Archive of SID

فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۲۹، شمارهٔ ٤، صفحهٔ ۷۸۲-۷۷۲ (۱۳۹۲)

اثر تنش خشکی بر کمّیت و کیفیت اسانس و کارایی مصرف آب (WUE) در اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)

محمدهادی راد[1*]، کامکار جایمند[2]، محمدحسن عصاره[3] و مهدی سلطانی[4]

۱*- نویسنده مسئول، مربی پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، پست الکترونیک: mohammadhadirad@gmail.com
۲- دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران
۳- استاد، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران
٤- کارشناس، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۰ تاریخ اصلاح نهایی: بهمن ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۱

چکیده

کمبود آب می‌تواند اثرات متفاوتی را بر فرایندهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان به دنبال داشته باشد. تولید اسانس نیز از نظر مقدار و نوع ترکیب تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. اکالیپتوس‌ها و ازجمله *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. به‌عنوان منابع غنی از اسانس و به‌ویژه ترکیب ۸،۱-سینئول مطرح می‌باشند. به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر بازده اسانس، نوع ترکیب‌های شیمیایی و همچنین کارایی مصرف آب در گونه *E. camaldulensis*، تأثیر سه تیمار رطوبتی شامل ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (بدون تنش)، ۷۰٪ ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و ٤۰٪ ظرفیت زراعی (تنش شدید) در سه تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد و در شرایط لایسیمتری انجام شد. نتایج بدست آمده نشان داد که هرچند با افزایش دسترسی گیاه به آب به‌دلیل تولید برگ بیشتر، اسانس بیشتری تولید گردید، اما تنش ملایم خشکی، افزایش بازده اسانس و بهبود کارایی مصرف آب در خصوص تولید اسانس را به همراه داشت. تنش ملایم خشکی باعث بالا رفتن درصد ۸،۱-سینئول نسبت به سایر تیمارها گردید ($p < 0.001$)، هرچند باعث کاهش تولید و یا توقف تولید بسیاری دیگر از ترکیب‌ها شد. درصد ۸،۱-سینئول در تیمارهای ۱۰۰، ۷۰ و ٤۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب ٦۹/۳۳، ۷۸/۱۳ و ۵۱/۸۷ بود. تولید ترکیب آلفا-پنین نیز به‌عنوان یکی دیگر از ترکیب‌های مهم تحت تأثیر رطوبت کافی (بدون تنش) قرار گرفت، به‌گونه‌ای که مقدار آن با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری ($p < 0.001$) بود. درصد این ترکیب در تیمارهای ۱۰۰، ۷۰ و ٤۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۱٤، ۷/۰۳ و ٤/۰٦ بود.

واژه‌های کلیدی: اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)، تنش خشکی، اسانس، کارایی مصرف آب (WUE).

مقدمه

خانواده میرتاسه شامل ۱۳۳ جنس و ۳۸۰۰ گونه بوده که به‌صورت درخت و درختچه در مناطق گرمسیری، نیمه‌گرمسیری و معتدله رویش دارند، هرچند مناطقی از استرالیا، آمریکای جنوبی، جنوب شرق آسیا و بخش‌های کوچکی از آفریقا خواستگاه اصلی آنهاست (Ben

www.SID.ir

Archive of SID

Marzoug *et al*., 2011). یکی از مهمترین جنس‌های این خانواده، اکالیپتوس (*Eucalyptus*) است که بیش از ۷۰۰ گونه درختی و درختچه‌ای دائم سبز دارد (Batish *et al*., 2008). گرچه بسیاری از گونه‌های این جنس در استرالیا دارای رویشگاه‌های طبیعی می‌باشند، اما به‌دلیل سازگاری بسیار خوب و اهمیت آنها از جهات مختلف ازجمله تولید چوب و ایجاد فضای سبز و تفرجگاه و همچنین کاربرد گسترده در صنایع داروسازی، عطرسازی و تولید حشره‌کش‌ها در بسیاری از کشورهای دنیا ازجمله ایران کشت شده‌اند (عصاره و جایمند، ۱۳۸٤؛ مولائی، ۱۳۷۵؛ Ben-Marzoug *et al*., 2011). غالب گونه‌های اکالیپتوس منبع غنی از اسانس بوده که برحسب گونه، کولتیوار، شرایط رویشگاهی، نوع اندام و سن اندام‌های مختلف دارای ترکیب‌های متفاوتی می‌باشند (Doran & Bell, 1994؛ Moore *et al*., 2004).

بومیان استرالیا و بعدها مهاجران سفیدپوست از اکالیپتوس به‌عنوان داروی همه دردها استفاده می‌کردند (عصاره و جایمند، ۱۳۸٤). از اکالیپتوس در پزشکی سنتی استفاده‌های زیادی می‌شود و اسانس حاصل از آن یکی از مؤثرترین و رایج‌ترین داروهاست. گندزدایی عمومی (به‌ویژه در مورد شش‌ها و مجاری ادرار)، ضدالتهاب، خلط‌آور، ضداسپاسم، کاهنده قند خون، تب‌بر، محرک، التیام‌دهنده زخم‌ها، انگل‌کش، درمان بیماریهای تنفسی (مانند آسم، برونشیت، سل، زکام و سینوزیت)، درمان عفونت‌های مجاری ادرار، دیابت، تب، روماتیسم، انگل روده مانند اسکاریس و کرمک از عمده موارد کاربرد آن گزارش شده‌است (عصاره و جایمند، ۱۳۸٤؛ آبروش و همکاران، ۱۳۸٦؛ Bamoniri *et al*., 2009). گونه‌های مختلف اکالیپتوس دربرگیرنده غلظت بالایی از مونوترپنوئیدها و سزکویی‌ترپنوئیدها هستند که می‌توان این مواد را تحت عنوان اسانس به‌وسیله تقطیر از اندام‌های مختلف جدا نمود (Doran *et al*., 2005). آبروش و همکاران (۱۳۸٦) ۸،۱-سینئول را به‌عنوان مهمترین ترکیب استخراج شده از گونه‌هایی مانند *E. stricklandii*، *E. brockwayii*، *E. sargentii*، *E. langiflorens* و *E. kruseana* دانسته‌اند. Ben-Marzoug و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کرده‌اند که بیشترین درصد مواد تشکیل‌دهنده اسانس گونه *E. oleosa* مربوط به ۸،۱-سینئول بوده که میزان آن در گل‌های این گونه بمراتب بیشتر از سایر اندام‌های گیاه است.

E. camaldulensis Dehnh. از گونه‌های معروف این جنس بوده که در بیشتر کشورها از آن با اهداف مختلف ازجمله تولید چوب استفاده گسترده می‌شود. تند رشد بودن، مقاومت در برابر شرایط نامساعد محیطی و سازگاری بسیار خوب از ویژگی‌های بارز این گونه است. این گونه در صنایع مختلف داروسازی و آرایشی نیز از جایگاه ممتازی برخوردار است. این گونه سرشار از اسانس بوده که مقدار و نوع هر یک از مواد مؤثره آن به عواملی مانند جمعیت، نوع اندام و سن هر یک از اندام‌ها بستگی دارد (Doran *et al*., 2005). حداکثر میزان اسانس در این گونه، زمانی است که برگ‌ها به اندازه کافی رشد نموده، ضخیم و مومی نشده و در شرایط ایده‌ال قرار گرفته باشند (Doran & bell, 1994). عوامل محیطی می‌توانند سطح متابولیت‌های ثانویه را در این گیاه همانند سایر گیاهان تحت تأثیر قرار دهند، این موضوع در مورد ترپن‌ها به اثبات رسیده‌است (Leicacha *et al*., 2010). عواملی مانند تنش‌های زنده از قبیل آفات و بیماریها و تنش‌های غیرزنده از قبیل کمبود آب و مواد غذایی بر

www.SID.ir

Archive of SID

عملکرد اسانس و اجزاء آن در این گونه کاملاً مؤثر است (Tang *et al*., 1995؛ Leicacha *et al*., 2010).

در خصوص عملکرد بیوشیمیایی گیاهان تحت تنش خشکی گزارش‌های متفاوتی موجود است. آنچه در بیشتر گزارش‌ها به آن اشاره شده‌است، افزایش میزان مواد آلی ازجمله قندهای محلول، پرولین و اسانس در گیاهان در معرض تنش خشکی ملایم می‌باشد (عباس‌زاده و همکاران، ۱۳۸٦)؛ هرچند ممکن است در این حالت عملکرد برخی از اجزاء اسانس‌ها کاهش یابد (Leicacha *et al*., 2010). تنش شدید خشکی باعث کاهش عملکرد مواد آلی و اجزاء آن ازجمله اسانس در گیاه دارویی بادرنجبویه شده‌است (عباس‌زاده و همکاران، ۱۳۸٦). گزارش‌های متعددی در خصوص تأثیر تنش خشکی و همچنین کارایی مصرف آب (WUE: Water Use Efficiency) در گونه‌های دارویی، به‌خصوص بر روی اندام‌های رویشی وجود دارد (Alizadeh Sahzabi *et al*., 2010؛ Rahimi *et al*., 2011؛ Ghamarnia *et al*., 2010). هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر تنش خشکی بر بازده اسانس، عملکرد اجزاء اسانس و کارایی مصرف آب در رابطه با تولید اسانس در گونه *E. camaldulensis* بوده‌است. بنابراین به نظر می‌رسد تنش خشکی ضمن تأثیر بر بازده اسانس، می‌تواند نوع ترکیب‌های اسانس و کارایی مصرف آب را در خصوص تولید اسانس در این گونه تحت تأثیر قرار دهد.

مواد و روشها

مکان، شرایط اقلیمی و وضعیت خاک

از ۱۰ عدد لایسیمتر وزنی زهکش‌دار موجود در سایت تحقیقاتی (آزمایش‌های لایسیمتری) ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد استفاده گردید. ارتفاع لایسیمترها ۱٦۰ سانتی‌متر و قطر آنها ۱۲۱ سانتی‌متر می‌باشد، جنس لایسیمترها از آهن گالوانیزه بوده و بدنه آنها به‌وسیله فایبرگلاس و پشم شیشه برای کاهش تبادلات حرارتی پوشانده شد. کف لایسیمترها از شیب دو سانتی‌متری برخوردار بوده و آب اضافی را به لوله‌ای که برای خروج آب در نظرگرفته شد، منتهی گردید. به‌منظور بهبود وضعیت زهکش لایسیمترها از ماسه درشت به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و ماسه ریز به ارتفاع ۵ سانتی‌متر در کف آنها استفاده شد. خاک مورد استفاده دارای بافت متوسط سیلتی- لوم بوده و از EC ٤/۱ میلی‌موس بر سانتی‌متر و pH۷/۱ برخوردار بود. برای بهبود EC، خاک آبشویی گردید که پس از این کار EC به ۱/۰٦ میلی‌موس بر سانتی‌متر کاهش یافت.

شرایط اکولوژیکی حاکم بر سایت تحقیقاتی

میانگین بارندگی سالانه ۷۰ میلی‌متر، بیشینه سرعت وزش باد ۱۲۰ کیلومتر در ساعت، میانگین سالانه ساعات آفتابی ۳۰۵۲ ساعت، میانگین سالانه تعداد روزهای یخبندان ۷۳ روز، میانگین سالانه تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A ۳۲۰۷/٤ میلی‌متر، میانگین سالانه رطوبت نسبی در صبحگاه ۵۷٪، میانگین سالانه رطوبت نسبی در عصر ۳۸/۵٪، میانگین دمای سالانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد، کمینه مطلق دمای سالانه ۱۳/۵- درجه سانتی‌گراد، بیشینه مطلق دمای سالانه ٤۵/۵ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه براساس روش دومارتن اصلاح شده فراخشک سرد گزارش شده‌است.

کاشت و مراقبت از نهال‌ها

با آماده شدن لایسیمترها و فراهم شدن شرایط برای کاشت نهال در آنها، نسبت به کاشت یک اصله نهال

www.SID.ir

Archive of SID

گلدانی با سن یکسال در شروع فصل پاییز سال ۱۳۸۵ اقدام شد، نهال‌ها به مدت یک سال به فاصله ۱۵ روز یک‌بار با مقدار ۵۰ لیتر آب، آبیاری گردیدند.

اعمال تیمارها

یک سال پس از کاشت نهال‌ها نسبت به اعمال تیمارهای رطوبتی شامل ۱۰۰٪ (بدون تنش خشکی)، ۷۰٪ (تنش ملایم خشکی) و ٤۰٪ (تنش شدید خشکی) ظرفیت زراعی در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اقدام گردید. اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌وسیله توزین لایسیمترها و همچنین با استفاده از TDR مدل TRAM انجام شد. رطوبت خاک در پنج عمق ۲۰، ٤۰، ٦۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری و میانگین آنها مبنای آبیاری قرار گرفت. یک عدد لایسیمتر برای اندازه‌گیری میزان تبخیر از سطح خاک منظور گردید. در پایان آزمایش میزان آب مصرف شده (تبخیر- تعرق و تعرق) در هر یک از تیمارها محاسبه گردید.

شاخص‌های مورد ارزیابی

بازده اسانس

پس از جمع‌آوری برگ درختان مربوط به هر یک از تیمارهای رطوبتی، نسبت به خشک نمودن آنها در شرایط آزمایشگاه اقدام و به‌طور تصادفی مقدار ۱۰۰ گرم از آنها برای تهیه اسانس جدا گردید. نمونه‌ها به تفکیک آسیاب و به روش تقطیر اسانس‌گیری شد. پس از تعیین بهترین زمان، بازده اسانس محاسبه گردید.

شناسایی ترکیب‌های شیمیایی اسانس

از دستگاه کروماتوگراف گازی الگوی GC-9A Shimadzu مجهز به دکتور FID (یونیزاسیون با شعله هیدروژن) و داده‌پرداز EuroChrom ۲۰۰۰ از شرکت Knaure آلمان، ستون DB-1 (غیرقطبی) به طول ٦۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ استفاده گردید. برنامه حرارتی ستون شامل دمای اولیه ۵۰ درجه سانتی‌گراد، دمای نهایی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت افزایش دما برابر ٤ درجه سانتی‌گراد در دقیقه، دمای محفظه تزریق و آشکارساز به‌ترتیب ۲۵۰ و ۲٦۵ درجه سانتی گراد تنظیم شد. دستگاه کروماتوگراف گازی الگوی Varian-3400 متصل به طیف‌سنج جرمی Saturn II، با سیستم تله یونی و با انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت، و ستون مورد استفاده مشابه دستگاه GC می‌باشد. درجه حرارت ٤۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت افزایش ٤ درجه سانتی‌گراد در دقیقه، درجه حرارت محفظه تزریق ۲٦۰ درجه سانتی گراد و دمای ترانسفورلاین ۲۷۰ درجه سانتی گراد تنظیم شد. شناسایی طیف ها به کمک شاخص‌های بازداری آنها که با تزریق هیدروکربن های نرمال (C_7-C_{25}) در شرایط یکسان با تزریق اسانس‌ها و توسط برنامه کامپیوتری نوشته شده به زبان بیسیک محاسبه شدند. مقایسه آنها با استفاده از طیف های جرمی ترکیب های استاندارد، اطلاعات موجود در کتابخانه ترپنوئیدها در کامپیوتر دستگاه GC/MS و مقادیر ذکر شده در منابع مختلف انجام گردید. محاسبه‌های کمّی (تعیین درصد هر ترکیب) به کمک داده‌پرداز EuroChrom 2000 به روش نرمال کردن سطح و نادیده گرفتن ضرایب پاسخ مربوط به طیف‌ها انجام شد.

تعیین کارایی مصرف آب در رابطه با تولید اسانس

پس از تعیین میزان تبخیر و تعرق در هر یک از تیمارهای رطوبتی و مشخص شدن میزان اسانس و بازده

www.SID.ir

Archive of SID

اسانس در هر یک از تیمارها، کارایی مصرف آب (WUE) محاسبه گردید.

$$WUE_{(g/m^3)}=\frac{D}{W}$$

که در آن WUE کارایی مصرف آب، D مقدار اسانس تولید شده بر حسب گرم و W جرم آب مصرف شده توسط گیاه (تبخیر و تعرق) بر حسب مترمکعب است.

تجزیه آماری

برای تجزیه آماری داده‌ها و همچنین مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن، از نرم‌افزار آماری MSTATC استفاده گردید. برای بررسی رابطه صفت‌ها با یکدیگر و رسم نمودارها از محیط نرم‌افزاری EXCEL استفاده شد.

نتایج

بازده اسانس

نتایج بررسی‌های بعمل‌آمده نشان داد که بین تیمارهای مختلف از نظر درصد اسانس اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.001$). هرچند بین تیمار ۱۰۰٪ و ۷۰٪ ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. اما بازده اسانس در تیمارهای ۱۰۰٪، ۷۰٪ و ٤۰٪ ظرفیت زراعی به‌ترتیب برابر ۱/۳۰، ۱/۳۲ و ۰/۵۸ درصد بود.

درصد و نوع ترکیب‌ها

میزان ترکیب‌های مختلف در تیمارهای ۱۰۰٪، ۷۰٪ و ٤۰٪ ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۹۷/۷٪، ۹۸/۵٪ و ۹۸/٦٪ و تعداد ترکیب‌های اندازه‌گیری شده در هر یک از تیمارها نیز به‌ترتیب ۱۵، ۱۱ و ۱٦ مورد بود. اگرچه تنش ملایم باعث افزایش بازده اسانس گردید، اما تعداد ترکیب‌های آن کمتر از سایر تیمارها بود. جدول ۱ وضعیت ترکیب‌های هر یک از تیمارهای رطوبتی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده‌است، ترکیب‌هایی مانند ۸،۱-سینئول و آلفا-پنین در هر سه تیمار، بالاترین درصد را به خود اختصاص دادند. هرچند بین مقدار آنها در سطح آماری ۱٪ ($p < 001$) اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۲). اما بالاترین درصد ترکیب ۸،۱-سینئول مربوط به تیمار تنش ملایم (۷۰٪ ظرفیت زراعی) و کمترین آن مربوط به تیمار تنش شدید (٤۰٪ ظرفیت زراعی) بود. بیشترین درصد ترکیب آلفا-پنین مربوط به تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و کمترین آن مربوط به تیمار تنش شدید بود. ترکیب‌های دیگری مانند آلفا-فلاندرن، ترانس- پینوکاروئول، ترپینن-٤-ال، ترانس- کاروئول، دیپریتون، بیسیکلو جرماسرین، آلفا-ادسمول، کاریوفیلنراستات به‌طور مشترک در هر سه تیمار وجود داشتند، هرچند در مقدار آنها وضعیت متفاوتی مشاهده گردید. جدول ۲ تجزیه واریانس تیمارهای مختلف و تأثیر آنها بر ۱۰ ترکیب مشترک را نشان می‌دهد.

برخی از ترکیب‌ها در یک و یا دو سطح از تیمارهای رطوبتی مشاهده شد. عمده‌ترین ترکیب‌ها، پینوکارون در تیمار ۷۰٪ ظرفیت زراعی با مقدار ۲/٤٪، ترکیب‌های دی‌هیدرو-ادسمول و (Z-Z)-فارنسول به‌ترتیب با ۱/۱۹٪ و ۱۱/۰۹٪ درصد در تیمار ٤۰٪ ظرفیت زراعی بودند.

جدول ۳ مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف رطوبتی را در هر یک از ٦ ترکیب مشترک که اختلاف آنها از نظر آماری معنی‌دار شد را نشان می‌دهد. تغییرات فاحش میان برخی از ترکیب‌های مربوط به تیمارهای مختلف رطوبتی نشان از تأثیر متفاوت تنش خشکی بر نوع و مقدار هر یک از عناصر تشکیل‌دهنده اسانس در این گونه از اکالیپتوس دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- درصد ترکیب‌های موجود در اسانس برگ اکالیپتوس (*E. camaldulensis*) تحت تیمارهای مختلف رطوبتی

ردیف	نام ترکیب	شاخص بازداری (RI)	٪۱۰۰ FC	٪۷۰ FC	٪٤۰ FC
۱	α-pinene	۹٤۰	۱٤/۰	۷/۰	٤/۱
۲	α-phellandrene	۱۰۱۰	۲/۰	٥/٦	۱/۱
۳	1,8-cineol	۱۰۳۰	٦۹/۳	۷۸/۱	٥۱/۹
٤	trans-pinocarveol	۱۱٥۱	۲/۹	۱/۰	۸/۷
٥	pinocarvone	۱۱٦٥	–	۲/٤	–
٦	terpinen-4-ol	۱۱۷۲	۰/۸	۱/۳	۲/۱
۷	trans-carveol	۱۲۰٦	۱/۲	۱/٤	۱/٤
۸	piperitone	۱۲٤٥	۰/٦	۰/٥	۱/۹
۹	sobornyl acetate	۱۲۸۳	–	–	۰/٤
۱۰	α-terpinyl acetate	۱۳٥۱	۰/۷	–	–
۱۱	bicyclogermacrene	۱٤۸۱	۱/۷	۰/٦	۱/۳
۱۲	germacrene A	۱٥۰٦	۰/۷	–	۰/۷
۱۳	γ-eudesmol	۱٦۳٦	۰/۷	–	۱/۰
۱٤	α-eudesmol	۱٦٥۰	۲/۲	۰/۲	۷/۳
۱٥	dihydro-eudesmol	۱٦٦٤	۰/۲	–	۱/۲
۱٦	longiborneol	۱٦۸٦	–	–	۰/٥۰
۱۷	caryophyllene acetate	۱۷۰٦	۰/۱	۰/۳	٤/۰
۱۸	(Z-Z)-farnesol	۱۷۲۰	–	–	۱۱/۱
۱۹	Z-nuciferol acetat	۱۸۲۹	۰/۱	–	–
	جمع		۹۷/۸	۹۸/٥	۹۸/٦

کارایی مصرف آب در رابطه با تولید اسانس

جدول ٤ میزان تبخیر و تعرق، تولید اسانس و در نهایت کارایی مصرف آب را در هر یک از تیمارهای رطوبتی نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده نشان داد که حداکثر میزان اسانس تولید شده به دلیل افزایش میزان تولید برگ در تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی اتفاق افتاد. باوجود تولید اسانس بیشتر در تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، حداکثر کارایی مصرف آب زمانی اتفاق افتاد که گیاه در معرض تنش ملایم قرار گرفت (۷۰٪ ظرفیت زراعی). با کاهش میزان رطوبت خاک از ۷۰٪ ظرفیت زراعی به ٤۰٪ ظرفیت زراعی به شدت کارایی مصرف آب کاهش یافت. در بررسی رابطه میان تبخیر و تعرق با کارایی مصرف آب در رابطه با تولید اسانس مشخص شد که با افزایش میزان تبخیر و تعرق و یا به عبارتی

www.SID.ir

Archive of SID

دسترسی گیاه بـه آب تـا محـدوده‌ای مشـخص، کـارایی مصرف آب افزایش یافت. این رابطـه خطـی نبـوده و در محدوده تنش ملایم به بیشینه میزان خود رسید. البتـه بـا افزایش تبخیر و تعرق، مجدداً کارایی مصرف آب کاهش یافت (شکل ۱).

جدول ۲- تأثیر تیمارهای مختلف رطوبتی بر ده ترکیب مشترک

نوع ترکیب	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F
α-pinene	۱۵٦/۰۰	۷۸/۰	٤۸/۷۸ **
α-phellandrene	۳٤/۷٤۷	۱۷/۳۷	۲٤/۰۵ **
1,8-cineol	۱۰۷۲/٤٦	۵۳٦/۲۳	٤۷/۰۵ **
trans-pinocarveol	۹۸/۰۸	٤۹/۰٤۳	۵۰/۷۹ **
terpinen-4-ol	۲/۳۲	۱/۱٦	٤/۰۲ ns
trans-carveol	۰/۰۸	۰/۰٤	۰/۱۳ ns
piperitone	۳/۷٦۲	۱/۸۸	۱۰/۱۹ *
bicyclogermacrene	۱/۷٤۲	۰/۸۷	۲/۸۰ ns
α-eudesmol	۸۰/٤۲	٤۰/۲۱	۱۲/۱۱ **
caryophyllener acetate	۲۸/۹۰	۱٤/٤۵	٤/۲٦ ns

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪، *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، ns: اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید.

جدول ۳- مقایسه میانگین بین ترکیب‌های مختلف در هر یک از تیمارهای رطوبتی

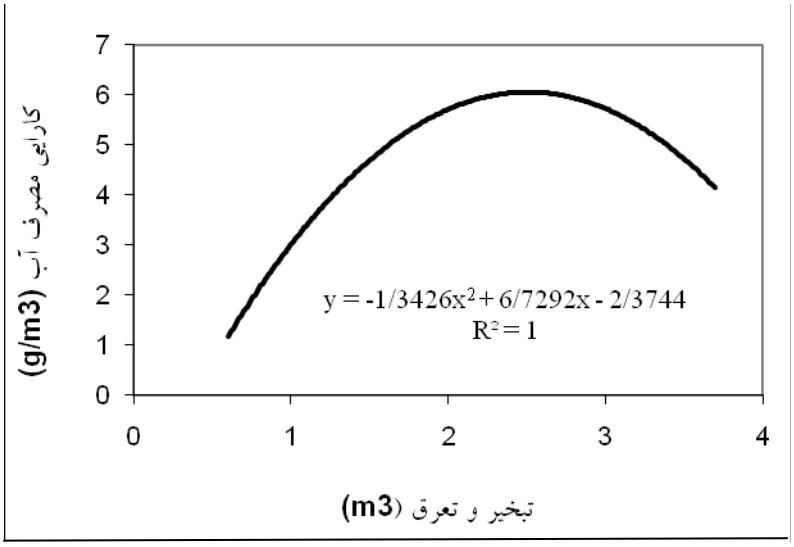
تیمار رطوبتی	نوع ترکیب					
	α-pinene	α-phellandrene	1,8-cineol	trans-pinocarveol	piperitone	α-eudesmol
٪۱۰۰ FC	۱٤/۰a	۲/۰ b	٦۹/۳ b	۲/۹ b	۰/٦ b	۲/۲ b
٪۷۰ FC	۷/۰ b	۵/٦ a	۷۸/۱ a	۱/۰ c	۰/۵ b	۰/۲ c
٪٤۰ FC	٤/۱ c	۱/۱ b	۵۱/۹ c	۸/۷ a	۱/۹ c	۷/۳ a

جدول ٤- تبخیر و تعرق، تولید اسانس و کارایی مصرف آب در هر یک از تیمارهای رطوبتی

تیمار رطوبتی	شاخص		
	تبخیر و تعرق (m^3)	کل اسانس تولید شده (به ازای هر درخت) (g/m^3)	کارایی مصرف آب (gr) (WUE)
٪۱۰۰ FC	۳/۷۰۱	۱۵/۳۱	٤/۱٤
٪۷۰ FC	۱/۸۵٦	۱۰/۲۱	۵/٤۹
٪٤۰ FC	۰/٦۰۲	۰/۷۱۵	۱/۱۹

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- رابطه بین تبخیر و تعرق و کارایی مصرف آب در تولید اسانس اکالیپتوس (*E. camaldulensis*)

بحث

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تنش ملایم خشکی (۷۰٪ ظرفیت زراعی) موجب افزایش بازده اسانس گردید، هرچند با تیمار بدون تنش (۱۰۰٪ظرفیت زراعی) اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. تنش شدید خشکی موجب کاهش میزان اسانس گردید. مقادیر بدست آمده در تیمارهای ۱۰۰٪، ۷۰٪ و ٤۰٪ ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۱/۳۰، ۱/۳۲ و ۰/۵۸ درصد اندازه گیری شد. نتایج بدست آمده با آزمایش Leicacha و همکاران (۲۰۱۰) که بر روی نهال‌های یکساله *E. camaldulensis* در شرایط گلخانه انجام داده‌اند مطابقت دارد. آنها اختلاف معنی‌داری را بین تیمار بدون تنش خشکی (آبیاری روزانه) با تیمار تنش خشکی (با آبیاری هر سه روز یک‌بار) در میزان اسانس تولید شده مشاهده نکردند. میزان اسانس تولید شده را در تیمار بدون تنش خشکی با تیمار تنش خشکی به‌ترتیب ۰/۷۹٪ و ۰/۸۰٪ گزارش کرده‌اند. البته تأثیر تنش ملایم خشکی بر افزایش میزان اسانس در برخی از گونه‌های دارویی دیگر نیز گزارش شده‌است (آرزمجو و همکاران، ۱۳۸۸؛ عباس‌زاده و همکاران، ۱۳۸٦؛ Aliabadi Farahani *et al*., 2009؛ Ahmadian *et al*., 2011). اگرچه تنش ملایم خشکی باعث کاهش عملکرد اسانس به‌دلیل کاهش تولید برگ شده‌است، اما تأثیر مثبتی بر کارایی مصرف آب در رابطه با تولید اسانس داشته‌است. این موضوع نشان می‌دهد درصورتی‌که هدف از کاشت این گونه برای تهیه اسانس می‌باشد، می‌توان با اعمال تنش ملایم خشکی مقدار اسانس بیشتری را به‌ازای مصرف مقدار کمتر آب برداشت نمود. به عبارتی در محدوده تنش ملایم (حدود ۷۰٪ ظرفیت زراعی) گیاه قادر است مقدار بیشتری اسانس به ازای هر واحد آب مصرفی تولید نماید. البته با افزایش تنش خشکی بشدت میزان اسانس تولیدی به ازای هر واحد آب مصرفی کاهش یافت. بهبود کارایی مصرف آب در خصوص تولید ماده

www.SID.ir

Archive of SID

خشک (ریشه و اندام هوایی) و همچنین چوب در گونه مذکور به‌وسیله راد و همکاران (۱۳۸۹) گزارش شده‌است. تأثیر تنش ملایم خشکی بر بهبود کارایی مصرف آب در رابطه با تولید ماده خشک و همچنین بذر دو گونه دارویی *Plantago ovata* و *Plantago psyllium* توسط Rahimi و همکاران (۲۰۱۱) گزارش شده‌است.

تأثیر تیمارهای رطوبتی بر تعداد ترکیب‌ها و نوع آنها قابل‌توجه است، هرچند تفاوت فاحشی میان درصد کل ترکیب‌ها در سطوح مختلف رطوبتی مشاهده نگردید. البته باوجود افزایش بازده اسانس و بهبود کارایی مصرف آب در تیمار تنش ملایم خشکی، تعداد ترکیب‌ها و به‌عبارتی تنوع آنها کاهش یافت. درصد ۸،۱-سینئول به‌عنوان مهمترین ترکیب در گونه‌های مختلف اکالیپتوس با اعمال تنش ملایم افزایش یافت و مقدار آن به ۷۸/۱٪ رسید. کاهش قابل توجه تولید ۸،۱-سینئول در اثر اعمال تنش شدید خشکی (۵۱/۹٪) نشان‌دهنده تولید این ترکیب در شرایط نسبتاً ایده‌آل می‌باشد. Leicacha و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کرده‌اند که با اعمال تنش ملایم خشکی در نهال‌های یک‌ساله *E. camaldulensis* مقدار ترکیب ۸،۱-سینئول از ٤٥/٧٦٪ به ۵۸/۷۷٪ افزایش یافت. تولید قابل توجه ترکیب آلفا-پنین (١٤٪) با وجود رطوبت زیاد در خاک (در حد ظرفیت زراعی) و داشتن اختلافی معنی‌دار با سایر تیمارهای رطوبتی ازجمله تنش ملایم خشکی (۷٪)، بیانگر شرایط ایده‌ال رطوبتی برای تولید آن می‌باشد. این موضوع با نتایج بدست آمده توسط Leicacha و همکاران (۲۰۱۰) مغایرت دارد. آنها گزارش کرده‌اند که با اعمال تنش ملایم خشکی مقدار آلفا-پنین از ۷/۰٪ به ۱۲/۱٪ افزایش یافته‌است. ترکیب آلفا- فلاندرن نیز در تیمار تنش ملایم با مقدار ۵/٦٪ از سایر تیمارهای رطوبتی بیشتر بود، به‌گونه‌ای که دارای اختلاف معنی‌داری بود. از نکات برجسته در این تحقیق تولید ترکیب‌های آلفا-ادسمول و (Z,Z)- فارنزول با مقادیر به‌ترتیب ۷/۳٪ و ۱۱/۱٪ در اثر اعمال تیمار شدید خشکی است. این ترکیب‌ها در سایر تیمارهای رطوبتی در مقادیر کم و یا اصلاً تولید نشده‌اند. در پایان می‌توان چنین نتیجه گرفت که هر چند ترکیب اصلی اسانس *E. camaldulensis* ۸،۱-سینئول است، اما تولید و مقدار سایر ترکیب‌ها که تولیدشان در این گیاه امکان‌پذیر است به عوامل محیطی و ازجمله دسترسی ریشه به آب بستگی دارد. بنابراین می‌توان با اعمال مدیریت مناسب در آبیاری درختان *E. camaldulensis* نسبت به تولید ترکیب‌های مختلف اقدام نمود.

منابع مورد استفاده

- آبروش، ز.، سفیدکن، ف. و عصاره، م.ح.، ۱۳۸٦. استخراج و تعیین ترکیب‌های شیمیایی اسانس پنج گونه اکالیپتوس کاشت شده در مناطق گرمسیری ایران. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۳(۳): ۳۳۰-۳۲۳.
- آرزمجو، ا.، حیدری، م. و قنبری، ا.، ۱۳۸۸. بررسی تنش خشکی و سه نوع کود بر عملکرد گل، پارامترهای فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۵(٤): ٤٩٤-٤٨٢.
- راد، م.ه، عصاره، م.ح، مشکوه، م.ع و سلطانی، م.، ۱۳۸۹. نیاز آبی و تابع تولید اکالیپتوس (*E. camaldulensis*) در شرایط اقلیمی خشک. جنگل ایران، ۲(۱): ۷۲-٦۱.
- عباس‌زاده، ب.، شریفی عاشورآبادی، ا.، لباسچی، م.ح.، نادری حاجی باقرکندی، م. و مقدمی، ف.، ۱۳۸٦. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، قندهای محلول، کلروفیل و آب نسبی (RWC) بادرنجبویه (*Melissa afficinalis* L.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۳(٤): ۵۱۳-۵۰٤.

www.SID.ir

Archive of SID

- عصاره، م.ح. و جایمند، ک.، ۱۳۸٤. معرفی دو گونه *Eucalyptus torquata* و *Eucalyptus leucoxylon* به‌عنوان منابع غنی از ۸،۱-سینئول. پژوهش و سازندگی (در منابع طبیعی)، ۱۸(۳): ۲۶-۲۲.
- مولائی، ا.، ۱۳۷۵. استخراج، شناسایی و تعیین درصد ماده مؤثره دارویی اسانس برگ‌های گیاه اکالیپتوس، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشکده علوم دانشگاه بیرجند، ۱۱۳ صفحه.
- Ahmadian, A., Ghanbari, A., Siahsar, B., Haydari, M., Ramroodi, M. and Mousavinik, S.M., 2011. Study of chamomile's yield and its components under drought stress and organic and inorganic fertilizers usage and their residue. Journal of Microbiology and Antimicrobials, 3(2): 23-28.
- Aliabadi Farahani, H., Valadabadi, S.A., Daneshian, J. and Khalvati, M.A., 2009. Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. Journal of Medicinal Plants Research, 3(5): 329-333.
- Alizadeh Sahzabi, A., Sharifi Ashoorabadi, E., Shiranirad, A.H., Abbaszadeh, B. and Aliabadi Farahani, H., 2010. The methods of nitrogen application influence on essential oil yield and water use efficiency of summer savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of Horticulture and Forestry, 2(3): 52-56.
- Bamoniri, A., Mazoochi, A., Mirjalili, B.B.F., Mehrasa, M. and Batooli, H., 2009. Survey of the bioactivity and fragrant constituents separated by nano scale injection of *Eucalyptus camaldulensis* var. obtusa cultivated in Kashan area. Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, 4(4): 603-606.
- Batish, D.R., Singh, H.P., Kohli, R.K. and Kaur, S., 2008. *Eucalyptus* essential oil as a natural pesticide. Forest Ecology and Management, 256(12): 2166-2174.
- Ben Marzoug, H.N., Romdhane, M., Lebrihi, A., Mathieu, F., Couderc, F., Abderraba, M., Khouja, M.L. and Bouajila, J., 2011. *Eucalyptus oleosa* essential oils: chemical composition and antimicrobial and antioxidant activities of the oils from different plant parts (stems, leaves, flowers and fruits). Molecules, 16(2): 1695-1709.
- Doran, J.C. and Bell, R., 1994. Influence of non-genetic factors on yield of monoterpenes in leaf oils of *Eucalyptus camaldulensis.* New Forests, 8(4): 363-379.
- Doran, J.C., Kar, A.K., Larmour, J.S. and Reid, N., 2005. Variation in frost tolerance of the 1,8-cineole-rich variants of the peppermint eucalyptus, *Eucalyptus radiata* and *E. dives.* Australian Forestry, 68(2): 137-143.
- Ghamarnia, H., Khosravy, H. and Sepehri, S., 2010. Yield and water use efficiency of *(Nigella sativa* L.) under different irrigation treatments in a semi arid region in the West of Iran. Journal of Medicinal Plants Research, 4(16): 1612-1616.
- Leicacha S.R., Garaub, A.M., Guarnaschellib, A.B., Yaber Grassa, M.A., Sztarkera, N.D and Analia Dato, A., 2010. Changes in *Eucalyptus camaldulensis* essential oil composition as response to drought preconditioning. Journal of Plant Interactions, 5(3): 205-210.
- Moore, B., Wallis, I., Wood, J. and Foley, W., 2004. Follar nutrition, site quality, and temperature influence follar chemistry of tallow wood (*Eucalyptus microcarys*). Ecological Monographs, 74(4): 553-568.
- Rahimi, A., Jahansoz, M.R., Madah Hoseini, S., Sajjadinia, A.R., Roosta, H.R. and Fateh, H., 2011. Water use and water-use efficiency of Isabgol (*Plantago ovata*) and French psyllium (*Plantago psyllium*) in different irrigation regimes. Australian Journal of Crop Science, 5(1): 71-77.
- Tang, C., Cai, W., Kohl, K. and Nishimoto, R.K., 1995. Plant stress and allelopathy: 348-362. In: Inderjit, Dakshini, K.M.M. and Einhellig, F.A., (Eds.). Allelopathy: Organisms, Processes and Applications. ACS Symposium Series 582, American Chemical Society, Washington, DC, 388p.

www.SID.ir

Archive of SID

Effects of drought stress on the quantity and quality of essential oil and water use efficiency in Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)

M.H. RAD[1*], K. Jaimand[2], M.H. Assareh[2] and M. Soltani[3]

1*- Corresponding author, Research Center for Agricultural and Natural Resources, Yazd, Iran
E-mail: mohammadhadirad@gamil.com
2- Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran
3- Research Center for Agricultural and Natural Resources, Yazd, Iran

Received: April 2011 Revised: January 2012 Accepted: April 2012

Abstract

Drought stress has different effects on morphological, physiological and biochemical processes of plants. Moreover, the quantity and quality of essential oil are affected by drought stress. Eucalyptus species including *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. are considered as rich sources of essential oils especially 1,8-cineol. In order to study the effect of drought stress on essential oil yield, the type of chemical compounds and also water use efficiency in *E. camaldulensis*, this research was conducted in a completely randomized design with three treatments including 100, 70, and 40% field capacity and three replications. The experiment was carried out in combat desertification research station of Shahid Sadoughi under lisymetry conditions. Results showed that increasing of soil moisture led to the increased production of essential oil. However, mild drought stress resulted in increased essential oil yield and improved water use efficiency. Mild drought stress compared to other treatments ($p < 0.001$), improved the production of 1, 8-cineol, however it was observed that it decreased or stopped the production of many other compounds. The percentage of 1, 8 - cineol in the treatments of 100, 70 and 40% field capacity, were, 69.33, 78.13 and 51.87, respectively. The production of α-pinene, as another important compound was also affected by enough moisture (without stress) so that It's value showed significant difference with other treatments ($p <0.001$). The percentage of α-pinene in the treatments of 100, 70 and 40% field capacity, were, 14.0, 7.03 and 4.06, respectively. The moisture treatments including 100% FC (without stress), 70% FC (mild stress) and 40% FC (severe stress) were studied with three replicates and completely randomize design.

Key words: *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., drought stress, essential oil, water use efficiency (WUE).

www.SID.ir