



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۳ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۹۰۷-۹۲۲

DOI: 10.22059/jci.2021.316634.2497

مقاله پژوهشی:

تأثیر متانول و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر مؤلفه‌های پرشدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری

رئوف سید شریفی^{۱*}، رضا سید شریفی^۲، حامد نریمانی^۳

۱. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. دانشیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۲۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۳

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر متانول و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر مؤلفه‌های پرشدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. عوامل موردبررسی شامل آبیاری (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل تکمدهی و گلدهی)، کودهای زیستی (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، تلقیح بذر با فلاوباکتریوم، سودوموناس، کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم و سودوموناس) و محلول‌پاشی متانول (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی متانول) بود. نتایج نشان داد که کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم، سودوموناس و محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول تحت شرایط آبیاری کامل، محتوای کلروفیل a (۱/۵۷ درصد)، b (۷۴/۵۹ درصد) کلروفیل کل (۴۹/۳۳ درصد)، طول دوره و دوره مؤثر پرشدن دانه (به‌ترتیب ۲۷/۳۲ و ۷۲/۸۹ درصد)، عملکرد دانه (۶۹/۲ درصد) را نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی، متانول و آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله تکمدهی افزایش داد. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد و متانول بواسطه بهبود محتوای کلروفیل و مؤلفه‌های پرشدن دانه می‌تواند عملکرد دانه را تحت شرایط محدودیت آبی افزایش دهد.

کلیدواژه‌ها: پرشدن دانه، خشکی، سودوموناس، فلاوباکتریوم، متانول.

Effect of methanol and seed inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria on grain filling components, chlorophyll content and yield of safflower under various irrigation levels

Raouf Seyed Sharifi^{1*}, Reza Seyed Sharifi², Hamed Narimani³

1. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Associate Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3. Ph.D. Candidate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received: February 1, 2021

Accepted: April 14, 2021

Abstract

In order to study the effect of methanol and seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria on grain filling components, chlorophyll content and grain yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under various irrigation levels, a factorial experiment has been conducted based on randomized complete block design with three replications at the research farm of University of Mohaghegh Ardabili in 2020. The experimental factors include irrigation (full irrigation as control, irrigation withholding at 50% heading-bud, and flowering stages), biofertilizers application (no application as control, seed inoculation with *Flavobacterium*, *Pseudomonas* and both application of *Flavobacterium* and *Pseudomonas*), and methanol foliar application: (foliar application with water as control and foliar application with 10% and 20% volume of methanol). The results show that the content chlorophyll a (41.57%), b (74.59%) and total chlorophyll (49.33%), grain filling period, and effective grain filling period (27.32% and 72.89% respectively) and grain yield (69.2%) have increased under full irrigation condition, foliar application 20% volume of methanol, and both application of *Flavobacterium* with *Pseudomonas* in comparison with irrigation withholding at 50% heading-bud and no application of biofertilizers and methanol. Generally, the results show that application of plant growth-promoting bacteria and methanol can increase grain yield of safflower by improving chlorophyll content and grain filling components under water limitation condition.

Keywords: Drought, *Flavobacterium*, grain filling, methanol, *Pseudomonas*,

۱. مقدمه

گلرنگ یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است که در صنایع مختلف رنگرزی، داروسازی، تغذیه دام، تولید روغن (Hussain *et al.*, 2016) کاربرد داشته و سالانه در سطح وسیعی از مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود و همین امر موجب شده است در چنین مناطقی بخشی از دوران رشدی این گیاه به‌ویژه در مرحله پرشدن دانه با محدودیت آبی مواجه شده و به کاهش طول دوره پرشدن دانه و عملکرد منجر شود (Reynolds *et al.*, 2001). خشکی هم‌چنین با ایجاد تنش اکسیداتیو و اختلال در ساختار کلروپلاست و کاهش محتوای کلروفیل، منجر به کاهش فعالیت فتوسنتزی و عملکرد دانه گلرنگ می‌شود (Amini *et al.*, 2013).

افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و کاهش تنفس نوری می‌تواند اثر ناشی از محدودیت آبی را کاهش داده (Zebic *et al.*, 2003) و به بهبود فتوسنتز و تثبیت عملکرد در شرایط خشکی کمک کند. در این راستا محلول‌پاشی متانول به‌علت کوچکی مولکول‌های آن نسبت به دی‌اکسیدکربن (Galbally & Kirstine, 2002) و متابولیسم‌شدن سریع آن به CO₂ در بافت‌های گیاهی به‌ویژه در گیاهان برخوردار از مسیر فتوسنتزی سه کربنه، می‌تواند به بهبود عملکرد در شرایط تنش کمک کند (Rajala *et al.*, 2001). در این راستا (Hanson & Roje, 1998) علت کاهش تنفس نوری در گیاهان تیمار شده با متانول را، به اکسیداسیون سریع متانول به دی‌اکسیدکربن و ترکیب‌شدن آن با آنزیم ریبولوز ۱-۵ بیس فسفات کربوکسیلاز و کم‌شدن رقابت بین CO₂ با اکسیژن نسبت دادند. برخی اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی، با بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش دی‌اکسیدکربن درون برگ، متانول به‌راحتی به فرمالدئید اکسید شده و در دسترس گیاه قرار می‌گیرد و موجب افزایش فعالیت فتوسنتزی و

محتوای کلروفیل می‌شود (Ramberg *et al.*, 2002). بهبود محتوای کلروفیل در طول دوره رشد به‌ویژه دوره پرشدن دانه می‌تواند با افزایش میزان آسیمیلایون و هم‌چنین افزایش سرعت و طول دوره پرشدن دانه (Tsuno *et al.*, 1994) به افزایش وزن دانه کمک نماید. در پژوهشی BehrouzyarKhalilvand & Atarodi Asl (2020) گزارش کردند که محلول‌پاشی متانول تحت شرایط کمبود آب با بهبود محتوای کلروفیل و هم‌چنین افزایش سرعت و طول دوره پرشدن دانه موجب افزایش عملکرد دانه شد. برخی پژوهش‌گران افزایش سرعت و طول دوره پرشدن دانه‌ها در محلول‌پاشی ۲۵ درصد حجمی متانول را به افزایش انتقال مواد فتوسنتزی در مرحله پرشدن دانه‌ها نسبت دادند (Naeimi *et al.*, 2013).

یکی دیگر از راه‌کارهای مناسب برای بهبود حاصلخیزی خاک، تعدیل اثر تنشی و جبران ریز جانداران از دست‌رفته خاک به‌واسطه اثر تنش‌های محیطی، استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاهی است (Cakmakci *et al.*, 2007). این باکتری‌ها به روش‌های مختلف مانند تولید هورمون‌ها، افزایش رهاسازی عناصر غذایی، تولید آنزیم ACC دامیناز، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و انحلال ترکیب‌های نامحلول فسفر و روی، موجب افزایش جذب عناصر غذایی شده و تحمل گیاهان را در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌دهند (Suarez *et al.*, 2015). آنزیم ACC دامیناز تولیدشده توسط باکتری‌ها با کاهش اتیلن تولیدشده در شرایط تنش، نقش مهمی در جلوگیری از زوال برگ‌ها و در نتیجه بهبود عملکرد گیاه ایفا می‌کند. باکتری‌های محرک رشد با افزایش میزان جذب نیتروژن، آهن و منگنز موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ می‌شوند (Hadi *et al.*, 2017). برخی پژوهش‌گران گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد تحت شرایط خشکی، با بهبود میزان جذب نیتروژن موجب افزایش رشد و نمو و محتوای کلروفیل برگ و

محلول‌پاشی متانول (عدم مصرف یا محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی متانول) بودند. محلول‌پاشی متانول در دو مرحله از دوره رشد رویشی (در مراحل چهار تا شش‌برگی و یک هفته بعد از محلول‌پاشی مرحله اول) اعمال شد. با توجه به این‌که بهترین زمان محلول‌پاشی با متانول ساعت ۱۰ تا ۱۲ و در روشنایی است تا حداکثر فتوسنتز انجام شود و نقش متانول بر صفات مورد ارزیابی بهتر نمایان شود (Nonomura & Benson 1992). از این‌رو، همه تیمارها در این محدوده زمانی محلول‌پاشی شدند. به هرکدام از محلول‌های تهیه‌شده با متانول دو گرم در لیتر گلابسین به‌منظور جلوگیری از صدمات ناشی از سمیت متانول اضافه شد (Seyed Sharifi & Seyed Sharifi, 2019). برای تلقیح بذرها از مایه تلقیحی استفاده شد که هر گرم آن دارای 10^8 عدد باکتری زنده و فعال بود. باکتری‌های *Pseudomonas Putida strain 186* و *Flavobacterium* مؤسسه خاک و آب تهیه شد. از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. تمام بذرها به‌مدت دو ساعت در مایه تلقیح در شرایط تاریکی قرار گرفتند. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت دو متری با فاصله بین ردیفی ۵۰ سانتی‌متر بود. کاشت در ۱۰ خردادماه انجام شد. پس از استقرار و در مرحله چهار تا پنج‌برگی، گیاهچه‌ها براساس فاصله حدود پنج سانتی‌متر (تراکم ۴۰ بوته در مترمربع) تنک شدند. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی و براساس سطوح ذکرشده انجام شد. علف‌های هرز به‌صورت دستی کنترل شد. نتایج حاصل از تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول (۱) و شرایط اقلیمی منطقه مورد کشت در جدول (۲) آورده شده است. اقلیم منطقه براساس معیار گوسن، جزو منطقه خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود.

متعاقب آن، افزایش فتوسنتز و ماده‌سازی و در نهایت افزایش قطر طبق، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و عملکرد دانه گلرنگ شد (Raei et al., 2015). در گزارشی Seyed Sharifi & Seyed Sharifi (2020) اظهار داشتند که کاربرد متانول و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد با افزایش محتوای کلروفیل و بهبود مؤلفه‌های پرشدن دانه از جمله سرعت و طول دوره پرشدن دانه موجب افزایش عملکرد دانه عدس تحت شرایط دیم شد.

مواجه‌شدن بخشی از دوران رشد زایشی گلرنگ با محدودیت آبی در بیش‌تر مناطق خشک و نیمه‌خشک و از طرفی به‌دلیل اهمیت باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی متانول در تعدیل یا کاهش بخشی از اثر تنش آبی و بررسی‌های محدود انجام‌شده در خصوص برهم‌کنش هم‌زمان این عوامل، از جمله مواردی بودند که موجب شد تا اثر ناشی از کاربرد متانول و باکتری‌های محرک رشد بر مؤلفه‌های پرشدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد دانه گلرنگ تحت شرایط محدودیت آبی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل براساس نیاز گیاه زراعی و شرایط محیطی مطابق با عرف متداول زارعین محلی به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل تکمه‌دهی و گلدهی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی معادل با کد ۵۵ و ۶۵ از مقیاس BBCH)، کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد، تلقیح بذر با فلاوباکتریوم، سودوموناس و کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم و سودوموناس) و سه سطح

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

| مشخصه | pH | عصاره اشباع | آهک | رس | سیلت | شن | بافت | کربن آلی | نیتروژن کل | فسفر | پتاسیم | روی |
|--------|-----|-------------|------|----|------|----|------|----------|------------|---------|---------|---------|
| مقادیر | ۷/۸ | ۴۹ | ۱۴/۴ | ۲۳ | ۴۲ | ۳۵ | لومی | (%) | (%) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) |
| | | | | | | | | ۰/۶۲ | ۰/۰۶ | ۸/۲۹ | ۲۱۲ | ۱۸ |

جدول ۲. ویژگی‌های جوی در طول دوره رشدی گلرنگ در سال زراعی ۱۳۹۹

| پارامترهای اقلیمی | ماه‌های سال | | | | | |
|----------------------|-------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | مهر | آبان |
| میزان بارندگی (mm) | ۶/۶ | ۳/۷ | ۴/۷ | ۱۲/۹ | ۳۰/۳ | ۳۶ |
| میانگین دما (°C) | ۱۸/۹ | ۱۸/۹ | ۱۸/۴ | ۱۶/۸ | ۱۲/۱ | ۱۰/۱ |
| جمع ساعات آفتابی | ۳۱۴/۳ | ۲۹۸/۵ | ۲۴۸/۲ | ۲۶۷/۹ | ۱۸۸/۱ | ۱۴۴/۸ |
| متوسط رطوبت نسبی (%) | ۶۰/۵ | ۶۶/۲ | ۷۴ | ۷۰/۷ | ۷۶/۴ | ۷۱/۵ |

که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پرشدن دانه را نشان می‌دهد (Ellis & Pieta-Filho, 1992). با پردازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پرشدن دانه یعنی سرعت پرشدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. دوره مؤثر پرشدن دانه از تقسیم حداکثر وزن دانه به شیب خط (سرعت پرشدن دانه) محاسبه شد (Ellis & Pieta-Filho, 1992).

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ با استفاده از روش Arnon (1967) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۰/۲ گرم از بافت برگی را با استن ۸۰ درصد به تدریج له کرده تا کلروفیل وارد محلول استونی شود و در نهایت حجم محلول با استن ۸۰ درصد به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفوژ شد و سپس جذب نوری محلول رویی در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر و بر اساس روابط (۲) تا (۵) برآورد شدند.

به منظور تعیین مؤلفه‌های پرشدن دانه تقریباً ۱۲ روز پس از پایان دوره گلدهی و شروع دوره پرشدن دانه، در فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار، سه بوته از بین بوته‌های رقابت‌کننده و با رعایت اثر حاشیه‌ای به طور تصادفی برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها از طبق جدا و شمارش شدند. سپس به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای 70 ± 5 درجه سلسیوس قرار گرفته و وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (Ronanini et al., 2004). به منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پرشدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی دو تکه‌ای بر اساس رویه DUD نرم‌افزار SAS به صورت زیر استفاده شد (رابطه ۱).

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < T_0 \\ a + bt & t > T_0 \end{cases} \quad (1)$$

در این رابطه، GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پرشدن دانه، t_0 پایان دوره پرشدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند؛ مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پرشدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0

تأثیر متانول و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر مؤلفه‌های پرشدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری

زیستی، سطوح آبیاری در متانول، سطوح کودهای زیستی در متانول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول‌های ۳ و ۴).

۳.۱. محتوای کلروفیل برگ

نتایج نشان داد که کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم، سودوموناس و محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش به‌ترتیب ۴۱/۵۷، ۷۴/۵۹ و ۴۹/۳۳ درصدی محتوای کلروفیل a، b و کل برگ نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی متانول تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی شد (جدول ۵). هم‌چنین بیش‌ترین محتوای کاروتنوئید برگ در ترکیب تیماری کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم و سودوموناس تحت شرایط آبیاری کامل (۰/۷۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول تحت شرایط آبیاری کامل (۰/۷۹۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم با سودوموناس و محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول (۰/۷۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) مشاهده شد (جدول ۶). یکی از عوامل کاهش محتوای کلروفیل طی تنش خشکی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل است (Hadi *et al.*, 2015). برخی پژوهش‌گران علل اصلی کاهش سنتز کاروتنوئید و کلروفیل در شرایط محدودیت آبی را، به کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات نسبت داده‌اند (Oliviera-Neto *et al.*, 2009). به‌نظر می‌رسد زمانی که گیاه با تنش کم‌آبی مواجه می‌شود، الکترون‌های آب در فتوسیستم II کاهش یافته و عدم تأمین الکترون‌های فتوسیستم I به‌وسیله فتوسیستم II، موجب اختلال در سیستم فتوسنتزی گیاه و کاهش کلروفیل می‌شود. برخی اظهار داشتند که خشکی می‌تواند

$$(2) \quad \text{کلروفیل } a =$$

$$(19/3 \times A_{663} - 0/86 \times A_{645}) V / 100 W$$

$$(3) \quad \text{کلروفیل } b =$$

$$(19/3 \times A_{645} - 3/6 \times A_{663}) V / 100 W$$

$$(4) \quad \text{کلروفیل } a + \text{کلروفیل } b = \text{کلروفیل کل}$$

$$(5) \quad = \text{کاروتنوئید}$$

$$(100 A_{470} - 3/27 C_a - 104 C_b) / 227$$

در این روابط، V حجم استون استفاده شده و W وزن نمونه گیاهی استفاده شده است.

عملکرد دانه با برداشت از سطحی معادل نیم مترمربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. برای برآورد اجزای عملکرد و برخی دیگر از صفات از جمله تعداد شاخه فرعی، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در بوته و ارتفاع بوته از خطوط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای هشت بوته به‌طور تصادفی و از بین بوته‌های رقابت‌کننده برداشت و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه واریانس مورد استفاده قرار گرفت. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۹/۱) و Excel (2003) استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

۳. نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری کودهای زیستی و متانول بر تمامی مؤلفه‌های پرشدن دانه (اعم از حداکثر وزن دانه، سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پرشدن دانه)، عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد شاخه فرعی، تعداد طبق در بوته و قطر طبق در سطح احتمال یک درصد و بر تعداد دانه در طبق و ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. محتوای کاروتنوئید هم تحت تأثیر سطوح آبیاری در کودهای

روبه‌رو می‌شوند، در این شرایط متانول به راحتی توسط عصاره برگ به فرمالدئید اکسید شده و در دسترس گیاه قرار می‌گیرد و موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ می‌شود. عده‌ای افزایش محتوای کلروفیل بر اثر تلقیح بذر با باکتری را به دسترس‌بودن نیتروژن توسط باکتری‌ها نسبت دادند (Chandrasekhar et al., 2005). برخی پژوهش‌گران افزایش سبزی‌نگی برگ در کاربرد باکتری‌های محرک رشدی را به توانایی این موجودات در کاهش تولید اتیلن به دلیل ساخت آنزیم ACC دآمیناز نسبت دادند (Akhgar & Khavazi, 2010) و برخی دیگر افزایش محتوای کلروفیل برگ بر اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد را به نقش این باکتری‌ها در افزایش میزان جذب نیتروژن، آهن و منگنز نسبت دادند (Hosseinzadeh et al., 2011).

با افزایش آنزیم کلروفیل‌لاز و تشدید سرعت تجزیه آن، مانع از بیوستتز کلروفیل شده و محتوای کلروفیل را به میزان چشم‌گیری کاهش دهد (Jiao et al., 2010). در گزارشی Ramberg et al. (2002) بیان داشتند که در شرایط کمبود آب به دلیل بسته‌شدن روزنه‌ها، بوته‌ها با کاهش دی‌اکسیدکربن درون برگ‌ها روبه‌رو می‌شوند، در چنین شرایطی کاربرد متانول به دلیل سهولت دسترسی گیاه به CO₂ موجب افزایش فتوستتز و محتوای کلروفیلی گیاه می‌شود. در این راستا برخی اظهار داشتند که افزایش محتوای کلروفیل در شرایط محلول‌پاشی با متانول می‌تواند با اکسیداسیون متانول در ارتباط باشد (Ramirez et al., 2006)، زیرا وقتی بوته‌ها در شرایط کمبود آب با تنش اکسیداتیو و با بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش دی‌اکسیدکربن درون‌برگی

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی متانول بر محتوای کلروفیل برگ و برخی صفات مرتبط با عملکرد دانه گلرنگ تحت شرایط محدودیت آبی

| میانگین مربعات | | | | | | | | | | | |
|------------------|------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------|-------------|
| منابع تغییر | درجه آزادی | محتوای کلروفیل a | محتوای کلروفیل b | محتوای کلروفیل کل | محتوای کاربوهیدرات | وزن هزاردانه | تعداد شاخه در متر | تعداد طوقه در بوته | تعداد دانه در طوقه | قطر طبق | ارتفاع بوته |
| تکرار | ۲ | ۲۱/۸** | ۲/۸** | ۳۹/۹** | ۰/۵** | ۲۳۳۶/۶** | ۵۳/۹** | ۱۴۱/۸** | ۲۸۶۵/۸** | ۹/۹۲** | ۱۱۶۱۰** |
| محدودیت آبی (S) | ۲ | ۲/۷۹** | ۱/۱** | ۷/۵** | ۰/۲** | ۵۲۰/۴** | ۱۸/۹** | ۵۲** | ۶۶۱/۶** | ۴/۱۴** | ۳۲۹۳/۸** |
| کودهای زیستی (B) | ۳ | ۰/۸۸** | ۰/۳** | ۲/۳** | ۰/۰۵** | ۱۲۸/۱** | ۷/۶** | ۱۹/۹** | ۲۳۱/۵** | ۱/۶** | ۸۵۹/۶** |
| متانول (M) | ۲ | ۳/۰۱** | ۰/۹** | ۷/۲** | ۰/۱** | ۴۰۴/۶** | ۱۳/۸** | ۵۸** | ۴۴۲/۶** | ۳/۱۲** | ۲۶۸۸/۳** |
| S×B | ۶ | ۰/۰۴** | ۰/۰۰۶** | ۰/۰۷** | ۰/۰۰۱** | ۳/۳** | ۰/۱** | ۰/۱ns | ۳/۴** | ۰/۰۶۷** | ۱۴/۷* |
| S×M | ۴ | ۰/۰۸** | ۰/۰۳** | ۰/۱** | ۰/۰۱** | ۲/۹** | ۰/۴** | ۰/۵** | ۱۷/۹** | ۰/۰۸۱** | ۲۳/۱** |
| B×M | ۶ | ۰/۰۴** | ۰/۰۱** | ۰/۰۷** | ۰/۰۰۵** | ۸/۱** | ۰/۳** | ۱/۲** | ۸/۲** | ۰/۰۹** | ۴۳/۸** |
| S×B×M | ۱۲ | ۰/۰۲۷** | ۰/۰۰۷** | ۰/۰۴** | ۰/۰۰۰۷ns | ۴/۳** | ۰/۱** | ۰/۵۷** | ۲/۴* | ۰/۰۲۶** | ۱۲/۲* |
| خطا | ۷۰ | ۰/۰۰۵۹ | ۰/۰۰۲۱ | ۰/۰۱۴ | ۰/۰۰۰۴ | ۰/۹ | ۰/۰۳۵ | ۰/۱۱ | ۱/۱۷ | ۰/۰۰۷۹ | ۵/۷۶ |
| ضریب تغییرات (%) | - | ۹/۷ | ۳/۶ | ۳/۱ | ۳/۳۲ | ۲/۳۵ | ۸/۰۷ | ۹/۳۹ | ۸/۴۲ | ۷/۴ | ۹/۶۷ |

ns و ** و *** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

تأثیر متانول و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر مؤلفه‌های پرشدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و محلول پاشی متانول بر عملکرد و مؤلفه‌های پرشدن دانه گلرنگ تحت شرایط محدودیت آبی

| میانگین مربعات | | | | دوره مؤثر پرشدن دانه | درجه آزادی | منابع تغییر |
|----------------|-----------------|-----------------|---------------------|----------------------|------------|------------------|
| عملکرد دانه | حداکثر وزن دانه | سرعت پرشدن دانه | طول دوره پرشدن دانه | | | |
| ۵۸۱۰۰/۹** | ۰/۰۰۲** | ۰/۰۰۰۰۰۳** | ۱۳۶۴/۴** | ۸۷۶/۷** | ۲ | تکرار |
| ۱۸۷۰۰/۳** | ۰/۰۰۰۹** | ۰/۰۰۰۰۰۰۴** | ۹۶/۴** | ۲۹۰/۴** | ۲ | محدودیت آبی (S) |
| ۷۲۱۸/۹** | ۰/۰۰۰۲** | ۰/۰۰۰۰۰۰۳** | ۴۰/۵** | ۱۳۴/۵** | ۳ | کودهای زیستی (B) |
| ۱۳۲۹۴** | ۰/۰۰۰۷** | ۰/۰۰۰۰۰۰۶** | ۸۱/۸** | ۲۶۲/۷** | ۲ | متانول (M) |
| ۲۷۴/۱** | ۰/۰۰۰۰۰۴* | ۰/۰۰۰۰۰۰۰۴** | ۰/۶** | ۱/۹** | ۶ | S×B |
| ۵۹۶/۹** | ۰/۰۰۰۰۱** | ۰/۰۰۰۰۰۰۱** | ۳/۸** | ۳/۶** | ۴ | S×M |
| ۳۷۱/۶** | ۰/۰۰۰۰۱** | ۰/۰۰۰۰۰۰۰۸** | ۳/۴** | ۵/۸** | ۶ | B×M |
| ۹۲/۸** | ۰/۰۰۰۰۰۴** | ۰/۰۰۰۰۰۰۰۳** | ۱/۰۳** | ۲/۷** | ۱۲ | S×B×M |
| ۳۵/۴۳ | ۰/۰۰۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ | ۰/۲** | ۰/۶۱** | ۷۰ | خطا |
| ۲/۹ | ۳/۴ | ۴/۶ | ۶/۴ | ۳/۱۶ | - | ضریب تغییرات (%) |

ns و ** و *** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

۲.۳. مؤلفه‌های پرشدن دانه

بررسی روند تغییرات پرشدن دانه نشان داد که ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی). پس از این مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و به صورت یک خط افقی در آمد (شکل ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین وزن دانه (۰/۵۰۲ گرم)، طول دوره پرشدن دانه (۳۴/۲ روز) و دوره مؤثر پرشدن دانه (۳۱/۵۷ روز) در ترکیب تیماری کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم، سودوموناس و محلول پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل به دست آمد (جدول ۵)، که این ترکیب تیماری به ترتیب موجب افزایش ۸۳/۲، ۲۷/۳۲ و ۷۲/۸ درصدی حداکثر وزن دانه، طول دوره پرشدن دانه و دوره مؤثر پرشدن دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و محلول پاشی متانول تحت شرایط قطع

آبیاری در مرحله تکمه‌دهی شد (جدول ۵). از نظر سرعت پرشدن دانه بین ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد فلاوباکتریوم و محلول پاشی ۱۰ درصد حجمی متانول با ترکیب تیماری آبیاری کامل، عدم کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود نداشت (جدول ۵). ولی افزایش سرعت پرشدن دانه در این ترکیب‌های تیماری در مقایسه با آبیاری در مرحله تکمه‌دهی، عدم کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول و آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی، کاربرد فلاوباکتریوم و عدم محلول پاشی با متانول ۱۴/۹ درصد بود. وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پرشدن دانه است، بنابراین تنش‌های محیطی که موجب کوتاه‌شدن طول دوره پرشدن دانه شوند، به طور معنی‌داری وزن دانه را کاهش می‌دهند (Mashi et al., 2008).

جدول ۵. مقایسه میانگین تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی متانول بر محتوای کلروفیل برگ و مؤلفه‌های پرشدن دانه گلرنگ تحت شرایط محدودیت آبی

| ترکیب تیماری | محتوای کلروفیل a | محتوای کلروفیل b | محتوای کلروفیل کل | حداکثر وزن دانه | سرعت پرشدن دانه | طول دوره پرشدن دانه | دوره مؤثر پرشدن دانه |
|--|-------------------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------------|----------------------|
| | (mg.g ⁻¹ FW) | | (g) | (g) | (g.day) | (day) | (day) |
| S ₁ ×B ₁ ×M ₁ | ۳/۸۰۴f | ۱/۲۸۸fg | ۵/۰۹۲klm | ۰/۰۳۶۹jk | ۰/۰۰۱۶۴c | ۲۹/۸۵jk | ۲۲/۵no |
| S ₁ ×B ₁ ×M ₂ | ۴/۱۵۸e | ۱/۴۸۸d | ۵/۶۴۶fgh | ۰/۰۳۸۲ij | ۰/۰۰۱۶۴c | ۲۹/۴۹k | ۲۳/۲۹lmn |
| S ₁ ×B ₁ ×M ₃ | ۴/۳۲۲b | ۱/۶۲۷b | ۵/۹۴۹abcd | ۰/۰۴۶۴bc | ۰/۰۰۱۶۱ef | ۳۳/۱۸cde | ۲۸/۸۱de |
| S ₁ ×B ₂ ×M ₁ | ۳/۸۶۹f | ۱/۳۷۴e | ۵/۲۴۳jk | ۰/۰۴۰۴hi | ۰/۰۰۱۶۲de | ۳۱/۴۳h | ۲۴/۹۳ijk |
| S ₁ ×B ₂ ×M ₂ | ۴/۱۸۴cde | ۱/۵۸۴b | ۵/۷۸۸defg | ۰/۰۴۳۵def | ۰/۰۰۱۶۹a | ۳۱/۴۳h | ۲۵/۷۳hij |
| S ₁ ×B ₂ ×M ₃ | ۴/۴۰۶b | ۱/۶۳۵b | ۶/۰۴۱bc | ۰/۰۴۸۷a | ۰/۰۰۱۵۹gh | ۳۳/۶۶abc | ۳۰/۶۲ab |
| S ₁ ×B ₃ ×M ₁ | ۳/۸۷۸f | ۱/۴۸۷d | ۵/۳۶۵ij | ۰/۰۴۱۲gh | ۰/۰۰۱۶۷b | ۳۱/۱۴hi | ۲۴/۶۷jk |
| S ₁ ×B ₃ ×M ₂ | ۴/۳۰۷bc | ۱/۵۸۸b | ۵/۸۹۵cde | ۰/۰۴۶۲bc | ۰/۰۰۱۶۶b | ۳۲/۹۸cde | ۲۷/۸۳efg |
| S ₁ ×B ₃ ×M ₃ | ۴/۴۱۸b | ۱/۷۱۵a | ۶/۱۳۳ab | ۰/۰۴۸۱ab | ۰/۰۰۱۵۷i | ۳۳/۵۹abcd | ۳۰/۶۳ab |
| S ₁ ×B ₄ ×M ₁ | ۴/۱۸۸cde | ۱/۵۷۷bc | ۵/۷۶۵defg | ۰/۰۴۸۲ab | ۰/۰۰۱۶۲de | ۳۳/۹۳ab | ۲۹/۷۵bcd |
| S ₁ ×B ₄ ×M ₂ | ۴/۳۲۷b | ۱/۷۱۸a | ۶/۰۴۵bc | ۰/۰۴۸۸a | ۰/۰۰۱۶۲de | ۳۳/۳bcd | ۳۰/۱۲bc |
| S ₁ ×B ₄ ×M ₃ | ۴/۵۵۶a | ۱/۷۲۵a | ۶/۲۸۱a | ۰/۰۵۰۲a | ۰/۰۰۱۵۹gh | ۳۴/۲a | ۳۱/۵۷a |
| S ₂ ×B ₁ ×M ₁ | ۳/۳۳۱jk | ۱/۰۱۷j | ۴/۳۵۵q | ۰/۰۳۰۵op | ۰/۰۰۱۵۲l | ۲۸/۲۵l | ۲۰/۰۶qrs |
| S ₂ ×B ₁ ×M ₂ | ۳/۵۱i | ۱/۱۳۹i | ۴/۶۴۹op | ۰/۰۳۳۱mn | ۰/۰۰۱۶۱ef | ۲۸/۴۲l | ۲۰/۵۵pqr |
| S ₂ ×B ₁ ×M ₃ | ۳/۸۷۱f | ۱/۴۸۱d | ۵/۳۵۲ij | ۰/۰۴۱۲gh | ۰/۰۰۱۶۹a | ۳۱/۰۴hi | ۲۴/۳۷kl |
| S ₂ ×B ₂ ×M ₁ | ۳/۳۱۶jk | ۱/۰۲۱j | ۴/۳۳۷q | ۰/۰۳۲۶no | ۰/۰۰۱۵۸hi | ۲۸/۶۳l | ۲۰/۶۳pq |
| S ₂ ×B ₂ ×M ₂ | ۳/۶۳ghi | ۱/۲۶۵gh | ۴/۸۹۵mn | ۰/۰۳۷۱jk | ۰/۰۰۱۵۹gh | ۳۰/۳j | ۲۳/۳۳lmn |
| S ₂ ×B ₂ ×M ₃ | ۴/۱۵۵e | ۱/۵۸۱b | ۵/۷۳۶efg | ۰/۰۴۳۵def | ۰/۰۰۱۶۲de | ۳۲/۱۹fg | ۲۶/۸۵gh |
| S ₂ ×B ₃ ×M ₁ | ۳/۳۴۴j | ۱/۲۵۴gh | ۴/۵۹۸p | ۰/۰۳۵۲klm | ۰/۰۰۱۶۳cd | ۲۹/۳۷k | ۲۱/۵۹op |
| S ₂ ×B ₃ ×M ₂ | ۴/۱۵۲e | ۱/۳۷۷e | ۵/۵۲۹hi | ۰/۰۳۴۳efg | ۰/۰۰۱۶۱ef | ۳۲/۹۷cde | ۲۶/۹۵gh |
| S ₂ ×B ₃ ×M ₃ | ۴/۱۸۸de | ۱/۵۸۲b | ۵/۷۶۲defg | ۰/۰۴۵۷cd | ۰/۰۰۱۶fg | ۳۲/۸۸def | ۲۸/۵۷def |
| S ₂ ×B ₄ ×M ₁ | ۳/۶۴۴g | ۱/۳۵۸ed | ۵/۰۰۲lmn | ۰/۰۳۷۹j | ۰/۰۰۱۵۹gh | ۳۰/۱jk | ۲۳/۸۳klm |
| S ₂ ×B ₄ ×M ₂ | ۴/۳۰۵bcd | ۱/۵۰۴cd | ۵/۸۰۹def | ۰/۰۴۶۴bc | ۰/۰۰۱۶fg | ۳۳/۲۸bcd | ۲۹cde |
| S ₂ ×B ₄ ×M ₃ | ۴/۳۱۵b | ۱/۶۲۸b | ۵/۹۴۳bcd | ۰/۰۴۸۱ab | ۰/۰۰۱۶۲de | ۳۳/۵۶abcd | ۲۹/۶۹bcd |
| S ₃ ×B ₁ ×M ₁ | ۳/۲۱۸k | ۰/۹۸۸j | ۴/۲۰۶q | ۰/۰۲۷۴r | ۰/۰۰۱۵l | ۲۶/۸۶n | ۱۸/۲۶s |
| S ₃ ×B ₁ ×M ₂ | ۳/۳۳۲jk | ۰/۹۹۵j | ۴/۳۲۷q | ۰/۰۲۸۱qr | ۰/۰۰۱۴۷m | ۲۷/۱۳n | ۱۹/۱۱st |
| S ₃ ×B ₁ ×M ₃ | ۳/۶۳۸gh | ۱/۲۰۲hi | ۴/۸۴no | ۰/۰۵۴kl | ۰/۰۰۱۶۳cd | ۲۹/۴۵k | ۲۱/۷۱op |
| S ₃ ×B ₂ ×M ₁ | ۳/۳۲۷jk | ۱/۰۰۱j | ۴/۳۲۸q | ۰/۰۲۸۲qr | ۰/۰۰۱۴۷m | ۲۷/۱۷n | ۱۹/۱۸st |
| S ₃ ×B ₂ ×M ₂ | ۳/۵۲۵ghi | ۱/۱۴i | ۴/۶۶۵op | ۰/۰۳۰۷op | ۰/۰۰۱۵۳jk | ۲۷/۹۳lm | ۲۰/۰۶qrs |
| S ₃ ×B ₂ ×M ₃ | ۳/۸۸۴f | ۱/۳۶۵e | ۵/۲۴۹jk | ۰/۰۳۷۹j | ۰/۰۰۱۵۹gh | ۳۰/۴۷ij | ۲۳/۸۳klm |
| S ₃ ×B ₃ ×M ₁ | ۳/۵۱۳hi | ۱/۰۵۵j | ۴/۵۶۸p | ۰/۰۲۹۸pq | ۰/۰۰۱۵۴j | ۲۷/۴۴mn | ۱۹/۳۵rst |
| S ₃ ×B ₃ ×M ₂ | ۳/۸۰۱f | ۱/۱۴۴i | ۴/۹۴۵mn | ۰/۰۳۶۹jk | ۰/۰۰۱۶۳cd | ۳۰/۰۶jk | ۲۲/۶۳mno |
| S ₃ ×B ₃ ×M ₃ | ۴/۰۸e | ۱/۴۹۲d | ۵/۵۷۲gh | ۰/۰۴۱۳fgh | ۰/۰۰۱۵۹gh | ۳۱/۷۷gh | ۲۵/۹۷hi |
| S ₃ ×B ₄ ×M ₁ | ۳/۶۳۲ghi | ۱/۲۶۲gh | ۴/۸۹۴mn | ۰/۰۳۳۳lmn | ۰/۰۰۱۶fg | ۲۸/۳۲l | ۲۰/۸۱pq |
| S ₃ ×B ₄ ×M ₂ | ۳/۸۱۲f | ۱/۳۶۴e | ۵/۱۷۶jkl | ۰/۰۳۸j | ۰/۰۰۱۵۹gh | ۲۹/۹۲jk | ۲۳/۸۹klm |
| S ₃ ×B ₄ ×M ₃ | ۴/۱۶۵e | ۱/۵d | ۵/۶۶۵fgh | ۰/۰۴۳۷de | ۰/۰۰۱۵۹gh | ۳۲/۴۸efg | ۲۷/۴۸fgh |
| LSD | ۰/۱۲۵۴ | ۰/۰۷۵۵ | ۰/۱۹۸۳ | ۰/۰۰۲۲ | ۰/۰۰۰۰۱۶۸ | ۰/۷۳۲ | ۱/۲۷۳۳ |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD هم ندارند. S₁, S₂ و S₃ به ترتیب آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در مراحل ۵۰ درصد گلدهی و تکمه‌دهی. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد، تلقیح بذر با فلاووباکتریوم، سودوموناس و کاربرد همزمان فلاووباکتریوم و سودوموناس. M₁, M₂ و M₃ به ترتیب عدم مصرف یا محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی متانول.

تأثیر متانول و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر مؤلفه‌های پرشدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری

جدول ۶. مقایسه میانگین تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی متانول بر محتوای کارتنوئید برگ گلرنگ تحت

شرایط محدودیت آبی

| محتوای کارتنوئید (mg.g ⁻¹ FW) | ترکیب تیماری | محتوای کارتنوئید (mg.g ⁻¹ FW) | ترکیب تیماری | محتوای کارتنوئید (mg.g ⁻¹ FW) | ترکیب تیماری |
|---|--------------------------------|---|--------------------------------|---|--------------------------------|
| ۰/۵۲۲g | B ₁ ×M ₁ | ۰/۶۳۷c | S ₁ ×M ₁ | ۰/۶۶۷bc | S ₁ ×B ₁ |
| ۰/۵۵۶efg | B ₁ ×M ₂ | ۰/۷۳۴b | S ₁ ×M ₂ | ۰/۵۸۷de | S ₂ ×B ₁ |
| ۰/۶۹۶abc | B ₁ ×M ₃ | ۰/۷۹۹a | S ₁ ×M ₃ | ۰/۵۲۰e | S ₃ ×B ₁ |
| ۰/۵۳۷fg | B ₂ ×M ₁ | ۰/۵۴۲ef | S ₂ ×M ₁ | ۰/۷۱۳ab | S ₁ ×B ₂ |
| ۰/۶۱۰def | B ₂ ×M ₂ | ۰/۶۱۳c | S ₂ ×M ₂ | ۰/۶۰۶cd | S ₂ ×B ₂ |
| ۰/۷۰۰abc | B ₂ ×M ₃ | ۰/۷۴۱b | S ₂ ×M ₃ | ۰/۵۲۷e | S ₃ ×B ₂ |
| ۰/۵۶۴efg | B ₃ ×M ₁ | ۰/۵۱۰f | S ₃ ×M ₁ | ۰/۷۴a | S ₁ ×B ₃ |
| ۰/۶۶۱bcd | B ₃ ×M ₂ | ۰/۵۶۲de | S ₃ ×M ₂ | ۰/۶۲۶cd | S ₂ ×B ₃ |
| ۰/۷۰۵ab | B ₃ ×M ₃ | ۰/۵۶۲cd | S ₃ ×M ₃ | ۰/۵۶۳de | S ₃ ×B ₃ |
| ۰/۶۳cde | B ₄ ×M ₁ | | | ۰/۷۷۳a | S ₁ ×B ₄ |
| ۰/۷۱۸ab | B ₄ ×M ₂ | | | ۰/۷۰۸ab | S ₂ ×B ₄ |
| ۰/۷۴۷a | B ₄ ×M ₃ | | | ۰/۶۱۴cd | S ₃ ×B ₄ |
| ۰/۰۷۵ | LSD | ۰/۰۴۱۶ | LSD | ۰/۰۷ | LSD |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

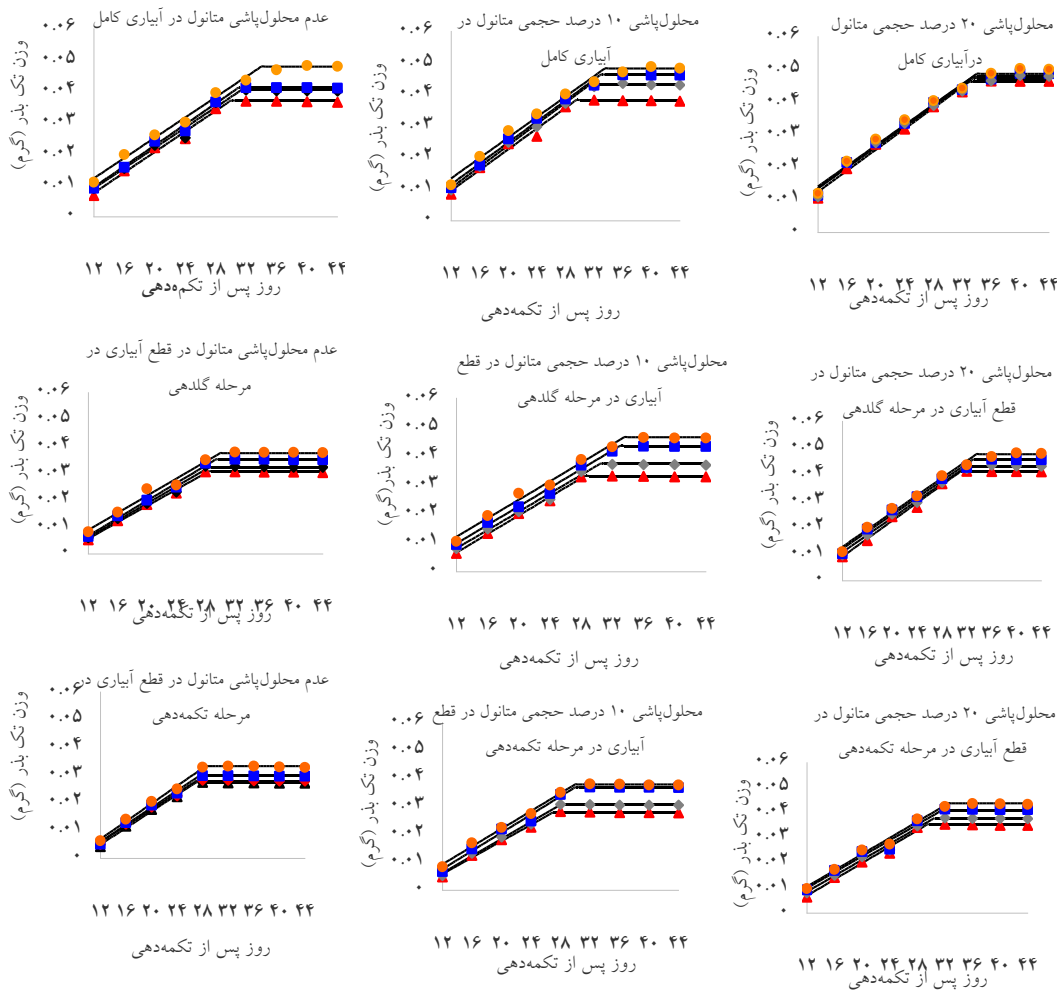
S₁, S₂ و S₃ به ترتیب آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در مراحل ۵۰ درصد گلدهی و تکمه‌دهی.

B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد، تلقیح بذر با فلاوباکتريوم، سودوموناس و کاربرد همزمان فلاوباکتريوم و سودوموناس.

M₁, M₂ و M₃ به ترتیب عدم مصرف یا محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی متانول.

رفت کربن در اثر تنفس نوری را جبران نموده (Downie et al., 2004) و بدین ترتیب با افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها به افزایش مؤلفه‌های پرشدن دانه از جمله وزن و طول دوره پرشدن دانه کمک کند. عده‌ای بیان کردند که گیاه در محلول‌پاشی ۲۵ درصد حجمی متانول علاوه بر برآورد نیازهای کربنی خود، مقداری از کربن مازاد را به‌عنوان مواد فتوسنتزی ذخیره کرده و در مرحله پرشدن دانه‌ها با افزایش انتقال مواد فتوسنتزی، دوره پرشدن دانه‌ها را افزایش می‌دهد (Naeimi et al., 2013).

برخی پژوهش‌گران اظهار داشتند در مرحله رشد رویشی برگ‌های جوان به‌علت جوانی و ضخامت کم قادر هستند متانول را سریع‌تر به درون برگ‌های خود نفوذ داده و بدین ترتیب این ترکیب را سریع‌تر وارد چرخه فتوسنتزی خود می‌کنند (Naeimi et al., 2013). بنابراین، از یک طرف با ایجاد فتوسنتز بالا، موجب افزایش رشد و توسعه برگ‌گی شده و از طرف دیگر نیز با افزایش ذخیره مواد فتوسنتزی قادر خواهند بود تا در مرحله زایشی سرعت پرشدن دانه را افزایش دهند. هم‌چنین گیاه با دریافت متانول می‌تواند میزان هدر



شکل ۱. تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی متانول تحت شرایط محدودیت آبی بر روند پرشدن دانه

مؤلفه‌های پرشدن دانه در کاربرد متانول و باکتری‌های محرک رشد را می‌توان به بهبود محتوای کلروفیل نسبت داد (جدول ۵). نتایج مشابهی نیز توسط Seyed Sharifi & Seyed Sharifi (2019) مبنی بر اینکه کاربرد متانول و باکتری‌های محرک رشد با بهبود محتوای کلروفیل موجب افزایش سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پرشدن دانه می‌شود گزارش شده است. در این راستا Atarodi Asl & Khalilvand

در پژوهشی Patten & Glick (2002) اظهار داشتند اکسین تولیدشده توسط باکتری‌ها می‌تواند به صورت مستقیم موجب افزایش تقسیم و رشد سلولی شده و یا به صورت غیرمستقیم موجب افزایش تولید آنزیم ACC دآمیناز شود. این آنزیم تولیدی توسط باکتری‌ها با کاهش اتیلن تولیدشده در شرایط تنش، نقش مهمی در جلوگیری از پیری و زوال برگ‌ها و بهبود فرایند فتوسنتزی ایفا می‌کند. بخشی از بهبود

تأثیر متانول و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر مؤلفه‌های پرشدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری

تأثیر بر ظرفیت فتوسنتزی بوته‌ها و همچنین انتقال مواد فتوسنتزی به سمت سنبله‌های در حال رشد گندم، توانست با جلوگیری از ریزش سنبله‌ها و تأثیر مثبت بر رشد دانه‌ها، موجب افزایش تعداد دانه در سنبله شود.

۴.۳. تعداد شاخه‌های فرعی و ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم، سودوموناس و محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ۶۶/۵۹ و ۵۹/۶۸ درصدی تعداد شاخه‌های فرعی و ارتفاع بوته نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی متانول تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی شد (جدول ۷).

با افزایش تنش خشکی به دلیل کاهش تعداد سلول‌های آغازین تشکیل شده جهت تولید انشعابات اولیه شاخه، تعداد شاخه‌های جانبی نیز کاهش می‌یابد. در این زمینه Barrios *et al.* (2005) اظهار داشتند که محدودیت آبی با کاهش طول دوره رشد گیاه و همچنین تسریع در ورود به فاز زایشی، مانع رشد جوانه‌های جانبی شده و تعداد شاخه‌های جانبی را کاهش می‌دهد. در پژوهشی Farooq *et al.* (2009) اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی افزایش رقابت بین بخش هوایی و ریشه در گیاه برای جذب رطوبت، موجب می‌شود گیاه مواد فتوسنتزی بیشتری را به ریشه در مقایسه با اندام هوایی تخصیص داده و همین امر موجب کاهش اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام هوایی و در نهایت موجب کاهش ارتفاع بوته می‌شود. بخشی از افزایش ارتفاع بوته در کاربرد باکتری‌های محرک رشدی می‌تواند ناشی از ترشح ترکیبات مختلفی مانند اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها، ریبوفلاوین‌ها و ویتامین‌ها باشد که موجب افزایش رشد و طول سلول‌های اندام هوایی و در نتیجه موجب افزایش ارتفاع بوته می‌شود (Zahir *et al.*, 2004).

Behrouzfar (2020) نیز بیان کردند که محلول‌پاشی متانول تحت شرایط محدودیت آبی با بهبود محتوای کلروفیل، موجب افزایش سرعت و طول دوره پرشدن دانه شد.

۳.۳. تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه (به ترتیب ۵۳/۳۵ عدد و ۴۸/۵۵ گرم) در کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم با سودوموناس و محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل به دست آمد (جدول ۷) که به ترتیب از افزایش ۴۹/۴۷ و ۴۶/۰۱ درصدی تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه نسبت به عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و عدم محلول‌پاشی متانول تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی برخوردار بود (جدول ۷). به نظر می‌رسد بخشی از دلایل کاهش تعداد دانه در شرایط تنش رطوبتی، ناشی از عدم تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای رشد و تکامل بذر (Bosh *et al.*, 2019) و بخشی دیگر علاوه بر کاهش طول دوره پرشدن دانه، ناشی اثر محدودیت آبی بر کاهش تبادلات گازی برگ باشد که موجب می‌شود بارگیری، تخلیه و تسهیم مواد فتوسنتزی در گیاه با مشکل مواجه شود (Farooq *et al.*, 2009)، اما دی‌اکسیدکربن حاصل از اکسیداسیون سریع متانول با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در بافت‌های فتوسنتزکننده، موجب افزایش فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو، افزایش سرعت و میزان فتوسنتز و کاهش تنفس نوری شده (Faver & Gerik 1996; Gout *et al.*, 2000) و به تبع آن میزان فتوسنتز، وزن دانه و در نهایت وزن هزاردانه افزایش می‌یابد. بخشی از افزایش وزن هزاردانه و تعداد دانه در طبق در کاربرد باکتری‌های محرک رشد و متانول می‌تواند ناشی از افزایش محتوای کلروفیل و بهبود مؤلفه‌های پرشدن دانه باشد (جدول ۵). در این زمینه Rezaie *et al.* (2020) نیز بیان کردند که محلول‌پاشی متانول با افزایش محتوای کلروفیل و

جدول ۷. مقایسه میانگین تأثیر باکتری‌های محرک رشد و متانول بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ تحت شرایط محدودیت آبی

| ترکیب تیماری | ارتفاع بوته (cm) | قطر طبق (cm) | تعداد دانه در طبق | تعداد طبق در بوته | تعداد شاخه فرعی در بوته | وزن هزاردانه (g) | عملکرد دانه (g.m ⁻²) |
|--|------------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------|----------------------------------|
| S ₁ ×B ₁ ×M ₁ | ۸۴e | ۲/۴۸j | ۴۱/۲۸k | ۸/۸۷klmn | ۵/۶۵m | ۳۸/۳۵hij | ۱۸۸/۶lm |
| S ₁ ×B ₁ ×M ₂ | ۹۱d | ۲/۷۱g | ۴۴/۸۲gh | ۹/۱۵jklm | ۶/۳ijk | ۴۰/۴efg | ۲۱۲/۴۲j |
| S ₁ ×B ₁ ×M ₃ | ۱۰۴/۶b | ۳/۱۵de | ۵۰/۲۸d | ۱۲/۲۲b | ۷/۰۸cdef | ۴۵/۸۸b | ۲۳۳/۴abcdef |
| S ₁ ×B ₂ ×M ₁ | ۹۰/۸d | ۲/۵۵hij | ۴۳/۰۶hij | ۹/۳۵jk | ۶/۰۴kl | ۴۰/۲fg | ۲۰۰/۶۴k |
| S ₁ ×B ₂ ×M ₂ | ۹۷/۲c | ۲/۷۲g | ۴۷/۶۵e | ۱۰/۷۷fg | ۶/۸۱fgh | ۴۴/۱۲c | ۲۲۸/۰۱efg |
| S ₁ ×B ₂ ×M ₃ | ۱۱۰/۲a | ۳/۲۷abcd | ۵۲/۸۶ab | ۱۲/۳b | ۷/۲abc | ۴۸/۳a | ۲۳۸/۲۲abcd |
| S ₁ ×B ₃ ×M ₁ | ۹۱/۱d | ۲/۶۴ghi | ۴۵/۱۸fg | ۱۰i | ۶/۳۸ij | ۴۱/۵def | ۲۲۳/۳۸gh |
| S ₁ ×B ₃ ×M ₂ | ۱۰۴/۲b | ۳/۰۱ef | ۵۲/۰۵bc | ۱۱/۵cd | ۷/۲۲cd | ۴۵/۶۵bc | ۲۳۰/۵defg |
| S ₁ ×B ₃ ×M ₃ | ۱۱۰/۳a | ۳/۳abc | ۵۴/۱۱a | ۱۲/۳۷ab | ۷/۵۵ab | ۴۸/۳۸a | ۲۴۰/۶۴abc |
| S ₁ ×B ₄ ×M ₁ | ۹۷/۷c | ۳/۱۴de | ۵۰/۱۵d | ۱۱/۶۲cd | ۶/۹efg | ۴۴/۳۳c | ۲۳۱/۶۶bcdefg |
| S ₁ ×B ₄ ×M ₂ | ۱۰۵/۴b | ۳/۴۱a | ۵۴/۱۸a | ۱۲/۲۵b | ۷/۶۵a | ۴۶/۲۲b | ۲۳۸/۸۵ab |
| S ₁ ×B ₄ ×M ₃ | ۱۱۰/۵a | ۳/۳۷ab | ۵۴/۳۵a | ۱۲/۸۷a | ۷/۵۸ab | ۴۸/۵۵a | ۲۴۲/۵۲a |
| S ₂ ×B ₁ ×M ₁ | ۷۶/۴f | ۲/۰۴opq | ۳۶/۷mno | ۷/۸۵qrs | ۴/۷۳p | ۳۵/۰۱mno | ۱۴۸/۵۲q |
| S ₂ ×B ₁ ×M ₂ | ۷۷/۶f | ۲/۲۱klmn | ۴۰/۵۵k | ۸/۱۴opq | ۵/۲۲n | ۳۶/۱۵klm | ۱۷۹/۵mno |
| S ₂ ×B ₁ ×M ₃ | ۹۱d | ۲/۶۵gh | ۴۶/۵efg | ۱۰/۷fgh | ۶/۷۵gh | ۴۰/۲۶fg | ۲۱۵/۵hij |
| S ₂ ×B ₂ ×M ₁ | ۷۶/۸f | ۲/۱۱nop | ۳۸/۱۱lmno | ۸/۰۵pq | ۴/۷۷op | ۳۵/۰۷mn | ۱۶۶/۸p |
| S ₂ ×B ₂ ×M ₂ | ۸۳/۱e | ۲/۳kl | ۴۱/۵۸ijk | ۹/۱jklmn | ۵/۷۲m | ۳۶/۵klm | ۱۸۴/۷۶lm |
| S ₂ ×B ₂ ×M ₃ | ۹۷/۱c | ۲/۹۷f | ۴۶/۷۴ef | ۱۱/۴۲d | ۶/۷۹fgh | ۴۲/۳ad | ۲۲۳/۸۲fgh |
| S ₂ ×B ₃ ×M ₁ | ۸۳/۱e | ۲/۱۹klmn | ۴۱/۰۲k | ۸/۷۵lmn | ۵/۳۴n | ۳۶/۳۸klm | ۱۸۴/۰۲m |
| S ₂ ×B ₃ ×M ₂ | ۹۱/۸d | ۲/۴۸j | ۴۵/۰۴fg | ۱۰/۶۵fgh | ۶/۳۵ij | ۴۲/۰۲d | ۲۰۱/۳۵k |
| S ₂ ×B ₃ ×M ₃ | ۱۰۴/۱b | ۳/۱۴de | ۵۰/۲۳d | ۱۱/۵۵cd | ۶/۸۲defg | ۴۵/۰۸abc | ۲۳۱/۰۸cdefg |
| S ₂ ×B ₄ ×M ₁ | ۸۳/۷e | ۲/۶۸gh | ۴۳/۲۵hi | ۹/۴۲j | ۶/۲۲jk | ۳۷ijk | ۱۹۸/۳۳k |
| S ₂ ×B ₄ ×M ₂ | ۹۷/۷c | ۳/۱۸cd | ۴۷/۸۸e | ۱۱/۳۷de | ۶/۸۶efgh | ۴۴/۹۸abc | ۲۲۹/۴۷defg |
| S ₂ ×B ₄ ×M ₃ | ۱۰۵b | ۳/۲۶bcd | ۵۰/۴۴cd | ۱۲bc | ۷/۱۲cde | ۴۶/۱۵b | ۲۳۷/۱۸abcde |
| S ₃ ×B ₁ ×M ₁ | ۶۹/۲g | ۱/۹۴q | ۳۶/۳۶o | ۷/۲۵t | ۴/۵۵p | ۳۳/۲۵p | ۱۴۲/۷q |
| S ₃ ×B ₁ ×M ₂ | ۷۰/۲g | ۲/۰۱pq | ۳۶/۵۲no | ۷/۵rst | ۴/۶۸p | ۳۳/۴۲p | ۱۴۷/۹۸q |
| S ₃ ×B ₁ ×M ₃ | ۸۳/۲e | ۲/۲۲klmn | ۴۰/۴۶k | ۸/۵۷nop | ۵/۱۶n | ۳۶/۸۲jkl | ۱۸۰/۶۷mn |
| S ₃ ×B ₂ ×M ₁ | ۷۰/۶g | ۲/۱nop | ۳۸/۲lmn | ۷/۳۴st | ۴/۸۲op | ۳۳/۸۸nop | ۱۶۲/۱p |
| S ₃ ×B ₂ ×M ₂ | ۷۷/۱f | ۲/۱۵mnop | ۳۸/۶l | ۷/۹۲qr | ۵/۰۵no | ۳۵/۱۴mn | ۱۷۰/۴۴op |
| S ₃ ×B ₂ ×M ₃ | ۸۴/۵e | ۲/۵ij | ۴۱/۷۴ijk | ۱۰/۱۸hi | ۵/۷۷lm | ۳۸/۵۲hi | ۱۹۷/۷۲kl |
| S ₃ ×B ₃ ×M ₁ | ۷۷/۱f | ۲/۱۶lmno | ۳۸/۳۵lm | ۷/۸۱qrs | ۴/۸۴op | ۳۳/۵op | ۱۷۰/۱۱op |
| S ₃ ×B ₃ ×M ₂ | ۸۴/۱e | ۲/۳۲k | ۴۰/۶۴k | ۸/۶۲mno | ۵/۳n | ۳۸/۴۴hi | ۱۷۱/۳nop |
| S ₃ ×B ₃ ×M ₃ | ۹۱/۷d | ۲/۷۲g | ۴۳/۱۴hi | ۱۰/۲۵ghi | ۶/۲۲jk | ۴۱/۸۵de | ۲۰۰/۱۵k |
| S ₃ ×B ₄ ×M ₁ | ۷۷/۲f | ۲/۲۶klm | ۴۱/۳۷jk | ۸/۸۴klmn | ۵/۶۷m | ۳۵/۴۴lm | ۱۸۵/۳۲m |
| S ₃ ×B ₄ ×M ₂ | ۹۰/۷d | ۲/۴۹j | ۴۶/۱۴efg | ۹/۲۸jkl | ۶/۴۴ij | ۳۸/۸۸gh | ۲۱۳/۲۶ij |
| S ₃ ×B ₄ ×M ₃ | ۹۲/۵d | ۲/۷۵g | ۴۶/۳۳efg | ۱۰/۸۵ef | ۶/۵۷hi | ۴۲/۱۶d | ۲۲۲/۷۵ghi |
| LSD | ۳/۹۱۰۲ | ۰/۱۴۵۵ | ۱/۷۶۲۵ | ۰/۵۴۸۲ | ۰/۳۰۶۹ | ۱/۵۴۶۵ | ۹/۶۹۴۱ |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

S₁, S₂ و S₃ به ترتیب آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در مراحل ۵۰ درصد گلدهی و تکمه‌دهی.

B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد، تلقیح بذر با فلاووباکتریوم، سودوموناس و کاربرد هم‌زمان فلاووباکتریوم و سودوموناس.

M₁, M₂ و M₃ به ترتیب عدم مصرف یا محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی متانول.

آبی می‌تواند ناشی از تأثیر این عامل بر تعداد شاخه جانبی باشد (جدول ۷). از آنجایی که طبق‌ها در بوته علاوه بر شاخه‌های اصلی، بر روی شاخه یا ساقه‌های جانبی نیز قرار می‌گیرند، بدیهی است که با کاهش تعداد شاخه جانبی در هر بوته، به تبع از آن تعداد طبق در بوته نیز کاهش می‌یابد (Seyed Sharifi & Seyed Sharifi, 2017). در گزارشی (Jamil AL Mahdi & Behdani & (2010) نیز اظهار داشتند که با افزایش محدودیت آبی، کاهش تولید انشعابات اولیه شاخه، منجر به کاهش تعداد شاخه‌های جانبی و در نهایت به کاهش تعداد طبق در بوته گلرنگ می‌انجامد. نتایج مشابهی نیز توسط Raeli *et al.* (2015) مبنی بر این‌که کاربرد باکتری‌های رشد در شرایط خشکی، با بهبود جذب نیتروژن ضمن افزایش فتوسنتز و محتوای کلروفیل برگ، منجر به افزایش قطر طبق، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و عملکرد دانه گلرنگ شد گزارش شده است.

بخشی از افزایش قطر طبق و تعداد طبق در بوته در محلول‌پاشی متانول با افزایش کرین در دسترس برای گیاه مرتبط باشد که ضمن بهبود فتوسنتز و کمک به تولید سیتوکینین منجر به تحریک تقسیم سلولی می‌شود (Baradaran Firouzabadi *et al.*, 2017) و از طرفی کاربرد باکتری‌های محرک رشد نیز با کمک به جذب و انتقال بهتر عناصر معدنی و بهبود رشد گیاه، موجب افزایش تعداد شاخه‌های فرعی و در نتیجه افزایش تعداد طبق در بوته شد (جدول ۷).

۶.۳. عملکرد دانه

مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه (۲۴۲/۵۲ گرم در مترمربع) در ترکیب تیماری کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم با سودوموناس و محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد

افزایش ارتفاع بوته در اثر مصرف متانول به‌دلیل فعالیت باکتری‌های همزیست میتیلوتروفیک موجود در برگ‌هاست که در ازای دریافت متانول که از برگ گیاه خارج می‌شود پیش‌ماده ساخت برخی از هورمون‌ها مانند اکسین و سیتوکینین را که نقش مهمی در تسریع روند رشد و فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه برعهده دارند را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Ivanova *et al.*, 2001). هم‌چنین احتمال داده می‌شود محلول‌پاشی متانول با افزایش تولید سیتوکینین و افزایش تقسیم سلولی، موجب تحریک رشد و افزایش ارتفاع بوته در گیاهان تیمار شده با متانول می‌شود (Mauney & Gerik, 1994). برخی پژوهش‌گران اظهار داشتند که محلول‌پاشی متانول با افزایش کرین در دسترس برای گیاه و بهبود فتوسنتز و تقسیم سلولی، موجب تحریک رشد، افزایش ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی سیاه دانه شد (Baradaran Firouzabadi *et al.*

۳.۵. قطر طبق و تعداد طبق در بوته

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین قطر طبق (۳/۴۱ سانتی‌متر) در کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم، سودوموناس و محلول‌پاشی ۱۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد (جدول ۷)، که از افزایش ۷۵/۷۷ درصدی نسبت به عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی متانول تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی برخوردار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین تعداد طبق در بوته (۱۲/۸۷ عدد) در کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم، سودوموناس و محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل و کم‌ترین مقدار آن (۷/۲۵ عدد) در عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی متانول تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی به‌دست آمد (جدول ۷). یکی از دلایل کاهش تعداد طبق در بوته به‌واسطه محدودیت

فتوستتری و انتقال بیش‌تر مواد به دانه، منجر به افزایش عملکرد شود (Goksoy *et al.*, 2004).

۴. نتیجه‌گیری

کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم، سودوموناس و محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، تعداد طبق در بوته شد. هم‌چنین این ترکیب تیماری با بهبود محتوای کلروفیل برگ موجب افزایش مؤلفه‌های پرشدن دانه و در نهایت عملکرد دانه شد. به‌نظر می‌رسد تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی متانول با تعدیل اثر محدودیت آبی می‌تواند در بهبود عملکرد، سرعت و طول دوره پرشدن دانه مؤثر واقع شوند.

۵. تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از طرح پژوهشی مصوب در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی می‌باشد. از تمام همکاران ارجمند در حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه و دانشکده، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Akhgar, A., & Khavaz, K. (2010). The roll of bacterial ACC deaminase enzyme on the alleviation of negative effects of salinity on canola growth. *Journal of Water and Soil*, 24(1), 154-165. (In Persian)
- Amini, H., Arzani, A., & Bahrami, F. (2013). Seed yield and some physiological traits of safflower as affected by water deficit stress. *International Journal of Plant Production*, 7(3), 598-614. (In Persian)
- Arnon, A. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.

(جدول ۷)، که این ترکیب تیماری موجب افزایش ۶۹/۲۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی متانول تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی شد (جدول ۷). بخشی از بالا بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و کاربرد متانول و باکتری‌های محرک رشدی می‌تواند ناشی تأثیر این عوامل بر عملکرد و اجزای عملکرد باشد (جدول ۷). بخش دیگری از بهبود عملکرد دانه را در کاربرد متانول و باکتری‌های محرک رشدی می‌توان به تأثیر این عوامل بر بهبود مؤلفه‌های پرشدن دانه نسبت داد (شکل ۱ و جدول ۵). به‌نظر می‌رسد متانول با بالا بردن غلظت CO₂ در بافت‌های فتوسنتزکننده و افزایش فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و کاهش تنفس نوری (Gout *et al.*, 2000) و کاربرد هم‌زمان باکتری‌های محرک رشدی با تولید هورمون‌های رشد و تأمین عناصر غذایی، امکان تداوم بیش‌تر دوره پرشدن دانه و در نهایت بهبود عملکرد دانه را فراهم ساخته‌اند.

بخشی از بالا بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و کاربرد متانول و باکتری‌های محرک رشدی می‌تواند ناشی از بهبود محتوای کلروفیل در چنین ترکیبات تیماری باشد (جدول ۵). به بیانی دیگر، تنش آبی برخلاف آبیاری کامل با ایجاد تنش اکسیداتیو و اختلال در ساختار کلروپلاست و کاهش محتوای کلروفیل، منجر به کاهش فعالیت فتوسنتزی و عملکرد دانه می‌شود (Amini *et al.*, 2013). طوری‌که مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین محتوای کلروفیل در کاربرد هم‌زمان فلاوباکتریوم با سودوموناس در بالاترین سطح از کاربرد متانول در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد و به‌نظر می‌رسد افزایش محتوای کلروفیل در طول دوره رشدی به‌ویژه دوره پرشدن دانه با بهبود مؤلفه‌های پرشدن دانه (Tsunno *et al.*, 1994) می‌تواند با افزایش میزان آسیمیلاسیون، افزایش دوره فعال

- Atarodi Asl, E., & Khalilvand Behrouzfar, E. (2020). Effect of methanol and salicylic acid foliar application on some of physiological traits of winter wheat under limited irrigation. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 3(13), 815-82. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/ESCS.2020.2199.1549>
- Baradaran Firouzabadi, M., Parsaeiyan, M., & Baradaran Firouzabadi, M. (2017). Agronomic and physiological response of *Nigella sativa* L. to ascorbate and methanol foliar application in water deficit stress. *Journal of Plant Echophysiology*, 8(30), 13-27. (In Persian)
- Barrios, A. N., Hoogenboom, G., & Nesmith, D. S. (2005). Drought stress and the distribution of vegetative and Reproductive Traits of a Bean Cultivar. *Scientia Agricola*, 61, 18-22. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000100004>.
- Behdani, M. A., & Jamil AL Mahdi, M. (2010). Response of spring safflower cultivars to irrigation intervals in Birjand condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(2), 315-323 (In Persian). <http://10.22067/GSC.V8I2.7529>
- Bosh, Z., Danesh Shahraki, A., Ghobadina, M., & Saeedi, K. (2019). The effect of plant growth promoting rhizobacteria on agro-morphological traits of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(2), 525-537. (In Persian). <https://10.22077/ESCS.2018.1347.1282>
- Cakmakci, R. I., Donmez, M. F., & Erdogan, U. (2007). The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barely seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts, *Turkish Journal of Agriculture*, 31, 189-199.
- Chandrasekhar, B. R., Ambrose, G., & Jayabalan, N. (2005). Influence of biofertilizer and nitrogen source level on the growth and yield of *Echinochloa frumentacea* (Roxb.) Link. *Journal of Agricultural Technology*, 1(2), 223 -234.
- Downie, A., Miyazaki, S., Bohnert, H., John, P., Coleman, J., Parry, M., & Haslam, R. (2004). Expression profiling of the response of *Arabidopsis thaliana* to methanol stimulation. *Phyto-Chemistry*, 65, 2305-2316. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.07.006>.
- Ellis, R. H., & Pieta-Filho, C. (1992). The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research*, 2, 19-25. <https://doi.org/10.1017/S0960258500001057>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-212.
- Faver, K. L., & Gerik, T. J. (1996). Foliar-applied methanol effects on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) gas exchange and growth. *Field Crops Research*, 47, 227-234. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00024-X](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00024-X)
- Galbally, I. E., & Kirstine, W. (2002). The production of methanol by flowering plants and the global cycle of methanol. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 43(3), 195-229.
- Goksoy, A.T., Demir, A. O., Turan, Z. M., & Daustu, N. (2004). Responses of sunflower to full and limited irrigation at different growth stages, *Field Crop Research*, 87, 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.004>
- Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A. R., Benson, A., & Douce, R. (2000). Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology*, 123, 287-296. doi: 10.1104/pp.123.1.287.
- Hadi, H., Seyed Sharifi, R., & Namvar, A. (2015). *Phytoprotectants and Abiotic Stress*. Urmia University. 452 pp. (In Persian).
- Hanson, A. D., & Roje, S. (2001). One-carbon metabolism in higher plants. *Annual Review of Plant Biology*, 52(1), 119-137. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.119>
- Hosseinzadah, F., Satei, A., & Ramezanzpour, M. R. (2011). Effects of mycorrhiza and plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrients uptake and physiological characteristics in *Calendula officinalis* L. Middle-East. *Journal of Science Research*, 8, 947-953. (In Persian)
- Hussain, M. I., Lyra, D. A., Farooq, M., Nikoloudakis, N., & Khalid, N. (2016). Salt and drought stresses in safflower: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 4-13. DOI 10.1007/s13593-015-0344-8
- Ivanova, E. G., Dornina, N. V., & Trotsenko, Y. A. (2001). Aerobic methyllobacteria are capable of synthesizing auxins. *Microbiology*, 70, 392-397.
- Jiao, J., Chen, K., & Yi, C. (2010). Effects of soil moisture content on growth, physiological and biochemical characteristics of *Jatropha curcas* L.. *Acta Ecologica Sinica*, 30, 4460-4466.
- Mashi, A., Galeshi, S., Zeinali, E., & Noorinia, A., (2008). Salinity effect on seed yield and yield components in four Hull-less barley. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 14, 1-10.
- Mauney, J. R., & Gerik, T. J. (1994). Evaluating

- methanol usage in Cotton. Proc. Beltwide Cotton Conf., National Cotton Council of America Memphis, TN, USA, I. 39-40.
- Naeimi N., Yarnia M., & Khalilvand, E. (2013). The effects foliar application of methanol at different growth stages on kernel related traits in chickpea var. ILC 482. *Journal of Plant Ecophysiology*, 2(26), 147-157. (In Persian)
- Nonomura, A. M., & Benson, A. (1992). The path of carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. Proceedings of the *National Academy of Sciences of the United States of America*, 89, 9794-9798.
- Oliviera-Neto, C. F., Silva-Lobato, A. K., Goncalves-Vidigal, M. C., Costa, R. C. L., Santos Filho, B. G., Alves, G. A. R., Silva-Maia, W. J. M., Cruz, F. J. R., Neres, H. K. B., & Santos Lopes, M. J. (2009). Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Science and Technology*, 7(3&4), 588-593.
- Patten, C. L., & Glick, B. R. (2002). Role of *Pseudomonas putida* indole acetic acid in development of the host plant root system. *Applied Environmental Microbiology*, 8, 3795-3801. <http://10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002>
- Raei, Y., Shariati, J., & Weisany, W. (2015). Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, 25(1), 65-84. (In Persian)
- Rajala, A., Karkkainen, J., Peltonen, J., & Peltonen-Sainio, P. (1998). Foliar application of alcohols failed to enhance growth and yield of C₃ crops. *Industrial Crops and Products*, 7, 129-137. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(97\)00041-1](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(97)00041-1)
- Ramberg, H. A., Bradley, J. S. C., Olson, J. N., Nishio, J., Markwell, C., & Osterman, J. C. (2002). The Role of methanol in promoting plant growth: An Update. *Review Plant Biochemistry and Biotechnology*, 1, 113-126.
- Ramirez, I.F., Dorta, V., Espinoza, E., Jimenez, A., & Pena-Cortes, M. (2006). Effect of foliar and root applications of methanol on the growth of Arabidopsis, tobacco and tomato plant. *Journal of Plant Growth Regulation*, 25, 30-44.
- Reynolds, M. P., Ortizi-Monasterio, I., & McNab, A. (2001). *Application of physiology in wheat breeding*. CIMMYT, Mexico, 240 p.
- Rezaie, F., Barary, M., Hatami, A., & Hassanein Khoshro, H. (2020). The effect of nano-potass fertilizer and methanol application on some physiological characters, yield and yield components of wheat. *Plant Ecophysiology*, 11, 180-191. (In Persian)
- Ronanini, D., Savin, R., & Hal, A. J. (2004). Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crop Research*, 83, 79-90. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00064-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00064-9)
- Seyed Sharifi, R., & Seyed Sharifi, R. (2017). Effect of irrigation withholding, mycorrhiza application and nano (Fe and Zn) oxide on yield, rate and grain filling period of safflower (*Carthamus tinctories* L.). *Journal of Ecophysiology*, 11(36), 146-152. (In Persian)
- Seyed Sharifi, R., & Seyed Sharifi, R. (2019). Effects of different irrigation levels, methanol application, and nano iron oxide on yield and grain filling components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Crops Improvement*, 21(1), 27-42. (In Persian)
- Seyed Sharifi, R., & Seyed Sharifi, R. (2020). Effects starter nitrogen, methanol and bio fertilizers application on yield, nodulation and grain filling period of rainfed Lentil. *Journal of Crop Improvement*, 22(3), 445-460. (In Persian) DOI:10.22059/JCI.2018.264647.2079
- Suarez, C., Cardinalea, M., Rateringa, S., Steffensb, D., Jungb, S., Zapata, A. M., Rita, M., Plauma, G., & Schnell, S. (2015). Plant growth-promoting effects of *Hartmannibacter diazotrophicus* on summer barley (*Hordeum vulgare* L.) under salt stress. *Applied Soil Ecology*, 95, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.04.017>
- Tsuno, Y., Yamaguchi, T., & Nakano J. (1994). Potential dry matter production and grain filling process of rice plant from the viewpoint of sourcesink relationships and the role of root respiration in its relationship. *Bull. Faculty of Agricultural. Tottori University*, 47, 1-10.
- Zahir, A. Z., Arshad, M., & Frankenberger, W. F. (2004). Plant growth promoting Rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy*, 81, 97-168.
- Zbiec, I., Karczmarczyk, S., & Podsiadlo, C. (2003). Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities Agronomy*, 6(1), 1-7.