

## مطالعه اثر تنش خشکی و برخی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاهی بر کارایی مصرف نور و ضریب تخصیص مواد به غلاف در ارقام کلزا (*Brassica spp. L.*)

پویا آروین<sup>۱\*</sup> و جواد وفابخش<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۱۷

آروین، پ، و وفابخش، ج. ۱۳۹۵. مطالعه اثر تنش خشکی و برخی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاهی بر کارایی مصرف نور و ضریب تخصیص مواد به غلاف در ارقام کلزا (*Brassica spp. L.*). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۸(۱): ۱۳۴-۱۵۲.

### چکیده

کارایی مصرف نور و ضریب تخصیص مواد در ارقام کلزا متعلق به سه گونه کلزای معمولی (*Brassica napus L.*)، شلغم روغنی (*Brassica rapa L.*) و خردل وحشی (*Brassica juncea L.*) در شرایط تنش و عدم تنش خشکی و کاربرد نژادهای *سودوموناس* در دو آزمایش (شامل مزرعه تنش و عدم تنش) در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی طرق مشهد در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹، به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. فاکتورهای مورد بررسی در این دو آزمایش شامل: الف: فاکتور اول شامل، چهار سطح تلقیح با باکتری *سودوموناس* (تلقیح با "*سودوموناس فلورسسنس* ۱۶۹ *Pseudomonas fluorescens*"، "*سودوموناس پوتیدا* ۱۰۸ *P. putida*"، مخلوط دو سویه و تیمار شاهد بدون تلقیح) و ب: فاکتور دوم شامل شش ژنوتیپ کلزا از سه گونه *براسیکا* که شامل Hyolla 330، Hyolla 401 متعلق به گونه *B. juncea* و *B. napus* متعلق به گونه *B. rapa* و BP18، Landrace متعلق به گونه *B. juncea* بودند. نتایج تفاوت معنی‌داری در سطح رقم، باکتری و اثر متقابل باکتری در رقم در مورد صفت کارایی مصرف نور را نشان داد. باکتری *سودوموناس فلورسسنس* در محیط بدون تنش بیشترین کارایی مصرف نور را با  $0.071 \pm 0.039$  بر حسب گرم بر مگاژول و کمترین این مقدار مربوط به تلقیح دو نژاد باکتری در محیط تنش با  $0.03 \pm 0.021$  گرم بر مگاژول حاصل شد. در سطح رقم، رقم هایولا ۳۳۰ در شرایط عدم تنش با  $0.047 \pm 0.045$  گرم بر مگاژول بیشترین و رقم BP18 در شرایط تنش با  $0.06 \pm 0.011$  گرم بر مگاژول کمترین این ضریب را نشان دادند. در سطح باکتری در رقم نیز باکتری *سودوموناس فلورسسنس* در رقم گلدراش ( $B_2V_4$ ) در محیط عدم تنش با  $0.08 \pm 0.062$  گرم بر مگاژول بیشترین و تلقیح دو نژاد باکتری در رقم لندریس ( $B_1V_6$ ) در محیط تنش با  $0.017 \pm 0.010$  گرم بر مگاژول کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند. نتایج همچنین در مورد صفت کارایی مصرف نور نشان داد که ضرایب معادله‌ها در هر سه سطح (باکتری، رقم و باکتری در رقم) در شرایط عدم تنش بالاتر از محیط تنش بود. اثر متقابل باکتری در رقم و رقم در هر دو محیط تفاوت معنی‌داری را در مورد صفت ضریب تخصیص مواد به غلاف نشان دادند. در سطح باکتری در رقم، باکتری *سودوموناس فلورسسنس* در رقم هایولا ۳۳۰ ( $B_2V_2$ ) در محیط عدم تنش با  $0.08 \pm 0.093$  گرم ماده خشک غلاف به گرم ماده خشک اندام هوایی بیشترین و تلقیح دو نژاد باکتری در رقم BP18 ( $B_1V_5$ ) در محیط تنش با  $0.02 \pm 0.016$  گرم ماده خشک غلاف به گرم ماده خشک اندام هوایی کمترین ضریب تخصیص را داشتند. نتایج مقایسه دو محیط در سطح رقم همچنین نشان داد که رقم هایولا ۴۰۱ در محیط عدم تنش با  $0.03 \pm 0.062$  گرم ماده خشک غلاف به گرم ماده خشک اندام هوایی بیشترین و رقم BP18 در محیط تنش با  $0.05 \pm 0.027$  گرم ماده خشک غلاف به گرم ماده خشک اندام هوایی کمترین ضریب تخصیص مواد به غلاف را داشتند. تنش خشکی از طریق اختلال در فعالیت‌های گیاهی و پروسه رشد، باعث کاهش معنی‌دار در مورد صفت ضریب تخصیص مواد به غلاف و کارایی مصرف نور شد. تلقیح باکتری به تنهایی اثر سینرژیک و تیمار تلقیح دو نژاد باکتری اثر آنتاگونیسمی بر صفت کارایی مصرف نور و ضریب تخصیص مواد به غلاف داشتند.

واژه‌های کلیدی: شلغم روغنی، خردل وحشی، نژادهای باکتری *سودوموناس*

### مقدمه

یکی از دانه‌های روغنی که در کشور توجه بسیاری را به خود جلب کرده است و در طرح کاهش واردات روغن گیاهی نیز سهم فراوانی برای آن در نظر گرفته شده است، کلزا (*Brassica napus L.*) است. این محصول در میان دانه‌های روغنی در جهان مقام سوم را پس از سویا (*Glycine max L.*) و نخل روغنی (*Elaeis*)

۱ و ۲- به ترتیب استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران و استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی  
(Email: pooya.arvin@gmail.com) \* نویسنده مسئول:

تنوع خشکی باعث ایجاد مکانیسم‌های مختلف تحمل در سطوح موجود زنده می‌شود (Monneveux & Belhassen, 1996). تنش خشکی یک پدیده طبیعی است که در گیاهان به وجود می‌آید. علت اصلی تنش آب در گیاه افزایش میزان تلفات آب، یا کافی نبودن میزان جذب آب و یا ترکیبی از هر دو عامل است که بر اثر آن میزان تلفات آب ناشی از تعرق بر میزان جذب آن توسط ریشه‌ها پیشی گرفته و میزان تنش افزایش می‌یابد (Hajebi & Heydari Sharif Abad, 2005).

کمی‌سازی تأثیر تشعشع خورشیدی بر روی فتوسنتز جامعه گیاهان زراعی و تولید ماده خشک تا قبل از سال ۱۹۵۰ میلادی چندان مورد توجه نبود (Sinclair et al., 1992). وفابخش و همکاران (Vafa Bakhsh et al., 2008) گزارش کردند که کلزا تحت تنش برای ایجاد تحمل به تنش خشکی به عوامل دیگری غیر از کارایی مصرف نور (RUE)<sup>۱</sup> وابستگی دارد و مکانیسم‌های تحمل خود را از آن‌ها کسب می‌کند. عزیز و آروین (Azizi & Arvin, 2008) گزارش کردند که کارایی مصرف نور و اجزای عملکرد از مؤلفه‌های تأثیرگذار در شکل‌گیری عملکرد نهایی دانه در گیاه کلزا، بودند.

توزیع ماده خشک به معنی تخصیص آسیمیلات‌های حاصل از فرایند فتوسنتز به اندام‌های مختلف گیاه می‌باشد. این آسیمیلات‌ها در واقع به اندام‌های رویشی روی زمین و زیرزمین و اندام‌های ذخیره‌ای اختصاص می‌یابند (Jichuan et al., 2012). لطیفی (Latifi, 1995) با بررسی توزیع مواد خشک ساخته شده در گیاه کلزا نشان داد که حدود ۱۷ درصد از کل ماده خشک در مرحله رسیدگی دانه‌ها، در شرایط بدون تنش، به دانه‌ها تعلق می‌گیرد و این درصد در شرایط تنش خشکی حدود پنج درصد است.

باکتری‌های محرک رشدی بدون ایجاد روابط همزیستی توانایی تحریک رشد گیاه میزبان را دارند. این دسته از باکتری‌ها از توانایی خوبی برای کلونیزاسیون ریشه برخوردار بوده و با استفاده از مکانیسم‌های مختلف قادر به افزایش رشد گیاه میزبان می‌باشند (Klopper et al., 1987). تا چند دهه اخیر اصطلاح PGPR به انواعی از باکتری‌های ریشه‌گاهی اطلاق می‌شد که به طور غیرمستقیم و از طریق کنترل عوامل بیماری‌زای گیاهی، شرایط مناسب برای رشد گیاهان را فراهم می‌کردند. ولی بعدها محققین با بیان آثار مفیدی که از سوی باکتری‌های ریشه‌گاهی به طور مستقیم

(*guineensis* L.) در فرآورده‌های روغن نباتی احراز کرده است (Arvin et al., 2009). ویژگی‌های خاص گیاه کلزا و سازگاری آن با شرایط آب و هوایی اکثر نقاط کشور باعث شده است که توسعه کشت این گیاه به عنوان نقطه امیدی جهت تأمین روغن خام مورد نیاز کشور و رهایی از وابستگی به شمار برود، به طوری که در حال حاضر کلزا نقطه ثقل طرح‌های افزایش تولید دانه‌های روغنی محسوب می‌گردد (Lotfali Ayeneh, 2012).

آب یکی از فاکتورهای محدودیت تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک است (Smith, 2000). کشور ایران در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان واقع شده است و متوسط بارندگی آن ۲۵۰ میلی‌متر است که فقط یک سوم مقدار متوسط باران جهان است (Food and Agriculture Organization, 2007). شدیدترین اثر کمبود آب در مراحل ابتدایی رشد رویشی، کاهش سطح برگ است (Lambers et al., 2008). علت اصلی تنش آب در گیاهان افزایش میزان تلفات آب، یا کافی نبودن میزان جذب آب و یا ترکیبی از هر دو عامل است که بر اثر آن میزان تلفات آب ناشی از تعرق بر میزان جذب آن توسط ریشه‌ها پیشی گرفته و میزان تنش افزایش می‌یابد (Hajebi & Heydari Sharif Abad, 2005). موسوی و همکاران (Mousavi et al., 2010) با بررسی اثر تنش کم‌آبی بر کارایی مصرف آب کلزا، میانگین کارایی مصرف آب در شرایط تنش ۶/۶ کیلوگرم بر متر مکعب آب با مصرف ۳۴۱۲/۳ متر مکعب آب و در شرایط عدم تنش ۴/۵ کیلوگرم بر متر مکعب آب با مصرف ۴۶۱۲/۳ متر مکعب آب گزارش نمودند. همچنین بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به رقم هایولا ۴۰۱ با کارایی ۷/۴ کیلوگرم بر متر مکعب آب در شرایط تنش و کمترین مربوط به رقم گلد راش با کارایی ۲/۶ کیلوگرم بر متر مکعب در شرایط عدم تنش بود. کارایی مصرف آب در تولید روغن در ارقام مورد آزمایش تفاوت معنی دار داشت. این محققان همچنین بیان داشتند که رقم هایولا ۴۰۱ با ۰/۲۸ کیلوگرم روغن بر متر مکعب آب در شرایط عدم تنش بیشترین کارایی و رقم بی پی ۱۸ با ۰/۰۶ کیلوگرم روغن بر متر مکعب آب در شرایط تنش کمترین کارایی را داشت.

خشکی یکی از عمده‌ترین موانع برای تولید موفق محصولات زراعی است. عوامل مختلفی خشکی را ایجاد می‌کند که کمبود آب، پایین بودن رطوبت نسبی هوا، گرما، یخبندان و شوری از جمله آن‌ها است. ترکیب این عوامل منجر به ایجاد انواع خشکی می‌شود. این

توسعه ریشه‌ها انجام شد.

فاکتورهای مورد بررسی در این دو آزمایش شامل:

الف: فاکتور اول شامل، چهار سطح تلقیح با باکتری *Sudomonas* (تلقیح با "سودوموناس فلورسنس ۱۶۹ *Pseudomonas fluorescens*"، "سودوموناس پوتیدا ۱۰۸ *P. putida*"، مخلوط دو سویه و تیمار شاهد بدون تلقیح)

ب: فاکتور دوم شامل شش ژنوتیپ کلزا از سه گونه *براسیکا* که شامل Hyolla 330, Hyolla 401 متعلق به گونه *B. napus* و Parkland, Goldrush متعلق به گونه *B. rapa* و BP18, Landrace متعلق به گونه *B. juncea* بودند.

زمینی که برای طرح انتخاب شد در سال زراعی قبل آیش بود و بستر کاشت توسط دو دیسک عمود بر هم و لولر آماده گردید. کودهای پایه بر مبنای آزمون خاک (جدول ۲) به صورت ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار N، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار K<sub>2</sub>O قبل از کاشت و توسط دیسک با خاک مخلوط شد.

کشت بذر توسط بذرکار ویتراشناایگر در تاریخ شش مهر ۱۳۸۹ انجام گرفت. ابعاد کرت‌ها ۱/۵ × ۸ متر و در هر کرت چهار خط کشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و تراکم ۹۰ بوته در مترمربع بود و فاصله بین بلوک‌ها از یکدیگر سه متر منظور شد.

برای تهیه مایه تلقیح از پرلیت به عنوان حامل استفاده شد. تراکم جمعیت باکتری در مایه تلقیح‌های ۱۰۸ و ۱۶۹ نیز به ترتیب ۱۰۹ × ۱/۰ و ۱/۲۵ × ۱۰۹ سلول به ازای هر گرم مایه تلقیح بود. برای تلقیح بذر کلزا ابتدا مقدار کافی بذر داخل کیسه پلاستیکی ریخته شد، سپس چند قطره از صمغ عربی ۴۰ درصد به آن اضافه و به طور کامل به هم زده شد، آن‌گاه مقدار یک گرم از هر یک از مایه تلقیح‌ها به بذر چسبناک اضافه و محتویات به خوبی تکان داده شده، به طوری که پوشش یکنواختی از مایه تلقیح روی بذرها را بپوشاند. سپس بذرها روی فویل آلومینیم ریخته شد و با دست کشت شدند. لازم بود کشت هر تیمار در تمام تکرارها توسط کارگر جداگانه انجام شود تا نیاز به شستن دست‌ها در هنگام کشت تیمار بعدی نداشته باشد.

مبارزه با کانون‌های شته مومی که یکی از آفات خطرناک کلزا است با استفاده از اختلاط سموم شیمیایی متاستیتوکس و دیازینون هر کدام به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار در فروردین ماه انجام شد.

بر رشد گیاهان اثر می‌کند (Defreitasl & Germida, 1990) و همچنین باعث مقاومت گیاه به تنش‌های غیر زنده می‌شود (Glick et al., 1995)، گروه میکروارگانیسم‌های ریشه‌گامی محرک رشد گیاه را گسترش دادند. لوسی و همکاران (Lucy et al., 2004) مزایای تلقیح گیاه با باکتری‌های محرک رشد را شامل افزایش شاخص‌های متعددی مانند سرعت جوانه‌زنی، رشد ریشه، میزان تولید در واحد سطح، وزن اندام هوایی و ریشه، سطح برگ، محتوای کلروفیل، همچنین کنترل زیستی عوامل بیماری‌زا، مقاومت به خشکی و افزایش فعالیت میکروبی بیان کردند.

بنابراین با توجه به خشک بودن ایران از لحاظ اقلیمی از یک سو و تأثیر باکتری‌های ریشه‌گامی محرک رشد گیاه در جهت افزایش مقاومت به تنش‌های غیر زنده و بالا بردن راندمان برای تأمین آب در جهت تخفیف تأثیر خشکی و همچنین اهمیت توسعه کشت دانه‌های روغنی به ویژه کلزا در کشور، تحقیق حاضر با هدف مطالعه اثر تنش خشکی و باکتری‌های محرک رشد گیاهی بر کارایی مصرف نور و ضریب تخصیص مواد به غلاف در ارقام کلزا طراحی و اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

این طرح در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (ایستگاه طرق مشهد) در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ انجام شد. از نظر موقعیت جغرافیایی، مزرعه آزمایشی در جنوب شرقی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا واقع شده بود. متوسط بارندگی منطقه سالیانه ۲۸۶ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد است. وضعیت عمومی آب و هوای منطقه در طول ماه‌های سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ بر اساس آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مشهد (فاصله دو کیلومتری محل اجرای طرح) در جدول ۱ آمده است.

این تحقیق بر اساس دو آزمایش همزمان (تنش خشکی و بدون تنش) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (ایستگاه طرق مشهد) انجام شد. در آزمایش تنش خشکی، اعمال تنش بروی تیمارها به صورت قطع دوره‌های آبی از مرحله شروع به ساقه رفتن اعمال شد و در آزمایش بدون تنش، آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در عمق

جدول ۱- آمار هواشناسی از ایستگاه هواشناسی مشهد (۹۰-۱۳۸۹)

Table 1- climate data of experimental were taken from of Mashhad Metrological data (2010-2011)

ماه Month	دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد) Max temperature (°C)	دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد) Min temperature (°C)	بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)	تبخیر (میلی‌متر) Evaporation (mm)
مهر September	24.9	9.6	0	149.2
آبان October	19.9	4.7	8.6	85
آذر November	17.7	1.2	0	6.9
دی December	10	-2.8	13.1	0
بهمن January	9.8	-0.8	41.3	0
اسفند February	10.6	0.2	22.4	0
فروردین March	22.3	7.6	10.1	160.3
اردیبهشت April	30	15.5	15.4	224.9
خرداد May	34.4	19.4	6.4	317.3

جدول ۲- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of soil in experimental site

عمق (سانتی- متر) Depth (cm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS.m <sup>-1</sup> )	بافت Texture	شن (درصد) Sand (%)	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	کربن آلی (درصد) O.C. (%)	نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) Potassium (mg.kg <sup>-1</sup> )	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) Phosphorous (mg.kg <sup>-1</sup> )
0-60	8	1.4	Silty loam	35	20.6	44.4	0.53	0.066	201	14.4

تاج پوشش گیاهی آن کرت استفاده شد. اندازه‌گیری تشعشع تا بسته شدن تاج پوشش گیاهی کلزا (قبل از ریزش برگ‌ها) حدوداً در فاصله ساعت ۱۱ تا ۱۳ (ظهر خورشیدی) انجام شد. این اندازه‌گیری‌ها دقیقاً قبل از نمونه‌برداری ماده خشک صورت می‌گرفت. یادداشت برداری از تشعشع ورودی و جذب شده توسط تاج پوشش گیاهی انجام شد و بعد از آن مقدار کسر تشعشع دریافت شده (F) از طریق معادله زیر محاسبه گردید (Soltani et al., 2006):

$$F = 1 - \frac{BLW}{UP} \quad (1)$$

#### محاسبه کارایی مصرف نور

برای سنجش نسبت تشعشع دریافتی از دستگاه (Sunsan Model: SSI-UM-1/05) استفاده شد. برای این منظور ابتدا دستگاه مطابق با شرایط منطقه تنظیم شد و براساس روش (Whilhelm et al., 2000) ابتدا پروب این دستگاه در زیر گیاهان، نزدیک سطح خاک قرار می‌گرفت به طوری که انتها و ابتدای پروب دستگاه در فاصله بین ردیف‌ها قرار داشته باشد، سپس میزان تشعشع ورودی و پایین تاج پوشش گیاهی ثبت می‌گردید. این عمل در هر کرت سه مرتبه انجام شد و از میانگین آن‌ها برای مقادیر تشعشع ورودی و زیر

ساعات آفتابی برای هر روز در این مدت از اداره هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مشهد گرفته شد و به تشعشع خورشیدی رسیده تبدیل شد (Soltani et al., 2006). مقادیر تشعشع خورشیدی رسیده روزانه از حاصلضرب تشعشع خورشیدی رسیده و کسر تشعشع دریافت شده (F) در هر روز محاسبه گردید. سپس برای به دست آوردن تشعشع خورشیدی رسیده تجمعی، مقدار تشعشع خورشیدی رسیده هر روز (روزانه) با مجموع تشعشع رسیده روزهای قبل جمع شد. کارایی مصرف نور از برازش رابطه خطی بین تشعشع تجمعی دریافت شده و ماده خشک تجمعی محاسبه شد که شیب این خط کارایی مصرف نوری باشد (Azizi & Arvin, 2008).

در این معادله، پارامترهای F: کسر تشعشع دریافت شده، BLW: نور زیر تاج پوشش گیاهی، UP: نور در بالای تاج پوشش گیاهی بودند. برای پیدا کردن مقدار کسر تشعشع دریافت شده (F) در حد فاصل روزهای نمونه برداری، از معادله‌های (۲) و (۳) استفاده شد.

$$F = F_1 + R(X - X_1) \quad (2)$$

$$R = \frac{F_2 - F_1}{X_2 - X_1} \quad (3)$$

در این معادله، F: کسر تشعشع دریافت شده (بین نقاط نمونه برداری)، F<sub>1</sub> و F<sub>2</sub>: کسر تشعشع دریافت شده در نقاط نمونه برداری، X<sub>1</sub> و X<sub>2</sub>: روز بعد از کاشت در زمان یادداشت برداری از تشعشع، X: روز بعد از کاشت مشخص (بین نقاط نمونه برداری) بودند.

جدول ۳- کارایی مصرف نور (RUE+SE)، ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و ضریب تغییرات (CV) کلزا بر اساس برهمکنش باکتری در رقم در شرایط عدم تنش

Table 3- Radiation use efficiency (RUE±SE), determination coefficient (R<sup>2</sup>) and coefficient variation (CV) of canola based on interaction of bacteria × cultivar under non-stress condition

تیمار Treatment	کارایی مصرف نور RUE+SE	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
b <sub>0</sub> v <sub>1</sub>	0.41385 ± 0.03896	0.97	5.12
b <sub>0</sub> v <sub>2</sub>	0.37544 ± 0.05457	0.94	8.19
b <sub>0</sub> v <sub>3</sub>	± 0.09588 0.17546	0.52	14.66
b <sub>0</sub> v <sub>4</sub>	± 0.14365 0.54431	0.82	23.45
b <sub>0</sub> v <sub>5</sub>	0.11065 ± 0.01122	0.97	3.32
b <sub>0</sub> v <sub>6</sub>	0.15730 ± 0.01262	0.98	2.16
b <sub>1</sub> v <sub>1</sub>	0.29573 ± 0.03779	0.95	6.44
b <sub>1</sub> v <sub>2</sub>	0.57208 ± 0.04033	0.98	5.35
b <sub>1</sub> v <sub>3</sub>	0.37950 ± 0.20143	0.54	23.46
b <sub>1</sub> v <sub>4</sub>	0.28681 ± 0.02459	0.97	4.84
b <sub>1</sub> v <sub>5</sub>	0.28180 ± 0.02039	0.98	3.19
b <sub>1</sub> v <sub>6</sub>	0.35451 ± 0.05969	0.92	12.37
b <sub>2</sub> v <sub>1</sub>	0.24351 ± 0.03205	0.95	4.98
b <sub>2</sub> v <sub>2</sub>	0.32751 ± 0.02894	0.97	4.13
b <sub>2</sub> v <sub>3</sub>	0.13254 ± 0.01374	0.96	2.52
b <sub>2</sub> v <sub>4</sub>	0.62885 ± 0.08687	0.94	13.26
b <sub>2</sub> v <sub>5</sub>	0.21935 ± 0.06347	0.79	12.63
b <sub>2</sub> v <sub>6</sub>	0.33656 ± 0.04433	0.95	9.56
b <sub>3</sub> v <sub>1</sub>	0.34766 ± 0.04409	0.95	6.04
b <sub>3</sub> v <sub>2</sub>	0.50239 ± 0.08171	0.92	9.98
b <sub>3</sub> v <sub>3</sub>	0.30836 ± 0.03317	0.96	8.08
b <sub>3</sub> v <sub>4</sub>	0.29989 ± 0.04290	0.94	9.77
b <sub>3</sub> v <sub>5</sub>	0.17658 ± 0.18861	0.22	22.04
b <sub>3</sub> v <sub>6</sub>	0.29900 ± 0.04375	0.93	8.13

B<sub>0</sub>: عدم تلقیح، B<sub>1</sub>: تلقیح دو نژاد باکتری (*Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*)، B<sub>2</sub>: تلقیح با باکتری *Pseudomonas fluorescens*، B<sub>3</sub>: تلقیح با باکتری *Pseudomonas putida*، V<sub>1</sub>: رقم Hayola 401، V<sub>2</sub>: رقم Hayola 330، V<sub>3</sub>: رقم Parkland، V<sub>4</sub>: رقم Goldrush، V<sub>5</sub>: رقم BP18 و V<sub>6</sub>: رقم Landrace

B<sub>0</sub>: Control, B<sub>1</sub>: B<sub>2</sub>+B<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>: *Pseudomonas fluorescens*, B<sub>3</sub>: *Pseudomonas putida*, V<sub>1</sub>: Hayola401, V<sub>2</sub>: Hayola330, V<sub>3</sub>: Parkland, V<sub>4</sub>: Goldrush, V<sub>5</sub>: BP18 and V<sub>6</sub>: Landrace

کل بخش هوایی در اندام مورد نظر در فاصله زمانی بین دو نمونه برداری، با استفاده از این فرمول توزیع ماده خشک به غلاف محاسبه گردید. ضرایب توزیع با استفاده از برازش معادله خطی بین ماده خشک هر اندام در مقابل ماده خشک اندام هوایی به صورت شیب خط حاصله به دست آمد (Arvin et al., 2014).  
برای تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 استفاده شد.

محاسبه ضریب تخصیص مواد به غلاف  
ضریب توزیع برای اندام‌های مختلف بر اساس فرمول زیر به دست می‌آید (Rizzalli et al., 2002):

$$PC_i = \frac{\Delta DM_i}{\Delta DM_{tot}} \quad (4)$$

که در این معادله،  $PC_i$ : ضریب توزیع ماده خشک برای اندام  $i$  در فاصله زمانی بین دو نمونه برداری،  $\Delta DM_i$ : تغییرات وزن خشک اندام مورد نظر بین دو نمونه برداری،  $\Delta DM_{tot}$ : تغییرات وزن خشک

جدول ۴- کارایی مصرف نور (RUE+SE)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضریب تغییرات (CV) کلزا بر اساس برهم کنش باکتری در رقم در شرایط تنش  
Table 4- Radiation use efficiency (RUE±SE), determination coefficient ( $R^2$ ) and coefficient variation (CV) of canola based on interaction of bacteria × cultivar under stress condition

تیمار Treatment	کارایی مصرف نور RUE±SE	ضریب تبیین $R^2$	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
b <sub>0</sub> v <sub>1</sub>	0.34343±0.13491	0.68	19.34
b <sub>0</sub> v <sub>2</sub>	0.45520 ± 0.5903	0.95	8.09
b <sub>0</sub> v <sub>3</sub>	0.14846 ± 0.05812	0.68	18.36
b <sub>0</sub> v <sub>4</sub>	0.38890 ± 0.03265	0.97	4.90
b <sub>0</sub> v <sub>5</sub>	0.17719 ± 0.01606	0.97	2.11
b <sub>0</sub> v <sub>6</sub>	0.40572 ± 0.06642	0.92	11.30
b <sub>1</sub> v <sub>1</sub>	0.35727 ± 0.10579	0.79	17.90
b <sub>1</sub> v <sub>2</sub>	0.34434 ± 0.12641	0.71	21.03
b <sub>1</sub> v <sub>3</sub>	0.24161 ± 0.03926	0.92	7.46
b <sub>1</sub> v <sub>4</sub>	0.11895 ± 0.01318	0.96	2.46
b <sub>1</sub> v <sub>5</sub>	0.11551 ± 0.01050	0.97	1.44
b <sub>1</sub> v <sub>6</sub>	0.10049 ± 0.01788	0.91	2.89
b <sub>2</sub> v <sub>1</sub>	0.35585 ± 0.08749	0.84	14.22
b <sub>2</sub> v <sub>2</sub>	0.15210 ± 0.04453	0.79	9.00
b <sub>2</sub> v <sub>3</sub>	0.49800 ± 0.09302	0.90	12.70
b <sub>2</sub> v <sub>4</sub>	0.32667 ± 0.09621	0.79	17.24
b <sub>2</sub> v <sub>5</sub>	0.12412 ± 0.01923	0.93	2.53
b <sub>2</sub> v <sub>6</sub>	0.41287 ± 0.11384	0.81	23.81
b <sub>3</sub> v <sub>1</sub>	0.51708 ± 0.04288	0.97	7.44
b <sub>3</sub> v <sub>2</sub>	0.23534 ± 0.07865	0.74	13.29
b <sub>3</sub> v <sub>3</sub>	0.29006 ± 0.04486	0.93	8.18
b <sub>3</sub> v <sub>4</sub>	0.26010 ± 0.09049	0.73	18.17
b <sub>3</sub> v <sub>5</sub>	0.10320 ± 0.02278	0.87	5.90
b <sub>3</sub> v <sub>6</sub>	0.25438 ± 0.03242	0.95	9.29

B<sub>0</sub>: عدم تلقیح، B<sub>1</sub>: تلقیح دو نژاد باکتری (*Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*)، B<sub>2</sub>: تلقیح با باکتری *Pseudomonas fluorescens*، B<sub>3</sub>: تلقیح با باکتری *Pseudomonas putida*، V<sub>1</sub>: رقم Hayola 401، V<sub>2</sub>: رقم Hayola 330، V<sub>3</sub>: رقم Parkland، V<sub>4</sub>: رقم Goldrush، V<sub>5</sub>: رقم BP18 و V<sub>6</sub>: رقم Landrace  
B<sub>0</sub>: Control, B<sub>1</sub>: B<sub>2</sub>+P<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>: *Pseudomonas fluorescens*, B<sub>3</sub>: *Pseudomonas putida*, V<sub>1</sub>: Hayola401, V<sub>2</sub>: Hayola330, V<sub>3</sub>: Parkland, V<sub>4</sub>: Goldrush, V<sub>5</sub>: BP18 and V<sub>6</sub>: Landrace

جدول ۵- کارایی مصرف نور (RUE+SE)، ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و ضریب تغییرات (CV) کلزا بر اساس باکتری در شرایط عدم تنشTable 5-Radiation use efficiency (RUE±SE), determination coefficient (R<sup>2</sup>) and coefficient variation (CV) of canola based on bacteria under non-stress condition

باکتری Bacteria	کارایی مصرف نور RUE+SE	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
B <sub>0</sub>	0.37004 ± 0.05394	0.52	22.70
B <sub>1</sub>	0.34172 ± 0.07029	0.65	18.38
B <sub>2</sub>	0.39689 ± 0.07173	0.62	24.38
B <sub>3</sub>	0.37813 ± 0.05180	0.45	25.59

B<sub>0</sub>: عدم تلقیح، B<sub>1</sub>: تلقیح دو نژاد باکتری (*Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*)، B<sub>2</sub>: تلقیح با باکتری *Pseudomonas fluorescens* و B<sub>3</sub>:

تلقیح با باکتری *Pseudomonas*

B<sub>0</sub>: Control, B<sub>1</sub>: B<sub>2</sub>+B<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>: *Pseudomonas fluorescens* and B<sub>3</sub>: *Pseudomonas putida*

جدول ۶- کارایی مصرف نور (RUE+SE)، ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و ضریب تغییرات (CV) کلزا بر اساس باکتری در شرایط تنشTable 6- Radiation use efficiency (RUE±SE), determination coefficient (R<sup>2</sup>) and coefficient variation (CV) of canola based on bacteria under stress condition

باکتری Bacteria	کارایی مصرف نور RUE+SE	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
B <sub>0</sub>	0.30529 ± 0.06433	0.44	27.65
B <sub>1</sub>	0.21803 ± 0.03690	0.55	15.35
B <sub>2</sub>	0.34969 ± 0.05270	0.61	22.94
B <sub>3</sub>	0.30607 ± 0.05295	0.54	26.68

B<sub>0</sub>: عدم تلقیح، B<sub>1</sub>: تلقیح دو نژاد باکتری (*Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*)، B<sub>2</sub>: تلقیح با باکتری *Pseudomonas fluorescens* و B<sub>3</sub>:

تلقیح با باکتری *Pseudomonas*

B<sub>0</sub>: Control, B<sub>1</sub>: B<sub>2</sub>+B<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>: *Pseudomonas fluorescens* and B<sub>3</sub>: *Pseudomonas putida*

## نتایج و بحث

### کارایی مصرف نور

در این تحقیق با استفاده از مدل رگرسیون خطی ساده، رابطه بین ماده خشک تجمعی گیاه در مقابل تشعشع دریافت شده تجمعی بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی برآزش شد و شیب خط حاصله به عنوان کارایی مصرف نور بیان گردید. معمولاً یک رابطه خطی بین ماده خشک تجمعی و تشعشع دریافت شده تجمعی وجود دارد که شیب این خط کارایی مصرف نور را نشان می‌دهد (Sinclair et al., 1992). بر اساس مقادیر اشتباه معیار (SE) معادله‌های برآزش شده در این آزمایش مشخص گردید که تفاوت معنی‌داری بین ارقام، کاربرد باکتری و اثر متقابل باکتری در رقم هم به صورت مجزا و مقایسه‌ای در هر دو محیط (تنش خشکی و عدم تنش) وجود داشت. نتایج اثر متقابل باکتری در رقم نشان داد که باکتری *سودوموناس فلورسنس* در رقم گلدراش (B<sub>2</sub>V<sub>4</sub>) در محیط عدم تنش با ۰/۰۸ ±

۰/۶۲ گرم بر مگاژول بیشترین و تلقیح دو نژاد باکتری در رقم لندریس (B<sub>1</sub>V<sub>6</sub>) در محیط تنش با ۰/۱۰۰ ± ۰/۱۷۷ گرم بر مگاژول کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند (جدول‌های ۳ و ۴). در این تحقیق، تفاوت معنی‌داری در مقایسه دو محیط در سطح باکتری مشخص شد (جدول‌های ۵ و ۶) که بر این اساس باکتری *سودوموناس فلورسنس* در محیط بدون تنش بیشترین کارایی مصرف نور را با ۰/۳۹ ± ۰/۰۷۱ بر حسب گرم بر مگاژول و کمترین این مقدار مربوط به تلقیح دو نژاد باکتری در محیط تنش با ۰/۲۱ ± ۰/۰۳ گرم بر مگاژول حاصل شد.

در سطح رقم، رقم هایولا ۳۳۰ در شرایط عدم تنش با ۰/۰۴۷ ± ۰/۴۵ گرم بر مگاژول و هایولا ۴۰۱ در شرایط عدم تنش با ۰/۳۹ ± ۰/۰۳۸ گرم بر مگاژول بیشترین و رقم BP18 در شرایط تنش با ۰/۰۶ ± ۰/۱۱ گرم بر مگاژول کمترین این ضریب را نشان دادند (جدول ۷ و ۸).

جدول ۷- کارایی مصرف نور (RUE+SE)، ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و ضریب تغییرات (CV) کلزا بر اساس رقم در شرایط تنش  
 Table 7- Radiation use efficiency (RUE±SE), determination coefficient (R<sup>2</sup>) and coefficient variation (CV) of canola based on cultivar under non-stress condition

رقم Cultivar	کارایی مصرف نور RUE+SE	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
Hayola 401	0.39012 ± 0.03883	0.79	11.52
Hayola 330	0.45268 ± 0.04747	0.83	12.92
Parkland	0.24273 ± 0.06624	0.42	26.19
Goldrush	0.44341 ± 0.06721	0.70	24.40
BP18	0.15448 ± 0.05549	0.30	24.77
Landrace	0.28780 ± 0.03237	0.81	12.62

V<sub>1</sub>: رقم Hayola 401, V<sub>2</sub>: رقم Hayola 330, V<sub>3</sub>: Parkland, V<sub>4</sub>: Goldrush, V<sub>5</sub>: BP18, V<sub>6</sub>: رقم Landrace  
 V<sub>1</sub>: Hayola401, V<sub>2</sub>: Hayola330, V<sub>3</sub>: Parkland, V<sub>4</sub>: Goldrush, V<sub>5</sub>: BP18 and V<sub>6</sub>: Landrace

جدول ۸- کارایی مصرف نور (RUE+SE)، ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و ضریب تغییرات (CV) کلزا بر اساس رقم در شرایط تنش  
 Table 8- Radiation use efficiency (RUE±SE), determination coefficient (R<sup>2</sup>) and Coefficient variation (CV) of canola based on cultivar under stress condition

رقم Cultivar	کارایی مصرف نور RUE+SE	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
Hayola 401	0.29709 ± 0.04935	0.78	15.97
Hayola 330	0.28061 ± 0.05454	0.59	18.41
Parkland	0.28685 ± 0.08714	0.37	33.29
Goldrush	0.28297 ± 0.05259	0.61	18.70
BP18	0.11094 ± 0.06733	0.13	22.58
Landrace	0.26785 ± 0.06167	0.51	24.96

V<sub>1</sub>: رقم Hayola 401, V<sub>2</sub>: رقم Hayola 330, V<sub>3</sub>: Parkland, V<sub>4</sub>: Goldrush, V<sub>5</sub>: BP18 and V<sub>6</sub>: Landrace  
 V<sub>1</sub>: Hayola401, V<sub>2</sub>: Hayola330, V<sub>3</sub>: Parkland, V<sub>4</sub>: Goldrush, V<sub>5</sub>: BP18 and V<sub>6</sub>: Landrace

می‌شود گیاهان با متعادل کردن حفظ آماس و کاهش هدر رفتن آب زنده بمانند (Lambers et al., 2008) یکی دیگر از جنبه‌های مقاومت گیاهان در مقابل خشکی، کوچک‌تر شدن برگ‌ها و تغییر جهت آن‌ها در خلاف نور خورشید می‌باشد که در این صورت بافت‌ها کمتر در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند (Saglam et al., 2008). پس در مجموع کاهش راندمان مصرف نور در شرایط تنش خشکی را می‌توان به تغییرات مرفولوژیک و اکوفیزیولوژیکی که در گیاهان تحت تنش رخ می‌دهد و پیامد آن کاهش دریافت و جذب تشعشع خورشیدی است، دانست.

کولینو و همکاران (Collino et al., 2001) نیز کاهش کارایی مصرف نور در شرایط تنش خشکی را در بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) گزارش کردند.

تأثیر تنش خشکی و محدودیت رطوبتی آن بر توسعه تاج پوشش گیاهی، بسیاری از خصوصیات آن را در مقایسه با شرایط بهینه تغییر

نتایج این تحقیق نشان داد که ضرایب این معادله در هر سه سطح (باکتری، رقم و باکتری در رقم) در شرایط عدم تنش بالاتر از محیط تنش بود. پس این گونه به نظر می‌رسد که تنش خشکی از طریق اختلال در فرآیندهای رشد سلولی، توسعه برگ و فتوسنتز باعث استفاده کمتر از نور خورشید، کاهش ساخت مواد و در نهایت کاهش کارایی مصرف نور خورشید در مقایسه با شرایط عدم تنش شد. به عبارتی دیگر تنش خشکی از یک سو با کاهش رشد و ماده‌سازی از توسعه سطح برگ ممانعت می‌کند، از سوی دیگر خشکی با تأثیر بر تخریب سلول‌های برگ و نکروزه شدن برگ‌ها، سطح برگ را در گیاه کاهش می‌دهد که این خود یکی از عمده دلایل کاهش میزان کارایی مصرف نور در گیاه به حساب می‌آید. کاهش جذب نور از طریق لوله شدن یا تا خوردن برگ‌ها نیز می‌تواند عامل مهم دیگری باشد. چرا که در شرایط تنش خشکی تغییر شکل دادن برگ‌ها و جمع شدن آن‌ها سطح تبخیر را کاهش داده (Taiz & Zeiger, 2010) و باعث



آزمایش به دست آوردند (جدول‌های ۷ و ۸). بالا بودن RUE در هیبرید هایولا ۳۳۰ در عدم تنش و هایولا ۴۰۱ در تنش را می‌توان این گونه توجیه کرد که توزیع و آرایش مناسب و یکنواخت برگ‌ها در کل تاج پوشش گیاهی گیاه سبب شد تا حداقل سایه‌اندازی برگ‌ها روی هم و حداکثر نفوذ نور به درون تاج پوشش گیاهی گیاه حادث شود و در نتیجه بهره‌وری مناسب از نور خورشید موجب حصول RUE بالاتری در این رقم گردید. عزیززی و آروین (Azizi & Arvin, 2008) برتری عملکرد و کارایی مصرف نور را در هیبرید هایولا ۳۳۰ و هایولا ۴۰۱ نسبت به سایر ارقام مورد بررسی گزارش کردند. پایین بودن RUE در رقم BP18 در تنش خشکی (جدول‌های ۷ و ۸) را می‌توان به ساختار خاص برگ‌های این گونه (*B. juncea*) و تنش خشکی ربط داد. گونه خردل وحشی نسبت به دو گونه شلغم روغنی و کلزای معمولی سطح برگ کوچکتری دارد (Azizi et al., 2006). خشکی سبب کاهش در اندازه برگ‌ها، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، تعداد برگچه و متوسط سطح برگ می‌شود (Hu et al., 2014). پس در مجموع خشکی بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه تأثیر گذاشته و پیامد آن نیز می‌تواند کاهش کارایی مصرف نور نیز باشد.

کارایی مصرف نور (RUE) عبارت از مقدار ماده خشک تولید شده بر حسب گرم به ازای هر مگاژول انرژی خورشیدی دریافت شده، است (Azizi & Purcell et al., 2002; Soltani et al., 2006). Arvin, 2008; برخی از منابع بر استفاده از مقادیر متفاوت کارایی مصرف نور در گونه‌های متفاوت گیاهی و شرایط فراهمی متغییر نهاده‌ها تأکید کرده‌اند (Gallo et al., 1993)، اما سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2006) معتقدند که میزان کارایی مصرف نور در بخش بزرگی از دوره زندگی گیاه ثابت می‌باشد.

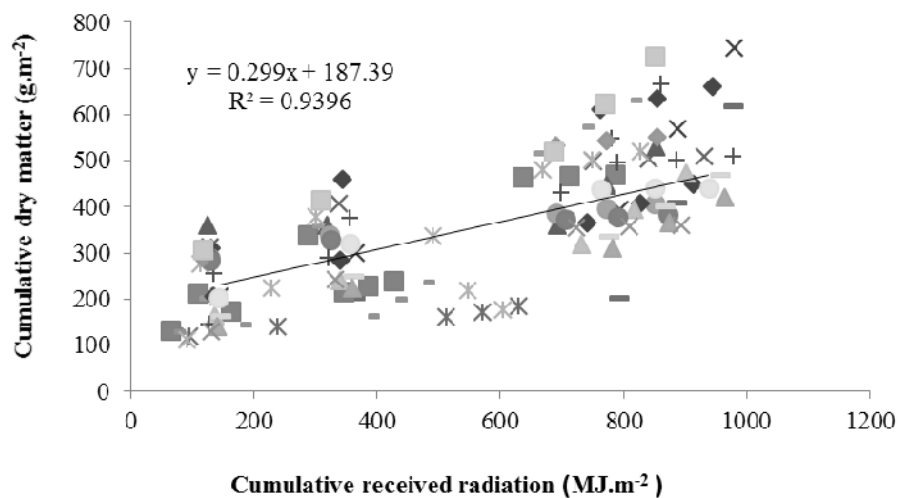
کلیه ترکیبات تیماری در شرایط عدم تنش و تنش انتخاب شدند و خط فرضی (از بین کلیه نقاط عبور داده شده) به عنوان RUE مطابق شکل‌های ۱ و ۲ رسم شدند و شیب بیشتر کارایی مصرف نور در شرایط عدم تنش نسبت به تنش مشهود بود. بالا بودن شیب کارایی مصرف نور نشان‌دهنده بازدهی بالای گیاه از استفاده از نور خورشید و تبدیل آن به ماده خشک است پس در مجموع، فراهم بودن نهاده‌ها (شرایط عدم تنش) و معماری و ساختار خوب تاج پوشش گیاهی منجر به افزایش RUE می‌شود (Azizi & Arvin, 2008) که این مهم در نتایج این آزمایش در مورد هیبریدهای هایولا در

می‌دهد. برگ‌ها معمولاً در این شرایط کوچک‌تر است و زاویه عمودی‌تری دارند (Lambers et al., 2008). علاوه بر این تولید پنجه کمتر در شرایط تنش رطوبتی، باعث می‌شود که شاخص سطح برگ کاهش یابد، در نهایت به دلیل تسریع در پیری برگ‌ها، دوام سطح برگ کاهش می‌یابد که در مجموع پتانسیل جذب و ساخت را در شرایط تنش خشکی کاهش می‌دهد (Earl & Davis, 2003; Kumar et al., 1994; Tesfay et al., 2006).

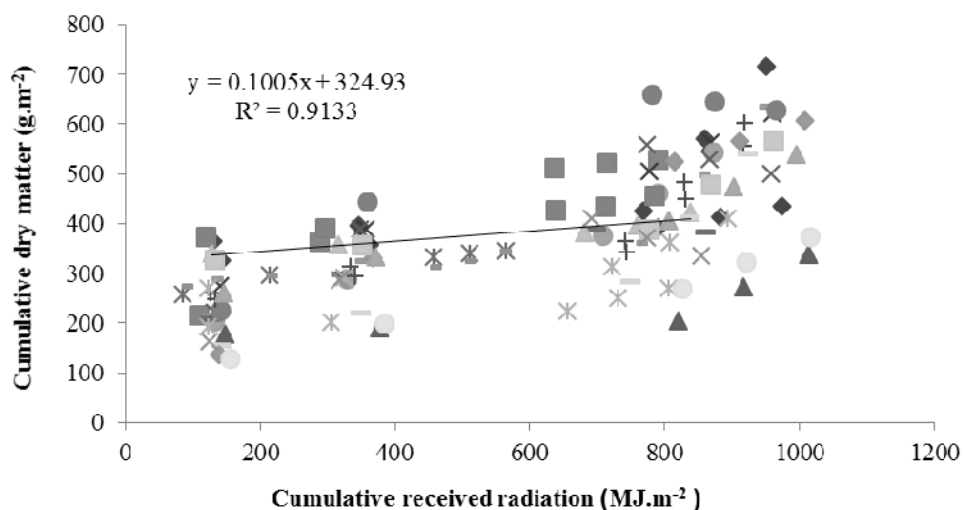
نتایج نشان داد که به ترتیب کاربرد باکتری سودوموناس فلورسنس و سودوموناس پوتیدا بالاترین تأثیر را هم به صورت مقایسه‌ای و هم مجزاً، در کارایی مصرف نور داشتند (جدول‌های ۵ و ۶). پس این گونه به نظر می‌رسد که کاربرد باکتری در شرایط تنش نسبت به عدم کاربرد آن از طریق ایجاد کلونی در اطراف ریشه و نگهداری و جذب رطوبت و تخفیف شرایط تنش، باعث بالا رفتن کارایی مصرف نور شده است که این مهم می‌تواند در ساخت عملکرد نهایی نقش پر رنگی داشته باشد. باکتری‌های محرک رشد قادرند از طریق مکانیسم‌های مختلف موجب افزایش جذب مواد غذایی شوند. در اغلب تحقیقات توانایی سویه‌های PGPR در تولید هورمون‌های گیاهی و افزایش رشد روی توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه ثابت شده است که سبب جذب آسان‌تر و سریع‌تر عناصر غذایی و آب از خاک به عنوان عامل اصلی افزایش رشد در اندام‌های هوایی گیاه میزبان گردیده است (Egamberdiyera et al., 2002; Patten & Glick, 1996). نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که ترکیب دو نژاد باکتری هم اثر منفی و آنتاگونیسمی بر کارایی مصرف نور داشت و مقدار عددی آن حتی از عدم کاربرد باکتری هم کمتر بود (جدول‌های ۵ و ۶). این گونه به نظر می‌رسد که ترکیب دو نژاد باکتری در محیط ریزوسفر خاک و پیرامون ریشه باعث پیدایش رقابت بین این دو نژاد باکتری شد و در نهایت، این ترکیب تیماری اثر خوب و مثبتی بر کارایی مصرف نور نداشت. رقابت در یک محیط در جایی اتفاق می‌افتد که وجود منابع برای هر دو اندام یا گیاه مرتبط با یکدیگر محدود باشد و اگرچه یک عضو ممکن است در نهایت بر دیگری غلبه کند، اما هر دو گونه هنگامی که بدین گونه عمل می‌کنند از زمانی که اصلاً اثر متقابلی نداشته‌اند، وضعیت بدتری خواهند داشت (Nassiri et al., 2007).

هیبریدهای هایولا در این آزمایش در هر دو محیط به طور معنی‌داری کارایی مصرف نور بالاتری را نسبت به سایر ارقام مورد

شرایط عدم تنش حاصل شد (جدول‌های ۷ و ۸). بررسی‌ها تأیید می‌شود (Han et al., 2008). کاهش سطح برگ منجر به کم شدن مقادیر کارایی مصرف نور نموده‌اند که اعمال تنش خشکی از طریق کاهش نرخ فتوسنتز و



شکل ۱- برازش رابطه خطی بین ماده خشک کل تجمعی در برابر تشعشع دریافت شده تجمعی کلزا در محیط عدم تنش  
Fig. 1- Fitness of liner relationship between cumulative dry matter in versus of cumulative absorbed radiation of canola under non-stress conditions



شکل ۲- برازش رابطه خطی بین ماده خشک کل تجمعی در برابر تشعشع دریافت شده تجمعی در محیط تنش  
Fig. 2- Fitness of liner relationship between cumulative dry matter in versus of cumulative absorbed radiation under stress conditions

## ضریب تخصیص مواد به غلاف

بر اساس معادله رگرسیون ساده خطی ( $y=a+bx$ ) بین ماده خشک تجمعی غلاف در مقابل ماده خشک کل تجمعی اندام هوایی یک رابطه وجود داشت که بیان کننده ضریب تخصیص مواد به غلاف بود که به نوعی بازده اقتصادی گیاه را نشان می دهد. نتایج تجزیه رگرسیونی و مقادیر اشتباه معیار (SE) نشان داد که تفاوت معنی داری بین ارقام، اثر متقابل رقم در باکتری در هر دو محیط تنش خشکی و عدم تنش خشکی وجود داشت و همچنین در سطح باکتری تفاوت

معنی داری فقط در محیط عدم تنش مشاهده گردید.

نتایج مقایسه دو محیط نشان داد (جدول های ۹ و ۱۰) در سطح باکتری در رقم، باکتری سودوموناس فلورسنس در رقم هایولا ۳۳۰ ( $B_2V_2$ ) در محیط عدم تنش با  $0.08 \pm 0.93$  گرم ماده خشک غلاف به گرم ماده خشک اندام هوایی بیشترین و تلفیق دو نژاد باکتری در رقم BP18 ( $B_1V_5$ ) در محیط تنش با  $0.02 \pm 0.16$  گرم ماده خشک غلاف به گرم ماده خشک اندام هوایی کمترین ضریب تخصیص را داشتند.

جدول ۹- ضریب تخصیص مواد به غلاف ( $b \pm SE$ )، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضریب تغییرات (CV) کلزا بر اساس بر همکنش باکتری در رقم در شرایط عدم تنش

Table 9- Material partitioning coefficient into pod ( $b \pm SE$ ), determination coefficient ( $R^2$ ) and coefficient variation (CV) of canola based on interaction of bacteria  $\times$  cultivar under non-stress condition

تیمار Treatment	ضریب تخصیص مواد به غلاف $b \pm SE$	ضریب تبیین $R^2$	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
$b_0v_1$	$0.74216 \pm 0.04029$	0.99	0.37
$b_0v_2$	$0.78128 \pm 0.15258$	0.92	2.02
$b_0v_3$	$0.61429 \pm 0.06426$	0.97	1.16
$b_0v_4$	$0.65112 \pm 0.03510$	0.99	1.40
$b_0v_5$	$0.56934 \pm 0.08952$	0.95	3.25
$b_0v_6$	$0.55141 \pm 0.03755$	0.99	1.10
$b_1v_1$	$0.66006 \pm 0.05438$	0.98	0.78
$b_1v_2$	$0.68650 \pm 0.08902$	0.96	1.12
$b_1v_3$	$0.60528 \pm 0.03029$	0.99	0.50
$b_1v_4$	$0.68792 \pm 0.03491$	0.99	0.66
$b_1v_5$	$0.29811 \pm 0.00771$	0.99	0.59
$b_1v_6$	$0.53620 \pm 0.02090$	0.99	0.96
$b_2v_1$	$0.73129 \pm 0.11996$	0.94	1.57
$b_2v_2$	$0.93934 \pm 0.08488$	0.98	0.87
$b_2v_3$	$0.61054 \pm 0.02851$	0.99	0.58
$b_2v_4$	$0.66344 \pm 0.05029$	0.98	0.61
$b_2v_5$	$0.37668 \pm 0.04452$	0.97	3.02
$b_2v_6$	$0.67266 \pm 0.01635$	0.99	0.34
$b_3v_1$	$0.76210 \pm 0.05159$	0.99	0.67
$b_3v_2$	$0.83323 \pm 0.00714$	0.99	0.05
$b_3v_3$	$0.56083 \pm 0.10004$	0.94	3.10
$b_3v_4$	$0.61084 \pm 0.07968$	0.96	1.11
$b_3v_5$	$0.48277 \pm 0.06377$	0.96	3.74
$b_3v_6$	$0.54659 \pm 0.06138$	0.97	1.63

$B_0$ : عدم تلقیح،  $B_1$ : تلفیق دو نژاد باکتری (*Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*)،  $B_2$ : تلقیح با باکتری *Pseudomonas fluorescens*،  $B_3$ : تلقیح با باکتری *Pseudomonas putida*،  $V_1$ : رقم Hayola 401،  $V_2$ : رقم Hayola 330،  $V_3$ : رقم Parkland،  $V_4$ : رقم Goldrush،  $V_5$ : رقم BP18 و  $V_6$ : رقم Landrace

$B_0$ : Control,  $B_1$ :  $B_2+B_3$ ,  $B_2$ : *Pseudomonas fluorescens*,  $B_3$ : *Pseudomonas putida*,  $V_1$ : Hayola401,  $V_2$ : Hayola330,  $V_3$ : Parkland,  $V_4$ : Goldrush,  $V_5$ : BP18 and  $V_6$ : Landrace

جدول ۱۰- ضریب تخصیص مواد به غلاف (b±SE)، ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و ضریب تغییرات (CV) کلزا بر اساس بر همکنش باکتری در رقم در شرایط تنش

Table 10- Material partitioning coefficient into pod (b±SE), determination coefficient (R<sup>2</sup>) and coefficient variation (CV) of canola based on interaction of bacteria × cultivar under stress condition

تیمار Treatment	ضریب تخصیص مواد به غلاف b±SE	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
b <sub>0</sub> v <sub>1</sub>	0.30820 ± 0.03637	0.9729	0.92376
b <sub>0</sub> v <sub>2</sub>	0.58528 ± 0.03176	0.9941	0.78261
b <sub>0</sub> v <sub>3</sub>	0.28590 ± 0.04653	0.9497	0.87657
b <sub>0</sub> v <sub>4</sub>	0.24906 ± 0.02866	0.9742	0.54244
b <sub>0</sub> v <sub>5</sub>	0.22055 ± 0.03197	0.9597	0.97711
b <sub>0</sub> v <sub>6</sub>	0.21698 ± 0.00796	0.9973	0.62753
b <sub>1</sub> v <sub>1</sub>	0.26597 ± 0.02070	0.9880	0.73636
b <sub>1</sub> v <sub>2</sub>	0.57717 ± 0.14283	0.8909	2.64247
b <sub>1</sub> v <sub>3</sub>	0.38473 ± 0.02262	0.9931	0.61555
b <sub>1</sub> v <sub>4</sub>	0.25012 ± 0.05317	0.9171	1.18790
b <sub>1</sub> v <sub>5</sub>	0.16343 ± 0.02100	0.968	1.39700
b <sub>1</sub> v <sub>6</sub>	0.24119 ± 0.03613	0.9570	0.9570
b <sub>2</sub> v <sub>1</sub>	0.25702 ± 0.04777	0.9354	1.12336
b <sub>2</sub> v <sub>2</sub>	0.35415 ± 0.01839	0.9946	0.36406
b <sub>2</sub> v <sub>3</sub>	0.20041 ± 0.04807	0.8968	1.59095
b <sub>2</sub> v <sub>4</sub>	0.26360 ± 0.02670	0.9799	0.93212
b <sub>2</sub> v <sub>5</sub>	0.17229 ± 0.00214	0.9997	0.10483
b <sub>2</sub> v <sub>6</sub>	0.33606 ± 0.05661	0.9463	2.07050
b <sub>3</sub> v <sub>1</sub>	0.28963 ± 0.03445	0.9725	1.71644
b <sub>3</sub> v <sub>2</sub>	0.62148 ± 0.31559	0.6598	6.80159
b <sub>3</sub> v <sub>3</sub>	0.21334 ± 0.03219	0.9565	2.30179
b <sub>3</sub> v <sub>4</sub>	0.21832 ± 0.01037	0.9955	0.61750
b <sub>3</sub> v <sub>5</sub>	0.21466 ± 0.01173	0.9941	0.66395
b <sub>3</sub> v <sub>6</sub>	0.24760 ± 0.02529	0.9796	1.46981

B<sub>0</sub>: عدم تلقیح، B<sub>1</sub>: تلقیح دو نژاد باکتری (*Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*)، B<sub>2</sub>: تلقیح با باکتری *Pseudomonas fluorescens*، B<sub>3</sub>: *Pseudomonas putida*، V<sub>1</sub>: رقم Hayola 401، V<sub>2</sub>: رقم Hayola 330، V<sub>3</sub>: رقم Parkland، V<sub>4</sub>: رقم Goldrush، V<sub>5</sub>: رقم BP18 و V<sub>6</sub>: رقم Landrace  
B<sub>0</sub>: Control، B<sub>1</sub>: B<sub>2</sub>+B<sub>3</sub>، B<sub>2</sub>: *Pseudomonas fluorescens*، B<sub>3</sub>: *Pseudomonas putida*، V<sub>1</sub>: Hayola401، V<sub>2</sub>: Hayola330، V<sub>3</sub>: Parkland، V<sub>4</sub>: Goldrush، V<sub>5</sub>: BP18 and V<sub>6</sub>: Landrace

گرم ماده خشک اندام‌های هوایی کمترین ضریب تخصیص مواد به غلاف را داشتند.

میزان فتوسنتز، مقدار کل کربن تثبیت شده موجود برای برگ را مشخص می‌سازد. تنظیم میزان کربن تثبیت شده در مسیرهای متابولیکی مختلف را اصطلاحاً تسهیم<sup>۱</sup> گویند (Taiz & Zeiger, 2010).

دستجات آوندی سیستم لوله‌ای را تشکیل می‌دهند که قادر به هدایت مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف مانند ساقه، ریشه، برگ‌های جوان، میوه‌ها یا دانه‌ها می‌باشد.

در این پژوهش، باکتری *سودوموناس پویتدا* با ۰/۱ ± ۰/۶۶ گرم ماده خشک غلاف به گرم ماده خشک اندام هوایی بیشترین و باکتری *سودوموناس فلورسنس* با ۰/۰۶ ± ۰/۵۰۶ و تلقیح دو نژاد باکتری با ۰/۱ ± ۰/۵۰۸ گرم ماده خشک غلاف به گرم ماده خشک اندام هوایی کمترین مقادیر این صفت را نشان دادند (جدول‌های ۱۱ و ۱۲). نتایج مقایسه دو محیط در سطح رقم (جدول ۱۳ و ۱۴) همچنین نشان داد که رقم هایولا ۴۰۱ در محیط عدم تنش با ۰/۰۳ ± ۰/۶۲ و رقم هایولا ۳۳۰ در محیط عدم تنش با ۰/۰۲ ± ۰/۵۶ گرم ماده خشک غلاف به گرم ماده خشک اندام هوایی به ترتیب بیشترین و رقم BP18 در محیط تنش با ۰/۰۵ ± ۰/۲۷ گرم ماده خشک غلاف به

جدول ۱۱- ضریب تخصیص مواد به غلاف (b+SE)، ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و ضریب تغییرات (CV) کلزا بر اساس باکتری عدم تنش

Table 11- Material partitioning coefficient into pod (b±SE), determination coefficient (R<sup>2</sup>) and coefficient variation (CV) of canola based on bacteria under non-stress condition

باکتری Bacteria	ضریب تخصیص مواد به غلاف b+SE	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
B <sub>0</sub>	0.64588 ± 0.00834	0.99	4.78
B <sub>1</sub>	0.60661 ± 0.00961	0.99	4.64
B <sub>2</sub>	0.61184 ± 0.01657	0.98	8.64
B <sub>3</sub>	0.66091 ± 0.01085	0.99	6.13

B<sub>0</sub>: عدم تلقیح، B<sub>1</sub>: تلقیح دو نژاد باکتری (*Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*)، B<sub>2</sub>: تلقیح با باکتری *Pseudomonas fluorescens* و B<sub>3</sub>:

*Pseudomonas putida* تلقیح با باکتری

B<sub>0</sub>: Control, B<sub>1</sub>: B<sub>2</sub>+B<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>: *Pseudomonas fluorescens* and B<sub>3</sub>: *Pseudomonas putida*

جدول ۱۲- ضریب تخصیص مواد به غلاف (b+SE)، ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و ضریب تغییرات (CV) کلزا بر اساس بر همکنش باکتری در شرایط تنش

Table 12- Material partitioning coefficient into pod (b±SE), determination coefficient (R<sup>2</sup>) and coefficient variation (CV) of canola based f bacteria under stress condition

باکتری Bacteria	ضریب تخصیص مواد به غلاف b+SE	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
B <sub>0</sub>	0.52992± 0.01826	0.97	9.84
B <sub>1</sub>	0.50828 ± 0.01084	0.99	4.62
B <sub>2</sub>	0.50672 ± 0.06394	0.73	19.71
B <sub>3</sub>	0.52560 ± 0.03511	0.91	23.33

B<sub>0</sub>: عدم تلقیح، B<sub>1</sub>: تلقیح دو نژاد باکتری (*Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*)، B<sub>2</sub>: تلقیح با باکتری *Pseudomonas fluorescens* و B<sub>3</sub>:

*Pseudomonas putida* تلقیح با باکتری

B<sub>0</sub>: Control, B<sub>1</sub>: B<sub>2</sub>+B<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>: *Pseudomonas fluorescens* and B<sub>3</sub>: *Pseudomonas putida*

جدول ۱۳- ضریب تخصیص مواد به غلاف (b+SE)، ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و ضریب تغییرات (CV) کلزا بر اساس رقم در شرایط عدم تنش

Table 13- Material partitioning coefficient into pod (b±SE), determination coefficient (R<sup>2</sup>) and coefficient variation (CV) of canola based on cultivar under non-stress condition

رقم Cultivar	ضریب تخصیص مواد به غلاف b+SE	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
Hayola 401	0.62535 ± 0.03463	0.95	4.81
Hayola 330	0.56570 ± 0.02763	0.96	4.71
Parkland	0.68641 ± 0.02158	0.98	3.22
Goldrush	0.66481 ± 0.02205	0.98	5.88
BP18	0.44565 ± 0.05653	0.81	6.03
Landrace	0.64263 ± 0.00844	0.99	1.92

V<sub>1</sub>: رقم Hayola 401، V<sub>2</sub>: رقم Hayola 330، V<sub>3</sub>: رقم Parkland، V<sub>4</sub>: رقم Goldrush، V<sub>5</sub>: رقم BP18 و V<sub>6</sub>: رقم Landrace

V<sub>1</sub>: Hayola401, V<sub>2</sub>: Hayola330, V<sub>3</sub>: Parkland, V<sub>4</sub>: Goldrush, V<sub>5</sub>: BP18 and V<sub>6</sub>: Landrace

رویشی و زایشی مختلف اثر می‌گذارند که از آن جمله به ژنوتیپ، درجه حرارت، بارندگی، کود، روش کشت، دسترسی به آب و مواد غذایی، هورمون‌ها و ظرفیت بافری اندام‌های ذخیره‌ای می‌توان اشاره کرد (Fageria & Baligar, 2005).

توزیع متفاوت مواد فتوسنتزی در داخل گیاه را اصطلاحاً تخصیص<sup>۱</sup> گویند (Taiz & Zeiger, 2010). عوامل زیادی هستند که روی توانایی تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌ها در طول فازهای

جدول ۱۴- ضریب تخصیص مواد به غلاف (b+SE)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضریب تغییرات (CV) کلزا بر اساس رقم در شرایط تنش

Table 14- Material partitioning coefficient into pod (b±SE), determination coefficient ( $R^2$ ) and coefficient variation (CV) of canola based on cultivar under stress condition

رقم Cultivar	ضریب تخصیص مواد به غلاف b+SE	ضریب تبیین $R^2$	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
Hayola 401	0.28116 ± 0.06167	0.59	11.03
Hayola 330	0.32825 ± 0.04280	0.80	5.77
Parkland	0.56875 ± 0.06178	0.85	18.98
Goldrush	0.63144 ± 0.43265	0.13	29.68
BP18	0.27768 ± 0.05256	0.66	7.14
Landrace	0.53490 ± 0.14801	0.48	24.03

V<sub>1</sub>: رقم Hayola 401, V<sub>2</sub>: رقم Hayola 330, V<sub>3</sub>: رقم Parkland, V<sub>4</sub>: رقم Goldrush, V<sub>5</sub>: رقم BP18 و V<sub>6</sub>: رقم Landrace

V<sub>1</sub>: Hayola401, V<sub>2</sub>: Hayola330, V<sub>3</sub>: Parkland, V<sub>4</sub>: Goldrush, V<sub>5</sub>: BP18 and V<sub>6</sub>: Landrace

گذاشت (جدول‌های ۱۰ و ۱۳). کلپر و همکاران (Kloepper et al., 1987) گزارش کردند کاربرد باکتری‌های سودوموناس باعث افزایش رشد در گیاهان شده است. همچنین در کاربرد مخلوط دوتایی باکتری با گیاه گزارش شد که تلقیح مخلوط دو سویه تأثیر بیشتری نسبت به تلقیح آن‌ها به صورت منفرد ندارد.

به طور کلی تنش‌های محیطی سبب اختلال در میزان ماده سازی و رشد گیاهان می‌شود. نیکالو و همکاران (Nikalaeve et al., 2008) گزارش کردند که اعمال تنش خشکی باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه و بخش‌های هوایی شد.

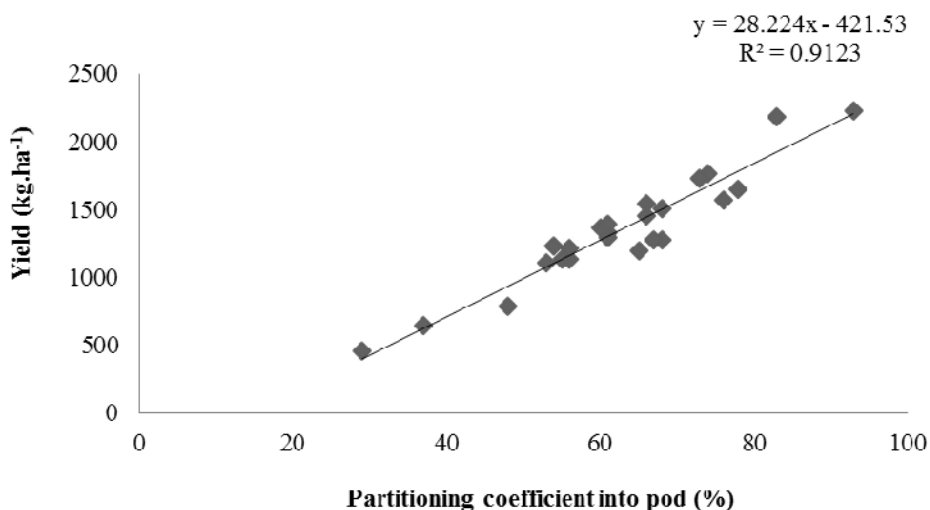
مهار رشد و به دنبال آن کاهش وزن تر و خشک گیاه در پاسخ به کمبود آب می‌تواند مدت دسترسی به آب موجود در خاک و زنده ماندن گیاه را افزایش دهد و به عنوان یک پاسخ سازگاری در نظر گرفته شود (Achard et al., 2006).

سازگاری با تنش که شانس گیاه را برای زنده ماندن تحت شرایط تنش‌زا، از طریق مهار رشد افزایش می‌دهد باعث کاهش اندازه گیاه و در نتیجه محدود شدن تولید محصول می‌شود. مهار رشد بخش‌های هوایی در مورد گیاهانی که در معرض دوره‌های کمبود آب متوسط قرار گرفته اند، قطعاً پاسخی در جهت مخالف تولید محصول می‌باشد. در چنین شرایطی، زنده ماندن گیاه ممکن است مورد تهدید جدی نباشد اما کاهش رشد بخش‌های هوایی در نتیجه تنش، تولید بالقوه محصول را محدود می‌کند (Neumann, 2008). در این مطالعه نیز کاهش سطوح ضریب تخصیص مواد به غلاف در شرایط تنش نسبت به عدم تنش مشهود بود.

بالا بودن ضریب تخصیص مواد به غلاف در هیبریدهای هاپولا و کمتر بودن این ضریب در رقم BP18 را در این پژوهش می‌توان مربوط به معماری و ساختار مرفولوژیک آن‌ها دانست. از آنجایی که در شرایط خشکی جذب آب و یون‌های معدنی توسط ریشه مختل می‌شود روند تولید آسمیلیت‌های فتوسنتزی نیز محدود می‌شود، پس در مجموع اثرهای تنش خشکی و معماری خاص رقم BP18 که متعلق به گونه خردل هندی است منجر به کاهش رشد و کم شدن ضریب تخصیص مواد به غلاف در این رقم شد (جدول‌های ۱۳ و ۱۴).

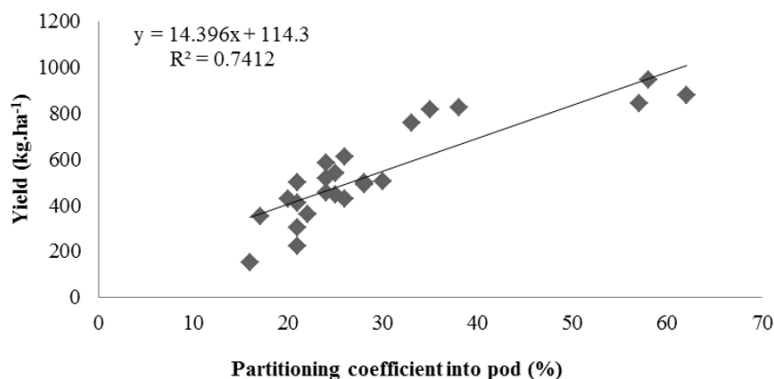
ولی تخصیص بیشتر همین مقدار از آسمیلیت‌های فتوسنتزی به اندام‌های اقتصادی، سبب شکل‌گیری و ساخت عملکرد نهایی بیشتر و بالا رفتن ضریب تخصیص بیشتری می‌گردد (Dipenbrock, 2000; Neumann, 2008). بری و اسپایک (Berry & Spink, 2006) و آروین و همکاران (Arvin et al., 2014) گزارش کرد که تخصیص فتو آسمیلیت‌ها به اندام‌های اقتصادی می‌تواند با عملکرد و شاخص برداشت، همبستگی بالا و مثبتی داشته باشد. نتایج این تحقیق نیز نشان داد (شکل‌های ۳ و ۴) که تخصیص مواد به غلاف با عملکرد نهایی در شرایط عدم تنش ۹۱٪ و در شرایط تنش ۷۴٪ همبستگی مثبت داشت. شاید این گونه به نظر برسد که بتوان ضریب تخصیص مواد به غلاف را مترادف با عملکرد اقتصادی قرار داد.

در این پژوهش ترکیب و تلفیق دو نژاد باکتری با هم خصوصاً در شرایط عدم تنش، اثر آنتاگونیسمی بر ضریب تخصیص داشت ولی کاربرد هر باکتری به تنهایی اثر مثبت و قوی بر روی این صفت



شکل ۳- رابطه ضریب تخصیص مواد به غلاف با عملکرد کلزا در شرایط عدم تنش

Fig. 3- Relationship of partitioning coefficient into pod with yield of canola under non- stress condition



شکل ۴- رابطه ضریب تخصیص مواد به غلاف با عملکرد کلزا در شرایط تنش

Fig. 4- Relationship of partitioning coefficient into pod with yield of canola under stress condition

کارایی ضریب تخصیص مواد به غلاف گذاشت. همچنین در اعمال تنش خشکی، مقدار ماده خشک تولیدی و میزان ضریب تخصیص مواد به غلاف کاهش یافت. این گونه به نظر می‌رسد که شاید بتوان ضریب تخصیص مواد به غلاف را مترادف با عملکرد اقتصادی دانست که نتایج این پژوهش همبستگی بالای بین ضریب تخصیص مواد به غلاف با عملکرد را نیز نشان داد. عوامل اکولوژیکی که بر روی فیزیولوژی گیاه تأثیر می‌گذارد در سال‌ها و مکان‌های مختلف، متفاوت ظاهر می‌شود، پس تکرار آزمایش‌ها برای درک جامع‌تر رفتار باکتری سودوموناس در خشکی توصیه می‌شود.

### نتیجه‌گیری

کم بودن کارایی مصرف نور در شرایط خشکی به واسطه کم شدن فرآیند رشد، سطح برگ و دریافت و جذب نور خورشید کمتر در تمام ارقام مورد بررسی به دست آمد. تلقیح باکتری خصوصاً باکتری سودوموناس فلورسنس هم در شرایط تنش و عدم تنش شاید از طریق ایجاد کلونی در اطراف ریشه و جذب و نگهداری رطوبت و مواد غذایی بیشتر توانست اثر مثبتی بر کارایی مصرف نور داشته باشد. کاربرد همزمان باکتری سودوموناس فلورسنس و سودوموناس پوتیدا نتوانست تأثیر خوب بر کارایی مصرف نور داشته باشد. کاربرد باکتری به صورت مجزا اثر سینرژیک و تلقیح دو نژاد باکتری اثر آنتاگونیسمی بر روی

- 1- Achard, P., Cheng, H., Degrauwe, L., Decat, J., Schoutteten, H. and Molitz, T. 2006. Integration of plant responses to environmentally activated phytohormonal signals. *Science* 311: 91-94.
- 2- Arvin, P., Azizi, M., and Soltani, A. 2009. Comparison of yield and physiological indices of spring cultivars of oilseed rape species. *Seed and Plant Improvement Journal* 3: 401-417 (In Persian with English Summary)
- 3- Arvin, P., Azizi, M., and Firuzeh, R. 2014. Study of dry matter partitioning into leaf, stem and pod at different oilseed rape cultivars. *International Journal of Biosciences* 4: 243-248.
- 4- Azizi, M., Soltani, A., and Khavari, S. 2006. *Canola: Agronomy, Physiology, Breeding and Biotechnology*. Jihad Daneshgahi Mashhad Publications, Iran (In Persian)
- 5- Azizi, M., and Arvin, P. 2008. Yield difference and radiation use efficiency in spring cultivars of oilseed rape. *Electronic Journal of Crop Production* 4: 35-50 (In Persian with English Summary)
- 6- Berry, M.P., and Spink, J.H. 2006. A physiological analysis of oilseed rape yield, past and future (Review). *The Journal of Agricultural Science* 199: 381-392.
- 7- Collino, D.J., Dardanelli, L.J., Sereno, R., and Racco, W.R. 2001. Physiological response of Argentine peanut varieties to water stress light interception, radiation use efficiency and, partitioning of assimilate. *Field Crops Research* 70: 177-184
- 8- Diepenbrock, W. 2000. Yield components of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Field Crops Research* 67: 35-49.
- 9- Defreitas, R.J., and Germida, J.J. 1990. Plant growth promoting *Rhizobacteria* for winter wheat. *Canadian Journal of Microbiology* 36: 265-272.
- 10- Earl, H.J., and Davis, R.F. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal* 95: 688-696.
- 11- Egamberdiyeva, D., Juraeva, D., Gafurova, L., and Hoflich, G. 2002. Promotion of plant growth of maize by plant growth-promoting bacteria in different temperatures and soils. 25<sup>th</sup> Annals of Southern Conservation Tillage Conference, Auburn, AL, USA, 24-26 June, p. 239-244.
- 12- Fageria, N.K., and Baligar, V.C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy* 88: 97-185.
- 13- Food and Agriculture Organization. 2007. National Strategy and Action Plan on Drought Preparedness, Management and Mitigation the Agriculture Sector Iran. Final Report 116 pp.
- 14- Hajebi, A., and Heydari Sharif Abad, H. 2005. Study effect of drought on growth and nodulation of three clovers species. *Journal of Research and Construction* 66: 13-22. (In Persian with English Summary)
- 15- Gallo, K.P., Craig, D., and Wiegand, C.L. 1993. Errors in the measuring absorbed radiation and computing crop radiation use efficiency. *Agronomy Journal* 85: 1222-1228.
- 16- Glick, B.R., Karaturic, D.M., and Newell, P.C. 1995. A novel procedure for rapid isolation of plant growth promoting *Pseudomonads*. *Canadian Journal of Microbiology* 41: 533-536.
- 17- Nassiri, M., Koocheki, A., Rezvani, P., and Beheshti, A. 2007. *Agroecology*. Jihad Daneshgahi Mashhad Publications. Iran (In Persian)
- 18- Han, H., Li, Z., Ning, T., Zhang, X., Shan, Y., and Bai, M. 2008. Radiation use efficiency and yield of winter wheat under deficit irrigation in North China. *Plant, Soil and Environment* 54: 313-319.
- 19- Hu, Y., Zhang, Y.L., Yix, P., Zhan, D.X., Luo, H.H., Chow, W.S., and Zhang, W.F. 2014. The relative contribution of non-foliar organs of cotton to yield and related physiological characteristics under water deficit. *Journal of Integrative Agriculture* 13(5): 975-989.
- 20- Jichuan, W., Gao, S., Yuan, J., and Fuyu, M. 2012. Simulation of dry matter accumulation, partitioning and yield prediction in processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Australian Journal of Crop Science* 6: 93-100.
- 21- Kloepper, J.W., Schroth, M.N., and Miller, T.D. 1987. Effects of rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. *Ecology and Epidemiology* 70: 1078-1082.
- 22- Kumar, A., Elston, J., and Singh, P. 1994. Leaf area growth of two *Brassica* species in response to water stress. *Crop Research* 8: 594-602.
- 23- Lambers, H., Chapin, F.S., and Pons, T.L. 2008. *Plant physiological ecology*. Springer publisher. 2<sup>nd</sup> Eds. 604 pp.



- 24- Latifi, N. 1995. Effect of water deficit on morphological traits, dry matter production, harvest index in after and before flowering stage of oilseed rape (*Brassica napus*). Agricultural Sciences and Technology 9(2):71-83 (In Persian with English Summery)
- 25- Lotfali Ayeneh, G.H.A. 2012. Guideness of planting, keeping and harvesting of canola in Khoozestan. Research and Education Organization of Khoozestan 35 pp. (In Persian)
- 26- Lucy, M., Reed, E., and Glick, B.R. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. Antonie van Leewenhoek 86: 1-25.
- 27- Monneveux, P., and Belhassen, E. 1996. The diversity of drought adaptation in the wide. Plant, Growth Regulation 20: 85-92.
- 28- Mousavi, S.H., Vafabakhsh, J., and Sadr Abadi Haghghi, R. 2010. Effect of water deficit on water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) cultivars in Mashhad condition. Journal of Agroecology 2(3): 486-491. (In Persian with English Summary)
- 29- Neumann, P.M. 2008. Coping mechanisms for crop plants in drought-prone environments. Annals of Botany 101: 901-907.
- 30- Nikolaeva, M.K., Maevskaya, S.N., Shugaev, A.G., and Bukbor, N.G. 2008. Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. Plant Physiology 57: 87-95.
- 31- Patten, C.L., and Glick, B.R. 1996. Role of *Pseudomonas putida* indolacetic-3-acid in development of the host plant root system. Applied Environmental Microbiology 681: 3795-3801.
- 32- Purcell, C., BALL, R., Reaper, J.D., and Vories, E. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. Crop Science 42: 172-177.
- 33- Sinclair, T.R., Shiraiwa, T., and Hammer, G.L. 1992. Variation in crop radiation use efficiency with increased diffuse radiation. Crop Science 32: 1281-1284.
- 34- Soltani, A., Robertson, M.J., Rahemi-Karizaki, A., Poorreze, J., and H.Zarei, H. 2006. Modeling biomass accumulation and partitioning in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Agronomy Crop Science 192: 379-389.
- 35- Smith, M. 2000. The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. Agriculture and Forest Meteorology 103: 99-108.
- 36- Vafa Bakhsh, J., Nassiri Mahallati, M., and Koochaki, A. 2008. Effect of drought stress on radiation use efficiency on *Brassica* cultivars. Iranian Journal of Agriculture Research in Ira 6: 193-204 (In Persian with English Summery)
- 37- Whilhelm, W.W., Ruwe, K., and Schlemmer, M.R. 2000. Comparison of three leaf area index meters corn canopy. Crop Science 40: 1179-1183.
- 38- Rizzalli, R.H., Villalobos, J.F., and Orgaz, F. 2002. Radiation interception, radiation use efficiency and dry matter partitioning in garlic (*Allium sativum* L.). European Journal of Agronomy 18: 33-43.
- 39- Saglam, A., Kadioglu, A., Terzi, R., and Saruhun, T. 2008. Physiological changes in them in post-stress emerging *Ctenanthe setosa* plant under drought condition. Plant Physiology 55: 48-53.
- 40- Tesfaye, K., Walker, S., and Tsubo, M. 2006. Radiation interception and Radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. European Journal of Agronomy 25: 60-70.
- 41- Taiz, L., and Zeiger, E. 2010. Plant Physiology. Sinauer Associates Publish. Fifth Edition.

## Study of Drought and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Radiation Use Efficiency and Dry Matter Partitioning Into Pod in Different Cultivars of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.)

P. Arvin<sup>1\*</sup> and J. Vafabakhsh<sup>2</sup>

Submitted: 28-01-2016

Accepted: 05-04-2016

Arvin, P., and Vafabakhsh, J. 2016. Study of drought and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on radiation use efficiency and dry matter partitioning into pod in different cultivars of *Brassica* oilseed rape. Journal of Agroecology 8(1): 134-152.

### Introduction

Oilseed rape (*Brassica napus* L.) is one of the valuable oilseed crops which has been attracting attention in recent years (Arvin et al., 2011). Several factors such as water shortage, low relative humidity, heat and salinity can make drought stress. Radiation use efficiency and yield components are the effective factors of yield formation in oilseed rape. Drought tolerance in oilseed rape depends on other factors except radiation use efficiency. Studies have indicated that plant growth promoting rhizobacterias (PGPRs) has a direct effect on growth and they can cause resistance to the abiotic stress as well. Hence, considering the drought climate in Iran and the effects of PGPRs on increasing resistance to abiotic stress and relief of drought effects and the importance of the cultivation of oilseed rape in Iran, the present research was done with the goal of study of drought and some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on radiation use efficiency and dry matter partitioning into pod in different cultivars of oilseed rape.

### Materials and methods

The current study was done on the basis of two simultaneous experiments (under stress and non-stress experiments) during 2010- 2011 growing season at Agriculture and Natural Resources Research Station of Torogh, Mashhad is in East-North of Iran (36° N, 59° E, 1003 as). Two research sites (under stress and non-stress fields) were beside each other. This region has a semi-arid climate (annual rainfall 286 mm). The experimental design was factorial based on randomized completely block design with three replications in each experiment. The first treatment was plant growth promoting rizobactria, including B<sub>0</sub>: no inoculation (control), B<sub>1</sub>:co-inoculation (*Pseudomonas flourescens* 169+*P. putida* 108), B<sub>2</sub>: inoculation with *P. flourescens* 169 and B<sub>3</sub>: inoculation with *P. putida* 108. Second treatment was cultivar, including Hayola401 and Hayola330 cultivars belong to *Brassica napus*, Parkland and Goldrush cultivars belong to *B. rapa* and BP18 and landrace cultivars belong to *B.juncea*. Radiation use efficiency and the allocation coefficient of materials to pods were measured in the present study as well. In addition, analysis of variance (ANOVA) was performed using SAS ver. 9.1 software.

### Results and discussion

#### Radiation use efficiency

There were significant differences between stress and non-stress conditions in levels of bacteria, cultivar and bacteria × cultivar regarding radiation use efficiency. The outcomes showed that the coefficients of radiation use efficiency in each level (bacteria, cultivar and bacteria × cultivar) under non-stress condition was comparatively higher under stress condition. The interaction effects of bacteria × cultivar showed that *P. flourescens* × Goldrush under non-stress condition with  $0.62 \pm 0.08$  dm.mg<sup>-1</sup> had the most and two strains of bacteria × Landrace with  $0.1 \pm 0.017$  dm.mg<sup>-1</sup> had the least radiation use efficiency. Regarding bacteria level, *Pseudomonas flourescens* under non-stress condition with the average of  $0.39 \pm 0.071$  dm.mg<sup>-1</sup> had the highest radiation use efficiency. Hayola330 cultivar with  $0.45 \pm 0.047$  and Hayola401 cultivar with  $0.39 \pm 0.038$  dm.mg<sup>-1</sup> obtained the greatest RUE under non-stress condition and BP18 cultivar with  $0.11 \pm 0.06$  dm.mg<sup>-1</sup> revealed the lowest RUE under stress

1 and 2- Assistant professor, Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Tehran and Assistant professor of Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, Iran, respectively.

(\* - Corresponding author Email: pooya.arvin@gmail.com)

condition. Both drought stress and simultaneous application with two strains of bacteria had negative effects on RUE.

### **Dry matter partitioning into pod**

In this trial, considerable difference regarding pod partitioning coefficient revealed in the level of cultivar and bacteria  $\times$  cultivar. The value of the pod partitioning coefficient under this investigation ranged from  $0.9393 \pm 0.084$  under non-stress condition to  $0.1634 \pm 0.0210$  under stress condition. Although inoculation treatment of bacteria had the synergy effect, co-inoculation treatment had the antagonistic effect of pod partitioning coefficient. Moreover, the rate of the pod partitioning coefficient lessened under drought condition. Berry & Spink (2006) and Arvin et al. (2014) stated that there were positive correlation between HI and partitioning photoassimilate in to economic organs. The results of the present study showed that dry matter partitioning into the pod with a final yield had a 91% positive correlation under non-stress and 74% under stress condition.

### **Conclusion**

In conclusion, negative effects of drought and positive effects of application of bacteria on RUE and pod dry matter partitioning were obtained in this trail. The results illustrated that separate application of bacteria had synergy effect and conflation of two strains of bacteria had an antagonistic effect on both studied traits.

**Keywords:** Brassica napus, B. rapa, B. juncea, Pseudomonas strains

### **References**

- Arvin, P., Azizi, M., and Firuzeh, R. 2014. Study of dry matter partitioning into leaf, stem and pod at different oilseed rape cultivars. *International Journal of Biosciences* 4: 243-248.
- Berry, M.P., and Spink, J.H. 2006. A physiological analysis of oilseed rape yield, past and future (Review). *The Journal of Agricultural Science* 199: 381-392.