



The impact of planting date on biomass and grain yield of proso millet in Rasht

Fatemeh Ghorbannezhad¹, Mohsen Zavareh^{2*} and Mohammad Rahmani³

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 (* Corresponding author: mzavareh@guilan.ac.ir)
3. Researcher, Seed and Plant Certification and Registration Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Cultivating forage plants is an important way to address the problem of a lack of forage and its consequences, which can be beneficial to the economy and improving food security. Millet is an excellent source of forage for livestock because of its high dry matter production, low water footprint and adaptability to different environments. However, there is not available well documented experimental results on the crop planting date for Rasht, Guilan province, Iran. Therefore, this study was performed to evaluate the impact of various planting dates on the crop grain and biomass yield in Rasht, which could be extended to similar regions.

Materials and methods

The study was conducted to evaluate the impact of various planting dates on the grain and biomass yield of proso millet (Pishahang cultivar) in Rasht, Guilan province. The study was conducted at the Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan in two cropping years, 2017-18 and 2018-19. A RCBD based experiment with four replications and four planting dates was used. The planting dates were May 29, June 27, July 29 and August 29 in the first year, and June 4, July 7, August 5 and September 6 in the second year. The central rows of each plot were used to measure grain yield and biomass yield, respecting the margin effect. We tracked the growth of the leaf area over time by measuring leaf area and maximum leaf area index from tillering stage to final harvest. The SAS software was used to analyze variance and compare data values.

Research findings

The results of the study showed that the interaction between planting date and year had a significant effect on biomass yield, grain yield, harvest index, leaf area index, panicle weight, panicle number, grain number, and 1000- grain weight. In the first year, planting millet on June 27 resulted in the highest biomass yield (9927 kg. ha⁻¹), grain yield (2182 kg.ha⁻¹), panicle dry weight (25.53 g.plant⁻¹), panicle number (15.08 per plant), grain number (2121 per plant), 1000-grain weight (5.23 g), and leaf area index (5.14). This was likely due to the favorable temperature conditions at that time of year. In the second year, planting millet on July 7 resulted in the highest biomass yield (6537 kg. ha⁻¹), grain yield (1283 kg. ha⁻¹), panicle dry weight (11.77 g. plant⁻¹), panicle number (6.75 per plant), grain number (1345per plant), 1000-grain weight (4.7 g), and leaf area index (3.69). This was likely due to the favorable meteorological parameters at that time of year, such as maximum and minimum temperature (30.24 and 21.46 °C, respectively), solar radiation (17.7 MJ.m⁻².day⁻¹), and sunshine hours (7.67 hours).



Conclusion

Overall, the results of the study suggest that planting millet in the period from June 4 to June 27 will result in the highest dry matter and grain yield in the Rasht region.

Keywords: Forage, Grain number, Leaf area index, Temperature

Received: April 16, 2023

Accepted: July 16, 2023

Cite this article:

Ghorbannezhad, F., Zavareh, M., Rahmani, M. 2023. The impact of planting date on biomass and grain yield of proso millet in Rasht. *Cereal Research*, 13(2), pp. 175-195.



اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و زیست توده ارزن پروسو در رشت

فاطمه قربان‌نژاد^۱، محسن زواره^{۲*} و محمد رحمانی^۳

۱- دانشجوی دکتری، 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 (* نویسنده مسئول):

mzavareh@guilan.ac.ir

۳- محقق، موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده جامع

مقدمه: تولید گیاهان علوفه‌ای متنوع می‌تواند با کاهش مشکلات ناشی از کمبود علوفه، فشار بر منابع طبیعی را کاهش داده و با تأمین نیازهای دامپروری، به بهبود اقتصاد و امنیت پایدار غذایی کمک کند. در بین این گیاهان، ارزن پروسو به دلیل تولید بالای ماده خشک و سازگاری به محیط‌های مختلف می‌تواند نقش مهمی داشته باشد. از آنجا که نخستین گام برای تولید بهینه علوفه، کاشت آن در زمان مناسب است، این پژوهش، با هدف ارزیابی تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت بر عملکرد دانه و علوفه ارزن پروسو در شرایط آب و هوایی رشت انجام شد.

مواد و روش‌ها: برای بررسی تأثیر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و زیست‌توده ارزن پروسو (رقم پیشاهنگ) در شرایط آب و هوایی شهرستان رشت (استان گیلان)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایشی در هر دو سال شامل چهار تاریخ کاشت بودند که در سال نخست، ۸ خرداد، ۶ تیر، ۷ مرداد و ۷ شهریور و در سال دوم، ۱۴ خرداد، ۱۶ تیر، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده، خطوط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیه برداشت و پس از توزین، بر حسب کیلوگرم در هکتار ثبت شد. اندازه‌گیری سطح برگ و تعیین بیشینه شاخص سطح برگ، از مرحله پنجه‌زنی تا برداشت نهایی انجام شد. برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد.

یافته‌های تحقیق: یافته‌های این آزمایش نشان داد که برهمکنش سال و تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و زیست‌توده ارزن از نظر آماری معنی‌دار بود، به طوری که با کشت ارزن پروسو در تاریخ ششم تیرماه در نخستین سال آزمایش به دلیل فراهم شدن بهتر شرایط دمایی، بیش‌ترین عملکرد دانه (۲۱۸۲ کیلوگرم در هکتار) و زیست‌توده (۹۹۲۷ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. در این سال، میانگین وزن ماده خشک خوشه برابر با ۲۵،۵۳ گرم در بوته، میانگین تعداد خوشه برابر با ۱۵،۰۸ عدد در بوته، تعداد دانه در بوته برابر با ۲۱۲۱ عدد در بوته، وزن هزار دانه برابر با ۵،۲۳ گرم و شاخص سطح برگ ۵،۱۴ واحد بود. در سال دوم آزمایش و در نخستین زمان کاشت (۱۴ خرداد)، پارامترهای هواشناسی مانند دمای بیشینه و کمینه (به ترتیب ۳۰،۲۴ و ۲۱،۴۶ درجه سلسیوس)، تابش خورشیدی (۱۷،۷ مگاژول بر متر مربع بر روز) و ساعت آفتابی (۷،۶۷ ساعت) از مقادیر مطلوب‌تری در مقایسه با سه تاریخ کاشت دیگر برخوردار بودند. شرایط محیطی مناسب در نخستین زمان کاشت در سال دوم آزمایش نیز

موجب افزایش شاخص سطح برگ (۳,۶۹ واحد)، ماده خشک خوشه (۱۱,۷۷ گرم در بوته)، تعداد خوشه (۶,۷۵ عدد در بوته)، تعداد دانه پر (۱۳۴۵ عدد در بوته) و وزن هزار دانه (۴,۷ گرم) شد. افزایش مقادیر صفات یاد شده نیز در نهایت موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه (۱۲۸۳ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد زیست‌توده (۶۵۳۷ کیلوگرم در هکتار) ارزن پروسو شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع با توجه به نتایج به‌دست آمده از دو سال پژوهش می‌توان بیان کرد که با کاشت ارزن پروسو در بازه زمانی ۱۴ خرداد الی ۶ تیر می‌توان به بیشینه عملکرد زیست‌توده و دانه در منطقه رشت دست یافت.

واژه‌های کلیدی: تعداد دانه، دما، شاخص سطح برگ، عملکرد علوفه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

نحوه استناد به این مقاله:

قربان‌نژاد، فاطمه، زواره، محسن و رحمانی، محمد. ۱۴۰۲. اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و زیست‌توده ارزن پروسو در رشت. *تحقیقات غلات*، ۱۳(۲): ۱۹۵-۱۷۵.

مقدمه

تولید گیاهان علوفه ای متنوع می تواند با تأمین مناسب علوفه مورد نیاز واحدهای دامپروری، منجر به افزایش تنوع در سیستم تولید، کاهش فشار بر مراتع و کاهش فرسایش خاک و پایداری امنیت غذایی در این بخش شود. در میان انواع گیاهان علوفه‌ای، ارزن‌ها به دلیل تأثیرپذیری اندک از تنش‌های محیطی و نیاز کم‌تر به آب، توانایی مناسبی برای رشد و تولید در دامنه گسترده‌ای از شرایط محیطی را دارند (Nandini and Sridhara, 2019b) و می‌توانند به صورت سبز و یا سیلو شده (Fayed *et al.*, 2016) در تغذیه دام و طیور (Bhattarai *et al.*, 2019) استفاده شوند.

ارزن پروسو (*Panicum miliaceum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین انواع ارزن‌ها (Habiyaemye *et al.*, 2017)، سرشار از پروتئین، مواد مغذی، ویتامین‌ها و ریزمغذی‌ها است (Ventura *et al.*, 2022) و به دلیل برخورداری از دوره رشد کوتاه (۱۰۰-۶۰ روز) و نیاز آبی اندک (۲۷۷ لیتر آب برای تولید هر کیلوگرم ماده خشک) (Farooq and Siddique, 2023) می‌تواند به‌عنوان یک گیاه علوفه‌ای ایده‌آل در شرایط اقلیمی پیش رو در نظر گرفته شود (Rajendrakumar, 2022).

برای دستیابی به علوفه‌ای با کیفیت و عملکرد بالا، لازم است که که بهترین مدیریت زراعی در برهمکنش با ژنوتیپ و محیط استفاده شود (Shafaroodi *et al.*, 2012). از جمله عوامل مدیریتی که تأثیر به‌سزایی بر عملکرد دانه و ماده خشک ارزن دارد، انتخاب تاریخ کاشت مناسب است (Hancock and Greg Durham, 2010). با کشت گیاه در زمان مناسب، هم‌نواپی مناسبی میان مراحل مختلف رشد آن با شرایط محیطی برقرار می‌شود و بهره‌وری گیاه در استفاده از نهاده‌های تولید افزایش خواهد یافت که این حالت در کشت‌های زود و یا کشت‌های تأخیری انجام نخواهد شد (Silungwe *et al.*, 2019b). در کشت تأخیری ارزن، به دلیل رویارویی گیاه با دماهای بالاتر در دوره رشد رویشی، سرعت نمو زیاد می‌شود که این موضوع در کنار کوتاه شدن دوره رشد ناشی از آن و کاهش جذب تابش خورشیدی، مقدار نهایی ماده خشک تولیدی را در مرحله برداشت کاهش می‌دهد (Caliskan *et al.*, 2008). ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2019b) در گزارشی اعلام کردند

که با تأخیر در کاشت، به دلیل کاهش ظرفیت منابع فتوسنتزی، عملکرد زیست‌توده ارزن دم روباهی و ژاپنی کاهش می‌یابد. به‌همین گونه، در ارزن پروسو نیز اثر منفی کشت تأخیری بر عملکرد دانه مشاهده شده است (Joshi, 1988). در کنار این‌ها، گسترش بیشتر آفات و بیماری‌ها در کشت‌های تأخیری نیز از دلایل کاهش عملکرد به شمار آمده است (Lewis, 2017).

کاهش عملکرد دانه و ماده خشک گیاهان در کشت زودهنگام نیز در پژوهش‌های مختلفی مورد اشاره قرار گرفته است. ساندرز و جانسون (Saunders and Johnson, 1998) در گزارشی اعلام کردند که کشت زودهنگام ذرت سبب اثر منفی بر عملکرد زیست‌توده آن شد و مقدار آن را بین ۵۶-۲۸ درصد کاهش داد. سریکانیا و همکاران (Srikanya *et al.*, 2020) بیان کردند که در صورت کشت زودهنگام ارزن دم‌روباهی، به دلیل بارندگی‌های شدید طی فصل رشد، افزایش رطوبت و کاهش دما در فاصله گل‌دهی تا رسیدگی، که منجر به افزایش بیماری‌ها می‌شود، عملکرد دانه به صورت چشم‌گیری کاهش می‌یابد. مارسما و همکاران (Maresma *et al.*, 2019) گزارش کردند که کشت زودهنگام ذرت سبب دیرتر سبز شدن گیاهچه‌ها شد و بر استقرار بوته تأثیر نامناسبی داشت و عملکرد دانه را کاهش داد. با این‌حال، گزارش‌هایی هم وجود دارد که عدم تأثیر کشت زودهنگام بر عملکرد دانه و ماده خشک را نشان می‌دهند. این موضوع در پژوهش فن‌روکل و کالتر (Van Roekel and Coulter, 2011) و برونز و عباس (Bruns and Abbas, 2006) هم اشاره شده است.

تصمیم‌گیری در مورد زمان کاشت مطلوب یک گیاه زراعی از منطقه‌ای به منطقه دیگر و در یک منطقه، با توجه به اختلاف ژنتیکی میان ارقام (Maresma *et al.*, 2019) و همچنین سطح مدیریتی متفاوت است. برای نمونه، در شهرستان مهریز، استان یزد، مشاهده شد که با کشت ارزن پرسو (رقم پیشاهنگ) در روز نخست ماه تیر، سهم بیش‌تری از مواد فتوسنتزی ساخته شده به دانه‌ها منتقل شده است که ناشی از شرایط محیطی مناسب (طول روز، دما و رطوبت کافی) بوده است. گیاهان کشت شده در این تاریخ با دریافت دیر هنگام روز درجه رشد مورد نیاز و به‌دنبال آن افزایش طول دوره رشد، زیست‌توده کل و عملکرد علوفه بیش‌تری

میانگین ارتفاع بوته کاهش می‌یابد که این موضوع کاهش عملکرد علوفه را به دنبال خواهد داشت. از آنجا که تاریخ کاشت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابزار مدیریتی، شرایط محیطی حاکم بر دوره رشد و نمو گیاه را تعیین می‌کند (Bonelli *et al.*, 2016)، بنابراین لازم است پیش از توصیه کشت یک گیاه در یک منطقه مشخص، مناسب‌ترین زمان کاشت آن تعیین شود (Maiti and Soto, 1990). با توجه به این‌که هیچ‌گونه اطلاعات مدونی در مورد زمان مناسب کاشت ارزن پروسو در منطقه رشت در دسترس نیست و با توجه به لزوم افزایش تولید علوفه از این گیاه در منطقه، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تاریخ‌های مختلف کاشت بر عملکرد دانه و علوفه ارزن پروسو در رشت طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و با چهار تاریخ کاشت (در سال نخست ۸ خرداد، ۶ تیر، ۷ مرداد، ۷ شهریور و در سال دوم ۱۴ خرداد، ۱۶ تیر، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور) طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان (با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۶۴ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۲۶ متر) اجرا شد. برخی از پارامترهای آب و هوایی محل آزمایش طی دو سال زراعی در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

عملیات خاک‌ورزی شامل شخم عمیق در بهار با گاواهن برگردان‌دار انجام شد. پس از آن، برای تسطیح و خرد شدن کلوخه‌ها از دو دیسک عمود بر هم و لولر استفاده شد. پس از آماده‌سازی زمین، بلوک‌بندی و کرت‌بندی انجام شد. ابعاد هر کرت آزمایشی ۳×۳٫۵ متر مربع در نظر گرفته شد. هر یک از کرت‌ها دارای هفت ردیف کشت به‌طول سه متر بود که با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم قرار داشتند. پیش از اجرای آزمایش به‌منظور تعیین ویژگی‌های خاک محل آزمایش، نمونه مرکبی تهیه و ویژگی‌های آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱). برای تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، پیش از کاشت ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به خاک داده شد. هم‌زمان با

تولید کردند (Tabatabaee and Shakeri, 2017). مطالعه صفری و همکاران (Safari *et al.*, 2008) روی کشت ارزن دم‌روباهی در گرگان نشان داد که در این منطقه، کشت در روز نخست تیرماه سبب تولید بیش‌ترین عملکرد علوفه تر (۳۵۶۲۸ کیلوگرم در هکتار) و خشک (۱۳۴۹۴ کیلوگرم در هکتار) شد. سلیمانی و همکاران (Solymani *et al.*, 2011) در آن منطقه بازه زمانی از ۱۵ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت را به‌عنوان بهترین زمان کاشت ارزن پیشنهاد کردند. آذری نصرآباد و میرزایی (Azari Nasrabad and Mirzaee, 2012) برای تعیین مناسب‌ترین تاریخ کشت لاین‌های امید بخش ارزن دم‌روباهی در بیرجند، آزمایشی با سه تاریخ کاشت متفاوت (اول خرداد، ۱۵ خرداد، اول تیر و ۱۵ تیر) اجرا کردند و دریافتند که عملکرد علوفه تر در تاریخ کشت اول خرداد و عملکرد علوفه خشک در تاریخ کشت‌های اول و ۱۵ خرداد بیش‌ترین مقدار است. با این‌حال مناسب‌ترین زمان کاشت ارزن مرواریدی در این منطقه، ۲۰ فروردین نیز اعلام شده است (Rostampour *et al.*, 2020). در سیستان و بلوچستان، بهترین بازه زمانی کاشت ارزن دم‌روباهی ۱۵ اسفند گزارش شده است (Ghasemi *et al.*, 2019). نمونه دیگری از اثر منطقه و ژنوتیپ بر تاریخ کشت در بیرجند مشاهده شد، به‌طوری‌که برای کشت رقم چماقی (از ارزن مرواریدی)، تاریخ کاشت ۱۳ خرداد و برای کشت رقم گاورس زرد (ارزن دم‌روباهی)، تاریخ کاشت سوم تیرماه پیشنهاد شد (Ghafari *et al.*, 2019).

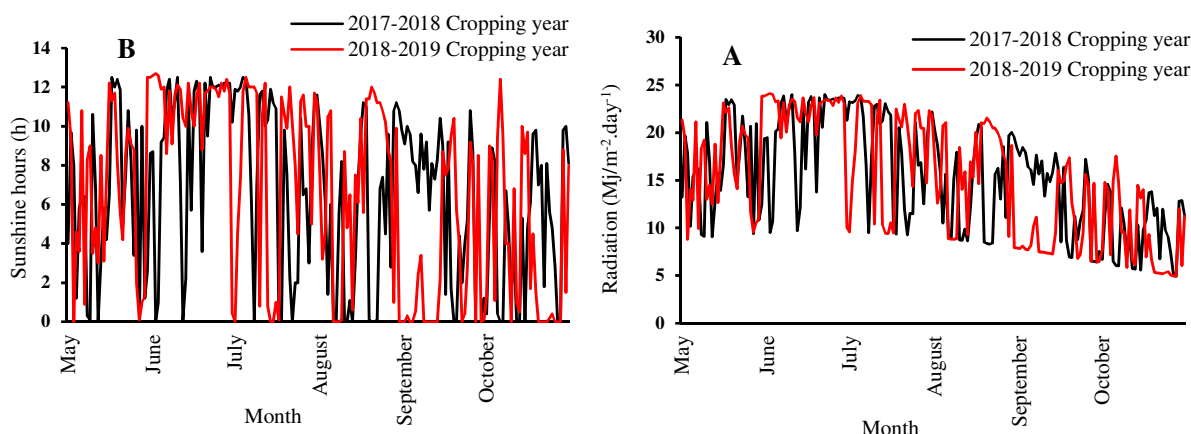
در پاکستان برای کشت موفق ارزن مرواریدی دیم تاریخ ۳۰ خرداد (۲۰ ژوئن) پیشنهاد شده است (Jan *et al.*, 2015). اما فصول زراعی در شمال شرقی مکزیک متفاوت اعلام شده است. در این مناطق معمولاً کشت ارزن مرواریدی در ماه تیر (جولای) - شهریور (اگوست) انجام می‌شود (Maiti and Soto, 1990). فونتالی و همکاران (Fontaneli *et al.*, 2001) دریافتند که در شمال آمریکا به ازای هر روز تأخیر در کاشت ارزن مرواریدی از ۳۰ اسفند (۲۰ مارس)، عملکرد علوفه به‌صورت خطی کاهش می‌یابد. چوی و همکاران (Choi *et al.*, 2016) با بررسی تأثیر شش تاریخ کشت بر ارقام مختلف ارزن پروسو در کره جنوبی دریافتند که با تأخیر در کاشت از ۴ مرداد (۲۵ جولای)،

اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و زیست توده ارزن پروسو در رشت کاشت، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به صورت نواری به زمین داده شد.

بذر ارزن پروسو (رقم پیشاهنگ) از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. بذرها به صورت متراکم درون شیارهایی با عمق سه سانتی متر و به صورت دستی کشت شدند. پس از استقرار گیاهچه‌ها، با عملیات تنک در مرحله ۳-۴ برگی، فاصله دو بوته روی ردیف‌ها به ده سانتی متر و تراکم ۲۰ بوته در متر مربع تنظیم شد. هم‌زمان با تنک، سله‌شکنی و مبارزه با علف‌های هرز نیز انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یکبار انجام شد. آبیاری

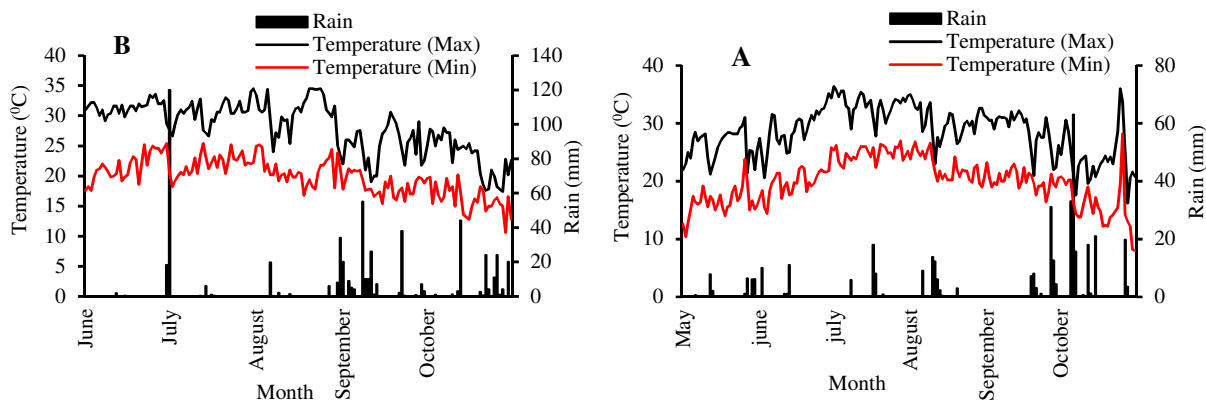
تحقیقات غلات/ دوره سیزدهم/ شماره دوم/ تابستان ۱۴۰۲
به صورت قطره‌ای و با استفاده از نوارهای آبیاری (با فاصله ۱۰ سانتی متر) انجام شد.

برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد دانه، در پایان فصل رشد و پیش از برداشت، از خطوط اصلی هر کرت و با رعایت اثر حاشیه، تعداد چهار بوته به صورت تصادفی انتخاب شد و پس از شمارش تعداد خوشه و تعداد دانه، به آن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس منتقل و به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شدند. در نهایت وزن ماده خشک خوشه و دانه با استفاده از ترازوی حساس با دقت ۰,۰۰۱ گرم ساخت کشور انگلستان (مدل G.C.L. BUBBLE ETCH TANKS) وزن شدند. عملکرد دانه و عملکرد زیست توده نیز بر مبنای برداشت یک متر مربع از هر کرت تعیین شد.



شکل ۱- اطلاعات آب و هوایی محل آزمایش طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸. الف) تابش خورشیدی، ب) ساعت آفتابی. داده‌ها از ایستگاه هواشناسی فرودگاه رشت.

Figure 1. Weather parameters of the experimental site in 2017-18 and 2018-19 cropping years. a) Average daily radiation ($Mj/m^2 \cdot day^{-1}$), B) Sunshine hours. Data from Rasht Airport Meteorological Station.



شکل ۲- بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه طی دو سال زراعی. الف) ۱۳۹۶-۹۷، ب) ۱۳۹۷-۹۸. داده‌ها از ایستگاه هواشناسی فرودگاه رشت. Figure 2. Rain and air minimum and maximum temperature of the experimental site in two cropping years. a) 2017-18, b) 2018-19. Data from Rasht Airport Meteorological Station.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک محل آزمایش برای دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸

Table 1. Soil properties of the experimental field in 2017-18 and 2018-19 cropping years

Cropping year	Depth (cm)	Soil texture	EC (dS.m ⁻¹)	pH	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	CEC (meq.100.g ⁻¹)	Organic carbon (%)
2017-2018	0-30	Silty clay	0.51	6.05	0.14	4.35	58.45	24.69	1.75
	30-60	Silty clay	0.54	5.11	0.13	1.5	73.35	28.19	1.4
2018-2019	0-30	Silty clay	0.46	6.8	0.1	4.4	110	33.5	0.82
	30-60	Silty clay	0.59	6.8	0.04	0.8	120	31.5	0.44

کاشت (۸ خرداد) از افزایش ۱۱,۶۷ درصدی برخوردار بود (شکل ۳). علت کاهش شاخص سطح برگ ارزن پروسو در نخستین زمان کاشت (۸ خرداد) را می‌توان به اثر دما بر سرعت ظهور برگ‌ها مرتبط دانست (Parthasarathi *et al.*, 2013). با توجه به اطلاعات هواشناسی (شکل ۱- الف و ب)، احتمالاً وقوع دماهای پایین در تاریخ کاشت ۸ خرداد موجب افزایش فاصله زمانی بین پیدایش برگ‌ها شد (Parthasarathi *et al.*, 2013) و به دنبال آن سطح برگ کاهش یافت (Jia *et al.*, 2019). با تأخیر در کاشت از ۶ تیر به ۷ مرداد از بیشینه شاخص سطح برگ ارزن پروسو ۶۰,۳۱ درصد کاسته شد (شکل ۳). این کاهش در چهارمین زمان کاشت (۷ شهریور) با شدت بیشتری مشاهده شد (۹۵,۷۱ درصد) (شکل ۳) و مقدار آن به ۰,۲۲ واحد رسید (جدول ۳).

در دومین سال آزمایش، با کاشت ارزن پروسو در ۱۴ خرداد، بیشینه شاخص سطح برگ با میانگین ۳,۶۹ واحد به دست آمد (جدول ۳). از طرفی، با تأخیر در کاشت از ۱۴ خرداد به ۱۶ تیر، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور از مقدار شاخص سطح برگ ارزن پروسو به صورت خطی کاسته شد (شکل ۳) و به ترتیب به ۱,۸۷، ۱ و ۰,۱۳ واحد رسید (جدول ۳). علت کاهش شاخص سطح برگ ارزن پروسو در کشت‌های تأخیری می‌تواند به کاهش دوره نوری (Maiti and Soto, 1999; Bacci *et al.*, 1990) و مناسب نبودن شرایط دمایی و وقوع دماهای پایین (Parthasarathi *et al.*, 2013) مرتبط باشد. این نتایج با یافته‌های نواجی و همکاران (Nwajei *et al.*, 2019) مطابقت داشت.

عملکرد زیست توده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر برهمکنش میان تاریخ کاشت و سال بر عملکرد زیست توده ارزن پروسو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که در نخستین

برای اندازه‌گیری بیشینه شاخص سطح برگ، نمونه‌برداری به روش تخریبی از مرحله پنجه‌زنی تا برداشت نهایی انجام شد. فاصله نمونه‌برداری‌ها در سال اول و دوم به ترتیب هر ۷ و ۱۰ روز یکبار بود. سپس سطح برگ‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج پرتابل ساخت آمریکا (مدل LI3000C) اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Watson, 1947):

$$\overline{LAL} = \frac{LA1+LA2}{2} \times \frac{1}{p} \quad (1)$$

که در آن، p سطح زمین زیر گیاهان برداشت‌شده بر حسب متر مربع و LA سطح برگ‌های گیاه بر حسب متر مربع (LA1 و LA2 به ترتیب سطح برگ در نمونه‌برداری اول و دوم) است. بیش‌ترین شاخص سطح برگ ثبت‌شده در طول فصل رشد به‌عنوان بیشینه شاخص سطح برگ در نظر گرفته شد. در نهایت تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹,۴ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

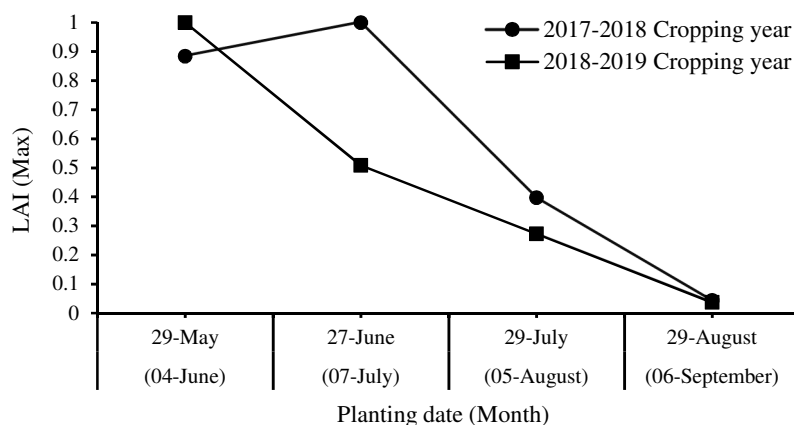
نتایج و بحث

بیشینه‌ی شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ، اندازه دستگاه فتوسنتزی را برای دریافت تابش خورشیدی نشان می‌دهد (Virk *et al.*, 2020) و به صورت نسبت سطح سبز برگ به سطح زمین زیر آن تعریف می‌شود (Watson, 1947). بررسی‌ها نشان می‌دهند که تغییر تاریخ کاشت می‌تواند راه‌کار موثری در افزایش شاخص سطح برگ به‌شمار آید (Watson, 1958). یافته‌های این پژوهش نشان داد که برهمکنش سال و تاریخ کاشت بر بیشینه شاخص سطح برگ بوته‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). در نخستین سال آزمایش، بیش‌ترین شاخص سطح برگ با میانگین ۵,۱۴ واحد در دومین زمان کاشت (۶ تیر) به دست آمد (جدول ۳) که در مقایسه با نخستین زمان

۱-الف و ب و ۲-الف). با توجه به این که دما تأثیر بیشتری نسبت به سایر پارامترها بر رشد و نمو ارزن (Zhang *et al.*, 2022) و بر چگونگی استقرار آن دارد (Villalobos and Fereres, 2016) و می تواند به صورت غیر مستقیم و با تأثیر بر گسترش برگ ها بر دریافت تابش خورشیدی و تبدیل آن به ماده خشک موثر باشد (Otegui *et al.*, 1995)، بنابراین می توان افزایش زیست توده ارزن پروسو را در دومین تاریخ کاشت (۶ تیر) به نقش موثر دما نسبت داد. حساسیت زیاد این گیاه به دمای پایین (Hasanuzzaman, 2019) و کاهش رشد آن در این دماها (Wen *et al.*, 2014) می تواند به خوبی بیانگر کاهش عملکرد زیست توده در تاریخ کاشت اول (۸ خرداد) در مقایسه با تاریخ کاشت ۶ تیر باشد (شکل ۲-الف). مقایسه بیشینه دمای ثبت شده در دو هفته نخست پس از کاشت که به عنوان دوره بحرانی رشد ارزن پروسو در نظر گرفته می شود (Habiyaemye *et al.*, 2017)، نشان می دهد که گیاهان کشت شده در تاریخ کاشت نخست (۸ خرداد) با دماهای کمتری در روزهای اول پس از کاشت رو به رو بودند (۲۶،۴ درجه سلسیوس) که در مقایسه با تاریخ کاشت دوم (۶ تیر) ۲۱،۹۳ درصد کم تر بود (شکل ۲-الف). این شرایط متفاوت دمایی در طول دوره رویشی ارزن پروسو حفظ شد (شکل ۲-الف) و تأثیر منفی بر ویژگی های مربوط به رشد و نمو آن اعمال کرد.

سال آزمایش، بیشترین عملکرد زیست توده ارزن پروسو با میانگین ۹۹۲۷ کیلوگرم در هکتار در دومین تاریخ کاشت (۶ تیرماه) به دست آمد که در مقایسه با نخستین زمان کاشت (۸ خرداد)، از افزایش معنی دار ۱۱،۶۲ درصدی برخوردار بود (شکل ۴). علت اختلاف زیست توده ثبت شده در این دو تاریخ را می توان به شرایط محیطی حاکم بر این دو بازه زمانی نسبت داد. دما، بارش، شدت تابش و ساعت آفتابی به عنوان عوامل محیطی موثر بر رشد و عملکرد ارزن در نظر گرفته می شوند (Caliskan *et al.*, 2008; Zhou *et al.*, 2016). در نخستین سال آزمایش و در تاریخ کاشت اول (۸ خرداد)، میانگین دمای بیشینه و کمینه ثبت شده در طول فصل رشد به ترتیب ۳۰،۶۸ و ۲۲،۰۳ درجه سلسیوس و میانگین شدت تابش خورشیدی، ساعت آفتابی و بارش نیز به ترتیب ۱۷،۳۸ مگاژول بر متر مربع بر روز، ۷،۴۸ ساعت و ۱،۰۶ میلی متر بود (شکل های ۱-الف و ۲-الف). در حالی که در دومین تاریخ کاشت (۶ تیر)، میانگین دمای بیشینه و کمینه در طول فصل رشد به ترتیب ۳۱،۶۴ و ۲۲،۹۷ درجه سلسیوس بود که در مقایسه با نخستین تاریخ کاشت (۸ خرداد)، افزایش ۳،۰۳ و ۴،۰۹ درصدی داشت (شکل ۲-الف). با این حال، شدت تابش ورودی، ساعت آفتابی و بارش به ترتیب به ۱۶،۵۵ مگاژول بر متر مربع بر روز، ۷،۱۲ ساعت و ۰،۹۵ میلی متر کاهش یافت (شکل های



شکل ۳- نسبت بیشینه شاخص سطح برگ ارزن پروسو در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ (تاریخ های ذکر شده در داخل پرانتز مربوط به سال دوم آزمایش است)

Figure 3. Maximum ratio of leaf area index of proso millet in two cropping years, 2017-18 and 2018-19 (The dates represented in parentheses are related to the second year of the experiment)

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تاریخ‌های مختلف کاشت بر صفات مورد مطالعه ارزن پروسو در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸

Table 2. Analysis of variance of the effect of planting dates on proso millet traits in two consecutive crop years (2017-2018 and 2018-2019)

Source of variation	df	Mean square							
		Leaf area index (Max)	Biomass yield	Grain yield	Harvest index	Grain numbers	Panicle numbers	Panicle weight	1000-grain weigh
Year (A)	1	13.76**	91480391.6**	3855307.58**	276.82**	3476715.16**	42.09**	488.91**	6.29**
Replication×Year	6	0.05	64404.7	12355.45	3.74	10893.54	0.08	0.3	0.09
Planting date (B)	3	26.31**	53018300.6**	1583256.7**	626.51**	1235461**	145.92**	404.91**	0.76*
B×A	3	3.74**	11914720.8**	442375.7**	147.63**	425001.56**	39.92**	73.35**	1.39**
Error	18	0.03	43856	9939.6	8.45	10969.01	0.18	0.3	0.09
CV (%)	-	7.67	4.56	9.34	11.37	9.27	4.72	4.57	7.32

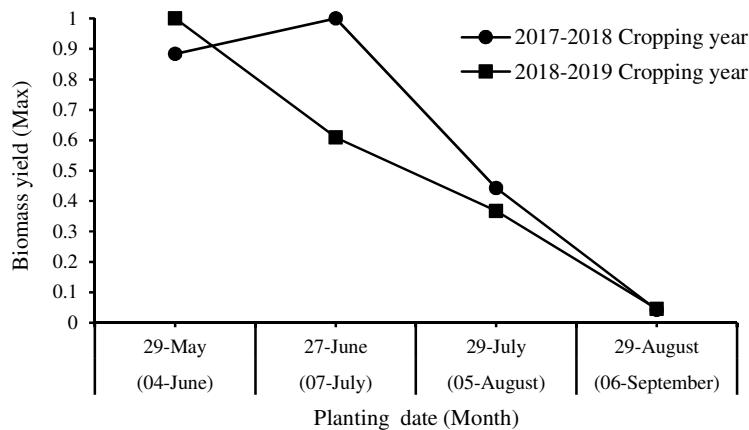
* and ** Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- اثرات برهمکنش تاریخ کاشت و سال بر صفات مورد مطالعه در ارزن پروسو

Table 3. The planting dates by year interaction effects on the studied traits in proso millet

Cropping Year	Planting date	Leaf area index (Max.)	Biomass yield (Kg.ha ⁻¹)	Grain yield (Kg.ha ⁻¹)	Harvest index (%)	Grain Numbers per plant	Panicle Numbers per plant	Panicle dry weight (g.plant ⁻¹)	1000- grain weight (g)
2017-18	May 29	4.54 ^b	8773.3 ^b	1625.4 ^b	18.52 ^c	1609.5 ^b	12.83 ^b	21.02 ^b	4.58 ^{bc}
	June 27	5.14 ^a	9927.7 ^a	2182.1 ^a	22 ^c	2121 ^a	15.08 ^a	25.53 ^a	5.23 ^a
	July 29	2.04 ^d	4398.1 ^d	1289.9 ^c	29.49 ^b	1471.4 ^{bc}	11.08 ^c	14.91 ^c	4.24 ^c
	August 29	0.22 ^f	417.1 ^g	60.6 ^f	14.53 ^d	98.8 ^g	6.08 ^f	1.01 ^f	3.7 ^d
2018-19	June 4	3.69 ^c	6537.6 ^c	1283 ^c	19.62 ^c	1345 ^c	6.75 ^e	11.77 ^d	4.7 ^{bc}
	July 7	1.87 ^d	3978.8 ^e	1096.8 ^d	27.52 ^b	1184.8 ^d	5.33 ^g	11.39 ^d	4.8 ^{ab}
	August 5	1 ^e	2403.3 ^f	892.7 ^e	37.22 ^a	939.4 ^e	10.5 ^d	9.73 ^e	4.74 ^b
	September 6	0.13 ^f	299.1 ^g	106.2 ^f	35.58 ^a	259.5 ^f	5.4 ^g	0.89 ^f	2.29 ^e

Means followed by at least one common letter in each column do not significantly differ by Duncan's multiple range test.



شکل ۴- نسبت بیشینه عملکرد زیست‌توده ارزن پروسو در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ (تاریخ‌های ذکر شده در داخل پرانتز مربوط به سال دوم آزمایش است)

Figure 4. Maximum ratio of biomass yield of proso millet in two cropping years, 2017-18 and 2018-19 (The dates represented in parentheses are related to the second year of the experiment)

با کشت زود هنگام (۸ خرداد) بر عملکرد زیست‌توده ارزن پروسو اعمال کرد و از مقدار زیست‌توده گیاهان به ترتیب ۵۵,۶۹ و ۹۸,۹۹ درصد کاست (شکل ۴) و مقدار آن به ۴۳۹۸ و ۴۱۷ کیلوگرم در هکتار رسید (جدول ۳). با بررسی شرایط محیطی حاکم بر تاریخ کاشت ۷ مرداد و ۷ شهریور می‌توان دریافت که تمامی پارامترهای هواشناسی مورد بررسی به استثناء مقدار بارش، کاهش قابل توجهی را داشتند، به طوری که بیشینه و کمینه دما، تابش خورشیدی و ساعت آفتابی در سومین تاریخ کاشت (۷ مرداد) به ترتیب ۲۹,۶۱ درجه سلسیوس، ۲۱,۳۷ درجه سلسیوس، ۱۳,۹۲ مگاژول بر متر مربع بر روز و ۵,۷۸ ساعت بوده است (شکل‌های ۱-الف و ۲-الف). اما این مقادیر در چهارمین تاریخ کاشت (۷ شهریور) به ترتیب به ۲۶,۸۸ درجه سلسیوس، ۱۸,۵۶ درجه سلسیوس، ۱۲,۰۲ مگاژول بر مترمربع بر روز و ۵,۴۴ ساعت کاهش یافتند (شکل‌های ۱-الف و ۲-الف). مقدار بارندگی در تاریخ کاشت سوم (۷ مرداد) و چهارم (۷ شهریور) به ترتیب به ۱,۶۷ و ۳,۹۸ میلی‌متر افزایش یافت (شکل ۲-الف). کاهش تابش خورشیدی، تعداد ساعت آفتابی و دمای بیشینه و کمینه به برقراری شرایط محیطی نامناسب برای رشد و نمو ارزن پروسو اشاره دارد که پیامد آن کاهش انباشت ماده خشک در کشت سوم (۷ مرداد) و چهارم (۷ شهریور) بود (جدول ۳). در کنار نامناسب بودن شرایط محیطی، در کشت‌های تأخیری (۷ مرداد و ۷ شهریور) بخش زیادی از دوره رشد ارزن پروسو با روزهای کوتاه

یکی از اثرات منفی دمای پایین، کاهش شاخص سطح برگ است. با توجه به نقش شاخص سطح برگ در دریافت تابش خورشیدی و تبدیل آن به ماده خشک (در این پژوهش $r=0.99$ بود، داده‌ها نشان داده نشده است) (Xie *et al.*, 2017)، می‌توان بیان کرد که کاهش زیست‌توده ارزن پروسو در نخستین زمان کاشت به دلیل تأثیر دما بر مقدار شاخص سطح برگ هم بوده است. به این معنی که، علی‌رغم بیش‌تر بودن شدت تابش ورودی و تعداد ساعات آفتابی در نخستین تاریخ کاشت (۸ خرداد) در مقایسه با تاریخ کاشت دوم (۶ تیر)، به دلیل حاکم بودن دمای پایین‌تر در بخش زیادی از دوره رشد گیاهان، سطح دریافت‌کننده تابش خورشیدی به دلیل کاهش شاخص سطح برگ، کاهش یافته (مقدار LAI در تاریخ کاشت ۸ خرداد و ۶ تیر به ترتیب ۴,۵۴ و ۵,۱۴ واحد) و در نهایت بر دریافت تابش ورودی و تبدیل آن به زیست‌توده اثر گذاشت. این یافته با گزارش اعلام شده توسط تسیمبا و همکاران (Tsimba *et al.*, 2013) مطابقت دارد. کرلیو و آندرد (Cirilo and Andrade, 1994) نیز اعلام کردند که در صورت افزایش دما در مراحل اولیه رشد، گسترش برگ‌ها افزایش می‌یابد و به دنبال آن دریافت تابش فعال فتوسنتزی و ماده خشک نیز بیش‌تر می‌شود. سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 2017) نیز افزایش ماده خشک ارزن انگشتی را به نقش سطح برگ‌های آن نسبت دادند. یافته‌های آزمایش نشان داد که تأخیر در کاشت از ۶ تیر به ۷ مرداد و ۷ شهریور اثر منفی بیش‌تری در مقایسه

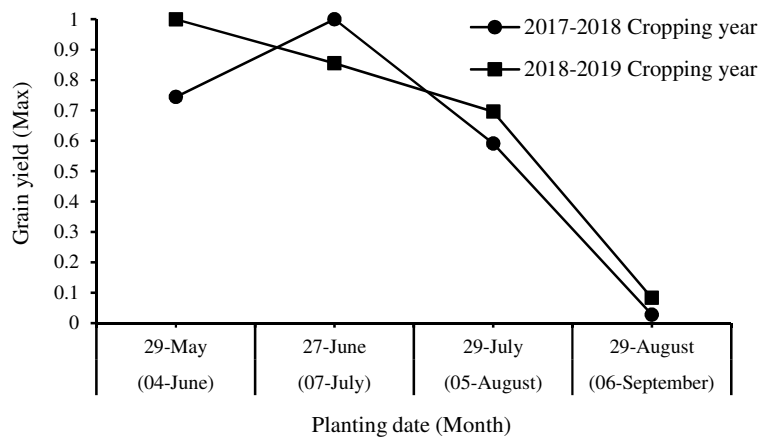
به ترتیب ۲۰،۴۳، ۲۰،۸۷، ۴۴،۸۵ و ۵۰،۴۵ درصد کاهش یافت (شکل‌های ۱-الف و ب و ۲-ب).

عملکرد دانه

یافته‌های این پژوهش نشان داد که برهمکنش میان تاریخ کاشت و سال بر عملکرد دانه ارزن پروسو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه ارزن پروسو در نخستین سال آزمایش، با میانگین ۲۱۸۲ کیلوگرم در هکتار در دومین تاریخ کاشت (۶ تیر) به‌دست آمد که در مقایسه با تاریخ کاشت اول (۸ خرداد ماه) ۲۵،۱۷ درصد بیشتر بود (شکل ۵). از طرفی، با تأخیر در کاشت از شش تیر به هفت مرداد از مقدار عملکرد دانه ارزن پروسو (۴۰،۸۸ درصد) کاسته شد (شکل ۵). این کاهش در چهارمین تاریخ کاشت (۷ شهریور) با شدت بیش‌تری (۹۷،۲۲ درصد) مشاهده شد (شکل ۵) و مقدار عملکرد دانه به ۶۰ کیلوگرم در هکتار رسید (جدول ۳). با این حال، در دومین سال آزمایش، بیش‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۱۲۸۳ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت نخست (۱۴ خرداد) به‌دست آمد (جدول ۳) که افزایش قابل توجهی را نسبت به تاریخ کاشت دوم (۱۴،۵۱ درصد)، سوم (۳۰،۴۱ درصد) و چهارم (۹۱،۷۲ درصد) نشان داد (شکل ۵). علت کاهش عملکرد دانه ارزن پروسو در کشت‌های تأخیری می‌تواند به کاهش دما، تابش و ساعات آفتابی در مرحله زایشی (به‌ویژه طی دوره پر شدن دانه) مرتبط باشد (Cirilo and Andrade, 1994; Lu et al., 2017). در این راستا، یافته‌های کرافورد و بایدینگر (Craufurd and Bidinger, 1988) نشان داد که ارتباط مستقیمی بین عملکرد دانه ارزن مرواریدی و دریافت تابش خورشیدی در مرحله زایشی وجود دارد. علاوه بر این، کاهش طول دوره رشد گیاه در کشت‌های تأخیری نیز می‌تواند به‌عنوان یکی از دلایل کاهش عملکرد دانه در نظر گرفته شود (Maresma et al., 2019). این موضوع می‌تواند به محدود شدن ظرفیت منابع فتوسنتزی مرتبط باشد که در نتیجه آن، دریافت نور و انتقال مواد پرورده به اندام‌های زایشی دریافت‌کننده مواد فتوسنتزی (دانه‌ها) کاهش می‌یابد (Bonelli et al., 2016; Gavitt et al., 2017). در این راستا می‌توان به نقش مؤثر سطح برگ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع فتوسنتزی اشاره کرد (Addai and Alimiyawo, 2015).

مواجهه شده و رسیدگی آن در مدت زمان کوتاه‌تری رخ داده است، به‌طوری که گیاهان فرصت کم‌تری برای تولید ماده خشک در اختیار داشتند. چنین موضوعی به ویژگی حساسیت به فتوپریود (دوره نوری) ارزن پروسو برمی‌گردد، زیرا ارزن پروسو یک گیاه روزکوتاه است و در صورت برخورد با روزهای کوتاه، گلدهی آن تسریع می‌شود و دوره رشد آن کاهش می‌یابد (Sanon et al., 2014). موریبا و همکاران (Maurya et al., 2016) نیز کاهش ماده خشک ارزن مرواریدی را نسبت به کاهش دوره رشد در کشت‌های تأخیری گزارش کردند. به‌طور مشابه، سیلانگو و همکاران (Silungwe et al., 2019a) نیز گزارش کردند که کشت‌های تأخیری در مقایسه با کشت زود هنگام اثر منفی بیش‌تری بر عملکرد ماده خشک ارزن مرواریدی دارد.

در دومین سال آزمایش نتایج متفاوتی به‌لحاظ مقدار و زمان دستیابی به بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده به‌دست آمد (جدول ۳). به‌طوری که بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده ارزن پروسو با میانگین ۶۵۳۷ کیلوگرم در هکتار در نخستین زمان کاشت (۱۴ خرداد) به‌دست آمد که در مقایسه با پیشینه عملکرد زیست‌توده به‌دست آمده در سال اول (۳۴،۱۴ درصد) کاهش چشمگیری نشان داد (شکل ۴). از طرفی، کشت‌های تأخیری (۱۶ تیر، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور) بر انباشت ماده خشک ارزن پروسو تأثیر منفی داشتند (جدول ۳)، به‌طوری که با تأخیر در کاشت از ۱۴ خرداد به ۱۶ تیر و ۱۴ مرداد از مقدار عملکرد زیست‌توده ارزن پروسو به‌ترتیب ۳۹،۱۳ و ۶۳،۲۳ درصد کاسته شد (شکل ۴). این کاهش در چهارمین زمان کاشت (۱۵ شهریور ماه) با شدت بیش‌تری مشاهده شد و ماده خشک ارزن پروسو به ۲۹۹ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (جدول ۳). این واکنش منفی می‌تواند به کاهش شدید دمای پیشینه و کمینه و بارندگی‌های سنگین در ابتدای فصل رشد (Gueye et al., 2015) و نیز کاهش طول روز (Bacci et al., 1999) برگردد. افزایش ماده خشک ارزن پروسو در نخستین زمان کاشت (۱۴ خرداد) هم می‌تواند به حاکم بودن شرایط محیطی مناسب‌تر و نیز بلندتر بودن روز در این تاریخ مرتبط باشد، زیرا بیش‌ترین دمای پیشینه (۳۰،۲۴ درجه سلسیوس)، دمای کمینه (۲۱،۴۶ درجه سلسیوس)، شدت تابش خورشیدی (۱۷،۷ مگاژول بر متر مربع بر روز) و ساعت آفتابی (۷،۶۷ ساعت) در نخستین زمان کاشت (۱۴ خرداد) به‌دست آمد و با تأخیر در کاشت از ۱۴ خرداد به ۱۵ شهریور، مقدار آن‌ها



شکل ۵- نسبت بیشینه عملکرد دانه ارزن پروسو در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ (تاریخ‌های ذکر شده در داخل پرانتز مربوط به سال دوم آزمایش است)

Figure 5. Maximum ratio of proso millet grain yield in two cropping years, 2017-18 and 2018-19 (The dates represented in parentheses are related to the second year of the experiment)

(جدول ۳). به‌همین ترتیب در دومین سال کاشت نیز بیش‌ترین شاخص برداشت (۳۷,۲۲ درصد) در سومین زمان کاشت (۱۴ مرداد) به‌ثبت رسید و مقدار آن نسبت به تاریخ کاشت اول (۴۷,۲۶ درصد) و دوم (۲۶,۰۱) افزایش قابل توجهی نشان داد، اما به‌لحاظ آماری با مقدار شاخص برداشت به‌دست آمده در چهارمین زمان کاشت، تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳).

افزایش شاخص برداشت ارزن پروسو در کشت‌های تأخیری می‌تواند به نقش دوره نوری و تأثیر آن بر طول فصل رشد گیاه مرتبط باشد، به این معنی که با تأخیر در کاشت به‌دلیل قرارگیری ارزن در دوره‌های نوری کوتاه‌تر، زیست‌توده گیاه در مقایسه با دانه کاهش بیش‌تری نشان داد که این امر افزایش شاخص برداشت را به‌دنبال داشت. یافته‌های ردی و ویزر (Reddy and Visser, 1993) و پراساد و همکاران (Prasad *et al.*, 2020) نیز مؤید این دیدگاه است. کرافورد و بایدینگر (Craufurd and Bidinger, 1988) نیز اعلام کردند که در صورت افزایش طول دوره رشد ارزن، شاخص برداشت آن کاهش می‌یابد. آن‌ها این واکنش را به افزایش سرعت و مدت زمان رشد ساقه در مقایسه با رشد خوشه نسبت دادند.

تعداد دانه پر در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش میان تاریخ کاشت و سال بر تعداد دانه پر اثر معنی‌دار

یافته‌های این آزمایش نشان داد که با تأخیر در کاشت، بیشینه شاخص سطح برگ ارزن پروسو کاهش یافت (شکل ۴) که نشان می‌دهد در کشت‌های تأخیری به‌دلیل مناسب نبودن شرایط آب و هوایی (شکل‌های ۱ و ۲-الف و ب) از ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها کاسته می‌شود و در نتیجه کاهش عملکرد دانه را به‌دنبال دارد. آدای و آلیمی‌او (Addai and Alimiyawo, 2015) ظرفیت فتوسنتزی سورگوم را به شاخص سطح برگ آن نسبت دادند و اعلام کردند که با افزایش شاخص سطح برگ، فعالیت فتوسنتزی گیاه افزایش می‌یابد و به‌دنبال آن عملکرد دانه نیز افزایش خواهد یافت. گاریتی و همکاران (Garrity *et al.*, 1984) نیز نشان دادند که در نتیجه کاهش سطح برگ، سرعت فتوسنتز سورگوم ۱۴ الی ۲۶ درصد کاهش یافت و در نهایت از مقدار عملکرد دانه آن کاسته شد.

شاخص برداشت

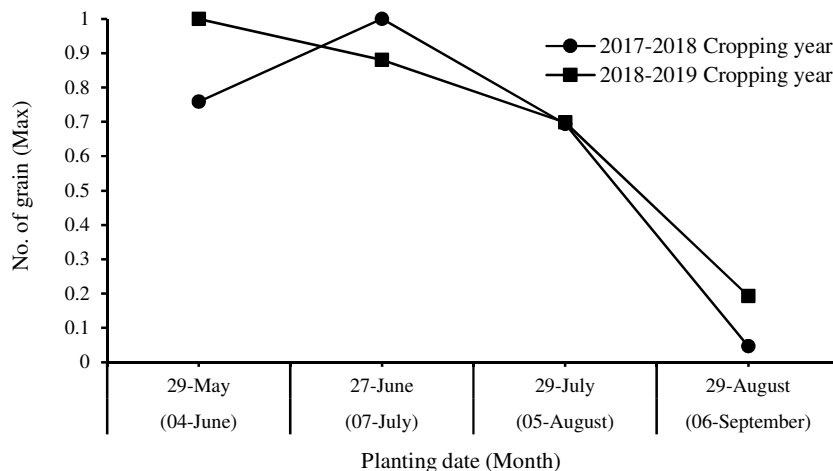
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که برهمکنش میان تاریخ کاشت و سال بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در نخستین سال آزمایش، با کاشت ارزن پروسو در ۷ مرداد سهم مواد فتوسنتزی انتقال یافته به دانه‌ها افزایش یافت و به‌دنبال آن شاخص برداشت نیز در بالاترین مقدار خود (۲۹,۴۹ درصد) قرار گرفت

داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳)، نشان داد که در نخستین سال آزمایش، بیش‌ترین تعداد دانه پر (۲۱۲۱ عدد در بوته) با کاشت ارزن پروسو در تاریخ ۶ تیر به‌دست آمد (جدول ۳) که در مقایسه با نخستین زمان کاشت (۸ خرداد) افزایش قابل توجهی (۲۴,۱۱ درصد) را نشان داد (شکل ۶). از طرفی، با تأخیر در کاشت از ۶ تیر به ۷ مرداد از تعداد دانه پر به‌طور معنی‌داری (۳۰,۶۲ درصد) کاسته شد (شکل ۶). این کاهش در چهارمین تاریخ کاشت (۷ شهریور ماه) به‌صورت چشم‌گیری بیش‌تر بود و تعداد دانه پر به ۹۸ عدد رسید (جدول ۳). در دومین سال آزمایش، بیش‌ترین تعداد دانه پر با کاشت ارزن پروسو در ۱۴ خرداد (۱۳۴۵ عدد در بوته) به‌دست آمد (جدول ۳) که در مقایسه با نخستین سال آزمایش کاهش قابل توجهی (۳۶,۵۸ درصد) داشت (شکل ۶). در این سال، با تأخیر در کاشت از ۱۴ خرداد به ۱۶ تیر، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور از تعداد دانه پر به‌ترتیب ۱۱,۹۱، ۳۰,۱۵ و ۸۰,۷ درصد کاسته شد (شکل ۶).

تعداد خوشه در بوته

یافته‌های این آزمایش نشان داد که برهمکنش میان سال آزمایش و تاریخ کاشت بر تعداد خوشه در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که در نخستین سال آزمایش، بیش‌ترین تعداد خوشه در بوته با میانگین ۱۵,۰۸ عدد مربوط به کاشت ارزن پروسو در ۶ تیر و کم‌ترین آن با میانگین ۶,۰۸ عدد مربوط به چهارمین زمان کاشت (۷ شهریور) بود (جدول ۳). با این حال، در دومین سال آزمایش، بیش‌ترین تعداد خوشه (۱۰,۵ عدد در بوته) در سومین زمان کاشت (۱۴ مرداد) به‌دست آمد که مقدار آن در مقایسه با سه تاریخ دیگر افزایش معنی‌داری داشت. کم‌ترین تعداد خوشه در بوته نیز با میانگین ۵,۳۳ عدد مربوط به تاریخ کاشت دوم (۱۶ تیر) بود که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تاریخ کاشت چهارم (۱۵ شهریور) با مقدار ۵,۴ عدد در بوته نداشت (جدول ۳).

کرافورد و بایدینگر (Craufurd and Bidinger, 1988) معتقدند که در گیاه ارزن بین تعداد دانه و مقدار تابش خورشیدی دریافت شده ارتباط مستقیمی در مرحله زایشی وجود دارد. از این‌رو، علت کاهش تعداد دانه پر در کشت‌های تأخیری می‌تواند به کاهش تابش ورودی (Tsimba *et al.*, 2013) و نیز کاهش گسترش سایه‌انداز (برای دریافت تابش خورشیدی) مرتبط باشد (Gueye *et*



شکل ۶- نسبت بیشینه تعداد دانه ارزن پروسو در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ (تاریخ‌های ذکر شده در داخل پرانتز مربوط به سال دوم آزمایش است)

Figure 6. Maximum ratio of leaf area index of proso millet grain number in two cropping years, 2017-18 and 2018-19 (The dates represented in parentheses are related to the second year of the experiment)

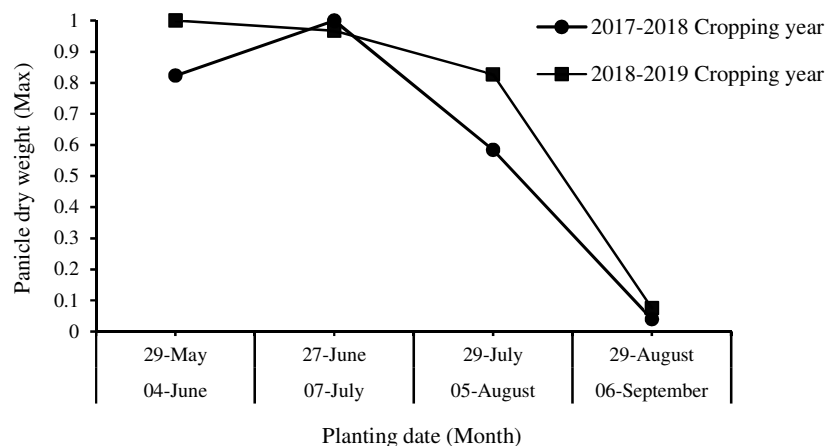
با این حال، در دومین سال آزمایش، بیشترین وزن ماده خشک به صورت مشترک در تاریخ کاشت ۱۴ خرداد (۱۱,۷۷ گرم در بوته) و ۱۶ تیر (۱۱,۳۹ گرم در بوته) ثبت شد (جدول ۳) و تأخیر در کاشت از ۱۶ تیر به ۱۵ شهریور وزن ماده خشک خوشه را به صورت خطی کاهش داد (شکل ۷) و مقدار آن را به ۰,۸۹ گرم در بوته رساند (جدول ۳).

در گزارشی که توسط کرافورد و بایدینگر (Craufurd and Bidinger, 1988) منتشر شد، به ارتباط مستقیم سطح برگ و وزن ماده خشک خوشه اشاره شده است. در این پژوهش نیز همبستگی مثبتی میان شاخص سطح برگ و ماده خشک خوشه ($r = 0.91$) داده‌ها ارائه نشده است) به دست آمد. با توجه به این موضوع، یکی از دلایل کاهش وزن خشک خوشه در کشت‌های تأخیری را می‌توان به کاهش شاخص سطح برگ نسبت داد. از طرفی، جان و همکاران (Jan et al., 2015) در گزارشی کاهش وزن ماده خشک خوشه را در کشت‌های تأخیری به کاهش دریافت تابش خورشیدی مرتبط دانستند. در این پژوهش نیز با تأخیر در کاشت، میزان تابش ورودی و سطح دریافت کننده آن (شاخص سطح برگ) کاهش یافت (شکل‌های ۱-ب و ۴). بنابراین، یکی از دیگر دلایل کاهش وزن ماده خشک خوشه را در کشت‌های تأخیری می‌توان به این موضوع نسبت داد.

تعداد خوشه در متر مربع به عنوان یکی از ویژگی‌های مهم و اثرگذار بر عملکرد دانه ارزن پروسو در نظر گرفته شده است (Gavit et al., 2017)، زیرا نه تنها این گیاه می‌تواند تا بیش از هفتاد خوشه در ساقه اصلی و پنجه‌ها تولید کند (Turgut et al., 2006)، بلکه تعداد آن‌ها تحت تأثیر شرایط محیطی نیز قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه، اونگ و اورارد (Ong and Everard, 1979) بیان کردند که در صورت قرارگیری ارزن مرواریدی در دوره‌های نوری طولانی مدت، از تعداد خوشه آن کاسته می‌شود. با این حال، کرافورد و بایدینگر (Craufurd and Bidinger, 1988) اعلام کردند که افزایش دوره نوری (در مرحله رویشی) اثری بر تعداد خوشه در مرحله رسیدگی ندارد.

وزن ماده خشک خوشه در یک بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش میان سال و تاریخ کاشت بر وزن ماده خشک خوشه‌های یک بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در نخستین سال آزمایش، بیشترین وزن ماده خشک خوشه با میانگین ۲۵,۵۳ گرم در بوته در دومین تاریخ کاشت (۶ تیر) به ثبت رسید (جدول ۳) که در مقایسه با تاریخ کاشت نخست (۸ خرداد) به صورت معنی‌داری (۱۸,۶۲ درصد) بیش‌تر بود (شکل ۷). از طرفی، به ازای هر روز تأخیر در کاشت از ۶ تیر به ۷ شهریور از مقدار ماده خشک خوشه به میزان ۱,۵۲ درصد کاسته شد (شکل ۷).



شکل ۷- نسبت بیشینه وزن ماده خشک خوشه ارزن پروسو در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ (تاریخ‌های ذکر شده در داخل پرانتز مربوط به سال دوم آزمایش است)

Figure 7. Maximum ratio of panicle dry weight of proso millet in two cropping years, 2017-18 and 2018-19 (The dates represented in parentheses are related to the second year of the experiment)

دانه‌ها کاهش می‌یابد که این امر کاهش وزن دانه را به‌دنبال خواهد داشت.

در کنار اثر منفی کاهش دما و تابش خورشیدی، کاهش ساعت آفتابی طی دوره پر شدن دانه نیز می‌تواند به‌عنوان یکی دیگر از عوامل موثر بر کاهش وزن هزار دانه ارزن پروسو در کشت‌های تأخیری در نظر گرفته شود. این موضوع در پژوهش لو و همکاران (Lu *et al.*, 2017) نیز گزارش شده است. از طرفی کاربری و کمپل (Carberry and Campbell, 1985) افزایش دوره نوری را به‌عنوان عاملی در افزایش وزن دانه به‌شمار آوردند. بر همین اساس می‌توان کاهش وزن دانه ارزن پروسو را در کشت‌های تأخیری به کم شدن دوره نوری هم نسبت داد.

یکی دیگر از عوامل موثر بر وزن دانه، فراهمی مواد پرورده و انتقال آن به دانه‌ها است (Van Oosterom *et al.*, 2006). در واقع با افزایش منابع فتوسنتزی، مواد غذایی بیش‌تری به دانه‌ها منتقل خواهد شد (Gavit *et al.*, 2017)، که این امر افزایش وزن دانه را به‌دنبال خواهد داشت (Borrás *et al.*, 2004). بر این اساس و با در نظر گرفتن این موضوع که برگ اندام اصلی فتوسنتز کننده و واحد اصلی سایه‌انداز گیاه است (Zhang *et al.*, 2019a)، می‌توان کاهش وزن هزار دانه را در کشت‌های تأخیری به کاهش این مولفه نسبت داد ($r = 0.66$) داده‌ها ارائه نشده است). یافته‌های گویه و همکاران (Gueye *et al.*, 2015) نیز این دیدگاه را تایید می‌کند. این پژوهش‌گران در گزارشی اعلام کردند که در کشت‌های تأخیری به‌دلیل کاهش گسترش سایه‌انداز، پر شدن دانه با اختلال مواجه می‌شود و در نتیجه از وزن بذر کاسته خواهد شد.

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که در سال اول آزمایش (سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶)، مناسب‌ترین شرایط آب و هوایی (به‌لحاظ دما، تابش خورشیدی و ساعت آفتابی) برای رشد و نمو ارزن پروسو در دومین تاریخ کاشت (۶ تیر) مهیا بود که این امر موجب افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ (۵,۱۴ واحد)، وزن ماده خشک خوشه (۲۵,۵۳ گرم در بوته)، تعداد خوشه (۱۵,۰۸ عدد در بوته)، تعداد دانه پر (۲۱۲۱ عدد در بوته) و وزن هزار دانه (۵,۲۳ گرم) شده است و در نهایت افزایش این ویژگی‌ها، افزایش قابل توجه عملکرد دانه (۲۱۸۲ کیلوگرم

تأثیرپذیری وزن ماده خشک خوشه ارزن از زمان‌های مختلف کاشت در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده است. ناندینی و سریدهارا (Nandini and Sridhara, 2019a) طی گزارشی اعلام کردند که با کاشت ارزن دم‌روبه‌ای در ۹ تیر (۳۰ ژوئن)، وزن ماده خشک خوشه آن به ۶,۶۷ گرم در بوته افزایش می‌یابد. در پژوهش دیگری نیز اعلام شد که در صورت کاشت ارزن دم‌روبه‌ای ۲۴ خرداد (در هفته دوم ماه ژوئن) وزن ماده خشک خوشه از افزایش قابل توجهی در مقایسه با سه تاریخ کاشت دیگر (۱۶ تیر (هفته نخست ماه جولای)، ۲۳ تیر (هفته دوم ماه جولای)، ۱۶ مرداد (هفته نخست ماه آگوست) برخوردار خواهد شد (Mubeena *et al.*, 2019).

وزن هزار دانه

وزن دانه نیز به‌عنوان یک عامل مهم و تأثیرگذار بر عملکرد دانه در نظر گرفته می‌شود. یافته‌های این پژوهش نشان داد که برهمکنش میان سال و تاریخ کاشت بر صفت وزن هزاردانه معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌های وزن هزار دانه (جدول ۳) نیز نشان داد که در نخستین سال آزمایش، بیش‌ترین وزن هزار دانه با میانگین ۵,۲۳ گرم در دومین تاریخ کاشت (۶ تیر) و کم‌ترین مقدار آن (۳,۷ گرم) در چهارمین تاریخ کاشت (۷ شهریور) به‌دست آمد. از طرف دیگر، تفاوت معنی‌داری بین وزن هزار دانه ثبت شده در تاریخ‌های کاشت اول (۸ خرداد) و سوم (۷ مرداد) مشاهده نشد (به‌ترتیب ۴,۵۸ و ۴,۲۳ گرم در تاریخ کاشت اول و سوم). بیش‌ترین وزن هزار دانه ثبت شده با ۴,۸ گرم مربوط به دومین سال آزمایش بود که به‌صورت مشترک مربوط به سه تاریخ اول (۱۴ خرداد)، دوم (۱۶ تیر) و سوم (۱۴ مرداد) بود. از طرف دیگر، مقدار وزن هزار دانه در چهارمین تاریخ کاشت (۱۵ شهریور) نیز کاهش قابل توجهی نسبت به بیشینه وزن هزار دانه به‌دست آمده از این آزمایش داشت و مقدار آن به ۲,۲۹ گرم رسید (جدول ۳).

یکی از دلایل کاهش وزن دانه ارزن پروسو را در کشت‌های تأخیری را می‌توان به تقارن مرحله پر شدن دانه با دماهای پایین و تابش کم مرتبط دانست (Lu *et al.*, 2017). در همین راستا، مادونی و همکاران (Maddonni *et al.*, 1998) اعلام کردند که در صورت وقوع دمای پایین (کم‌تر از ۱۹ درجه سلسیوس) و کاهش تابش خورشیدی، تولید مواد پرورده نوری و تسهیم آن به

مناسب‌ترین زمان کاشت ارزن پروسو (با هدف تولید علوفه و دانه) در منطقه رشت پیشنهاد کرد.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ‌زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

در هکتار) و عملکرد زیست‌توده (۹۹۲۷ کیلوگرم در هکتار) ارزن پروسو را در مقایسه با سه تاریخ کاشت دیگر (۸ خرداد، ۷ مرداد و ۷ شهریور) به‌دنبال داشته است. با این‌حال، در دومین سال آزمایش (سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷)، در نخستین تاریخ کاشت (۱۴ خرداد)، ارزن پروسو عملکرد دانه (۱۲۸۳ کیلوگرم در هکتار) و زیست‌توده (۶۵۳۷ کیلوگرم در هکتار) بیش‌تری در مقایسه با سه تاریخ کاشت دیگر (۱۶ تیر، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور) تولید کرد که این تفاوت معنی‌دار هم بود. این موضوع می‌تواند به حاکم بودن شرایط آب و هوایی مناسب‌تر طی دوره رشد ارزن پروسو در نخستین زمان کاشت برگردد، زیرا با تأخیر در کاشت از ۱۴ خرداد به ۱۵ شهریور هر کدام از پارامترهای هواشناسی مورد بررسی مانند دمای بیشینه، دمای کمینه، تابش خورشیدی و ساعت آفتابی به‌صورت خطی کاهش یافتند. از این‌رو، شرایط نامطلوبی برای رشد و نمو ارزن پروسو فراهم شد. این شرایط نامطلوب موجب کاهش ویژگی‌های مورد بررسی مانند شاخص سطح برگ (۰.۱۳ واحد)، وزن ماده خشک خوشه (۰.۸۹ گرم در بوته)، تعداد خوشه (۵.۴ عدد در بوته)، تعداد دانه پر (۲۵۹ عدد در بوته) و در نهایت عملکرد دانه (۱۰۶ کیلوگرم در هکتار) و زیست‌توده (۲۹۹ کیلوگرم در هکتار) شد. به‌طور کلی و بر مبنای نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر طی دو سال، می‌توان بازه زمانی ۱۴ خرداد تا ۶ تیر را به‌عنوان

References

- Addai, I. and Alimiyawo, M. 2015.** Graphical determination of leaf area index and its relationship with growth and yield parameters of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) as affected by fertilizer application. *Journal of Agronomy*, 14(4), pp. 272-278. <https://doi.org/10.3923/ja.2015.272.278>.
- Azari Nasrabad, A. and Mirzaee, M.R. 2012.** Effect of sowing date on grain yield and yield components of foxtail millet (*Setaria italica*) promising lines. *Seed and Plant Production Journal*, 28(1), pp. 95-105. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110458>.
- Bacci, L., Cantini, C., Pierini, F., Maracchi, G. and Reyniers, F. 1999.** Effects of sowing date and nitrogen fertilization on growth, development and yield of a short day cultivar of millet (*Pennisetum glaucum* L.) in Mali. *European Journal of Agronomy*, 10(1), pp. 9-21. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(98\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00046-X).
- Bhattarai, B., Singh, S., West, C.P. and Saini, R. 2019.** Forage potential of pearl millet and forage sorghum alternatives to corn under the water-limiting conditions of the Texas high plains: A Review. *Crop, Forage and Turfgrass Management*, 5(1), pp. 1-12. <https://doi.org/10.2134/cftm2019.08.0058>.
- Bonelli, L.E., Monzon, J.P., Cerrudo, A., Rizzalli, R.H. and Andrade, F.H. 2016.** Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research*, 198, pp. 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.003>.

- Borrás, L., Slafer, G.A. and Otegui, M.E. 2004.** Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, 86(2-3), pp. 131-146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.002>.
- Bruns, H.A. and Abbas, H. 2006.** Planting date effects on Bt and non-Bt corn in the mid-south USA. *Agronomy Journal*, 98(1), pp. 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.002>.
- Caliskan, S., Caliskan, M., Arslan, M. and Arioglu, H. 2008.** Effects of sowing date and growth duration on growth and yield of groundnut in a Mediterranean-type environment in Turkey. *Field Crops Research*, 105(1-2), pp. 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.08.007>.
- Carberry, P. and Campbell, L. 1985.** The growth and development of pearl millet as affected by photoperiod. *Field Crops Research*, 11, pp. 207-217. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(85\)90103-0](https://doi.org/10.1016/0378-4290(85)90103-0).
- Choi, K., Yu, Y., Seo, S., Kang, C., Lee, K., Song, Y., Kim, C., Lee, S., and Jung, K. 2016.** Effects of sowing time on the growth and yield of proso millet (*Panicum miliaceum* L.) in Jeonbuk area. *Korean Journal of Crop Science/Hanguk Jakmul Hakhoe Chi*, 61(3), pp. 208-214. http://www.doi.or.kr/board/post/notice/391;jsessionid=9CA783263472D491FD5E5D43E855DE8B.doira_new_right?t=1696923984249.
- Cirilo, A.G. and Andrade, F.H. 1994.** Sowing date and maize productivity. I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Science*, 34(4), pp. 1039-1043. <https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400040037x>.
- Craufurd, P. and Bidinger, F. 1988.** Effect of the duration of the vegetative phase on shoot growth, development and yield in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). *Journal of Experimental Botany*, 39(1), pp. 124-139. <https://doi.org/10.1093/jxb/39.1.124>.
- Farooq, M. and Siddique, K.H. 2023.** Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.). In: Rajasekaran, R., Francis, N., Mani, V. and Ganesan, J. (Eds.). *Neglected and Underutilized Crops: Future Smart Food*. Elsevier. pp: 247-278.
- Fayed, M., Salem, M.S.A. and Abd EL-Kader, O. 2016.** Pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) as affected by some agricultural treatments. *Journal of Plant Production*, 7(4), pp. 393-400. <https://dx.doi.org/10.21608/jpp.2016.45375>.
- Fontaneli, R.S., Sollenberger, L.E. and Staples, C.R. 2001.** Yield, yield distribution, and nutritive value of intensively managed warm-season annual grasses. *Agronomy Journal*, 93(6), pp. 1257-1262. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.1257>.
- Garrity, D.P., Sullivan, C.Y. and Watts, D.G. 1984.** Changes in grain sorghum stomatal and photosynthetic response to moisture stress across growth stages 1. *Crop Science*, 24(3), pp. 441-446. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400030003x>.
- Gavit, H., Rajemahadik, V., Bahure, G., Jadhav, M., Thorat, T. and Kasture, M. 2017.** Effect of establishment techniques and sowing time on yield and yield attributes of proso millet (*Panicum miliaceum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), pp. 1523-1528. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.166>.
- Ghafari, M., Moosavi, S.G., Seghatoleslami, M.J. and Javadi, H. 2019.** Response of yields and agronomic traits of five grain millet varieties to planting date. *Journal of Crop Ecophysiology*, 13(1), pp. 121-138. [In Persian]. <https://doi.org/10.30495/jcep.2019.664843>.
- Ghasemi, A., Khazaei, M. and Fanaei, H.R. 2019.** Effect of drought stress on yield and some physiological characteristics of foxtail millet (*Setaria italica* L.) in different planting dates. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(2), pp. 401-413. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.1332.1273>.
- Gueye, M., Kanfany, G., Fofana, A., Noba, K. and Grove, J. 2015.** Effect of planting date on growth and grain yield of fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf) in the Southeast of Senegal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(2), pp. 581-592. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i2.1>.
- Habiyaremye, C., Matanguihan, J.B., D'Alpoim Guedes, J., Ganjyal, G.M., Whiteman, M.R., Kidwell, K.K. and Murphy, K.M. 2017.** Proso millet (*Panicum miliaceum* L.) and its potential for cultivation in the Pacific Northwest, US: A review. *Frontiers in Plant Science*, 7, pp. 1-17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01961>.
- Hancock, D.W. and Greg Durham, R. 2010.** Late planting date influences the yield and distribution of pearl millet forage. *Forage and Grazinglands*, 8(1), pp. 1-8. <https://doi.org/10.1094/FG-2010-0706-01-RS>.

- Hasanuzzaman, M. 2019.** Agronomic Crops. In: Sher, A., Nawaz, A., Sarfraz, M., Ijaz, M., Ul-Allah, S., Sattar, A., Hussain, S. and Ahmad, S. (Eds.). *Advanced Production Technologies of Millets*. Springer Nature. Singapore. pp: 279-296. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0025-1>.
- Jan, A., Khan, I. and Sohail, S.A.A.A. 2015.** Sowing dates and sowing methods influenced on growth yielded and yield components of pearl millet under rainfed conditions. *Journal of Environment and Earth Science*, 5, pp. 105-109.
- Jia, Y., Wang, J., Qu, Z., Zou, D., Sha, H., Liu, H., Sun, J., Zheng, H., Yang, L. and Zhao, H. 2019.** Effects of low water temperature during reproductive growth on photosynthetic production and nitrogen accumulation in rice. *Field Crops Research*, 242, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107587>.
- Joshi, N. 1988.** Millet yield under natural drought conditions on arid loamy sand soil: Cultivar differences. Effect of planting dates, and relative energy yield equivalencies. *Arid Land Research and Management*, 2(3), pp. 203-216. <https://doi.org/10.1080/15324988809381174>.
- Lewis, C.T. 2017.** Effects of planting date and hybrid maturity on moisture stress in corn. M.Sc. Dissertation. A&M University, Texas.
- Lu, H.-D., Xue, J.-Q. and Guo, D.-W. 2017.** Efficacy of planting date adjustment as a cultivation strategy to cope with drought stress and increase rainfed maize yield and water-use efficiency. *Agricultural Water Management*, 179, pp. 227-235. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.09.001>.
- Maddoni, G., Otegui, M. and Bonhomme, R. 1998.** Grain yield components in maize. II. Postsilking growth and kernel weight. *Field Crops Research*, 56(3), pp. 257-264. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00094-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00094-4).
- Maiti, R. and Soto, G.G.L. 1990.** Effect of four sowing date environments on growth, development and yield potentials of 15 pearl millet cultivars (*Pennisetum americanum* L. Leeke) during autumn-winter seasons in Marin, NL, Mexico. *Journal of Experimental Botany*, 41(12), pp. 1609-1618. <https://doi.org/10.1093/jxb/41.12.1609>.
- Maresma, A., Ballesta, A., Santiveri, F. and Lloveras, J. 2019.** Sowing date affects maize development and yield in irrigated mediterranean environments. *Agriculture*, 9(3), pp. 1-10. <https://doi.org/10.3390/agriculture9030067>.
- Maurya, S., Nath, S., Patra, S. and Rout, S. 2016.** Effect of different sowing dates on growth and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) varieties under Allahabad condition. *International Journal of Science and Nature*, 9, pp. 62-69.
- Mubeena, P., Halepyati, A. and Chittapur, B. 2019.** Effect of date of sowing and nutrient management on nutrient uptake and yield of foxtail millet (*Setaria italica* L.). *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 10(1), pp. 92-95. <http://dx.doi.org/10.23910/IJBMS/2019.10.1.1891>.
- Nandini, K. and Sridhara, S. 2019a.** Performance of foxtail millet (*Setaria italica* L.) genotypes to sowing dates in Southern transition zone of Karnataka. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(1), pp. 2109-2112.
- Nandini, K. and Sridhara, S. 2019b.** Response of growth, yield and quality parameters of foxtail millet genotypes to different planting density. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(2), pp. 1765-1773. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.802.208>.
- Nwajei, S.E., Omoregie, A.U. and Ogedegbe, F.O. 2019.** Effects of planting dates on the growth and grain yield of two indigenous varieties of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in a forest-savanna transition zone of Edo State, Nigeria. *Acta Agriculturae Slovenica*, 114(2), pp. 169-181. <http://dx.doi.org/10.14720/aas.2019.114.2.3>.
- Ong, C. and Everard, A. 1979.** Short day induction of flowering in pearl millet (*Pennisetum typhoides*) and its effect on plant morphology. *Experimental Agriculture*, 15(4), pp. 401-410. <https://doi.org/10.1017/S0014479700013053>.
- Otegui, M.E., Nicolini, M.G., Ruiz, R.A. and Dodds, P.A. 1995.** Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agronomy Journal*, 87(1), pp. 29-33. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700010006x>.
- Parthasarathi, T., Velu, G. and Jeyakumar, P. 2013.** Impact of crop heat units on growth and developmental physiology of future crop production: a review. *Journal of Crop Science and Technology*, 2(1), pp. 2319-3395. <https://doi.org/10.37591/rjocst.v2i1.2185>.

- Prasad, P., Djanaguiraman, M., Stewart, Z. and Ciampitti, I. 2020.** Agroclimatology of maize, sorghum, and pearl millet. *Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate*, 60, pp. 201-241. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr60.2016.0005>.
- Radhouane, L. 2013.** Evaluation of indices for identification of pearl millet ecotypes (*Pennisetum glaucum*) adapted to stress and no stress conditions. *Science International*, 1(3), pp. 64-69.
- Rajendrakumar, P. 2022.** Omics of Climate Change on Nutritional Quality of Small Millets. In: Pudake, R.N., Solanke, A.U., Sevanthi, A.M. and Rajendrakumar, P. (Eds.). *Omics of Climate Resilient Small Millets*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3907-5_16.
- Reddy, K. and Visser, P. 1993.** Late planting effects on early versus late pearl millet genotypes in Niger. *Experimental Agriculture*, 29(1), pp. 121-129. <https://doi.org/10.1017/S0014479700020469>.
- Rostampour, M.F., Moosavi, S.G., Romenjani, H., Mehri, S. and Abouzari, A. 2020.** The effect of irrigation regimes and sowing dates on the dry matter and some traits of pearl millet. *Journal of Crops Improvement*, 23(2), pp. 346-335. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.303444.2402>.
- Safari, F., Galeshi, S., Torbatinejad, N.M. and Mosavat, S.A. 2008.** The effect of sowing date and plant density on forage yield of foxtail millet (*Setaria italica*). *The Journal of Agriculture and Natural Resources Sciences*, 15(5), pp. 26-38. [In Persian].
- Sanon, M., Hoogenboom, G., Traoré, S., Sarr, B., Garcia, A.G.Y., Somé, L. and Roncoli, C. 2014.** Photoperiod sensitivity of local millet and sorghum varieties in West Africa. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 68(1), pp. 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2013.11.004>.
- Saunders, J. and Johnson, J. 1998.** Evaluation of corn planting dates for northern Mississippi. *Special Reports-University of Arkansas Agricultural Experiment Station*, 186, pp. 90-91.
- Shafaroodi, A., Zavareh, M., Peyvast, G. and Dorri, H.R. 2012.** Effect of sowing date and plant density on grain yield and yield components in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 22(3), pp. 48-60. [In Persian].
- Silungwe, F.R., Graef, F., Bellingrath-Kimura, S.D., Tumbo, S.D., Kahimba, F.C. and Lana, M.A. 2019a.** The management strategies of pearl millet farmers to cope with seasonal rainfall variability in a semi-arid agroclimate. *Agronomy*, 9(7), pp. 400. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070400>.
- Silungwe, F.R., Graef, F., Dorothea Bellingrath-Kimura, S., Chilagane, E.A., Tumbo, S.D., Kahimba, F.C. and Lana, M.A. 2019b.** Modelling rainfed pearl millet yield sensitivity to abiotic stresses in semi-arid central Tanzania, Eastern Africa. *Sustainability*, 11(16), pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/su11164330>.
- Singh, M.K., Kumar, V. and Prasad, S. 2017.** Evaluation of finger millet varieties under rainfed region of Eastern India: Evaluation of finger millet varieties under rainfed region of South Bihar. *Journal of AgriSearch*, 4(3), pp. 179-183.
- Solymani, A.A., Kamkar, B., Zinali, E. and Mokhtarpur, H. 2011.** Effects of planting date and harvesting time on the quality characteristics of pear millet forage (*Pennisetum glaucum*). *Journal of Crop Production*, 3(4), pp. 143-160. [In Persian]. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3907-5_16.
- Srikanya, B., Revathi, P., Reddy, M.M. and Chandrasher, K. 2020.** Effect of Sowing Dates on Growth and Yield of Foxtail Millet (*Setaria italica* L.) Varieties. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(4), pp. 3243-3251. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.904.377>.
- Tabatabaee, S.A. and Shakeri, E. 2017.** Effects of sowing date and row spacing on some phenological and morphological traits, yield and yield components of millet cultivars. *Crop Production Research*, 8(4), pp. 295-314. [In Persian].
- Tsimba, R., Edmeades, G.O., Millner, J.P. and Kemp, P.D. 2013.** The effect of planting date on maize grain yields and yield components. *Field Crops Research*, 150, pp. 135-144. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.05.028>.
- Turgut, I., Duman, A., Wietgreffe, G. and Acikgoz, E. 2006.** Effect of seeding rate and nitrogen fertilization on proso millet under dryland and irrigated conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 29(12), pp. 2119-2129. <https://doi.org/10.1080/01904160600972605>.
- Van Oosterom, E., Weltzien, E., Yadav, O. and Bidinger, F. 2006.** Grain yield components of pearl millet under optimum conditions can be used to identify germplasm with adaptation to arid zones. *Field Crops Research*, 96(2-3), pp. 407-421. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.08.008>.

- Van Roekel, R. J. and Coulter, J.A. 2011.** Agronomic responses of corn to planting date and plant density. *Agronomy Journal*, 103(5), pp.1414-1422. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0071>.
- Ventura, F., Poggi, G.M., Vignudelli, M., Bosi, S., Negri, L., Fakaros, A. and Dinelli, G. 2022.** An Assessment of Proso Millet as an Alternative Summer Cereal Crop in the Mediterranean Basin. *Agronomy*, 12(3), pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030609>.
- Villalobos, F.J. and Fereres, E. 2016.** Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture. In: Villalobos, F.J., Orgaz, F. and Fereres, E. (Eds.). *Sowing and Planting*. Springer. Cordoba, Spain. pp: 217-227. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8>.
- Virk, G., Pilon, C., Snider, J.L. and Tubbs, R.S. 2020.** Early-season vigor in peanuts is dependent on leaf area responses to temperature. *Agronomy Journal*, 112(2), pp. 899-910. <https://doi.org/10.1002/agj2.20017>.
- Watson, D. 1958.** The dependence of net assimilation rate on leaf-area index. *Annals of Botany*, 22(1), pp. 37-54. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083596>.
- Watson, D.J. 1947.** Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, 11(41), pp. 41-76. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083148>.
- Wen, Y., Liu, J., Meng, X., Zhang, D. and Zhao, G. 2014.** Characterization of proso millet starches from different geographical origins of China. *Food Science and Biotechnology*, 23(5), pp. 1371-1377. <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0188-z>.
- Xie, Y., Wang, P., Bai, X., Khan, J., Zhang, S., Li, L. and Wang, L. 2017.** Assimilation of the leaf area index and vegetation temperature condition index for winter wheat yield estimation using Landsat imagery and the CERES-Wheat model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 246, pp. 194-206. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.06.015>.
- Zhang, W., Wang, B., Liu, B., Chen, Z., Lu, G., Ge, Y. and Bai, C. 2022.** Trait selection for yield Improvement in foxtail millet (*Setaria italica* Beauv.) under climate change in the North China plain. *Agronomy*, 12(7), pp. 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071500>.
- Zhang, Z., Christensen, M., Nan, Z., Whish, J.P., Bell, L.W., Wang, J., Wang, Z. and Sim, R. 2019a.** Plant development and solar radiation interception of four annual forage plants in response to sowing date in a semi-arid environment. *Industrial Crops and Products*, 131, pp. 41-53. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.028>.
- Zhang, Z., Yu, K., Jin, X., Nan, Z., Wang, J., Niu, X., Whish, J.P., Bell, L.W. and Siddique, K. H. 2019b.** Above-and belowground dry matter partitioning of four warm-season annual crops sown on different dates in a semiarid region. *European Journal of Agronomy*, 109, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125918>.
- Zhou, B., Yue, Y., Sun, X., Wang, X., Wang, Z., Ma, W. and Zhao, M. 2016.** Maize grain yield and dry matter production responses to variations in weather conditions. *Agronomy Journal*, 108(1), pp. 196-204. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0196>.