بررسی تاثیر کودهای زیستی و مویان بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه نعناع سبز (*Mentha spicata*) تحت شرایط کم‌آبیاری

اختر زند*[۱]، حسین آرویی[۲]، محمدرضا چایی‌چی[۳]، سید حسین نعمتی[٤]
[۱] دانش آموخته دکتری (گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران)
[۲] دانشیار (گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران)
[۳] استاد (گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران)
۴ استادیار (گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران)
* نویسنده مسئول: a_zand1984@yahoo.com

چکیده

خشکی مهمترین عامل محدودکننده‌ی تولید محصولات زراعی به ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیا می‌باشد. به منظور بررسی اثر کود و مویان بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه نعناع سبز (*Mentha spicata*)، آزمایشی در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه رژیم آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) به عنوان کرت اصلی، تیمار کاربرد مویان غیریونی با نام تجاری Golden Igrri Aid (مصرف مویان با غلظت یک پی‌پی‌ام و عدم مصرف مویان) به عنوان کرت فرعی و چهار سطح کود شامل شاهد (عدم مصرف کود)، کود شیمیایی (اوره و سوپرفسفات‌تریپل)، کود زیستی (ترکیبی از باکتری‌های ازتوباکتر (*Azotobacter chroococcom*)، سودوموناس (*Pseudomonas fluorescens*) و قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*)) و کود تلفیقی (کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی) به عنوان کرت فرعی– فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که از رژیم آبیاری مطلوب به طرف رژیم کم‌آبیاری شدید از میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها کاسته و بر میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول افزوده شد. کاربرد مویان در رژیم کم‌آبیاری متوسط و شدید سبب بهبود میزان رنگیزه کلروفیل و کاروتنوئید نسبت به تیمار مجاور آن (عدم کاربرد مویان) گردید. کاربرد کود نیز سبب افزایش این رنگیزه‌ها نسبت به شاهد بدون کود گردید. با کاربرد مویان در تنش متوسط و شدید خشکی، تولید اسیدآمینه پرولین و کربوهیدرات‌ها کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیولوژیکی، کود زیستی، کم‌آبیاری، مویان، نعناع سبز

مقدمه

با وجود سهم ۷۰ الی ۸۰ درصدی بخش کشاورزی از مصرف منابع آبی، تنش خشکی و کم آبی همچنان مهمترین عامل غیر زنده است که رشد و تولید محصولات کشاورزی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک را محدود می‌سازد (Reddy *et al*., 2004). انجام تحقیقات متعدد در سرتاسر جهان سبب گردید که سیستم‌های کم‌آبیاری[۱] به عنوان یک استراتژی ارزشمند به ویژه برای مناطق خشک و نیمه خشک معرفی شوند (Fereres and Soriano, 2007). کم‌آبیاری در حقیقت راهکار بهینه‌سازی مصرف آب در تولید محصول تحت شرایط کمبود آب است که منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود، هر چند این صرفه‌جویی با کاهش اجتناب‌ناپذیر عملکرد به میزانی که از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر باشد، همراه است. در حقیقت کم‌آبیاری یک راهکار هوشمند برای مصرف آب است که در آن آگاهانه به گیاه اجازه داده می‌شود با دریافت آب کمتر از حد نیاز، عملکرد خود را در زیر سطح زیان اقتصادی، کاهش دهد (English, 1990). کاربرد مویان در آب آبیاری، نگهداری آب در خاک را افزایش می‌دهد. حفظ آب در خاک بوسیله مویان را می‌توان به وسیله مکانیسم عمل مویان‌ها توضیح داد. مویان‌ها با کاهش کشش سطحی آب به نفوذ بهتر آب به داخل منافذ خاک کمک می‌کنند.

[1] Deficit irrigation

بطور کلی، بدون کاربرد مویان این منافذ قابلیت دسترسی به آب را ندارند (Leinauer, 2002). مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که مویان‌ها به نفوذ آب در داخل خاک و کاهش اثرات تنش خشکی در چمن کمک می‌کنند (Soldat *et al*., 2010). همچنین تحقیقات متعددی اثر مثبت مویان را بر افزایش عملکرد و ارتفاع گیاهان از جمله ذرت (Chaichi *et al*., 2015)، شبدر برسیم و ریحان (Daneshnia *et al*., 2015) تحت شرایط تنش خشکی نشان داده‌اند.

یکی از زیان بارترین اثرات تنش خشکی اختلال در روند جذب و تجمع عناصر غذایی است (Chogan, 2004). مدیریت تغذیه گیاه در شرایط تنش، یکی از مسائل مهم در تولید محصولات زراعی محسوب می‌شود (Mohammadkhani and Heidari, 2007). سریعترین راه جایگزین نمودن عناصر از دست رفته خاک استفاده از کودهای شیمیائی است. اما مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی پیامدهای زیست محیطی فراوانی را در سطح جهان به همراه داشته است (Townsend *et al*., 2008). یکی از ارکان اصلی کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف کاربرد کود شیمیایی است.

با توجه به حساسیت نعناع به کاهش آب خاک طی فصل رشد، بررسی واکنش این گیاه به تنش کم‌آبی لازم می‌باشد. هدف این آزمایش بررسی اثر مویان و تیمارهای کودی مختلف بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه نعناع سبز (*Mentha spicata*) تحت شرایط کم‌آبیاری بوده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در مزرعهٔ آموزشی پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در دولت آباد کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۶ متر از سطح دریا اجرا گردید. متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۲۴۵ میلیمتر، متوسط حداقل و حداکثر دمای سالیانه آن به ترتیب ۱/۲ و ۲۶/۱ درجه‌سانتی‌گراد و از لحاظ اقلیمی جزء مناطق خشک تا نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارایه گردیده است.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	اسیدیته عصاره اشباع (pH)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع (dS/m) (EC)	بافت خاک (لوم)		
					رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)
۰/۰۹	۸/۸۷	۱۰۹	۸	۱/۸۶	۲۹	۳۶	۳۵

این آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. در این تحقیق سه رژیم آبیاری (تامین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) به عنوان کرت اصلی، تیمار کاربرد مویان (کاربرد (با غلظت یک پی‌پی‌ام) و عدم کاربرد مویان) به عنوان کرت فرعی و چهار سطح کودی شامل شاهد (عدم مصرف کود)، تغذیه شیمیایی (بر اساس آزمون خاک)، کود زیستی و کود تلفیقی (کود زیستی به اضافه ۵۰ درصد کود شیمیایی) به عنوان کرت فرعی- فرعی در نظر گرفته شد. کود شیمیایی شامل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل و کود زیستی مورد استفاده، تلفیقی از باکتری‌های *Azotobacter chroococcom* و *Pseudomonas fluorescens* با غلظت 10^7 CFU/ml و قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*) با تعداد ۱۰۰۰ عدد اسپور در هر گرم خاک بود که از آزمایشگاه میکروبیولوژی گروه خاکشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج تهیه گردید.

آزمایش در کرت هایی به ابعاد ۲×۲ متر اجرا شد. هر کرت شامل چهار ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. ریزوم‌ها بر روی پشته‌ها و با فاصله ۳۰ سانتی‌متر در ۱۵ تیر ماه سال ۱۳۹۲ کاشته شد. تیمارهای کود زیستی با تلقیح ریزوم‌ها با قارچ و باکتری در زمان کاشت در مزرعه انجام پذیرفت، بدین‌ترتیب که ریزوم‌ها به‌مدت پنج دقیقه در مخلوط غلیظ و چسبنده باکتری و قارچ قرار گرفتند و سپس کشت شدند. در هر دو سال اجرای آزمایش، کود شیمیایی فسفر در زمان کاشت بصورت باند ردیفی در فاصله ۱۰

سانتیمتری ریزوم‌ها و کود اوره در سه مرحله رویشی چهار تا پنج برگی، ابتدای ساقه‌دهی و آغاز گلدهی به کرت‌های مربوطه داده شد. بلافاصله پس از کشت، آبیاری با فواصل زمانی هر چهار روز یک بار و تا پایان فصل انجام شد. در سال دوم اجرای طرح، در تاریخ ۱۰ اردیبهشت سال ۱۳۹۳ پس از پایان بارش‌ها، نعناع‌ها کف بر شدند. پس از کف بر کردن، تیمارهای کودی به روش سال قبل و مبتنی بر آزمون خاک، مجددا اعمال شد و آبیاری هر چهار روز یک بار تا پایان دوره رشد انجام گرفت. تیمار کود زیستی بصورت کودآبیاری اعمال گردید، بدین ترتیب که مقدار مشخص از باکتری‌ها و قارچ (پنج میلی‌لیتر سوسپانسیون باکتری و ۱ گرم خاک آلوده به اسپور قارچ به ازای هر بوته) در حجم مشخصی از آب حل شد و بطور مساوی بین کرت‌های مورد نظر در اواسط زمان آبیاری تقسیم شد. حجم آب در هر بار آبیاری با استفاده از کنتور اندازه‌گیری شد و برای محاسبه حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری از فرمول زیر استفاده شد (Chaichi *et al*., 2015).

$$I_n = \frac{0.623 \times A \times ETc}{IE}$$

$ET_c = ET_o \times K_c$

K_c = ضریب ثابت گیاهی، ET_o= مقدار تبخیر بالقوه در منطقه بر حسب اینچ، ET_c= مقدار تبخیر و تعرق گیاه بر حسب اینچ، I_n= حجم آب مورد نیاز در هر دور آبیاری (بر حسب گالن)، IE= راندمان آبیاری، A= مساحت تحت پوشش گیاه در هر کرت آزمایشی (بر حسب فوت مربع). K_c برای نعناع در اوایل، اواسط و اواخر دوره رشد به ترتیب ۰/۶، ۱/۱۵ و ۱/۱ می‌باشد (Allen, 1998). پس از انجام محاسبات فوق در خصوص هر تیمار آبیاری، حجم آب مورد نیاز برای هر کرت به لیتر تبدیل و با استفاده از کنتور اعمال گردید. مویان غیریونی با غلظت یک پی‌پی‌ام (Daneshnia *et al*., 2015) به تدریج در زمان آبیاری، به حجم آب آبیاری در کرت‌های مربوطه اضافه و سپس آبیاری همراه با مویان انجام گرفت. به‌طورکلی میزان آب مصرفی در آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب ۷۷۶۰/۷۵، ۵۸۲۰/۵۶ و ۳۸۸۰/۳۷ متر مکعب در هکتار بود.

در این تحقیق نمونه‌برداری از گیاه در مرحله گلدهی کامل و با استفاده از کوادرات یک متر مربعی از دو خط میانی هر کرت انجام گرفت و صفاتی از قبیل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، پرولین و کربوهیدرات محلول اندازه‌گیری شد. نتایج حاصله با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه 9.2) تجزیه واریانس شد و برای مقایسه میانگین از آزمون LSD استفاده شد.

صفات فیزیولوژیکی

کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل

همانطوری‌که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، مویان و کود بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که از رژیم آبیاری مطلوب به طرف رژیم کم‌آبیاری شدید از میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل کاسته شد (جدول ۳). کاهش محتوی کلروفیل در اثر تنش خشکی در بسیاری از گونه‌های گیاهی مانند نعناع ژاپنی (Misra and Srivastava, 2000) و ریحان (Khalid, 2006) گزارش شده است. تولید گونه‌های اکسیژن فعال تحت برخی تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی تحریک می‌شود. عمدتا کاهش کلروفیل تحت تنش خشکی، در نتیجه آسیب به کروپلاست بوسیله گونه‌های اکسیژن فعال، بواسطه جلوگیری از سنتز این رنگیزه، یا تخریب رنگیزه، افزایش فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز و همچنین افزایش ترکیبات فنولی می‌باشد. کاهش در مقدار کلروفیل برگ در شرایط تنش خشکی یکی از علائم عمومی تنش اکسیداتیو در گیاهان است تا از این طریق میزان تشعشع جذب شده توسط کلروپلاست کاهش یابد (Pastenes *et al*., 2005).

مطابق جدول ۳، در رژیم‌های کم‌آبیاری متوسط و شدید، کرت‌های آبیاری شده با آب چاه همراه با مویان از میزان رنگیزه‌های کلروفیلی بیشتری نسبت به کرت‌های شاهد (عدم مصرف مویان) برخوردار بودند. در مورد همه رنگیزه‌های کلروفیلی رژیم کم‌آبیاری ۷۵ درصد همراه با مصرف مویان از بیشترین مقادیر رنگیزه‌ها برخوردار بود و یا تفاوت معنی‌دار با رژیم آبیاری کامل نداشت. نتایج نشان می‌دهد که در رژیم‌های کم‌آبیاری کاربرد مویان به همراه آب آبیاری با فراهم آوردن شرایط رطوبتی بهتر برای گیاه، به تولید کلروفیل در گیاه کمک می‌کند و از این طریق باعث افزایش عملکرد در این شرایط می‌گردد.

بر اساس جدول ۳ در رژیم کم‌آبیاری متوسط کاربرد کود اعم از شیمیایی، تلفیقی و زیستی به گیاه کمک کرد تا بتواند رنگیزه های کلروفیل و کاروتنوئید بیشتری بسازد بطوری که تفاوت معنی‌دار با رژیم آبیاری مطلوب از این نظر نداشت، اما در شرایط کم‌آبیاری شدید و عدم مصرف مویان، کاربرد کود شیمیایی به گیاه کمکی نکرد و حتی نسبت به شاهد بدون کود از نظر تقریبا همه صفات شرایط بدتری را دارا بود. به نظر می‌رسد، کاربرد کود شیمیایی در شرایط تنش شدید نه تنها به گیاه کمکی نکرده است، بلکه سبب گیاه سوزی و کاهش رنگیزه‌های کلروفیلی و کاهش عملکرد گیاه گردیده است. عمده‌ی ترکیبات رنگدانه‌های فتوسنتزی دارای ساختار نیتروژنی هستند. از این رو کاربرد نیتروژن می‌تواند تا حد زیادی سبب افزایش مقدار آنها در گیاه شود (زگلای، ۲۰۰۶).

جدول۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کود و مویان بر صفات فیزیولوژیک نعناع تحت شرایط کم‌آبیاری

منبع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	پرولین	کربوهیدرات
تکرار	۲	۰/۸۲ ns	۰/۱۲ ns	۰/۳۲ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۲ ns	۹/۱۵ ns
آبیاری	۲	۳۹۰/۹۱ **	۵۴/۰۹ **	۷۳۱/۳۱ **	۴۸/۰۵ **	۲۵/۱۲ **	۴۳۴/۶۳ **
خطا اصلی	۴	۰/۲۹	۰/۴۶	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۰۸	۱۰/۹۶
مویان	۱	۹۱/۹۱ **	۷/۴۰ **	۱۵۱/۴۸ **	۵/۱۶ **	۱/۱۷ **	۱۴/۳۸ *
آبیاری*مویان	۲	۱۸/۹۰ **	۵/۹۱ **	۴۲/۶۷ **	۰/۶۷ *	۲/۰۹ **	۵۵/۲۵ **
خطای فرعی	۶	۰/۷۶	۰/۴۲	۱/۹۸	۰/۱۲	۰/۰۵	۱/۸۳
کود	۳	۵۴/۲۵ **	۲۰/۶۱ **	۱۴۱/۰۰ **	۰/۵۵ ns	۵/۵۹ **	۱۲۶/۹۷ **
آبیاری*کود	۶	۲۷/۶۵ **	۶/۱۲ **	۴۹/۲۹ **	۱/۹۲ **	۱/۶۳ **	۷۸/۰۱ **
مویان*کود	۳	۴/۲۶ ns	۸/۶۹ **	۱۷/۱۰ *	۰/۳۳ ns	۰/۲۱ *	۱۱/۷۶ ns
آبیاری*مویان*کود	۶	۱۱/۸۱ **	۳/۴۰ **	۲۲/۲۸ **	۲/۳۰ **	۰/۶۷ **	۶۱/۹۹ **
خطای فرعی فرعی	۳۶	۳/۸۱	۰/۷۵	۵/۸۰	۰/۳۶	۰/۰۵	۹/۲۳
ضریب تغییرات (٪)		۸/۰۳	۸/۳۰	۶/۹۲	۱۰/۴۴	۵/۴۸	۵/۵۵

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و ns عدم معنی‌دار بودن را نشان می‌دهد.

کاروتنوئید

بر اساس جدول ۲، اثر متقابل سه گانه آبیاری، مویان و کود بر میزان کاروتنوئید برگ نعناع در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب ایجاد روند کاهشی در میزان کاروتنوئیدها شد (جدول ۳). کاروتنوئیدهای برگ نیز نقش مهمی در حفاظت نوری[1] در شرایط تنش ایفا می‌کنند (دادرسان، ۱۳۹۴). کاهش میزان کارتنوئیدها در شرایط تنش نیز احتمالا به علت تجزیه بتاکاروتن و تشکیل زآزانتین در چرخه زانتوفیل است (Sultana *et al*., 1999).

نتایج متفاوت و بعضا متناقضی در رابطه با تغییر در مقادیر کاروتنوئیدهای برگ تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است. کشاورز (۱۳۹۳) عنوان نمود که مقادیر کاروتنوئیدها در برگ خار مریم در شرایط تنش خشکی بدون تغییر باقی ماند. افزایش مقدار کاروتنوئیدها (قبادی و همکاران، ۲۰۱۳) و همچنین کاهش کاروتنوئیدها در این شرایط در نعناع ژاپنی (Misra and Srivastava, 2000) گزارش شده است. به طور کلی نتایج حاکی از تاثیر مثبت مویان و کود تقریبا در همه سطوح آبیاری روی کاروتنوئیدها می‌باشد. در تنش شدید خشکی استفاده از کود شیمیایی در شرایط بدون کاربرد مویان از کمترین میزان کاروتنوئید برخوردار بود. با کاربرد مویان در این شرایط، مقادیر رنگیزه‌های کلروفیل و کاروتنوئیدها بهبود یافت (جدول ۳).

پرولین

اثر متقابل سه گانه آبیاری، مویان و کود بر مقدار پرولین گیاه نعناع معنی‌دار بود (جدول ۲). مطابق جدول ۳ مشاهده گردید که با افزایش شدت تنش مقدار پرولین از روند افزایشی پیروی نمود. پرولین در گیاهان طی سازگاری به انواع مختلفی از استرس‌های محیطی همانند خشکی، شوری، حرارت، کمبود مواد غذایی تجمع می‌کند و در برخی گیاهان افزایش سطح پرولین برگ در شرایط تنش به عنوان

[1] photo-protection

نشانگری برای مقاومت گیاه به تنش معرفی شده است. نقش عمده پرولین نه تنها کاهش پتانسیل اسمزی است بلکه حفاظت از آنزیم‌ها در مقابل دهیدراتاسیون و تجمع نمک است (Molinari *et al*., 2004). به نظر می‌رسد که افزایش سطح پرولین در برگ در شرایط تنش خشکی (که عمدتا به دلیل کاهش اکسید شدن پرولین اتفاق می‌افتد) به تنظیم اسمزی کمک کرده و همچنین در برابر تنش اکسیداتیو گیاه را حفاظت می‌کند و بدین ترتیب در افزایش شانس بقای گیاه در این شرایط نقش ایفا می‌کند (De Campos *et al*., 2011).

در شرایط تنش شدید خشکی، کاربرد مویان در همه تیمارهای کودی سبب کاهش پرولین نسبت به تیمارهای مجاور آن (عدم کاربرد مویان) شد. همچنین در همه سطوح آبیاری، استفاده از کود باعث افزایش اسیدآمینه پرولین نسبت به عدم کاربرد کود گردید. تقریبا در همه سطوح آبیاری، بیشترین میزان پرولین مربوط به کاربرد کود شیمیایی و کمترین آن در تیمار کود زیستی مشاهده شد (جدول ۳). پرولین ترکیبی پروتئینی با ساختار نیتروژنی است که مصرف کودهای حاوی نیتروژن به تولید بیشتر آن در گیاه کمک خواهد کرد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

در تحقیق حاضر با افزایش تنش، ساخت اسیدآمینه پرولین در گیاه افزایش یافت و بیشترین میزان آن در نظام کم‌آبیاری ۵۰ درصد و تیمار کاربرد کود شیمیایی و شرایط عدم کاربرد مویان مشاهده گردید (جدول۳)، بدین معنی که گیاه با تجمع مواد تنظیم‌کننده اسمزی سعی بر مقابله با تنش داشت. کمترین میزان کلرفیل a، کاروتنوئید و کلروفیل کل نیز مربوط به تامین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، عدم کاربرد مویان به همراه کاربرد کود شیمیایی بود. بنظر می‌رسد گیاه بیشتر انرژی خود را صرف تولید پرولین و بالا بردن غلظت شیره سلولی کرده و در نتیجه میزان تولید کلروفیل و عملکرد در این تیمار کاهش یافت. در شرایط کاربرد مویان بویژه در رژیم کم‌آبیاری شدید با فراهم آمدن شرایط رطوبتی مناسب‌تر برای نعناع میزان تولید پرولین در برگ کاهش یافته است.

کربوهیدرات‌های محلول

میزان کربوهیدرات‌های محلول تحت تاثیر اثر متقابل سه گانه آبیاری، مویان و کود قرار گرفتند (جدول۲). چنانچه در جدول ۳ ملاحظه می‌شود، با افزایش تنش خشکی از رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد تا تامین۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، میزان کربوهیدرات‌های محلول گیاه از یک روند افزایشی پیروی نمود. بر اساس جدول ۳ بیشترین میزان کربوهیدرات محلول در شرایط تنش شدید خشکی به همراه کاربرد مویان و در تیمار کود زیستی (۶۷/۳ میلی‌گرم گلوکز در گرم وزن خشک) مشاهده شد و کمترین میزان آن در رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد به همراه کاربرد مویان و در تیمار کود شیمیایی (۴۳/۸۹ میلی گرم گلوکز در گرم وزن خشک) ثبت شد.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری، مویان و کود بر ارتفاع، عملکرد ماده خشک، کارایی مصرف آب و غلظت برخی عناصر غذایی نعناع سبز

تیمارها			کلرفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	پرولین	کربوهیدرات
			(میکروگرم در گرم وزن تر)				(میکرومول در گرم وزن تر)	(میلی‌گرم گلوکز در گرم وزن خشک)
آبیاری ۱۰۰٪	عدم کاربرد مویان	شاهد	۲۳/۱۵ ghijk	۹/۱۰ efg	۳۲/۲۶ ghij	۶/۰۳ bcde	۳/۲۹ jk	۴۷/۸۱ cd
		کود شیمیایی	۳۱/۲۲ ab	۱۵/۳۶ a	۴۶/۵۸ a	۷/۱۸ ab	۳/۹ hi	۵۴/۶۴ b
		تلفیق کود زیستی + ۵۰٪ کود شیمیایی	۲۸/۹۵ bcde	۱۲/۳۱ b	۴۱/۲۶ bcd	۷/۵۵ a	۳/۷ ij	۴۷/۸۳ cd
		کود زیستی	۲۵/۱ fghi	۱۱/۵۵ bc	۳۶/۶۵ efg	۶/۲۷ bcd	۳/۳۱ jk	۵۳/۲۴ bc
	کاربرد مویان	شاهد	۲۶/۲۲ defg	۹/۸۱ def	۳۶/۰۳ efgh	۷/۱۷ ab	۳/۱۹ k	۴۴/۵۶ d
		کود شیمیایی	۲۷/۴۹ cdef	۱۱/۳۳ bcd	۳۸/۸۲ cde	۷/۴۵ a	۳/۸۳ hi	۴۳/۸۹ d
		تلفیق کود زیستی + ۵۰٪ کود شیمیایی	۳۰/۴۶ abc	۱۴/۲۰ a	۴۴/۶۷ ab	۶/۵۴ abc	۳/۸۳ hi	۵۲/۳۱ bc
		کود زیستی	۲۶/۱۶ defg	۱۰/۹۶ bcd	۳۷/۱۳ def	۷/۵ a	۳/۲۵ k	۵۵/۵۴ b
آبیاری ۷۵٪	عدم کاربرد مویان	شاهد	۲۱/۲۹ jklm	۸/۲۸ fg	۲۹/۵۷ ijk	۵/۴۳ defg	۳/۱۴ k	۵۴/۴۷ b
		کود شیمیایی	۲۵/۸۴ efgh	۱۱/۴۸ bc	۳۷/۳۲ cdef	۶/۹ abc	۴/۶۷ e	۵۱/۷۲ bc
		تلفیق کود زیستی + ۵۰٪ کود شیمیایی	۲۵/۶۴ efghi	۱۱/۷۴ b	۳۷/۳۸ cdef	۴/۹۷ efg	۴/۲۱ fgh	۵۵/۸۸ b
		کود زیستی	۲۲/۵۹ ghijk	۹/۲۳ efg	۳۱/۸۲ hij	۶/۶۳ abc	۴/۱۹ fgh	۵۳/۴۶ bc
	کاربرد مویان	شاهد	۲۳/۴۹ ghij	۹/۸۱ def	۳۳/۳۰ fghi	۵/۹۰ cdef	۴/۰۶ ghi	۶۴/۴۴ a
		کود شیمیایی	۳۳/۰۷ a	۱۱/۱۰ bcd	۴۴/۱۸ ab	۷/۱۵ ab	۴/۵۹ ef	۵۶/۵ b
		تلفیق کود زیستی + ۵۰٪ کود شیمیایی	۲۹/۵۵ bcd	۱۲/۲۶ b	۴۱/۸۱ bc	۶/۶۶ abc	۴/۲۹ efgh	۵۴/۵۶ b
		کود زیستی	۲۵/۳۸ efghi	۱۲/۲۲ b	۳۷/۶۰ cdef	۵/۳۵ defg	۴ ghi	۵۶/۷۴ b
آبیاری ۵۰٪	عدم کاربرد مویان	شاهد	۱۸/۲۸ mn	۸/۴۵ efg	۲۶/۷۳ k	۴/۴۲ gh	۶/۴۱ b	۶۲/۴۱ a
		کود شیمیایی	۱۶/۷۲ n	۸/۵۴ efg	۲۵/۲۷ k	۲/۴۹ i	۷/۵ a	۵۱/۵ bc
		تلفیق کود زیستی + ۵۰٪ کود شیمیایی	۱۸/۶۶ lmn	۸/۰۶ g	۲۶/۷۲ k	۴/۵۱ gh	۵/۸۵ cd	۵۴/۵۱ b
		کود زیستی	۲۰/۷۲ jklm	۷/۹ g	۲۸/۶۲ jk	۳/۵۶ hi	۴/۲۲ fgh	۶۳/۸ a
	کاربرد مویان	شاهد	۲۲/۰۱ ijkl	۹/۹۸ cde	۳۱/۹۹ hij	۴/۶۶ gh	۴/۴۴ efg	۵۵/۹۶ b
		کود شیمیایی	۱۹/۴۶ klmn	۸/۸۵ efg	۲۸/۳۱ jk	۴/۶۲ gh	۶/۱۶ bc	۵۵/۳۴ b
		تلفیق کود زیستی + ۵۰٪ کود شیمیایی	۲۲/۲۶ hijkl	۱۱/۰۵ bcd	۳۳/۳۱ fghi	۴/۸۷ fg	۵/۵۴ d	۵۴/۸۴ b
		کود زیستی	۱۹/۷۲ klmn	۸/۱ g	۲۷/۸۲ jk	۴/۴۸ gh	۴/۱۳ ghi	۶۷/۳ a

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین تیمارها است.

منابع

دادرسان، م. ۱۳۹۴. ارزیابی خصوصیات زراعی و دارویی گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum - graecum* L.) تحت تاثیر تیمارهای مختلف کودی (شیمیایی، زیستی و تلفیقی) و آبیاری محدود. رساله دکتری، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه تهران.

کشاورز، ر. ۱۳۹۳. مطالعه تاثیر تغذیه ارگانیک و رژیم‌های آبیاری بر ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک گیاه خار مریم. رساله دکتری، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه تهران.

ملکوتی، م. ج. و همایی، م. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، مشکلات و راه حل‌ها. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۵۱۸ صفحه.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements- FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome. 300 p.

Chaichi, M. R., Nurre, P., Slaven, J., Rostamza, M. 2015. Surfactant application on yield and irrigation water use efficiency in corn under limited irrigation. Crop Science, 55(1): 386–393.

Daneshnia, F., Amini, A., Chaichi, M. R. 2015. Surfactant effect on forage yield and water use efficiency for berseem clover and basil in intercropping and limited irrigation treatments. Agricultural Water Management, 160: 57-63.

De Campos, M.K.F., de Carvalho, K., de Souza, F.S. Marur, C.J., Pereira, L.F.P., Filho, J.C.B. Vieira, L.G.E. 2011. Drought tolerance and antioxidant enzymatic activity in transgenic 'Swingle' citrumelo plants over accumulating proline. Environ. Exp. Bot, 72: 242–250.

Ghobadi, M., Taherabadi, S., Ghobadi, M.E., Mohammadi, G.R. Jalali-Honarmand, S. 2013. Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. Industrial Crops and Products, 50: 29– 38.

Chogan, R. 2004. Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: from theory to practice. Tehran, Iran: Ministry of Agriculture Jihad. 95p. (Translation)

Khalid, Kh.A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (Ocimum sp.). International Agrophysics, 20(4): 289-296.

Leinauer, B. 2002. Wetting agents and their impact on water retention of turfgrass root zones. Australian Turf Management, 4.1: 17–19.

Misra, A. and Srivastava, N.K. 2000. Influence of water stress on Japanese mint. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, 7(1): 51-58.

Pastenes, C., Pimentel, P. Lillo, J. 2005. Leaf movements and photoinhibition in relation to water stress in field-grown beans. J. Exp. Bot, 56: 425–433.

Mohammadkhani, N., Heidari, R. 2007. Effects of water stress on respiration, photosynthetic pigments and water content in tow Maize cultivar. *Pakistan Journal of Biological Science*, 10(22): 4022-4028.

Molinari, H.B.C., Marur, C.J., Bespalhok Filho, J.C., Kobayashi, A.K., Pileggi, M., Leite Junior, R.P., Pereira, L.F.P. and Vieira, L.G.E. 2004. Osmotic adjustment in transgenic citrus rootstock Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb. *Poncirus trifoliata* L. Raf.) over producing proline. Plant Sci, 167: 1375-1381.

Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology, 161(11): 1189-1202.

Soldat, D. J., Lowery, B., Kussow, W.R. 2010. Surfactants increase uniformity of soil water content and reduce water repellency on sand-based golf putting greens. Soil Science, 175(3): 111–117.

Sultana, N., Ikeda, T. Itoh, R. 1999. Effect of Na Cl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environmental and Experimental Botany, 42(3): 211-220.

Townsend, C. R., Begon, M., Harper, J. L. 2008. Essentials of Ecology, 3rd ed. Blackwell Publishing.

Effect of bio-fertilizers and surfactant on some physiological characteristics in spearmint (*Mentha spicata*) under deficit irrigation systems

Akhtar Zand[1]*, Hossein Arouiee[2], Mohammad Reza Chaichi[3], Seyyed Hossein Nemati[4]

[1] Former PhD student (Department of Gardening, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran)
[2] Associate Professor (Department of Gardening, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran)
[3] Professor (Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran)
[4] Assistant Professor (Department of Gardening, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran)
* corresponding Author: a_zand1984@yahoo.com

Abstract

Water scarcity is the most important factor restricting crop productivity in arid and semi-arid regions of the world. To study the effects of water deficit, fertilization system and surfactant application on yield and some nutrient concentration in spearmint (*Mentha spicata*), a field experiment was carried out at the Research Farm of the College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, during 2014 and 2015 growing seasons. The experiment was conducted in a split-split plot arrangement based on a randomized complete block design with three replications. Treatments included three irrigation regimes (100, 75 and 50 percent of plant water requirement) as the main plot, water treatments (sole water (control) and water + surfactant) as the sub-plot and four fertilizer regimes including no fertilizer (control), chemical fertilizer (based on the soil test), bio-fertilizer (rhizome inoculation with Azotobacter (*Azotobacter chroococcom*), Pseudomonas (*Pseudomonas fluorescens*) and mycorrhiza (*Glomus mosseae*) and integrated fertilizer (biological fertilizer + 50% chemical fertilizer) as the sub sub-plot. The results of this study showed that the content of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids decreased with increasing water stress while the rate of proline, carbohydrate as well as the electrolyte leakage percentage increased. Application of surfactant in moderate and severe deficit irrigation improved the content of chlorophyll and carotenoid compared to conditions without surfactant application. Fertilizer application also increased these pigments compared to control without fertilizer. Applying surfactant in moderate and severe drought stress reduced the production of proline, carbohydrates and the percentage of electrolyte leakage.

Keywords: physiological characteristics, bio-fertilizer, deficit irrigation, surfactant, Spearmint