Archive of SID

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۲، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۸
ص ۲۰۵-۲۱۳
DOI: 10.22059/jfwp.2018.254869.906

تأثیر باکتری سودوموناس فلورسنس در بهبود صفات ریختی نهال زربین تحت تنش کم‌آبی

مرتضی روکی[۱]، مسعود طبری کوچکسرایی[۲*]، سید احسان ساداتی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۲. استاد گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۳. استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۸ ، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۵

چکیده

زربین درختی زینتی، مناسب برای بادشکن و حفاظت خاک و منبعی برای تولید چوب است که بخش وسیعی از تولید نهالستان‌های کشور را شامل می‌شود. با توجه به چشم‌انداز محدودیت منابع آب، هدف این تحقیق، بررسی اثر ریزوباکتر سودوموناس فلورسنس بر رشد و زنده‌مانی نهال‌های سرو زربین در شرایط کم‌آبی بوده است. آزمایش با چهار دور آبیاری (۳، ۶، ۹ و ۱۲روزه) و دو سطح ریزوباکتر (تلقیح و عدم تلقیح) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. برای تعیین مقدار آب آبیاری، ظرفیت زراعی خاک مشخص و کسری آب تا سطح رطوبت مورد نظر پس از توزین گلدان‌ها در اختیار گیاه قرار داده شد. نهال‌ها در شدیدترین دورهٔ کم‌آبی (آبیاری ۱۲روزه) دارای زنده‌مانی بیش از ۹۵ درصد بودند. با افزایش خشکی از دورهٔ ۳ تا ۱۲روزه، رویش‌های طولی و قطری به‌ترتیب ۵۲/۶ و ۴۹/۶ درصد کاهش یافتند، اما تلقیح ریزوباکتر به‌ترتیب سبب افزایش ۱۴/۷ و ۱۴/۳ درصدی آنها شد. صرف‌نظر از تنش کم‌آبی، نهال‌های تلقیح‌شده، ۲۳/۲ درصد زی‌تودهٔ ریشهٔ بیشتری نسبت به نهال‌های تلقیح‌نشده داشتند. زی‌تودهٔ اندام هوایی، زی‌تودهٔ کل و شاخص کیفیت نهال در کم‌آبی ۹ و ۱۲روزه و حجم ریشه در کم‌آبی ۱۲روزه کاهش یافت، اما تلقیح به‌ترتیب، سبب افزایش ۱۳/۹، ۱۶/۸ و ۲۰/۱ و ۲۵/۳ درصدی این صفات شد. کم‌آبی موجب کاهش صفات رویشی نهال شد، اما تلقیح باکتری سودوموناس فلورسنس حتی در تنش‌های کم‌آبی شدید می‌تواند به‌عنوان کود بیولوژیک سبب بهبود رشد و کیفیت صفات ریختی نهال شود. برای تولید نهال مطلوب زربین، در برخی نهالستان‌های کشور که با محدودیت آب مواجه‌اند استفاده از این باکتری را می‌توان راهکاری مفید تلقی کرد.

واژه‌های کلیدی: تلقیح ریزوباکتر، خشکی، زربین، زنده‌مانی، شاخص کیفیت نهال.

مقدمه

در دسترس بودن آب و مواد مغذی محدودیت‌های اصلی در بهره‌وری گیاهان در اکوسیستم‌های نیمه‌خشک مدیترانه‌ای است و گونه‌های جنگلی در این مناطق اغلب راهبردهای خاصی را برای بهبود استفاده از آب در پاسخ به خشکی ایجاد می‌کنند [۱]. پس از گرم شدن کرهٔ زمین، خشکی به تنش زیست‌محیطی رایجی تبدیل شده که رشد و توسعهٔ گیاه را به‌شدت محدود می‌کند [۲]. این شکل تنش زیستی، بر مقدار آب گیاه در سطح سلولی تأثیر می‌گذارد و موجب واکنش‌ها و خسارات مستقیم و غیرمستقیم به گیاه می‌شود [۳]. خشکی سبب ایجاد رادیکال‌های مؤثر بر دفاع آنتی‌اکسیدان و گونه‌های اکسیژن

* نویسندهٔ مسئول: تلفن، ۰۹۱۱۲۲۴۶۲۵۰
Email: mtabari@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

فعال[1] مانند رادیکال‌های سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل و در نتیجه تنش اکسیداتیو می‌شود [۴]. همچنین، تنش خشکی بر حد دسترسی و حمل مواد مغذی خاک تأثیر می‌گذارد، زیرا مواد غذایی حل‌شده توسط ریشه‌ها جذب می‌شوند. در نتیجه، تنش خشکی، انتشار و جریان مواد مغذی محلول آب مانند نیترات، سولفات، کلسیم، منیزیم و سیلیسیم را کاهش می‌دهد [۵]. مطالعات پرشماری دربارهٔ تأثیر منفی تنش خشکی و نیز کم‌آبی بر گیاهان صورت گرفته که در سوزنی برگان جنگلی از جمله می‌توان به گونه‌های Pinus radiata [۶]، *Abies fabri* [۷] و *Pinus pinea* [۸] اشاره کرد.

تأثیر میکروارگانیسم‌ها به‌ویژه باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR)[2] در رشد، مدیریت مواد مغذی و فعالیت‌های بیولوژیک گیاه به‌خوبی مشخص است. این میکروارگانیسم‌های مفید با ایجاد کلنی در ریزوسفر گیاهان رشد آنها را از طریق سازوکارهای مستقیم و غیرمستقیم افزایش می‌دهند و می‌توانند گیاهان جنگلی قوی‌تری را تولید کنند و بقای گیاه را به‌هنگام کاشت در نهالستان (برای اهداف جنگل‌زدایی) افزایش دهند [۹]. در حقیقت، فیتوهورمون‌های تولیدشده از این باکتری‌ها، رشد ریشه‌ها را بهبود می‌بخشند یا سبب ایجاد ریشه‌های جانبی و موهای ریشه می‌شوند که در نتیجه، جذب آب و مواد مغذی افزایش می‌یابد [۵]. سازوکارهای احتمالی تحمل به خشکی گیاه توسط آنها عبارت‌اند از: ۱. تولید فیتوهورمون‌ها مانند آبسیزیک‌اسید (ABA)[3]، اسیدجیبرلیک[4]، سیتوکنین‌ها[5] و ایندول استیک‌اسید (IAA)[6]؛ ۲. ACC دآمیناز[7] برای کاهش مقدار اتیلن در ریشه؛ ۳. تحمل سیستماتیک توسط ترکیبات باکتریایی؛ ۴. اگزوپلی‌ساکارید باکتری [۱۰].

به‌طور کلی، این اعتقاد وجود دارد که باکتری‌های محرک رشد گیاه، با اصلاح خاک سبب افزایش زنده‌مانی و کیفیت نهال، به‌ویژه در خاک‌هایی با فعالیت میکروبی کم می‌شوند [۱۱]. باکتری سودوموناس فلورسنس (*Pseudomonas fluorescens*) که نوعی محرک رشد گیاهی است، به‌طور مؤثر جوانه‌زنی بذر را افزایش می‌دهد، رشد گیاه را در مراحل اولیه تسریع می‌بخشد، موجب تشکیل ریشه‌ها و تسهیل در بازسازی آنها می‌شود و در برخی گونه‌های جنگلی بیماری‌ها را کنترل کرده [۱۲] و در مدیریت تنش‌های بی‌رویه از جمله تنش خشکی تأثیر مهمی دارد [۸، ۱۳].

سرو زربین (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis*) به‌صورت خودرو در نواحی شمالی کشور و همچنین ارسباران، فیروزآباد، دامنهٔ کوه تفتان و باغمَلِک خوزستان زیست می‌کند و توانایی رشد در شرایط محیطی نامطلوب مانند خاک‌های آهکی، رسی، خشک و ضعیف را دارد [۱۴]. رشد سریع و بردباری آن به خشکی موجب شده که در احیای جنگل‌های مخروبهٔ شمال کشور اهمیت زیادی داشته باشد [۱۵] و در برخی اقلیم‌های رویشی کشور به‌عنوان درخت زینتی، بادشکن، محافظ خاک و منبع چوب کاربرد داشته باشد. در این تحقیق با توجه به چشم‌انداز محدودیت‌های منابع آب کشور و به‌ویژه در نهالستان‌ها، این سؤال مطرح است که در شرایط کم‌آبی، باکتری محرک رشد سودوموناس فلورسنس تا چه حد می‌تواند رشد و زنده‌مانی نهال زربین را بهبود بخشد. از این‌رو، هدف این تحقیق، بررسی مقاومت به خشکی و نیز تأثیر ریزوباکتر سودوموناس فلورسنس در افزایش تحمل این گونه به خشکی است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با چهار دورهٔ آبیاری به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار (هشت نهال در هر تکرار (۹۶ نهال) انجام گرفت. تحقیق در دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس پس از انتقال نهال‌های گلدانی

1. Reactive Oxygen Species
2. Plant growth promoting Rhizobacteria
3. Abscisic Acid
4. Gibberellic acid
5. Cytokinins
6. Indole acetic acid
7. ACC deaminase

www.SID.ir

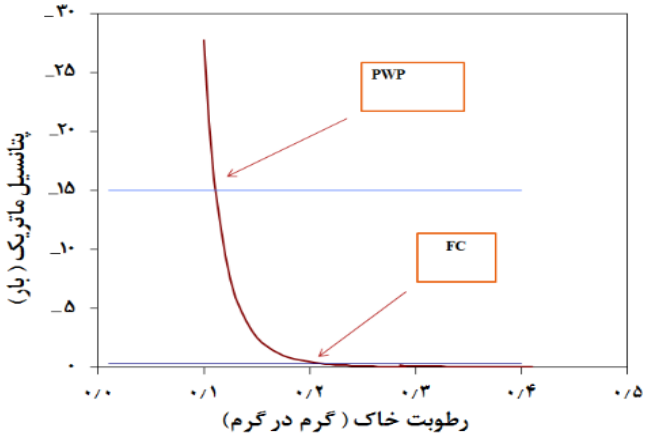
Archive of SID

یک‌ساله از نهالستان کلوده (واقع در مسیر آمل به محمودآباد) صورت پذیرفت. برای تعیین مقدار آب آبیاری، قبلاً و براساس وزن مخصوص ظاهری، رطوبت و درصد ذرات خاک، بافت خاک مشخص شد. سپس منحنی رطوبتی خاک (شکل ۱) که رابطهٔ پتانسیل آب خاک و مقدار رطوبت حجمی خاک را مشخص می‌کند، براساس روش Saxton و همکاران [۱۶] (رابطهٔ ۱) رسم شد.

$$\Psi_m = A\theta_v^{\,B} \qquad (۱)$$

$$A = \exp^{[-4.369-0.0715(c)-4.88\times10\text{-}4(s)2\text{-}4.285\times10\text{-}5(s)2\,(c)]100}$$

$$B = -3.14\text{-}0/00222C^2 - 3.14\times10^{-5}S^2C$$



شکل ۱. منحنی مشخصهٔ رطوبتی خاک تحت مطالعهٔ تنش خشکی

در حقیقت، ابتدا با تعیین نقاط پتانسیلی مهم خاک (نقطهٔ پژمردگی و ظرفیت زراعی) و اندازه‌گیری رطوبت خاک، وزن خاک خشک به‌دست آمد که همراه با وزن نهال، وزن گلدان (خارج کردن تصادفی سه نهال از خاک گلدان‌ها و وزن کردن گلدان، نهال و خاک گلدان)، و رطوبت در دسترس گیاه (FC-PWP)[1]، وزن مرجع در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تعیین شد. سپس در طی دورهٔ آزمایش، بسته به دور آبیاری (۳، ۶، ۹ و ۱۲روزه) و پس از توزین گلدان‌ها، کمبود رطوبتی آنها تا حد ظرفیت زراعی خاک تعیین و به اندازهٔ جبران کمبود رطوبت، به آنها آب داده شد.

برای جلوگیری از تبخیر سطحی خاک، سطوح جانبی گلدان‌ها با چسب و سطح بالایی آنها با ورق آلومینیمی پوشانده شد. برای اعمال باکتری، ۴ لیتر باکتری سودوموناس فلورسنس از بخش بیولوژی خاک مؤسسهٔ تحقیقات آب و خاک کرج تهیه شد، با توجه به تعداد اسپورهای باکتری (10^9 تا 10^{10} اسپور در هر میلی‌لیتر)، در نیمی از نهال‌ها، تلقیح باکتری انجام گرفت. برای این کار، خاک سطح گلدان کنار زده شد و باکتری به‌وسیلهٔ سرنگ در اطراف ریشه تا عمق ۵ سانتی‌متری تزریق شد [۱۶].

اندازه‌گیری‌ها

برای دستیابی به درصد زنده‌مانی نهال‌های گلدانی در هر تیمار از آغاز تا پایان آزمایش، نسبت تعداد نهال‌های باقی‌مانده در پایان دوره به تعداد نهال‌های اولیه در زمان آغاز آزمایش در هر تیمار به‌عنوان درصد زنده‌مانی منظور و تجزیه‌وتحلیل شد. اندازه‌گیری ارتفاع و قطر یقهٔ نهال‌ها، به‌ترتیب با استفاده از خط‌کش مدرج (دقت میلی‌متر) و کولیس دقت ۰/۰۱ میلی‌متر، در دو مقطع زمانی (آغاز و پایان آزمایش) صورت گرفت و مقدار هر یک از رویش‌های طولی و قطری یقه با اختلاف اندازه‌گیری‌ها در دو زمان یادشده به‌دست آمد.

زی‌تودهٔ ریشه‌ها، اندام هوایی و کل نهال پس از خشک کردن با آون با دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت و توزین آنها با ترازوی دیجیتال (دقت ۰/۰۰۰۱

1. Field capacity -permanent wilting point

www.SID.ir

Archive of SID

گرم) اندازه‌گیری شد. برای تعیین حجم ریشه، ابتدا گلدان‌ها به‌مدت یک ساعت در ظرف حاوی آب قرار داده شدند. ریشه‌ها بعد از شست‌وشوی کامل، در استوانهٔ مدرج (با حجم نیم لیتر و دقت ۱۰ میلی‌لیتر) قرار داده شدند و از اختلاف جابه‌جایی آب، حجم ریشه محاسبه شد. شاخص کیفیت نهال (SQI)[1] براساس فرمول Dickson و همکاران [۱۷] (رابطهٔ ۲) محاسبه شد.

$$\text{شاخص کیفیت نهال} = \frac{\text{وزن خشک کل نهال (گرم)}}{\left\{\frac{\text{وزن خشک ساقه (گرم)}}{\text{طول ساقه (سانتی‌متر)}}\right\}+\left\{\frac{\text{وزن خشک ریشه (گرم)}}{\text{قطر یقه (میلی‌متر)}}\right\}} \quad (۲)$$

تجزیه‌وتحلیل آماری

بعد از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل آماری به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با آزمون GLM در نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۲ انجام گرفت. برای بررسی فرض نرمالیته و همگنی واریانس به‌ترتیب از آزمون‌های کولموگروف- اسمیرنوف و لوَن و برای مقایسهٔ میانگین داده‌های نرمال از آزمون توکی استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که خشکی و ریزوباکتر بر همهٔ صفات بررسی‌شده (به‌جز زنده‌مانی) نهال زربین تأثیر معنی‌دار داشتند. همچنین، اثرهای متقابل خشکی و ریزوباکتر بر زی‌تودهٔ اندام هوایی، زی‌تودهٔ کل و طول ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). زنده‌مانی نهال‌ها فقط در دورهٔ آبیاری ۱۲روزه کاهش ناچیزی پیدا کرد (جدول ۲). این در حالی است که زنده‌مانی نهال‌ها تحت تأثیر ریزوباکتر قرار نگرفت (جدول ۳)، زیرا نهال‌ها تا دور آبیاری ۱۲روزه (با و بدون تلقیح ریزوباکتر) زنده ماندند و همواره بیش از ۹۵ درصد زنده‌مانی داشتند (جدول‌های ۲ و ۳) که مبین مقاوم بودن نهال این گونه به کمبود آب است.

در مراحل اولیهٔ خشکی، کنترل از دست دادن آب از طریق روزنه‌ها یکی از عوامل مهم در تعادل آب است. ادامه یافتن تنش خشکی، سبب تجزیهٔ شدید لیپیدهای غشایی می‌شود که در گیاهان حساس به خشکی شدیدتر است [۱۸]. با تشدید خشکی، غشای سلولی از بین می‌رود که سبب مرگ سلول و در پی آن، مرگ گیاه می‌شود. ریزوباکترهای محرک رشد توانایی بسیار زیادی برای تعدیل پاسخ فیزیولوژیکی به محرومیت آب دارند، به‌نحوی که بقای گیاه تحت این شرایط استرس‌زا را تضمین می‌کنند [۱۹]. قبل از این مشخص شد که نهال‌های استبرق تلقیح‌شده با ریزوباکتر سودوموناس فلورسنس توانستند تا ۱۵ روز بدون آبیاری زنده بمانند [۲۰].

رویش‌های طولی و قطری در تحقیق پیش رو به‌شدت تحت تأثیر کم‌آبی قرار گرفتند و با افزایش خشکی از دورهٔ ۳ تا ۱۲روزه به‌ترتیب ۵۲/۶ و ۴۹/۶ درصد کاهش یافتند (جدول ۲). تلقیح ریزوباکتر به‌ترتیب سبب افزایش ۱۴/۷ و ۱۴/۳ درصدی رویش طولی و قطری نهال‌ها نسبت به نهال‌های شاهد (تلقیح‌نشده) شد (جدول ۳). همچنین، در هر یک از دوره‌های آبیاری ۳، ۶ و ۹روزه، زی‌تودهٔ اندام هوایی و زی‌تودهٔ کل در شرایط تلقیح باکتری از اندازه‌های بیشتری نسبت به شاهد (بدون تلقیح) برخوردار بودند (شکل ۲). به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت که با افزایش سطح خشکی، باکتری سودوموناس پوتیدا تولید اگزوزپلی‌ساکاریدها را افزایش می‌دهد. اگزوزپلی‌ساکاریدها در شکل‌گیری خاک‌دانه‌های خرد و کلان خاک تأثیر دارند و می‌توانند جریان آب و مواد مغذی در گیاه را بهبود بخشند و در نتیجه موجب افزایش زی‌توده و تحمل به خشکی در گیاه شوند [۱۲].

این باور هم وجود دارد که تنش خشکی بیوسنتز اتیلن را افزایش می‌دهد و موجب کاهش رشد ریشه و ساقه می‌شود. این در حالی است که سویه‌های PGPR حاوی آنزیم ACC هستند و می‌توانند اتیلن را به آمونیاک و آ-کتوبوترات[2] تبدیل کنند که در نتیجه، سطح اتیلن کاهش

1. Seedling quality index

2. a-ketobutyrate

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. تجزیهٔ واریانس اثرهای خشکی و ریزوباکتر بر صفات ریختی نهال‌های زربین

ویژگی‌های بررسی‌شده	خشکی		ریزوباکتر		خشکی×ریزوباکتر	
	F	P	F	P	F	P
زنده‌مانی (درصد)	۱/۰۰۰	۰/۴۱۸	۱/۰۰	۰/۳۳۲	۱/۰۰	۰/۴۱۸
رویش طولی (سانتی‌متر)	۳۲/۹۸	۰/۰۰۰	۱۱/۲۰	۰/۰۰۱	۰/۷۲	۰/۵۴۳
رویش قطری یقه (میلی‌متر)	۷۹/۹۸	۰/۰۰۰	۲۲/۳۸	۰/۰۰۰	۰/۱۸	۰/۹۱۰
زی‌تودهٔ ریشه (گرم)	۴۱/۶۷	۰/۰۰۰	۳۵/۱۵	۰/۰۰۰	۰/۳۰	۰/۸۲۷
زی‌تودهٔ اندام هوایی (گرم)	۲۰۲/۲	۰/۰۰۰	۱۱۷/۷	۰/۰۰۰	۱۰/۸۴	۰/۰۰۰
زی‌تودهٔ کل (گرم)	۹۱/۸۶	۰/۰۰۰	۹۱/۲۹	۰/۰۰۰	۴/۰۷	۰/۰۲۵
زی‌تودهٔ ریشه به اندام هوایی (درصد)	۴۸/۳۳	۰/۰۰۰	۷/۲۸	۰/۰۱۶	۰/۵۷	۰/۶۴۵
حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	۲۱/۶۷	۰/۰۰۰	۸۰/۰۵	۰/۰۰۰	۰/۱۹	۰/۹۰۰
شاخص کیفیت نهال	۲۶/۵۹	۰/۰۰۰	۲۲/۸۰	۰/۰۰۰	۰/۴۷	۰/۷۰۹

می‌یابد. همچنین، ایندول استیک‌اسید که توسط این باکتری‌ها تولید می‌شود، می‌تواند اثرهای اکسین گیاه را افزایش دهد و به‌طور مستقیم به رشد ریشه و تحریک تقسیم سلولی و طول عمر گیاه کمک کند [۲۱]. به همین دلیل، می‌توان گفت که در تحقیق حاضر، رویش و زی‌تودهٔ نهال تحت تأثیر ریزوباکتر افزایش یافت که با نتایج دیگر محققان همخوانی دارد [۴، ۱۲ و ۲۲].

در تحقیق حاضر، نهال‌های تلقیح‌شده با ریزوباکتر، ۲۳/۲ درصد زی‌تودهٔ ریشهٔ بیشتر نسبت به نهال‌های تلقیح‌نشده داشتند (جدول ۳). حجم ریشه، زی‌تودهٔ ریشه و نسبت آن به زی‌تودهٔ اندام هوایی در دورهٔ آبیاری ۱۲روزه کاهش یافت (جدول ۲)؛ با این‌حال، ریزوباکتر سبب افزایش این مؤلفه‌ها شد (جدول ۳). این افزایش می‌تواند مربوط به تأثیرگذاری مثبت باکتری بر تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین باشد که سبب افزایش انشعابات ریشه‌ای شده و در نتیجه با افزایش سطح ریشه، افزایش جذب آب و عناصر غذایی ممکن می‌شود [۲۳، ۲۴].

شاخص کیفیت دیکسون (DQI)[1] جزء ویژگی‌های مورفولوژیکی و شاخص خوبی برای کیفیت نهال محسوب می‌شود [۱۷]، به‌طوری که تحمل نهال و توزیع زی‌توده را با لحاظ چندین پارامتر مهم تخمین می‌زند [۲۵] و تلقیح باکتری می‌تواند شاخص کیفیت نهال را بهبود بخشد [۲۲]. نتایج این پژوهش مشخص کرد که با افزایش خشکی، رشد، زی‌توده و شاخص کیفیت نهال زربین کاهش یافت (جدول ۲)؛ در مقابل، تلقیح ریزوباکتر، رویش را به‌صورت چشمگیری افزایش داد و سبب بهبود شاخص کیفیت نهال در حد ۲۰ درصد نسبت به شاهد شد (جدول ۳).

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین صفات ریختی نهال‌های زربین تحت تأثیر سطوح مختلف خشکی (صرف‌نظر از ریزوباکتر)

ویژگی‌های بررسی‌شده	دورهٔ آبیاری (روز)			
	۳	۶	۹	۱۲
زنده‌مانی (درصد)	۱۰۰±۰/۰۰۰	۱۰۰±۰/۰۰۰	۱۰۰±۰/۰۰۰	۹۵/۸۳±۱۱/۱۸
رویش طولی (سانتی‌متر)	۱۴/۲۳±۳/۵۷ a	۱۱/۵۷±۳/۳۳ b	۱۰/۷۵±۲/۱۷ b	۶/۷۴±۱/۲۲ c
رویش قطری یقه (میلی‌متر)	۱/۴۱±۰/۱۸ a	۱/۱۹±۰/۲۳ b	۰/۸۳±۰/۲۱ c	۰/۷۱±۰/۱۴ c
زی‌تودهٔ ریشه (گرم)	۵/۰۶±۱/۰۲ b	۷/۳۹±۱/۰۳ a	۶/۶۷±۱/۱۵ a	۳/۷۶±۰/۷۴ c
زی‌تودهٔ اندام هوایی (گرم)	۱۶/۲۳±۱/۸۹ a	۱۵/۰۷±۱/۰۹ a	۱۱/۵۳±۱/۳۲ b	۱۰/۸۴±۰/۵۷ b
زی‌تودهٔ کل (گرم)	۲۱/۳±۲/۹ a	۲۲/۴۶±۱/۹۹ a	۱۸/۲۰±۲/۳۶ b	۱۴/۶۱±۱/۲۵ c
زی‌تودهٔ ریشه به اندام هوایی (درصد)	۳۱±۳ c	۴۹±۵ b	۵۸±۶ a	۳۵±۵ c
حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	۱۱/۶۷±۲ a	۱۲/۸۳±۱/۷۲ a	۱۱/۵±۱/۹ a	۸/۸۳±۱/۵۸ b
شاخص کیفیت نهال	۱/۶۱±۰/۲۸ a	۱/۹۳±۰/۳۳ a	۱/۲۲±۰/۱۵ b	۱/۱۷±۰/۱۳ b

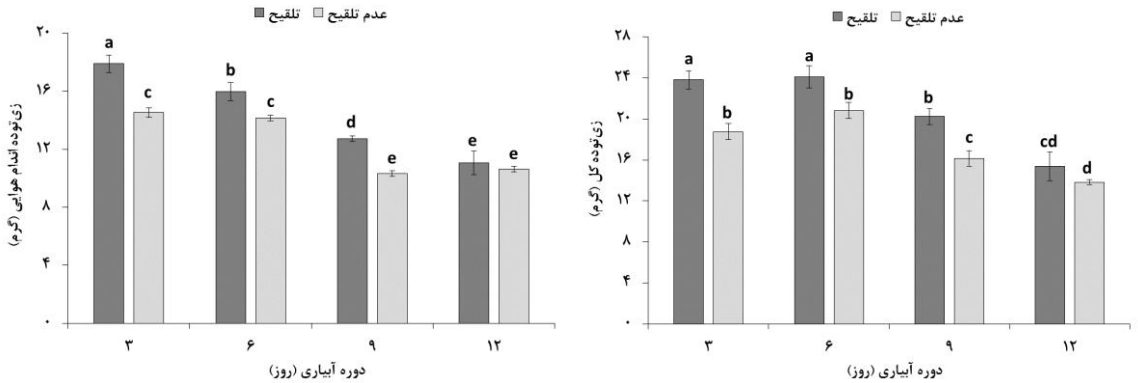
1. Dickson quality index

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین صفات ریختی نهال‌های تلقیح‌شده و تلقیح‌نشدهٔ زربین (صرف‌نظر از خشکی)

ویژگی‌های بررسی‌شده	عدم تلقیح	تلقیح
زنده‌مانی (درصد)	۹۷/۹۲±۷/۲۱ a	۱۰۰/۰۰±۰۰/۰۰ a
رویش طولی (سانتی‌متر)	۹/۹۹±۳/۹ b	۱۱/۷۱±۳/۵۵ a
رویش قطری یقه (میلی‌متر)	۰/۹۶±۰/۳۳ b	۱/۱۲±۰/۳۳ a
زی‌تودهٔ ریشه (گرم)	۴/۹۷±۱/۰۲ b	۶/۴۷±۱/۶۲ a
زی‌تودهٔ اندام هوایی (گرم)	۱۲/۴۱±۲/۰۴ b	۱۴/۴۲±۲/۸۴ a
زی‌تودهٔ کل (گرم)	۱۷/۳۸±۲/۸۲ b	۲۰/۸۹±۳/۷۸ a
زی‌تودهٔ ریشه به اندام هوایی (درصد)	۰/۴۱±۰/۱۳ b	۰/۴۵±۰/۱۱ a
حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	۹/۵۸±۱/۸۳ b	۱۲/۸۳±۱/۵۸ a
شاخص کیفیت نهال	۱/۳۱±۰/۳۱ b	۱/۶۴±۰/۳۹ a



شکل ۲. مقایسهٔ میانگین اثرهای متقابل خشکی و ریزوباکتر بر زی‌تودهٔ خشک اندام هوایی و زی‌تودهٔ کل نهال‌های زربین (حروف مشابه نمایانگر معنی‌دار نبودن رابطهٔ بین سطوح تیمارهاست)

نتیجه‌گیری

در کل، می‌توان اظهار داشت که اگرچه کم‌آبی موجب تنزل در اندازه‌های صفات رویشی نهال زربین می‌شود، تلقیح ریشه با باکتری سودوموناس فلورسنس حتی در شرایط تنش‌های کم‌آبی شدید (آبیاری‌های ۹ و ۱۲روزه) می‌تواند به‌عنوان کود بیولوژیک بالقوه سبب افزایش قدرت رویشی و کیفیت صفات ریختی آن شود. از این‌رو، در نهالستان‌هایی از کشور که با کمبود آب روبه‌رو هستند، تلقیح ریشه نهال زربین با باکتری سودوموناس فلورسنس برای تولید نهال‌هایی سالم و قوی با تأمین اهداف چندگانهٔ زینتی، بادشکن، محافظ خاک، جنگل‌زدایی و منبع چوب می‌تواند مفید باشد.

References

[1]. Marulanda, A., Barea, JM., and Azcon, R. (2006). An indigenous drought-tolerant strain of *Glomus intraradices* associated with a native bacterium improves water transport and root development in *Retama sphaerocarpa*. Microbial Ecology, 52: 670-678.

[2]. Yu, L., Chen, X., Wang, Z., Wang, S., Wang, Y., Zhu, Q., and Xiang, C. (2013). Arabidopsis enhanced drought tolerance1. HOMEODOMAIN GLABROUS11 confers drought tolerance in transgenic rice without yield penalty. Plant Physiology, 162 (3): 1378-1391.

[3]. Ali, S.Z., Sandhya, V., and Rao, L.V. (2014). Isolation and characterization of drought-tolerant ACC deaminase and exopolysaccharide-producing *fluorescent pseudomonas* sp. Annals of Microbiology, 64 (2): 493-502.

[4]. Vurukonda a, S.S.K.P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., and SKZ, A. (2016). Multifunctional *Pseudomonas putida* strain FBKV2 from arid rhizosphere soil and its growth promotional effects on maize under drought stress. Rhizosphere, 1: 4-13.

www.SID.ir

Archive of SID

[5]. Selvakumar, G., Panneerselvam, P., and Ganeshamurthy, A.N. (2012). Bacterial mediated alleviation of abiotic stress in crops. In Bacteria in Agrobiology Springer Berlin Heidelberg, Stress Management, pp. 205-224.

[6]. Espinoza, S.E., Martinez, V.A., Magni, C.R., Ivkovic, M., Santelices, R.E., Guerra, F.P., and Cabrera, A.M. (2014). Genetic control of growth, biomass allocation, and survival under drought stress in *Pinus radiata* D. Don seedlings. Tree Genetics and Genomes, 10(4):1045-1054.

[7]. Guo, J., Yang, Y., Wang, G., Yang, L., and Sun, X. (2010). Ecophysiological responses of *Abies fabri* seedlings to drought stress and nitrogen supply. Physiologia Plantarum, 139(4): 335-347.

[8]. Deligoz, A., and Gur, M. (2015). Morphological, physiological and biochemical responses to drought stress of Stone pine (*Pinus pinea* L.) seedlings. Acta Physiologiae Plantarum, 37: 11. 243.

[9]. Grover, M., Ali, S.Z., Sandhya, V., Rasul, A., and Venkateswarlu, B. (2011). Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 27(5): 1231-1240.

[10]. Vurukonda b, S.S.K.P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., and SkZ, A. (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiological Research, 184: 13-24.

[11]. Chanway, CP. (1997). Inoculation of tree roots with plant growth promoting soil bacteria: an emerging technology for reforestation. Forest Science, 43: 99-112.

[12]. Heinonsalo, J., Frey-Klett, P., Pierrat, JC., Churin, JL., Vairelles, J., and Garbaye, J. (2004). Fate, tree growth effect and potential impact on soil microbial communities of mycorrhizal and bacterial inoculation in a forest plantation. Soil Biology and Biochemistry, 36(2): 211-216.

[13]. Dominguez, N., Daniel, M., Ana, D.L.C., Jose, A., and Saiz, D.O. (2013). Effects of *Pseudomonas fluorescens* on the water parameters of mycorrhizal and non-mycorrhizal seedlings of *Pinus halepensis*. Agronomy Journal, 3(3): 571-582.

[14]. Jazirei, M.H. (2003). Silviculture in Arid Biom. Tehran. University of Tehran, Press, 150 p.

[15]. Mohajer, N. (2003). The best time Forestry and methods Transfer cypress seedling (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis*) In the Gorgan region. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 11(2): 233-146.

[16]. Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S., and Papendick, R.I. (1986). Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Science Society of America Journal, 50(4): 1031-1036.

[17]. Dickson, A., Leaf, A.L., and Hosner, J.F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. The Forestry Chronicle, 36: (1): 10-13.

[18]. Zhang, Y.E., Xu, W., Li, Z., Deng, X. W., Wu, W., and Xue, Y. (2008). F-box protein DOR functions as a novel inhibitory factor for abscisic acid-induced stomatal closure under drought stress in Arabidopsis. Plant Physiology, 148(4): 2121-2133.

[19]. Marasco, R., Rolli, E., Ettoumi, B., Vigani, G., Mapelli, F., Borin, S., AbouHadid, AF., El-Behairy, UA., Sorlini, C., Cherif, A., Zocchi, G., and Daffonchio, D. (2012). A drought resistance promoting microbiome is selected by root system under desert farming. PLOS ONE, 7: 10 e48479.

[20]. Bahmani, M., Jalali, GH., A., Asgharzadeh, A., and Tabari, Kouchaksarai, M. (2014). Efficiency of rhizobacteria inoculation of *Pseudomonus putida* 169 on the improvement of growth and physiology traits of seedlings (*Calotropis procera* Ait.) under drought stress conditions, Journal of Soil Biology, 2(1): 80-86.

[21]. Kalitkiewicz, A., and Kepczynska, E. (2008). The use of rhizobacteria in plant growth promoting process. Biotechnologia, 2: 102-114.

[22]. Rostamikia, Y., Tabari Kouchaksaraei, M., Asgharzadeh, A., and Rahmani, A. (2016). The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on growth and physiological characteristics of *Corylus avellana* seedlings. ECOPERSIA, 4(3): 1471-1479.

[23]. Dominguez, J.A., Martin, A., Anriquez, A., and Albanesi, A. 2012. The combined effects of *Pseudomonas fluorescens* and *Tuber melanosporum* on the quality of *Pinus halepensis* seedlings. Mycorrhiza, 22(6): 429-436.

www.SID.ir

Archive of SID

[24]. Liu, F., Xing, S., Ma, H., Du, Z., and Ma. B. (2013). Cytokinin-producing, plant growth-promoting rhizobacteria that confer resistance to drought stress in *Platycladus orientalis* container seedlings. Applied Microbiology and Biotechnology, 97(20): 9155-9164.

[25]. Johnson, J.D., and Cline, M.L. (1991). Seedling quality of southern pines. In Forest regeneration manual, Springer, Dordrecht. pp. 143-159.

www.SID.ir

Archive of SID

The Role of rhizobacteria *Pseudomonas fluorescens* in improving morphological traits of *Cupressus sempervirens* var. horizontalis seedling under water deficit

M. Rooki; M.Sc. Graduated, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran

M. Tabari Kouchaksaraei*; Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran

S. E. Sadati; Assist. Res. Prof.; Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, I.R. Iran

(Received: 19 March 2018, Accepted: 27 August 2018)

ABSTRACT

Cupressus sempervirens var. *horizontalis*, an ornamental tree, is suitable for wind break, soil conservation, wood production and forms a large part of seedling production in nurseries of Iran. Considering the expected limitations of water resources, the target of this investigation was to study the effect of rhizobacteria *Pseudomonas fluorescens* on the growth and survival of *C. sempervirens* seedlings under water deficit. The experiment was carried out with four irrigation periods and two rhizobacteria levels (inoculation and non-inoculation) in a randomized complete block design with three replications. To determine the amount of irrigation water, the field capacity was calculated and the water deficit was given to the plant to the desired moisture content after weighing of the pots. The seedlings in severe water deficit (irrigation period of 12 days) had a survival rate of 95% and higher. Shoot growth and diameter growth were, respectively, reduced by 52.6% and 49.6% in 12-day irrigation compared to 3-day irrigation, but inoculation increased by 14.7% and 14.3% in them, respectively. Regardless of water deficit, root biomass in inoculated seedlings increased by 23.2% compared to the non-inoculated seedlings. Shoot biomass, total biomass and seedling quality index in the period of 9 and 12 days and root volume during the 12-day period decreased, but by inoculation, these variables increased 13.9, 16.8, 20.1 and 25.3, respectively. Overall, although water deficit decreased growth characteristics of *C. sempervirens* seedlings but it can be concluded that root inoculation with *P. fluorescens* can be used as a biologic fertilizer to suit the growth and morphological quality of seedlings, even under severe water deficit conditions. This strategy can be useful for producing proper seedlings of *C. sempervirens* in nurseries facing water constraints.

Keywords: Bacteria inoculation, Biomass, Cypress, Seedling Quality Index, Survival.

* Corresponding Author, Email: mtabari@modares.ac.ir, Tel: +989112246250

www.SID.ir