foliar application of potassium, and plant growth retardant on Egyptian cotton growth, seed yield, seed viability, and seedling vigor. *Acta Ecologica Sinica*, *29*(2), 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2009.05.008>
- Siddique, A. B., & Wright, D. (2004).** Effects of date of sowing on seed yield, seed germination, and vigour of peas and flax. *Seed Science and Technology*, *32*(2), 455-472. <https://doi.org/10.15258/sst.2004.32.2.16>
- Swami, S., Yadav, S., Yadav, S. K., Dahuja, A., & Yadava, D. K. (2016).** Imbibition behaviour and germination response in conventional and quality Indian mustard (*Brassica juncea*) seeds. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, *86*(12), 1625-1629. <https://doi.org/10.56093/ijas.v86i12.65652>
- Tabakovic, M., Simic, M., Stanisavljevic, R., Milivojevic, M., Secanski, M., & Postic, D. (2020).** Effects of shape and size of hybrid maize seed on germination and vigour of different genotypes. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *80*(3), 381-392. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000300381>
- Tilebeni, H. G., & Golpayegani, A. (2011).** Effect of seed ageing on physiological and biochemical changes in rice seed (*Oryza sativa L.*). *International Journal of Agricultural Sciences*, *1*(3), 138-143.
- Wang, L., Hu, W., Zahoor, R., Yang, X., Wang, Y., Zhou, Z., & Meng, Y. (2019).** Cool temperature caused by late planting affects seed vigor via altering kernel biomass and antioxidant metabolism in cotton (*Gossypium hirsutum L.*). *Field Crops Research*, *236*, 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.002>
- Wang, X., Zheng, H., Tang, Q., Chen, Q., & Mo, W. (2020).** Seed filling under different temperatures improves the seed vigor of hybrid rice (*Oryza sativa L.*) via starch accumulation and structure. *Scientific Reports*, *10*, 563. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57518-5>
- Yao, Z., Liu, L., Gao, F., Rampitsch, C., Reinecke, D. M., Ozga, J. A., & Ayele, B. T. (2012).** Developmental and seed aging mediated regulation of antioxidative genes and differential expression of proteins during pre- and post-germinative phases in pea. *Journal of Plant Physiology*, *169*, 1477-1488. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.06.001>
- Zhu, L. W., Cao, D. D., Hu, Q. J., Guan, Y. J., Hu, W. M., Nawaz, A., & Hu, J. (2015).** Physiological changes and sHSPs genes relative transcription in relation to the acquisition of seed germination during maturation of hybrid rice seed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *96*, 1764-1771. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7283>

