نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هفدهم، شماره ۴(۶۸)، زمستان ۱۴۰۲، صفحه ۵۲۸-۵۰۹

مقاله پژوهشی DOI:

اثر تاریخ کاشت و سولفات‌روی بر فنولوژی، شاخص‌های رشد و عملکرد دانه بالنگوی شهری (*Lallemantiaiberica* (M.B.) Fischer & Meyer)

مینا رستمی [۱]، فرید شکاری [۱*]، کامران افصحی [۱] و مجید خیاوی [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۸

چکیده

بالنگوی شهری به‌دلیل تولید دانه‌های روغنی، برگ‌های خوراکی و متابولیت‌های ثانویه دارای اهمیت غذایی، علوفه‌ای و دارویی است. انتخاب تاریخ مناسب کاشت در کنار تغذیه گیاهی می‌تواند اثر عمیقی روی تولید و کیفیت گیاهان زراعی داشته باشد. پژوهش حاضر جهت ارزیابی اثر تاریخ کاشت (۱۳۹۷/۱۲/۲۵، ۱۳۹۸/۰۱/۲۵ و ۱۳۹۸/۰۲/۲۳) و محلول‌پاشی سولفات روی (صفر، ۲ و ۴ گرم در لیتر) بر شاخص‌های رشد و عملکرد بالنگوی شهری، به‌صورت مزرعه‌ای به اجرا درآمد. با تاخیر در کاشت طول دوره پیش از گلدهی، طول دوره پس از گلدهی، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR) و عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کاهش پیدا کرد. در مقابل، استفاده از سولفات روی موجب افزایش ارتفاع بوته، LAI، CGR و RGR گردید. با افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد کپسول در بوته نیز افزایش پیدا کرد. بیشترین اثر کاربرد سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد در تاریخ کاشت اول مشاهده شد و با تاخیر در کاشت کارایی استفاده از کود روی کاهش یافت. در تاریخ کاشت سوم کاربرد سولفات روی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت. تأخیر در کاشت موجب کاهش عملکرد از مسیر کاهش تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته و وزن هزاردانه گردید. نتایج نشان داد که کشت زودهنگام و کاربرد سولفات روی از مسیر افزایش طول دوره پیش از گلدهی و پس از گلدهی، LAI، RGR و CGR موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته و وزن هزاردانه و در نتیجه موجب عملکرد دانه بالاتر در بالنگوی شهری گردید.

واژگان کلیدی: اجزای عملکرد، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، شاخص سطح برگ، مراحل فنولوژیک، وزن هزاردانه.

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه زنجان، ایران.
۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، ایران.
نگارنده مسئول shekari@znu.ac.ir

مقدمه

گیاهان فراموش شده و کمتر استفاده شـده، گیاهانی هستند کـه به صورت سنتی و محدود در مناطقی که از آن منشاء گرفته‌اند کشت می‌شدند. از دلایل فراموشی این قبیل گیاهان زراعی می‌توان به معرفی گونه‌های جدید، از دسـت رفـتن قـدرت رقابت این گونـه‌هـا در مقایـسه بـا گونـه‌هـای پـر محصول، تغییـرات تـدریجی در تقاضـا، اقتـصاد و مسائل فرهنگی و سیاسی اشـاره کـرد (Li *et al*., 2020).

بالنگوی شهری (*Lallemantiaiberica*) از تیره‌ی Lamiaceae گیاه یک‌ساله، علفی، چندمنظوره و مقاوم به خشکی با امکان کشت انتظاری پاییزه یا بهاره می‌باشد. تحمل بالای این گیاه در برابر خشکی باعث می‌شود تا نقش بسیار مهمی درسیستم‌های تناوبی در مناطق خشک و نیمه خشک داشته باشد. دانه بالنگو دارای ۳۰ درصد روغن با حدود ۸۰ درصد اسیدهای چرب اشباع نشده است و می‌تواند به‌عنوان روغن با کیفیت غذایی در نظر گرفته شود. دانه‌های گیاه دارای موسیلاژ، اسانس و ترکیبات متنوع معطر می‌باشد که موجب می‌گردد بالنگو به‌عنوان گیاه دارویی نیز مد نظر باشد (Al-Snafi, 2019).

تاریخ کاشت نقش مهمی در رشد و عملکرد گیاهان زراعی از طریق دریافت انرژی حرارتی لازم برای تکمیل مراحل نموی گیاه دارد. تغییر در تاریخ کاشت سبب می‌شود که گیاه در معرض شرایط آب و هوایی متفاوتی قرار گیرد و در نتیجه عملکرد و اجزای عملکرد نیز تغییر یابد (Foulkes *et al*., 2009; Abbas *et al*., 2019). اسلافر (Slafer, 2007) گزارش نمود که تاریخ ظهور و آغازش اندام‌های رویشی و زایشی و تعداد آنها بستگی به دما و طول روز دارد، اما بقاء و اندازه بعدی این اندام‌ها به فراهمی اسمیلات‌ها وابسته است. بنابراین، انتخاب تاریخ کاشت مناسب برای آغازش مخازن زایشی، تولید بیشتر دانه و تأمین فتواسمیلات‌ها مورد نیاز برای پر شدن دانه‌ها ضروری است. اظهار شده است که در کشت زودهنگام به‌دلیل وضعیت آبی مناسب‌تر خاک، تولید ماده خشک، عملکرد و کارایی مصرف آب بهبود پیدا می‌کند (Foulkes *et al*., 2009; Abbas *et al*., 2019). به‌عبارت دیگر، تغییر در تاریخ کاشت می‌تواند جریان بخار آب را از حالت تبخیر (اتلاف آب بدون تولید) به تعرق (اتلاف آب با تولید) تبدیل کرده و راندمان مصرف آب را بهبود دهد (Rockström, 2003).

روی عنصر کم مصرف بسیار مهمی است که وجود آن برای فعالیت‌های متابولیکی در گیاهان ضروری است و کمبود آن در بسیاری از محصولات دیده شده است (Sadeghzadeh, 2013). عنصر روی جزو ساختارهای آنزیم‌های مختلف یا کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌ها است و نقش مهمی در فتوسنتز، تنظیم روزنه‌ها، یکپارچگی غشای سلول، متابولیسم نیتروژن و سنتز تریپتوفان دارد؛ و کمبود آن می‌تواند باعث عدم توازن در جذب عناصر غذایی، کاهش راندمان مصرف آب، تغییر در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و آسیب به ساختار دانه‌های گرده شده و در نهایت کاهش کمیت و کیفیت محصول را در پی داشته باشد (Fang *et al*., 2008; Sadeghzadeh, 2013).

با وجود این که تولید بالنگو از گذشته در برخی مناطق ایران انجام می‌شد، ولی طی دهه‌های گذشته سطح زیر کشت آن کاهش یافته و محدود به دیم‌زارهایی در برخی از مناطق کشور شده است. در سال‌های اخیر به‌دلیل تغییرات اقلیمی و کاهش مقدار بارندگی از یک سو، و از

سوی دیگر افزایش اهمیت غذایی و دارویی این گیاه، توجه به آن نیز افزایش یافته است. کشت این گیاه ممکن است به‌دلیل برخورد با برداشت غلات یا دیگر گیاهان پاییزه و شرایط نامساعد محیطی با تاخیر انجام شود. همچنین، اطلاعات در رابطه با عملیات زراعی نظیر تاریخ کشت مناسب و تغذیه این گیاه محدود است. از این رو، این تحقیق با هدف تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت بالنگوی شهری و نیز بررسی تأثیر کود سولفات روی بر عملکرد و شاخص‌های رشدی این گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ به اجرا درآمد. زنجان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۱۵۷۷ متری از سطح دریا واقع شده است و دارای آب و هوای مدیترانه‌ای با زمستان سرد و تابستان ملایم تا نسبتاً گرم است. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار به اجرا درآمد. فاکتورهای مورد بررسی عبارت بودند از تاریخ کشت در سه سطح (۹۷/۱۲/۲۵، ۹۸/۰۱/۲۵ و ۹۸/۰۲/۲۳) به‌عنوان کرت اصلی و محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سولفات روی در سه سطح (T_1: شاهد یا اسپری آب مقطر، T_2: ۲ گرم در لیتر، T_3: ۴ گرم در لیتر) به‌عنوان کرت فرعی. بذرهای گیاه بالنگو از توده محلی زنجان تهیه شد. برای آماده‌سازی زمین دو دیسک عمود بر هم انجام شد. مساحت هر کرت آزمایشی ۷/۵ متر مربع و هر کرت شامل ۶ ردیف کاشت به طول ۶ متر بود. فواصل ردیف‌ها از یکدیگر ۱۷/۵ سانتی‌متر و فواصل بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آنالیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارایه شده است. قبل از کاشت کود نیتروژن (اوره)، اکسید فسفر (سوپرفسفات تریپل) و اکسید پتاسیم (سولفات پتاسیم) به‌ترتیب با مقادیر ۶۰، ۴۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. کشت به‌طور مستقیم و در عمق ۲-۳ سانتی‌متر در مزرعه انجام گردید. آبیاری به‌صورت نواری انجام گرفت. در مراحل اولیه رشد آبیاری به فاصله زمانی سه روز یک‌بار و پس از استقرار گیاهان، به‌صورت هفته‌ای انجام شد. کنترل علف‌های هرز با استفاده از وجین دستی اجرا گردید و از هیچ نوع علف‌کش در آزمایش استفاده نشد. محلول‌پاشی سولفات روی متناسب با غلظت‌های ذکر شده در مرحله چهار تا شش برگی گیاهان اعمال شد.

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص‌های رشد، ۲۰ روز پس از سبز شدن با فاصله هر ده روز یک‌بار، در هر مرحله، ۱۲ بوته از هر کرت برداشت و سطح برگ با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter AM 350, ADC, England) اندازه‌گیری شد. بوته‌های برداشت شده به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در آون قرار گرفتند و پس از آن وزن خشک بوته‌ها اندازه‌گیری شد. با استفاده از اندازه‌گیری‌های فوق و روابط زیر، شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد محصول (CGR) و سرعت رشد نسبی (RGR) به دست آمد. در بررسی بهترین معادلات برای روند رشد، معادلات درجه دوم زیر به‌دست آمد:

$$\ln LAI = a + bt + ct^2$$ معادله(۱)

$$\ln TDM = a + bt + ct^2$$ معادله (۲)

در این روابط LAI، شاخص سطح برگ و TDM کل ماده خشک، t زمان (روز) و L_n لگاریتم بر پایه عدد نپر می‌باشد. برای محاسبه CGR از روش مشتق‌گیری از معادله روند تجمع ماده خشک و برای محاسبه RGR نیز از مشتق معادله سرعت رشد استفاده شد. در طول فصل رشد صفات فنولوژیکی شامل تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی یادداشت‌برداری شد. در پایان فصل رشد ارتفاع گیاه بر حسب سانتی‌متر از سطح زمین تا بالاترین شاخه گیاه، تعداد شاخه فرعی در هر بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزاردانه از میانگین ده بوته انتخابی از هر کرت اندازه‌گیری شدند. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در واحد سطح از کل دانه و بیوماس به دست آمده برای هر کرت به دست آمد.

پس از آزمون نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه واریانس داده‌های صفات مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SAS (ورژن ۹/۴) انجام گرفت و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. شکل‌ها با نرم افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI):

تغییرات شاخص سطح برگ در تاریخ‌های کشت و همچنین مقادیر سولفات روی نشان داد که تأخیر در کاشت سبب کاهش میزان LAI شد (شکل ۱). در تاریخ کشت اول، به دلیل طولانی‌تر بودن دوره رشد (حدود ۱۵۰ روز) و همچنین، خنک بودن ابتدای دوره رشد، توسعه کانوپی در مدت زمان طولانی‌تری انجام شد و گیاهان سطح برگ بیشتری در مقایسه با تاریخ‌های کشت دیرتر فراهم نمودند. در مقابل، در تاریخ کشت سوم به دلیل برخورد گیاهان با دمای بالا، مرحله حداکثری LAI (۶۰ روز پس از سبز کردن) زودتر به وقوع پیوست و طول دوره رشد حدود ۴۰ روز کوتاه‌تر از تاریخ کاشت اول بود. بالاترین LAI در تاریخ کاشت اول در زمان گلدهی، در تیمارهای اسپری سولفات روی معادل با ۳/۵ و کمترین مقدار در همان مرحله فنولوژیک در تاریخ کاشت سوم و عدم کاربرد سولفات روی با LAI برابر با ۲ مشاهده شد.

LAI به عنوان سطح برگ گیاه در واحد سطح زمین بیان می‌شود و بستگی به تعداد برگ و سطح برگ دارد. مقدار سطح سبز برگ، تخمینی از اندازه منبع است. زیرا با افزایش سطح برگ میزان دریافت تشعشع و به دنبال آن فتوسنتز در واحد سطح زمین نیز افزایش می‌یابد (Hunt, 1982). بنابراین، سطح برگ تأثیر عمده‌ای در مقدار عملکرد و سرعت رشد گیاه دارد. به عبارت دیگر، رشد گیاه به‌طور عمده تابع سطح برگ و فعالیت بافت‌های فتوسنتز کننده می‌باشد و سرعت رشد برگ اغلب مهم‌ترین عامل تعیین کننده تولید گیاه به‌شمار می‌آید (Shekari *et al*., 2010). به‌طورکلی، شرایطی که باعث شود تا امکان تولید برگ‌های بیشتر با اندازه بزرگ‌تر فراهم شود می‌تواند منجر به افزایش LAI شود. از جمله عواملی که بر روی توسعه LAI مؤثر هستند را می‌توان به تامین آب، جمعیت گیاهی، تغذیه معدنی و همچنین دمای محیط اشاره کرد (Hay and Porter, 2006). نتیجه تأخیر در کاشت، برخورد مراحل رشدی به دماهای بالاتر و تسریع در تکمیل مراحل فنولوژیکی گیاهی است (Shekari *et al*., 2010).

در گندم، تأخیر در کاشت موجب گردید تا گیاهان با تنش گرمای آخر فصل برخورد کنند و به دلیل کاهش سطح برگ و همچنین افزایش سرعت پیری و مرگ برگ‌های بالغ، LAI کاهش پیدا کند (Bana *et al*., 2022). از دیگر عوامل مؤثر در کاهش سطح برگ در تاریخ کاشت‌های دیرهنگام رقابت بین بخش‌های رویشی و زایشی می‌باشد. در شرایط کشت‌های دیرهنگام، پیش از اینکه سطح برگ به طور کامل توسعه یابد، گیاه سریع‌تر وارد مرحله زایشی شده و در نتیجه میزان LAI در این شرایط کاهش می‌یابد (Shekari *et al*., 2010). بررسی تغییرات LAI در سطوح مختلف سولفات روی نشان داد که تاریخ کاشت اثر قابل توجهی روی واکنش گیاه بالنگو نسبت به غلظت‌های سولفات روی مورد استفاده داشت (شکل ۱).

در تاریخ کاشت اول اختلاف بین سطوح سولفات روی به کار رفته دیده شد و کاربرد ۴ گرم بر لیتر سولفات روی بالاترین LAI را تولید کرد؛ و پس از آن محلول‌پاشی با غلظت ۲ گرم بر لیتر LAI بیشتری در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد. در حالی‌که در تاریخ کاشت دوم و سوم غلظت‌های محلول‌پاشی سولفات روی اختلافی با یکدیگر نداشتند و تقریباً هر دو منحنی بر روی یکدیگر منطبق بودند (شکل ۱). افزایش LAI با کاربرد روی در برنج (Shah and Khalil, 2016) و ذرت (Wasaya *et al*., 2017) گزارش شده است. افزایش LAI با افزایش تعداد پنجه و اندازه برگ مرتبط بود. در شرایط آزمایش حاضر، تاخیر در کاشت موجب کاهش طول دوره پیش از گلدهی و پس از گلدهی در بالنگو گردید (جدول ۳). کاهش سطح برگ با کاهش عملکرد دانه (جدول ۴) و عملکرد بیولوژیکی (جدول ۳) در تیمارهای کشت دیرهنگام مطابقت داشت.

سرعت رشد محصول (CGR):

با توسعه پوشش گیاهی و افزایش LAI (شکل ۱) تولید ماده خشک با سرعت بیشتری در واحد سطح زمین اجرا گردید (شکل ۲). پس ازگلدهی، روند کاهش در مقدار CGR مشاهده شد. در هر سه تاریخ کاشت بالاترین مقدار CGR متعلق به تیمار محلول‌پاشی با ۴ گرم در لیتر سولفات روی بود. همچنین، بیشترین مقدار CGR در تاریخ کاشت اول و کاربرد ۴ گرم بر لیتر سولفات روی با ۳/۵ گرم تولید ماده خشک در متر مربع در روز و کمترین مقدار در تاریخ کاشت سوم و بدون کاربرد روی و محلول‌پاشی ۲ گرم سولفات روی مشاهده شد. با تکمیل ساختار کانوپی، کاهش سطح برگ به دلیل افزایش رقابت، خشک شدن و ریزش برگ‌های پیر، سایه‌اندازی برگ‌های بالای کانوپی و همچنین کاهش کارآیی اندام‌های فتوسنتز کننده، CGR روند نزولی نشان می‌دهد (Hunt, 1982). مقادیر بالای CGR (شکل ۲) با عملکرد دانه بالاتر این تیمارها (جدول ۴) نیز متناسب بود. تاکای و همکاران (Takai *et al*., 2006) ارتباط مثبت بین CGR و عملکرد دانه به ویژه در دوره پس از گلدهی را بیان کردند. بر اساس این گزارش CGR بالا با تجمع کربوهیدرات‌های محلول ساقه و غلاف برگ و انتقال سریع کربوهیدرات‌های محلول به سمت دانه، به‌ویژه در ابتدای دوره پر کردن دانه همبستگی داشت. در نتیجه تعداد سنبلچه و عملکرد دانه در واحد سطح زمین افزایش یافت. از بین سطوح سولفات روی نیز غلظت‌های ۴ و ۲ گرم بر لیتر سولفات روی به‌ترتیب CGR بالاتری نسبت به تیمار عدم مصرف سولفات روی داشتند

(شکل ۲). افزایش CGR در گیاه برنج با کاربرد کود سولفات روی نیز گزارش شده است و دلیل آن به افزایش شاخص سطح برگ و محتوی عنصر روی گیاه با کاربرد کود روی نسبت داده شده است (Alkahtani *et al*., 2020).

سرعت رشد نسبی (RGR):

داده‌ها نشان می‌دهند مقادیر RGR به ترتیب در تاریخ کاشت اول بالاترین بود و تاریخ‌های کشت دوم و سوم در رتبه‌های بعدی بودند (شکل ۳). در مجموع روند تغییرات RGR در تاریخ‌های کشت دوم و سوم مشابه بود، اما مقدار RGR در تاریخ کشت اول بالاتر و روند نزولی آن آهسته‌تر از بقیه تیمارها بود (شکل ۳). کاربرد سولفات روی در هر دو سطح ۲ و ۴ گرم بر لیتر سبب افزایش مقادیر RGR شد (شکل ۳). اما روند نزولی RGR در تیمار ۴ گرم بر لیتر سولفات روی شیب بیشتری داشت. به نظر می‌رسد کاربرد روی سبب افزایش رشد رویشی و شاخ و برگ در گیاه گردید (شکل ۱)، در نتیجه گیاهان سریع‌تر رشد رویشی را تکمیل کرده و سطح زمین را اشغال کردند و احتمالاً رقابت در گیاه برای دریافت نور و منابع ایجاد می‌شود.

در مرحله ابتدایی رشد با افزایش LAI مقادیر RGR حالت افزایشی را نشان می‌دهد و پس از آن با افزایش سن، ریزش برگ‌ها و در معرض سایه قرار گرفتن برگ‌های پایینی که در مجموع سبب کاهش توان فتوسنتزی گیاه می‌گردد، RGR کاهش می‌یابد (Hunt, 1982). از موارد دیگر که می‌تواند سرعت بیشتر کاهش RGR را توضیح دهد بالاتر بودن مقدار تنفس در گیاهانی با وزن بیشتر و سرعت فتوسنتز بالاتر است که باعث کاهش RGR می‌شود (Hay and Purter, 2006).

ارتفاع بوته:

اثرات ساده تاریخ کاشت و سطوح کود سولفات روی به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد بر ارتفاع بوته بالنگو معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته (۶۳/۱ سانتی‌متر) در تاریخ کاشت اول مشاهده شد و تاریخ‌های کاشت دوم و سوم به‌ترتیب رتبه‌های بعدی را از نظر ارتفاع بوته داشتند. همچنین، بیشترین ارتفاع بوته با کاربرد ۴ گرم در لیتر سولفات روی به‌دست آمد. تیمارهای عدم کاربرد سولفات روی و مصرف ۲ گرم در لیتر ازنظر آماری در یک گروه قرار گرفتند و ارتفاع آنها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت (جدول ۳).

ارتفاع بوته تحت تأثیر تعداد گره‌ها و فواصل میان‌گره است. افزایش ارتفاع بالنگو در تاریخ کاشت زودهنگام در مقایسه با تاریخ کاشت دیرتر توسط بداوی و همکاران (Badawy *et al*., 2013) نیز گزارش شده است. در تاریخ‌های کاشت دیرتر به دلیل کوتاه شدن دوره رشد و مواجه با روزهای گرم، دوره رشد رویشی کوتاه‌تر شده (جدول ۳) و گیاهان با ارتفاع کمتری وارد فاز زایشی شدند. افزایش ارتفاع گیاه با محلول‌پاشی روی می‌تواند به‌دلیل تولید مواد تنظیم کننده رشد از جمله اکسین‌ها باشد که با تحریک رشد گیاه و افزایش طول میانگره‌ها در نهایت باعث افزایش ارتفاع گیاه می‌شوند (Singh *et al*., 2013).

تعداد شاخه فرعی:

اثرات ساده تاریخ کاشت و سطوح کود سولفات روی و نیز اثر متقابل آنها بر تعداد شاخه فرعی بالنگوی شهری در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طورکلی، تعداد شاخه فرعی با تأخیر در کاشت کاهش یافت. همچنین، بیشترین تعداد شاخه فرعی با کاربرد ۴ گرم بر

لیتر سولفات روی به‌دست آمد (جدول ۴). در تاریخ کاشت سوم، کاربرد ۴ گرم در لیتر کود سولفات روی نیز افزایش اندکی در تعداد شاخه فرعی بالنگو نسبت به عدم کاربرد سولفات روی در همان تاریخ کاشت ایجاد کرد (جدول ۴). بیشترین تعداد شاخه فرعی در تیمارهای ۴ گرم در لیتر سولفات روی و تاریخ کاشت اول و دوم مشاهده شد و کلیه تیمارها در تاریخ کاشت سوم کمترین تعداد شاخه فرعی را داشتند.

شاخه‌دهی عامل مهم تاثیرگذار روی ساختار گیاهی است (Shekari *et al*., 2010). خصوصیاتی نظیر ارتفاع گیاه، پنجه‌زنی و روند شاخه‌زایی و شکل تک برگ‌ها اثرگذار بر روی ساختار کانوپی هستند. تغییر در هر یک از این اجزا می‌تواند موجب تغییر در شکل گیاه و ساختار کانوپی شود. شاخه‌های جانبی از مریستم‌های جانبی منشاء می‌گیرند و در دو مرحله جداگانه توسعه پیدا می‌کنند. مرحله اول آغازش مریستم جانبی جدید در محور کنار برگ می‌باشد و مرحله دوم رشد جوانه جانبی برای تشکیل ساقه یا شاخه جانبی است (Peng *et al*., 2018). از سویی نیز تغذیه مناسب با تامین فتواسیمیلات‌ها موجب جلوگیری از سقط مریستم‌های آغازش یافته می‌گردد (Shekari *et al*., 2010; Hay and Porter, 2006). به نظر می‌رسد با کاربرد روی و به‌ویژه در تاریخ کاشت‌های اول و دوم، فرصت برای توسعه گیاه و ارتفاع بوته و تولید برگ (شکل ۱) به وجود آمده که با دریافت نور بیشتر و فتوسنتز بالاتر (شکل‌های ۲ و ۳) افزایش تعداد شاخه‌های فرعی اتفاق افتاده است. جان‌محمدی و همکاران (Janmohammadi *et al*., 2016) نشان دادند که محلول‌پاشی روی سبب افزایش تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه جو گردید.

تعداد کپسول در بوته و دانه در کپسول:

اثرات ساده تاریخ کاشت و سطوح کود سولفات روی و نیز اثر متقابل آنها بر تعداد کپسول در بوته و اثر ساده تاریخ کاشت بر تعداد دانه در کپسول معنی‌دار بود (جدول ۲). تاخیر در کاشت سبب کاهش تعداد کپسول در بوته و مصرف کود سولفات روی سبب افزایش تعداد کپسول در بوته شد؛ اما درصد افزایش یا کاهش در تیمارهای مختلف یکسان نبود (جدول ۴). در تاریخ‌های کاشت اول و دوم میزان افزایش تعداد کپسول در بوته در تیمارهای ۴ گرم در لیتر سولفات روی در مقایسه با ۲ گرم در لیتر، بیشتر بود. اما در تاریخ کاشت سوم، کاربرد سولفات روی، اختلاف معنی‌داری را با عدم کاربرد این ترکیب نشان نداد (جدول ۴).

افزایش تعداد کپسول در هر بوته وابسته به افزایش تعداد شاخه‌های جانبی گل‌دهنده در بوته است. فعالیت مریستم‌های جانبی جهت تولید شاخه‌های جانبی به‌میزان مواد پرورده و فعالیت هورمون‌ها بستگی دارد (Peng *et al*., 2018). از آنجا که عنصر روی در تولید کلروفیل نقش دارد، با تأثیر بر فتوسنتز و متابولیسم کربوهیدرات‌ها، می‌تواند تولید مواد پرورده را بهبود دهد و می‌تواند محدودیت در فتوسنتز را کاهش داده و سبب افزایش تعداد اندام‌های زایشی در بوته گردد. از سوی دیگر، روی باعث افزایش تولید هورمون اکسین می‌گردد (Sadeghzadeh, 2013; Singh *et al*., 2013). اظهار شده است عنصر روی به دلیل تأثیر مثبت بر تشکیل پرچم و دانه گرده، تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله را افزایش داد (Pandey *et al*., 2006). افزایش تعداد واحدهای زایشی با کاربرد روی در آزمایش‌های دیگری نیز

گزارش شده بود (Ravi *et al*., 2008; Pandey *et al*., 2010).

تاریخ کاشت بر تعداد دانه در کپسول اثر معنی‌داری داشت. تاریخ کاشت اول با ۴/۲ دانه در کپسول بیشترین تعداد دانه در کپسول را تولید نموده و تاریخ‌های کاشت دوم و سوم به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی از نظر تعداد دانه در کپسول قرار گرفتند (جدول ۳). به نظر می‌رسد درتاریخ کاشت زودهنگام به‌دلیل ظهور زودتر گیاهچه، گرده‌افشانی زودهنگام، تجمع بیشتر ماده خشک (شکل ۲) و عدم برخورد مراحل فنولوژیک بعد از گرده‌افشانی با گرما تعداد دانه افزایش پیدا کرد. کاربرد سولفات روی نتوانست تعداد دانه در کپسول را در تاریخ کاشت دیرهنگام تحت تأثیر قرار دهد. در بررسی اثر تاریخ کاشت روی دو رقم جو گزارش شد که تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزاردانه در تاریخ کاشت دیرهنگام کاهش یافت (Xihuan *et al*., 2008).

وزن هزاردانه:

اثرات ساده تاریخ کاشت و سطوح کود سولفات روی و نیز اثر متقابل آنها بر وزن هزاردانه بالنگو معنی‌دار بود (جدول ۲). کشت دیرهنگام وزن هزاردانه را کاهش داد (جدول ۴). بیشترین افزایش وزن هزاردانه (۱۷ درصد) در تاریخ کاشت سوم و با مصرف ۴ گرم در لیتر سولفات روی و کمترین افزایش وزن هزاردانه (۳ درصد) در تاریخ کاشت اول و با مصرف ۲ گرم در لیتر سولفات روی به دست آمد. بیشترین وزن هزاردانه (۵/۸ گرم) در تاریخ کاشت اول و کاربرد ۴ گرم در لیتر سولفات روی به دست آمد و کمترین وزن هزاردانه (۴/۹ گرم) نیز از تاریخ کاشت سوم و عدم مصرف سولفات روی حاصل شد (جدول ۴).

مشارکت دو عامل سرعت و طول دوره پر شدن دانه تعیین‌کننده‌ی وزن نهایی دانه است (Álvaro *et al*., 2008). علت پایین بودن وزن هزاردانه در کشت دیرهنگام نسبت به تاریخ کشت اول می‌تواند به‌دلیل کوتاه‌تر بودن طول دوره پر کردن دانه (جدول ۳) و همچنین به‌دلیل کاهش سریع‌تر سطح برگی (شکل ۱) و تولید ماده خشک (شکل ۲) باشد. از سوی دیگر نیز مصادف شدن زمان پر شدن دانه با دمای بالای محیط به‌ویژه در زمان شب، موجب افزایش تنفس گیاه و دانه تازه تشکیل شده خواهد شد که نتیجه آن کاهش وزن هزاردانه خواهد بود (Shekari *et al*., 2010). درحالی‌که در تاریخ کشت اول دوره پر شدن دانه، مصادف با دمای خنک‌تر بوده در نتیجه طول دوره پر شدن دانه طولانی‌تر و تأثیر عوامل نامساعد محیطی بر وزن هزاردانه در تاریخ کاشت اول کاهش یافت. از سویی نیز، گیاهان تاریخ کاشت اول دارای ارتفاع بیشتری در مقایسه با گیاهان تاریخ کاشت‌های بعدی بودند (جدول ۳). به‌دلیل این که ساقه می‌تواند به‌عنوان محلی برای ذخیره فتواسیمیلات‌ها در دوره پیش از گلدهی در نظر گرفته شود، وجود ساقه بلندتر می‌تواند به‌عنوان منبعی برای انتقال اسیمیلات‌ها در دوره بعد از گلدهی و پر کردن دانه در نظر گرفته شود (Shekari *et al*., 2010). بنابراین، در تاریخ کشت‌های دیرتر کاهش طول دوره پر شدن، سرعت فتوسنتز پایین‌تر، تنفس بالاتر و بازگسیل کمتر، کاهش وزن تک‌دانه را به دنبال خواهد داشت. در سیاه‌دانه کاهش عملکرد دانه در کشت‌های تاخیری به دلیل کاهش تعداد دانه در بوته و کاهش وزن هزاردانه بود (D'Antuono *et al*., 2002). افزایش وزن هزاردانه ذرت نیز با کاربرد روی گزارش شده است (Potarzycki and

Grzebisz, 2009; Wasaya *et al*., 2017). اثر مثبت روی بر وزن هزار دانه گیاه می‌تواند با نقش این عنصر در فراهمی عناصر کم‌مصرف، افزایش تولید تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر IAA، کربوهیدرات‌ها، متابولیسم نیتروژن و جذب عناصر پرمصرف (Shekari *et al*., 2010) و در نتیجه سبب افزایش تجمع اسیمیلات‌ها در دانه و سنگین‌تر شدن آن باشد.

عملکرد دانه:

اثرات ساده تاریخ کاشت و سطوح کود سولفات روی و نیز اثر متقابل آنها بر عملکرد دانه بالنگوی شهری معنی‌دار بود (جدول ۲). تاخیر در کاشت موجب کاهش عملکرد دانه گردید. کمترین عملکرد در تاریخ کاشت سوم مشاهده شد. همچنین در تاریخ کاشت‌های اول و دوم با کاربرد ۲ و ۴ گرم بر لیتر سولفات روی عملکرد دانه به‌طور مشابهی افزایش یافت، اما در تاریخ کاشت سوم هیچ‌یک از غلظت‌های به‌کار رفته تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت اول و کاربرد ۲ و ۴ گرم در لیتر سولفات روی (به‌ترتیب ۲۶۵۹ و ۲۷۶۷ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد و کمترین عملکرد دانه نیز در تاریخ کاشت سوم و بدون اختلاف معنی‌دار در سطوح سولفات روی به‌کاررفته، مشاهده شد (جدول ۴).

در تاریخ کاشت اول، طولانی بودن دوره رویشی موجب توسعه بیشتری در سطح برگی (شکل ۱) و تجمع ماده خشک بیشتر در اندام‌های هوایی (شکل‌های ۲ و ۳) را موجب گردید که به‌عنوان یک منبع بسیار قوی در پر کردن دانه نقش ایفا می‌کند. در مقابل، کشت با تاخیر گیاهان سبب شد تا گیاهان به‌دلیل کوتاه‌تر شدن دوره‌های پیش از گلدهی و بعد از گلدهی (جدول ۳) و کاهش سطح برگ و ماده خشک تجمع یافته (شکل‌های ۱، ۲ و ۳) تحت تأثیر محدودیت‌های دمای آخر فصل، فرصت کافی برای تولید و انتقال فتواسیمیلات‌ها و ترکیبات پرورده به دانه را نداشته باشند. در بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد بالنگو گزارش شده است که بیشترین عملکرد دانه، عملکرد اسانس و روغن در تاریخ‌های کاشت زودهنگام بالنگوی شهری به‌دست آمد (Badawy *et al*., 2013). تاخیر در کاشت موجب کوتاه‌تر شدن دوره رشد رویشی شده که در نتیجه گیاه با بنیه ضعیفی وارد مرحله زایشی می‌شود و معمولاً پتانسیل پایینی را در اجرای فتوسنتز نشان می‌دهد. همچنین، تاخیر در کاشت موجب کاهش مقاومت گیاهان به‌عوامل نامساعد محیطی می‌گردد (Adekpe *et al*., 2007). گزارش شده است که در کشت‌های بهاره و دیرهنگام، افزایش دما طی دورهٔ گرده‌افشانی موجب عقیم شدن دانه‌های گرده و عدم رشد یا اختلال در رشد لوله گرده می‌شود (Sita *et al*., 2017). اظهار شده است که برتری عمکرد دانه در کشت‌های زمستانه نسبت به کشت بهاره بالنگو به دلیل اثر مثبت افزایش دوره رشد رویشی، گلدهی دیرتر و درنهایت تسهیم عناصر غذایی بیشتر در گیاه می‌باشد (Mohammad ghasemi *et al*., 2021).

افزایش عملکرد دانه با مصرف کود سولفات روی می‌تواند به‌دلیل افزایش مقدار سطح جذب‌کننده نور توسط بافت برگی باشد که در تاریخ کاشت‌های مختلف موجب افزایش LAI گردید (شکل ۱). مشخص شده است که نیتروژن نقش محوری در گسترش برگ و افزایش غلظت کلروفیل دارد (Hay and Porter, 2006). از سویی نیز اظهار شده است کاربرد روی موجب افزایش کارایی جذب و اسیمیلاسیون نیتروژن در گیاهان

تیمار شده می‌گردد (Sadeghzadeh, 2013). بنابراین، افزایش سطح برگ با کاربرد روی می‌تواند به‌دلیل افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور عنصر روی باشد (Potarzycki and Grzebisz, 2009) که موجب افزایش کارایی جذب نور و کارایی اسیمیلاسیون کربن (شکل ۲) گردید. افزایش غلظت کلروفیل و افزایش فعالیت فسفواینول پیروات کربوکسیلاز با کاربرد روی گزارش شده است (Potarzycki and Grzebisz, 2009). نتیجه این موارد می‌تواند موجب افزایش توان گیاه در تولید دانه شود. در گندم کاربرد سولفات روی موجب افزایش عملکرد گندم و عملکرد ذرت گردید (Wasaya *et al*., 2017). این افزایش در عملکرد می‌تواند به دلیل افزایش تعداد دانه گرده و بهبود قدرت دانه‌های گرده باشد که موجب می‌شود تا تعداد دانه بیشتری به‌عنوان مخزن ایجاد گردد (Pathak *et al*., 2012). بنابراین، با افزایش اندازه و قدرت مخزن و منبع عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد (Shekari *et al*., 2010).

عملکرد بیولوژیکی:

اثرات ساده تاریخ کاشت و سطوح کود سولفات روی به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک بالنگو معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده تاریخ کاشت نشان داد که در تاریخ کاشت اول بیشترین عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد، درحالی‌که در تاریخ‌های کاشت دوم و سوم عملکرد بیولوژیک نسبت به تاریخ کاشت اول به‌ترتیب ۲۵ و ۵۲ درصد کاهش یافت (جدول ۳). افزایش تجمع ماده خشک نشان‌دهنده توانایی کانوپی گیاه در استفاده از عوامل محیطی مانند نور، عناصر غذایی و آب برای تولید سطح برگ و تولید ماده خشک می‌باشد (Foulkes *et al*., 2009). با افزایش طول دوره رویشی به‌دلیل افزایش گسترش کانوپی و تسریع در بسته شدن کانوپی تولید ماده خشک و زیست‌توده گیاه افزایش پیدا می‌کند (O'Toole *et al*., 2001). افزایش تولید ماده خشک به‌صورت مستقیم با مقدار تشعشع فتوسنتزی جذب شده به‌وسیله برگ‌های گیاه از زمان سبز شدن تا برداشت ارتباط دارد و تأخیر در تاریخ کاشت تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد (Foulkes *et al*., 2009; Shekari *et al*., 2010). در آزمایش حاضر نیز تعداد روز تا رسیدگی در تاریخ کاشت‌های دیرتر کاهش یافت (جدول ۳) و سبب کاهش LAI، CGR و RGR (شکل‌های ۱، ۲ و ۳) و تولید ماده خشک (جدول ۳) گردید. از سوی دیگر نیز با مصرف ۴ و ۲ گرم در لیتر سولفات روی بیشترین عملکرد بیولوژیک بالنگوی شهری به‌دست آمد و کمترین عملکرد بیولوژیک در تیمار عدم کاربرد سولفات روی مشاهده شد (جدول ۳). رابطه مستقیمی بین وجود روی و تولید آنزیم کربنیک انیدراز وجود دارد. آنزیم کربنیک انیدراز در ساختار خود دارای یک اتم روی بوده و باعث هیدراسیون کربن دی‌اکسید می‌گردد. گزارش شده است فعالیت این آنزیم بستگی به مقدار روی در گیاه دارد (Dell and Wilson, 1985)؛ و سبب تسریع در انجام واکنش هیدراسیون کربن دی اکسید، افزایش جذب و اسمیلاسیون کربن در واحد سطح برگ، افزایش سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود. علاوه بر کربنیک انیدراز، می‌توان به نقش عنصر روی در فعالیت دو آنزیم کلیدی فروکتوز ۱ و ۶ بی فسفاتاز و آلدولاز در چرخه احیای کربن و تولید اکسین اشاره کرد (Fang *et al*., 2008). محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی آهن و روی با

افزایش جذب مواد غذایی و کمک به افزایش رشد، فتوسنتز، افزایش سبزینگی و دوام سطح برگ منجر به افزایش کارآیی برگ شد که نتیجه آن افزایش زیست‌توده در گیاه بود (Wasaya *et al.*, 2017).

تعداد روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی:

تنها اثر ساده تاریخ کاشت بر تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده تاریخ کاشت نشان داد که تعداد روز تا گلدهی در تاریخ کاشت اول بیشترین تعداد روز بوده و تاریخ‌های کاشت دوم و سوم به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. طول دوره رسیدگی گیاه نیز در تاریخ کاشت اول بیشتر از دو تاریخ کاشت بعدی بود (جدول ۳). درجه حرارت و طول روز به‌طور پیوسته‌ای صفت‌های مختلف گیاهی همچون سرعت آغازش برگ و سرعت سبز شدن برگ را تحت تاثیر قرار می‌دهند که این امر تعیین‌کننده مدت زمان تا گلدهی است (Miralles *et al.*, 2001). فنولوژی گیاهی تحت تاثیر مجموع دمای تجمع یافته در گیاه قرار می‌گیرد. به‌عبارت دیگر، گیاه زمانی مرحله‌ای از زندگی خود را تکمیل یا وارد مرحله بعدی خواهد شد که مقدار معینی دما از محیط دریافت کرده باشد (Abbas *et al.*, 2019). مطالعات نشان داده‌اند که از بین مراحل فنولوژیکی، مرحله روز تا گلدهی علاوه بر درجه-روز رشد، به طول روز نیز بستگی دارد (Bertero and Ruiz, 2008). از سویی نیز میزان حساسیت به فتوپریود در گیاهان مختلف مشابه نیست (Abbas *et al.*, 2019). در تاریخ کاشت اول، افزایش تدریجی دما و طول روز، طول دوره رشد رویشی را طولانی‌تر کرد. بنابراین، مرحله گلدهی در این تاریخ کشت نیز دیرتر از دو تاریخ کشت دیگر آغاز شد. احتمالاً تغییرات طول روز بعد از گلدهی در تاریخ‌های کاشت دوم و سوم، روند رشد دانه را نیز تحت تأثیر قرار داد.

نتیجه‌گیری کلی

تاریخ کاشت مناسب و تغذیه با سولفات روی تأثیر مستقیمی بر عملکرد، مراحل فنولوژیکی و تولید بالنگوی شهری داشت. محلول‌پاشی هر دو غلظت سولفات روی به‌ویژه غلظت ۴ گرم در لیتر اثر مثبتی بر LAI، CGR، RGR، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، عملکرد بیولوژیک، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه داشت. بالاترین شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه در کشت زودهنگام به‌دست آمد. نتایج نشان داد تأخیر در کاشت سبب کاهش رشد و تولید گیاه گردید. همچنین، استفاده از سولفات روی تا یک بازه زمانی توانست اثر منفی کشت دیرهنگام را جبران نماید. داده‌ها نشان می‌دهند در صورت تأخیر زیاد در کشت (تاریخ کاشت سوم)، کاهش عملکرد بالنگوی شهری حتی با مصرف غلظت بالای کود سولفات روی نیز قابل جبران نخواهد بود. درحالی‌که با انتخاب تاریخ کاشت مناسب (اواخر اسفندماه و اوایل فروردین) و کاربرد سولفات روی می‌توان از طریق افزایش شاخص‌های رشد، توسعه سریع‌تر کانوپی و اجزای عملکرد موجب افزایش بیوماس تولید شده و عملکرد دانه شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1- Physical and chemical properties of the soil in research station of University of Zanjan (0-30 cm depth)

ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC(dS/m)	pH	آهک کل Total lime (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)	کلسیم Ca (meq/l)	منیزیم Mg (meq/l)
1.18	0.72	8.28	7.2	33	27	40	0.09	9.6	286	2.1	1.1

جدول ۲-تجزیه واریانس برخی صفات بالنگو در تاریخ‌های کاشت و سطوح مختلف کود سولفات روی

Table 2-Analysis of variance of some *L. iberica*traits under sowing dates and $ZnSO_4$ fertilizer levels

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Plant Height	تعداد شاخه فرعی Number of branch	تعداد کپسول Number of capsules	تعداد دانه در کپسول Seed number per capsule
تکرار Rep	3	32.81^{ns}	0.19^{ns}	4.6^{ns}	0.06^{ns}
تاریخ کاشت Sowing date (D)	2	1515^{**}	32.55^{**}	2084.04^{**}	0.36^{**}
اشتباه a Error a	6	6.84	0.29	30.18	0.03
کود Fertilizer (Zn)	2	39.25^{*}	3.35^{**}	1365.51^{**}	0.03^{ns}
اثر متقابل Zn ×D	4	6.24^{ns}	3.85^{**}	113.69^{*}	0.09^{ns}
اشتباه Error	18	7.96	0.12	33.09	0.06
ضریب تغییرات C.V. (%)		5.55	5.32	4.19	5.88

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** are non- significant and significant in probabilitie levels of 5 and 1 %, respectively.

ادامه جدول ۲-

Table 2-Continurd

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا رسیدگی Days to ripening
تکرار Rep	3	0.02^{ns}	39212.7^{ns}	196702.6^{ns}	24.25^{**}	51.30^{**}
تاریخ کاشت Sowing date (D)	2	0.78^{**}	5332035^{**}	40410344.9^{**}	592.69^{**}	2352.11^{**}
اشتباه a Error a	6	0.04	44253.7	300089.2	1.36	1.52
کود Fertilizer (Zn)	2	0.28^{**}	140655.9^{*}	2027138.8^{*}	9.53^{ns}	8.53^{ns}
اثر متقابل Zn ×D	4	0.11^{*}	134825.2^{*}	252398.4^{ns}	0.32^{ns}	0.36^{ns}
اشتباه Error	18	0.03	34945.2	560094.3	3.13	8.86
ضریب تغییرات C.V. (%)		2.99	9.78	14.29	2.42	2.37

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** are non- significant and significant in probabilitie levels of 5 and 1 %, respectively.

جدول۳- مقایسه میانگین اثرات ساده تاریخ کاشت و سطوح سولفات روی بر برخی صفات فنولوژیک و زراعی بالنگوی شهری

Table 3- Mean comparisons for sowing dates and $ZnSo_4$ fertilizer levels on some traits of *L. iberica*

تاریخ کاشت Sowing date	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد دانه در کپسول Seed number per capsule	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	روز تا رسیدگی Days to ripening	روز تا گلدهی Days to flowering
1397.12.25	63.1^{a}	4.19^{a}	7057.1^{a}	89.66^{a}	149.67a
1398.01.25	48.1^{b}	4.02^{b}	5270^{b}	77.75^{b}	125.83b
1398.03.23	41.1^{c}	3.85^{c}	3387.4^{c}	70.67^{c}	111.67c
سطوح سولفات روی $ZnSO_4$ levels					
شاهد Control	49.3^{b}	3.96^{a}	4766.9^{b}	72.00^{a}	124.75^{a}
$2\ g.L^{-1}$	50.1^{b}	4.07^{a}	5425.2^{a}	73.5^{a}	126.17^{a}
$4\ g.L^{-1}$	52.8^{a}	4.03^{a}	5522.4^{a}	73.6^{a}	126.25^{a}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column the means with similar letters base on Duncan test are not significantly different at the 5% level.

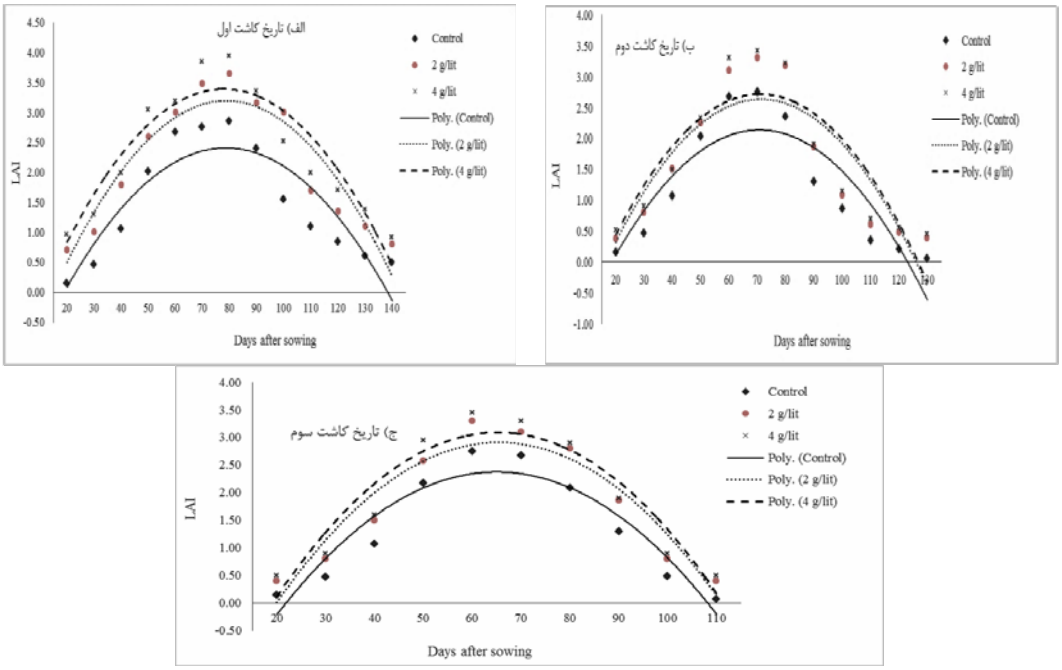
جدول ۴– مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و سطوح سولفات روی بر برخی صفات بالنگو

Table 4- Mean comparisons for interaction between sowing date and $ZnSo_4$ levels on some traits of *L.iberica*

تاریخ کاشت Sowing date	سطوح سولفات روی $ZnSO_4$ levels	تعداد شاخه فرعی Number of branches	تعداد کپسول Number of capsules	وزن هزار دانه 1000-seed weight(g)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)
1397.12.25	Control	7.66^{b}	137^{c}	5.36^{cde}	2156.5^{bc}
	2 g/lit	7.5^{b}	151.3^{b}	5.51^{bc}	2658.8^{a}
	4 g/lit	8.48^{a}	163.5^{a}	5.81^{a}	2737.3^{a}
1398.01.25	Control	5.95^{de}	127.5^{d}	5.16^{e}	1971.5^{cd}
	2 g/lit	6.61^{c}	133.8^{cd}	5.46^{c}	2268.3^{b}
	4 g/lit	8.81^{a}	149.3^{b}	5.42^{cd}	2375.9^{b}
1398.03.23	Control	4.24^{f}	113^{e}	4.88^{f}	1034.4^{d}
	2 g/lit	4.75^{ef}	131.5^{cd}	5.19^{de}	1171.8^{d}
	4 g/lit	5.18^{e}	128.3^{d}	5.71^{ab}	1204.8^{d}

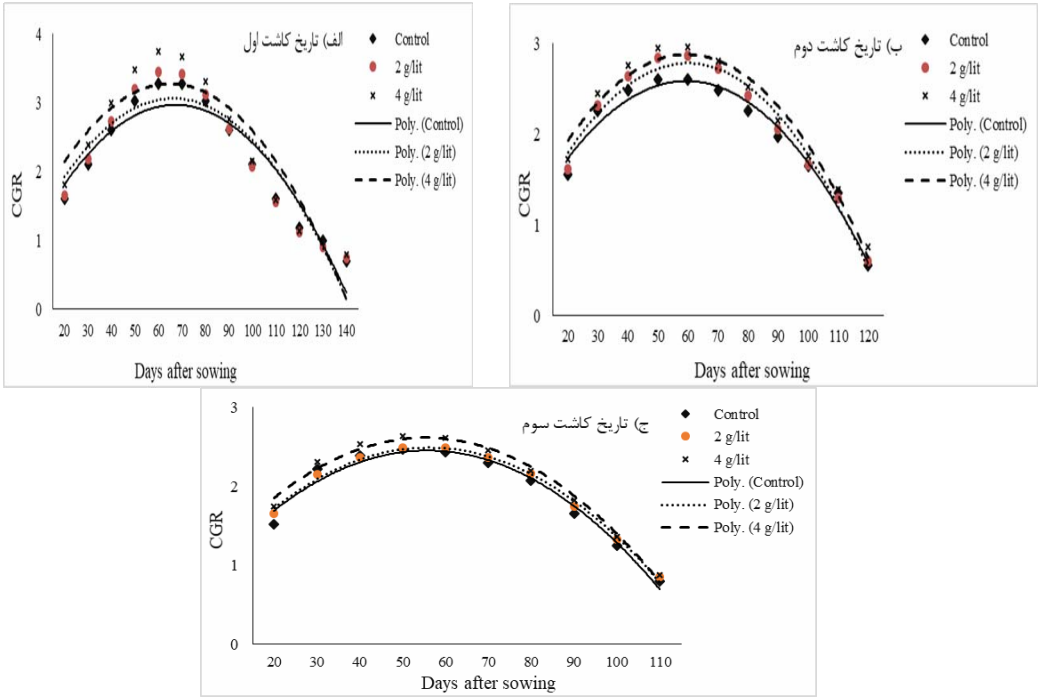
در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column the means with similar letters base on Duncan test are not significantly different at the 5% level.



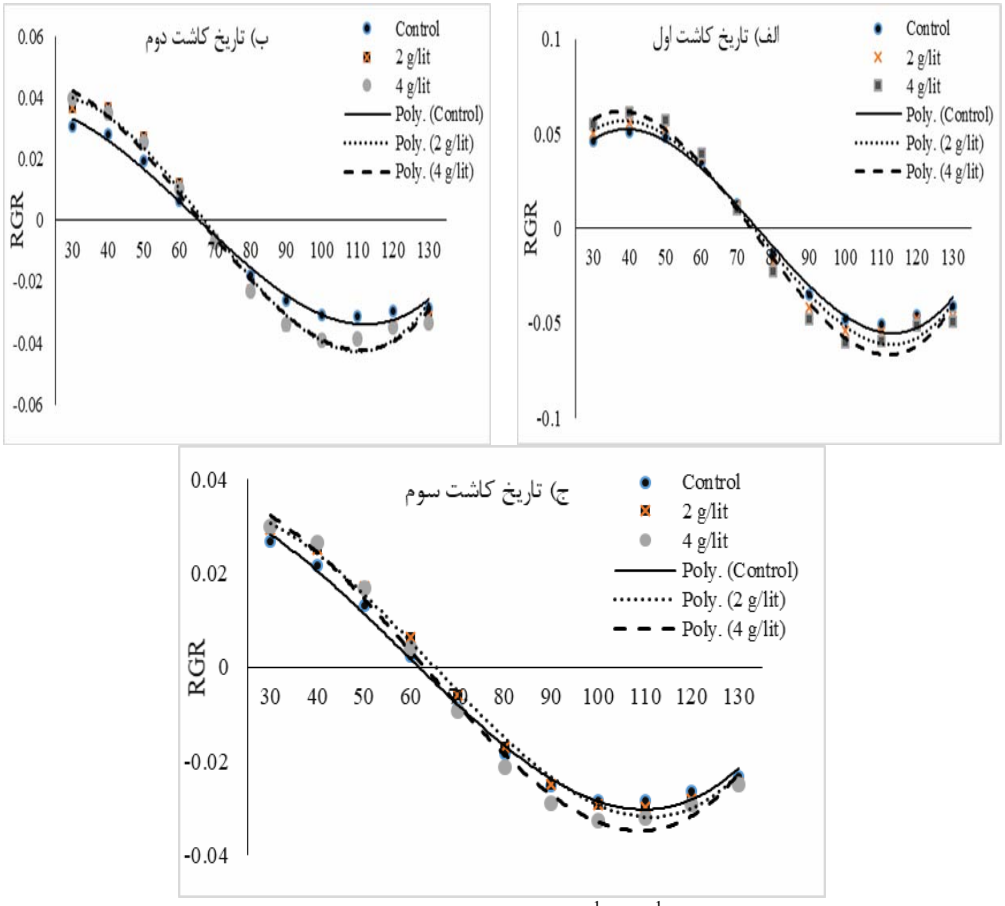
شکل ۱- تغییرات شاخص سطح برگ بالنگوی شهری در برهمکنش سه تاریخ کاشت و سطوح مختلف محلول‌پاشی سولفات روی

Figure 1 - Leaf area index (LAI) of *L.iberica*for interaction between sowing date and $ZnSO_4$ levels



شکل ۲- تغییرات سرعت رشد محصول($g.m^{-2}.day^{-1}$) بالنگوی شهری در برهمکنش سه تاریخ کاشت و سطوح مختلف محلول‌پاشی سولفات روی

Figure 2 – Crop Growth Rate (CGR) of *L.iberica*for interaction between sowing date and $ZnSo_4$ levels



شکل ۳- تغییرات سرعت رشد نسبی ($g.g^{-1}.day^{-1}$) بالنگوی شهری در برهمکنش سه تاریخ کاشت و سطوح مختلف محلول‌پاشی سولفات روی

Figure 3 – Relative growth rate (RGR) ($g.g^{-1}.day^{-1}$) of *L.iberica*for interaction between sowing date and $ZnSO_4$levels.

References منابع مورد استفاده

- Abbas, G., H. Younis, S. Naz, Z. Fatima, S. Hussain, M. Ahmed, and S. Ahmad. 2019. Effect of planting dates on agronomic crop production. In Agronomic Crops (pp. 131-147). Springer, Singapore.
- Adekpe, D.I., J.A.Y. Shebayan, U.F. Chiezey, and S. Miko. 2007. Yield responses of garlic (*Allium sativum* L.) to oxadiazon, date of planting and intra-row spacing under irrigation at Kadawa, Nigeria. *Crop Protection*. 26(12):1785-1789.
- Alkahtani, J., M.S. Elshikh, M.S. Alwahibi, A. Muhammad, M. Ahmad, and S. Khalid. 2020. Phosphorus and zinc fertilization influence crop growth rates and total biomass of coarse vs. fine types rice cultivars. *Agronomy*. 10(9): 1356.
- Al-Snafi, A.E. 2019. Medical benefit of *Lallemantiaiberica*-A review. *Chemistry Journal*. 3: 97-102.
- Álvaro, F., C. Royo, L.F. Garcíadel Moral, and D. Villegas. 2008. Grain filling and dry matter translocation responses to source–sink modifications in a historical series of durum wheat. *Crop Science*. 48(4):1523-1531.
- Badawy, E.S.M., S.E. El-Sherbeny, A.F.Y. El-Kady, and H. Amer. 2013. Influence of planting dates and distances on growth, yield and chemical constituents of *Lallemantiaiberica* (Bieb.) Fisch. And Mey. plant. *Journal of Applied Science Research*. 9(3): 2093-2103.
- Bana, R.S., S.D. Bamboriya, R.N. Padaria, R.K. Dhakar, S.L. Khaswan, R.L. Choudhary, and J.S. Bamboriya. 2022. Planting period effects on wheat productivity and water footprints: insights through adaptive trials and APSIM simulations. *Agronomy*. 12(1): 226.
- Bertero, H.D., and R.A. Ruiz. 2008. Determination of seed number in sea level quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *European Journal of Agronomy*. 28(3): 186-194.
- D'Antuono, L.F., A. Moretti, and A.F. Lovato. 2002. Seed yield, yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. *Industrial Crops and Products*.15(1): 59-69.
- Dell, B., and S.A. Wilson. 1985. Effect of zinc supply on growth of three species of Eucalyptus seedlings and wheat. *Plant and Soil*. 88(3): 377-384.
- Fang, Y., L. Wang, Z. Xin, L. Zhao, X. An, and Q. Hu. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(6): 2079-2084.
- Foulkes, M.J., M.P. Reynolds, and R. Sylvester-Bradley. 2009.Genetic improvement of grain crops: yield potential. Crop physiology: Applications for genetic improvement and agronomy (No. CIS-5658. CIMMYT.).
- Hay, R.K., and J.R. Porter. 2006. The physiology of crop yield. Blackwell Pub.
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold Ltd.
- Janmohammadi, M., T. Amanzadeh, N. Sabaghnia, and S. Dashti. 2016. Impact of foliar application of nano micronutrient fertilizers and titanium dioxide

nanoparticles on the growth and yield components of barley under supplemental irrigation. *Acta Agriculturae Slovenica.* 107(2): 265 – 276.

- Li, X., R. Yadav, and K.H. Siddique. 2020. Neglected and underutilized crop species: the key to improving dietary diversity and fighting hunger and malnutrition in Asia and the Pacific. Frontiers in Nutrition, p.254.
- Miralles, D.J., B.C. Ferro, and G.A. Slafer. 2001. Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. *Field Crops Research*. 71(3):211-223.
- Mohammad ghasemi, V., S. Moghaddam, A. Rahimi, L. Pourakbar, and J. Popović-Djordjević. 2021. The effect of winter sowing, chemical, and nano-fertilizer sources on oil content and fatty acids of dragon's head (*Lallemantiaiberica* Fischer & CA Meyrefeer). *Journal of Plant Growth Regulation*. 40(4):1714-1727.
- O'Toole, N., F.L. Stoddard, and L. O'Brien. 2001. Screening of chickpeas for adaptation to autumn sowing. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 186(3): 193-207.
- Pandey, A.C., S. Sanjay, and R.Yadav. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. *Journal of Experimental Nanoscience*. 5(6): 488-497.
- Pandey, N., G.C. Pathak, and C.P. Sharma. 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 20(2): 89-96.
- Pathak, G.C., B. Gupta, and N. Pandey. 2012. Improving reproductive efficiency of chickpea by foliar application of zinc. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 24(3): 173-180.
- Peng, D., X. Tan, L. Zhang, D. Yuan, J. Lin, X. Liu, Y. Jiang, and B. Zhou. 2018. Increasing branch and seed yield through heterologous expression of the novel rice S-acyl transferase gene OsPAT15 in *Brassica napus* L. *Breeding Science*. 17126.
- Potarzycki, J., and W. Grzebisz. 2009. Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding component. *Plant, Soil and Environment*. 55(12): 519-527.
- Ravi, S., H.T. Channal, and N. Ananda. 2008. Response of sulphur, zinc and iron nutrition on yield components and economics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Asian Journal of Soil Science*. 3(1): 21-23.
- Rockström, J. 2003. Water for food and nature in drought–prone tropics: vapour shift in rain–fed agriculture. *Biological Sciences*. 358(1440):1997-2009.
- Sadeghzadeh, B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 13(4): 905-927.
- Shah, Z., and S.K. Khalil. 2016. Phosphorus and zinc interaction influence leaf area index in fine vs. coarse rice (*Oryza sativa* L.) genotypes in Northwest Pakistan. *Journal of Plant Stress Physiology*. 2: 1-8.
- Shekari, F., F. Shekari, and E. Esfandiari. 2010. Physiology of crop production. (Translated to Persian). University of Maragheh Press.
- Singh, N.B., N. Amist, K. Yadav, D. Singh, J.K. Pandey, and S.C. Singh. 2013. Zinc oxide nanoparticles as fertilizer for the germination, growth and metabolism of

vegetable crops. *Journal of Nanoengineering and Nanomanufacturing*. 3(4): 353-364.

- Sita, K., A. Sehgal, B. Hanumantha Rao, R.M. Nair, P.V. Vara Prasad, S. Kumar, P.M. Gaur, M. Farooq, K.H. Siddique, R.K. Varshney, and H. Nayyar. 2017. Food legumes and rising temperatures: effects, adaptive functional mechanisms specific to reproductive growth stage and strategies to improve heat tolerance. *Frontiers in Plant Science*. 8: 1658.
- Slafer, G.A. 2007. Physiology of determination of major wheat yield components. In Wheat production in stressed environments (pp. 557-565). Springer, Dordrecht.
- Takai, T., S. Matsuura, T. Nishio, A. Ohsumi, T. Shiraiwa, and T. Horie. 2006. Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period. *Field Crops Research*. 96(2-3): 328-335.
- Wasaya, A., M. Shahzad Shabir, M. Hussain, M. Ansar, A. Aziz, W. Hassan, and I. Ahmad. 2017. Foliar application of zinc and boron improved the productivity and net returns of maize grown under rainfed conditions of Pothwar plateau. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 17(1): 33-45.
- Xihuan, L., C. Wensuo, and Z. Caiying. 2008. Relations between sowing date, seeding density and grain yield of two introduced malting barley varieties. *Journal of Agricultural University of Hebei*. 1: 6-11.

Research Article DOI:

Effect of Planting Date and Zinc Sulfate on Phenology, Growth Indices and Grain Yield of *Lallemantiaiberica* (M.B.) Fischer & Meyer

Mina Rostami[1], Farid Shekari[1*], Kamran Afsahi[1], and Majid Khiyavi[2]

Received: April 2022 , Revised: 5 June 2022, Accepted: 17 June 2022

Abstract

The production of oilseeds, edible leaves, and secondary metabolites of dragon's head makes it an important food, forage, and medicinal plant. Choosing a proper planting date and plant nutrition can make a significant effecton crop plantsgrowth, quality and yield.The effects of planting date (16 March, 14 April, and 13 May 2019) and foliar application of zinc sulfate (zero as control, 2 and 4 $g.L^{-1}$) on growth indices and seed yield of dragon's head was evaluated under a field experiment.Delayed planting date reduced the days to flowering, days to seed ripening, plant height, leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR) and grain yield, and yield components.In contrast, the use of zinc sulfate increased plant height, LAI, CGR and RGR. There was a correlation between plant height and number of branches and consequently there were more capsules per plant.The highest effect of zinc sulfate application on seed yield and yield components was observed in the first planting date and with delay in planting, the efficiency of zinc sulfate fertilizer application decreased. On the third planting date, zinc sulfate application had no significant effect on grain yield. As a result of late planting, fewer branches, fewer capsules per plant, and smaller seeds contributed to the yield reduction.It was found that early cultivation and application of zinc sulfate increased plant height, number of branches, number of capsules per plant, 1000-seed weight, and thus seed yield, by increasing the days to flowering, days to ripening, LAI, CGR, and RGR.

Key words: Crop Growth Rate, Leaf Area Index, 1000-Seed weight, Phenological stages, Relative Growth Rate, Yield components.

1- Department of Plant Production and Genetic, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2- Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Zanjan, Iran.
**Corresponding Authors: shekari@znu.ac.ir*