



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۱ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۸

صفحه‌های ۴۰۶-۳۹۳

تأثیر تنش کم‌آبی، متانول و اسید هیومیک بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و کارایی مصرف آب کاسنی

سید غلامرضا موسوی*

دانشیار، گروه کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۸

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی متانول و اسید هیومیک بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه دارویی کاسنی تحت شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند در سال ۱۳۹۴ انجام گرفت. آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر) به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی با متانول در دو سطح (صفر و ۲۱ درصد حجمی) و کاربرد اسید هیومیک با دو سطح (صفر و ۱۰ لیتر در هکتار) به‌عنوان فاکتورهای فرعی بودند. صفات مورد مطالعه شامل شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ، وزن خشک ریشه، ساقه و برگ، عملکرد خشک کل، نسبت ریشه به ساقه و برگ، کارایی مصرف آب ریشه، ساقه و برگ و کل بودند. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی موجب کاهش تمامی صفات فیزیولوژیک و عملکردی (به‌استثنای نسبت ریشه به ساقه و برگ) و افزایش کارایی مصرف آب شد. همچنین، محلول‌پاشی متانول بر تمامی صفات (به‌استثنای عملکرد و کارایی مصرف آب ریشه) اثر افزایشی داشت. مصرف اسید هیومیک موجب افزایش تمامی صفات (به‌جز نسبت ریشه به اندام‌های هوایی) شد. بیش‌ترین تولید ماده خشک با میانگین ۷۱۰/۷ گرم در مترمربع از تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کاربرد ۱۰ لیتر اسید هیومیک در هکتار و بیش‌ترین کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک کاسنی با میانگین ۰/۹۴ کیلوگرم بر مترمربع از تیمار آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کاربرد ۱۰ لیتر اسید هیومیک در هکتار به‌دست آمد. به‌طور کلی براساس نتایج این پژوهش و با در نظر گرفتن کارایی مصرف آب به‌نظر می‌رسد تیمار آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کاربرد ۱۰ لیتر اسید هیومیک در هکتار می‌تواند برای دستیابی به عملکرد قابل قبول کاسنی و رعایت اقتصاد آب در منطقه بیرجند مناسب باشد.

کلیدواژه‌ها: شاخص کلروفیل، عملکرد ریشه، کم‌آبی، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای.

Effects of Water Deficit Stress, Methanol and Humic Acid on Physiological Traits, Yield, and Water Use Efficiency of Chicory

Seyyed Gholamreza Moosavi*

Associate Professor, Department of Agriculture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

Received: March 09, 2019

Accepted: June 15, 2019

Abstract

In order to study the effects of methanol and humic acid on physiological traits, yield, and water use efficiency in chicory under drought stress conditions, a split factorial layout based on a randomized complete block design has been conducted with three replications in a field of Islamic Azad University, Birjand Branch at 2015, with three irrigation levels (irrigation after 70, 140, and 210 mm cumulative evaporation) as main plots and methanol spraying at two levels (zero and 21 percentage volume) and humic acid with two levels (zero and 10 L.ha⁻¹) as sub plots. The studied traits include chlorophyll index, stomatal conductance, leaf relative water content, dry weight of root, stem, and leaf, dry yield of total, root to stem and leaf ratio, water use efficiency of root, stem and leaf and total. Results show that water deficit stress has reduced all physiological and yield traits (except root to stem and leaf ratio), increasing water use efficiency of chicory. Also, foliar spraying of methanol raises all traits (with the exception of yield and water use efficiency of root). The application of 10 L.ha⁻¹ humic acid increases all traits (except for the ratio of root to air organs). The highest dry matter production (710.7 g.m⁻²) belongs to irrigation after 70 mm evaporation from the pan and application of 10 L.ha⁻¹ of humic acid, whereas the highest water use efficiency for dry matter production (0.99 kg.m⁻³) is obtained from treatment of irrigation after 140 mm evaporation from the pan and application of 10 L.ha⁻¹ of humic acid. In general, based on the results, irrigation treatment after 140 mm evaporation from the pan and humic acid at 10 liters per ha can be used to achieve an acceptable chicory yield along with water economy in Birjand region.

Keywords: Chlorophyll index, relative water content of leaf, root yield, stomatal conductance, water deficit stress.

۱. مقدمه

کاسنی با نام علمی *Cichorium intybus* L. گیاهی یکساله و یکی از گیاهان دارویی مهم خانواده آستراسه^۱ است (Mehmood et al., 2012). بخش‌های مختلف این گیاه به‌ویژه ریشه و برگ‌های آن اثر مقوی معده و صفرا بر دارد و از آن به‌عنوان اشتهاآور در ضعف عمل دستگاه هضم و در درمان بیماری‌های کبدی استفاده می‌شود (Mehmood et al., 2012).

کم‌آبی از مهمترین تنش‌ها و محدودیت‌های محیطی است که مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان مانند مرحله جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و تولید محصول را در سرتاسر جهان تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ben Ahmad et al., 2009). نتایج تحقیقی روی بررسی تیمارهای مختلف آبیاری بر خصوصیات مرفوفیزیولوژیک کاسنی نشان داد که عملکرد شاخسار و میزان کلروفیل a و b با افزایش سطح تنش کاهش یافت (Saedi et al., 2017). در تحقیقی دیگر، اعمال تنش کم‌آبی موجب کاهش عملکرد خشک برگ، ریشه و کل در کاسنی شد، ولی تنش شدید کم‌آبی با میانگین ۰/۰۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب نسبت به سطوح آبیاری مطلوب و تنش متوسط از برتری معنی‌دار و به‌ترتیب ۲۴/۴ و ۲۷/۱ درصدی در استفاده از آب برای تولید ریشه کاسنی برخوردار بود و کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک کل نیز در تیمار تنش شدید کم‌آبی از برتری ۲۵ درصدی نسبت به تیمار آبیاری مطلوب برخوردار بود (Mousavi, 2013). در سایر مطالعات نیز به کاهش عملکرد ریشه کاسنی در شرایط کمبود آب اشاره شده است (Sani & Aliabadi Farahani, 2010).

کارایی مصرف آب به مقدار محصول تولیدشده به‌ازای هر واحد حجم آب مصرفی گفته می‌شود و معمولاً برحسب کیلوگرم بر متر مکعب بیان می‌گردد (Seckler et

al., 2002). بالابردن کارایی مصرف آب از طریق تکنیک‌های نوین به‌زرعی از اهداف متخصصین زراعت برای کاهش اثرات تغییر اقلیم و فشار بر منابع آبی محدود کشور است. به‌نظر می‌رسد تکنیک کاربرد محلول‌پاشی متانول با توجه به تأثیر آن بر افزایش تحمل به کم‌آبی می‌تواند از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد (Oveysi & Ghoshchi, 2012). محلول‌پاشی متانول در گیاهان به‌علت افزایش غلظت CO_2 در برگ‌ها و نیز استفاده مستقیم از متانول جذب‌شده به‌عنوان منبع مستقیم برای تولید اسید آمینه سرین و احتمالاً کاهش تنفس نوری گیاه، منجر به افزایش سرعت رشد محصول و عملکرد می‌شود (Fall & Benson, 1996). محلول‌پاشی متانول روی اندام هوایی گیاه سبب افزایش عملکرد، تسریع رسیدگی، کاهش اثر تنش کم‌آبی و کاهش نیاز آبی آن‌ها می‌شود (Nonomura & Benson, 1992). در تحقیقی، کاربرد ۲۰ درصد حجمی متانول موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ در گیاه دارویی سرخارگل^۲ شد (Khosravi et al., 2011).

کاربرد اسید هیومیک یکی دیگر از روش‌های نوین توصیه‌شده در مناطق با محدودیت آب می‌باشد. اسید هیومیک باعث بهبود ساختار خاک، افزایش ریشه‌زایی، نگهداری بیش‌تر آب در خاک، کمک به رشد سریع باکتری‌های مفید در خاک، کمک به انحلال و آزادسازی عناصر ماکرو و میکرو و در نتیجه کاهش نیاز به کودهای شیمیایی می‌باشد. هم‌چنین استفاده از اسید هیومیک موجب افزایش مقاومت به شوری، کم‌آبی و سرما و نیز کاهش سمیت کودها می‌شود (Salehi et al., 2010; Oveysi & Ghoshchi, 2012). افزایش کاربرد اسید هیومیک از صفر به ۰/۹ کیلوگرم در هکتار تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد ریشه (Gholami et al., 2018a) و عملکرد بخش هوایی کاسنی (Gholami et al., 2018b)

دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند واقع در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. نتایج تجزیه خاک مزرعه در جدول ۱ و شاخص‌های آب‌وهوایی مهم در طی فصل رشد نیز در جدول ۲ آمده است.

تیمارهای مورد مطالعه شامل تنش کم‌آبی در سه سطح (آبیاری پس از ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر) در کرت اصلی و محلول‌پاشی با متانول در دو سطح (صفر و ۲۱ درصد حجمی) و اسید هیومیک با دو سطح (صفر و ۱۰ لیتر در هکتار) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در این آزمایش، طول هر کرت پنج متر، تعداد خطوط کاشت چهار خط و فواصل خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین دو تکرار یک و نیم متر، فاصله بین کرت‌های اصلی دو متر و فاصله بین کرت‌های فرعی یک متر بود.

داشت. نتایج گزارشی نشان داد که محلول‌پاشی اسید هیومیک در شرایط کم آبیاری، ضمن بهبود نسبی ویژگی‌های کمی گیاه دارویی ریحان^۱، نقش مؤثری در کاهش اثرات مخرب ناشی از کم‌آبی و ثبات عملکرد این گیاه در شرایط رطوبتی داشت (Jahan et al., 2015).

با توجه به شرایط خشک و نیمه‌خشک خراسان جنوبی و ضرورت معرفی مناسب‌ترین روش‌هایی که بتوانند باعث بهبود عملکرد در شرایط تنش کم‌آبی گردد، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی متانول و کاربرد اسید هیومیک بر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه دارویی کاسنی تحت شرایط تنش کم‌آبی در منطقه بیرجند به‌اجرا درآمد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

بافت خاک	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته	کربن آلی (%)	نیترژن کل (%)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)
لوم	۳/۲۳	۸/۲	۰/۳	۰/۰۳۳	۶/۸	۱۳۳

جدول ۲. میانگین شاخص‌های آب‌وهوایی شهر بیرجند در دوره رشد گیاه در سال ۱۳۹۴

شاخص آب و هوایی / ماه	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر
درجه حرارت ماهیانه ($^{\circ}C$)	۲۲/۶	۲۶/۵	۲۷/۵	۲۶	۲۴/۳	۱۹/۶
بارندگی ماهیانه (mm)	۴/۶	۱	۰	۰	۰	۶/۲
تبخیر ماهیانه (mm)	۳۳/۷	۴۵/۲	۵۱/۴	۴۶/۵	۳۳/۷	۲۹/۶
رطوبت نسبی (%)	۲۸	۱۸	۱۸	۱۷	۱۷	۲۶
ساعت آفتابی	۳۰۵/۶	۳۶۱/۵	۳۸۵/۴	۳۷۴/۸	۳۴۱/۴	۲۸۸/۵

1. *Ocimum basilicum*

2013). تیمار کاربرد اسید هیومیک نیز در دو نوبت با فواصل زمانی حدود ۱۵ روز پس از تنک نهایی بوته‌ها (حدوداً یک ماه پس از کاشت) و به‌صورت مصرف در آب آبیاری انجام شد. برای این منظور مقدار لازم اسید هیومیک مایع پس از اضافه‌شدن در آب معمولی پس از قطع آبیاری درون جوی‌ها ریخته شد. در این آزمایش از کود اسید هیومیک به‌صورت مایع و با نام تجاری کورت هیومیک ساخت شرکت کورتسای اسپانیا استفاده گردید. این کود شامل ۲۰/۵۵ درصد اسید هیومیک و ۴۷/۸ درصد مواد آلی ارگانیک بود.

جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک شامل شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوی نسبی آب برگ، در زمان شروع گل‌دهی پنج بوته به‌صورت تصادفی از خطوط میانی انتخاب و اندازه‌گیری‌های موردنظر انجام شد. در این آزمایش، برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD Minolta-502 ساخت ژاپن) و هدایت روزنه‌ای از دستگاه پرومتر SC-1 (ساخت Decagon Divice) استفاده شد. محتوی نسبی آب برگ نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Rafiei et al., 2009):

= محتوای نسبی آب برگ (%)

$100 \times (\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن اشباع برگ}) / (\text{وزن}$

$\text{خشک برگ} - \text{وزن تازه برگ})$

به‌منظور محاسبه عملکرد خشک ریشه، ساقه و برگ و ماده خشک کل با رعایت اثر حاشیه‌ای در هر کرت بوته‌های دو خط میانی به مساحت دو مترمربع در نیمه دوم مهر برداشت شد و پس از جداسازی ساقه و برگ از ریشه اقدام به خشک‌کردن آن‌ها در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد برای مدت به‌ترتیب ۴۸ و ۷۲ ساعت گردید. لازم به ذکر است که برای سهولت در بیرون‌آمدن کامل ریشه بوته‌های دو مترمربع مذکور، یک روز قبل از برداشت نهایی اقدام به آبیاری مزرعه شد. کارایی مصرف آب برای تولید ریشه، برگ و بیوماس نیز از تقسیم عملکرد هر یک بر میزان آب مصرفی

عملیات آماده‌سازی بستر کاشت در اواسط فروردین‌ماه انجام گرفت. قبل از کاشت مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به خاک اضافه شد. کود اوره نیز به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو نوبت (۵۰ درصد پس از عملیات تنک و ۵۰ درصد دیگر در اواسط دوره رشد) و به‌صورت سرک به بوته‌ها داده شد. بذور کاسنی که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید و قبل از کاشت با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام با نسبت دو در هزار ضدعفونی شد، در ۲۷ اردیبهشت در عمق حدود دو تا سه سانتی‌متری خاک کشت گردید. پس از سبز شدن گیاه، عملیات تنک در هر خط کاشت در مرحله چهار برگی و با رعایت فاصله بین بوته ۱۵ سانتی‌متر برای رسیدن به تراکم نهایی ۱۳۳ هزار بوته در هکتار انجام شد (Zarei et al., 2014). در این آزمایش، آبیاری با کمک سیستم تحت فشار و با استفاده از شیلنگ و کتور در هر کرت انجام گرفت. اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی پس از استقرار گیاهان (مرحله ۴ تا ۵ برگه شدن) انجام شد. حجم آب داده‌شده در کل دوره رشد کاسنی بر اساس تیمارهای تنش اعمال‌شده به‌ترتیب ۱۱۲۰۰، ۵۶۰۰ و ۳۷۵۰ مترمکعب در هکتار بود. مبارزه با علف‌های هرز در طی دوره رشد گیاه در سه نوبت به‌صورت وجین دستی انجام شد. در این تحقیق، از آب آبیاری به‌عنوان حلال متانول استفاده شد و به هر یک از مقادیر مصرف متانول، مقدار دو گرم در لیتر گلیسین جهت جلوگیری از صدمات ناشی از سمیت متانول اضافه شد. هم‌چنین، جهت بهبود و افزایش چسبندگی محلول‌های متانول، مقدار یک گرم در لیتر توئین ۸۰ به‌عنوان مویان استفاده شد. محلول‌پاشی سه نوبت طی فصل رشد گیاه صورت گرفت. اولین محلول‌پاشی طی مرحله رویشی در فاصله شش هفته پس از سبزشدن و محلول‌پاشی‌های بعدی به فاصله دو هفته انجام شد و شاهد نیز با آب معمولی و فاقد متانول محلول‌پاشی شد (Hossinzadeh et al.,

بر محتوی کلروفیل برگ است (Aghlmand *et al.*, 2016). تأخیر در آبیاری از ۷۰ میلی متر تبخیر تجمعی به آبیاری پس از ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر، هدایت روزنه‌ای را به ترتیب ۴۴/۲ و ۶۰/۹ درصد کاهش داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد در شرایط کمبود آب قابل دسترس در اطراف ریشه، گیاه با تولید بیش‌تر آبسزیک اسید در ریشه و انتقال آن به سلول‌های محافظ روزنه، مکانیسم مسدود کردن یا کاهش میزان بازبودن روزنه‌ها را به‌عنوان یک راهکار برای بقا در شرایط تنش کم آبی در پیش گرفته و در نتیجه با افزایش شدت تنش کم آبی در مزرعه میزان هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد (Sapeta *et al.*, 2013). در تحقیقی، مشخص گردید که با تأخیر در آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، هدایت روزنه‌ای در ریحان به ترتیب ۲۵/۵ و ۴۷/۹ درصد کاهش یافت (Aghlmand *et al.*, 2016). نتایج مقایسه میانگین‌ها بیانگر آن است که تیمار تنش شدید کم آبی کم‌ترین محتوای رطوبت نسبی برگ را به خود اختصاص داد و نسبت به سطوح آبیاری مطلوب و تنش متوسط کم آبی از کاهش معنی‌دار و به ترتیب ۲۴/۱ و ۱۶/۶ درصدی برخوردار بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که محتوای نسبی آب برگ رابطه نزدیکی با پتانسیل آب گیاه و جذب آب از خاک دارد و از آنجاکه در شرایط تنش کمبود آب، پتانسیل آب خاک و در نتیجه جذب آب کاهش می‌یابد (Munne-Bosch *et al.*, 2007)، کاهش محتوای نسبی آب برگ در این شرایط قابل انتظار است. مطالعه روی دو گیاه دارویی سیاهدانه^۲ و شنبلیله نیز حاکی از کاهش میزان کلروفیل و محتوای رطوبت نسبی برگ با افزایش تنش کم آبی بود (Kakulvand *et al.*, 2017). در تحقیقی دیگر نیز با تأخیر در آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ و ۳۰ درصد، محتوای رطوبت نسبی برگ در ریحان از ۸۲/۳ به ۳۶/۳ و ۲۳/۷ درصد کاهش یافت (Aghlmand *et al.*, 2016).

به‌دست آمد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار MSTATC (نسخه ۱/۴۲) انجام پذیرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. صفات فیزیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده تنش کم آبی، متانول و اسید هیومیک و اثر متقابل متانول و اسید هیومیک بر صفات شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای رطوبت نسبی برگ معنی‌دار بود، اما سایر اثرات متقابل بر این صفات معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها بیانگر آن است که تیمار تنش شدید کم آبی، کم‌ترین شاخص کلروفیل را به خود اختصاص داد و نسبت به سطوح آبیاری مطلوب و تنش متوسط کم آبی کاهش معنی‌دار و به ترتیب ۳۶/۴ و ۲۳/۱ درصدی را نشان داد (جدول ۴). در تحقیق بر روی گیاه دارویی مرزه^۱ علت کاهش غلظت سبزینه گیاه تحت تأثیر تنش کم آبی، تغییر مسیر سوخت‌وساز نیتروژن در ساخت ترکیب‌هایی مانند پرولین که برای تنظیم اسمزی به‌کار می‌روند، ذکر شد (Sodaiizadeh *et al.*, 2016). در تحقیق دیگری علت کاهش غلظت کلروفیل تحت شرایط خشکی به‌واسطه اثر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل ذکر شد (Kordi *et al.*, 2013). هم‌چنین در گیاهانی که در معرض تنش کم آبی قرار می‌گیرند، جذب منیزیم و آهن از خاک کاهش یافته که نتیجه آن کاهش میزان سنتز کلروفیل می‌باشد (Aghlmand *et al.*, 2016). نتایج مطالعه بر روی گیاه دارویی ریحان نشان داد که کاهش دسترسی گیاه به آب موجب کاهش محتوی کلروفیل برگ می‌شود (Kordi *et al.*, 2013). نتایج به‌دست‌آمده توسط سایر پژوهش‌گران پژوهش‌گران نیز حاکی از تأثیر منفی تنش کم آبی

جدول ۳. میانگین مربعات اثر متانول و اسید هیومیک بر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد و راندمان مصرف آب کاسنی تحت

تنش کم آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص کلروفیل	هدایت روزنه‌ای	محتوای آب نسبی برگ	عملکرد خشک ریشه	عملکرد خشک ساقه و برگ
تکرار	۲	۱۹۲/۳۶ ^{ns}	۲۴۹/۰۸ ^{ns}	۲۲۳/۲۳ ^{ns}	۳۰۰/۶۸ ^{ns}	۱۶۹۱۱ ^{ns}
آبیاری (A)	۲	۱۲۱۶/۸۹ [*]	۶۶۲۰/۶۱ ^{**}	۱۳۰۷/۰۸ ^{**}	۲۳۳۶/۳۲ ^{**}	۴۳۷۷۳۸/۱ ^{**}
خطای a	۴	۷۸/۹۹	۶۹/۴۲	۳۹/۲۳	۷۰/۶۶	۱۳۶۴۶/۳
متانول (B)	۱	۱۲۹/۹۴ [*]	۴۸۸/۶۰ ^{**}	۱۷۰/۸۴ ^{**}	۳۰۰/۳۸ ^{ns}	۱۷۴۵۶/۴ [*]
اسید هیومیک (C)	۱	۱۴۳/۱۲ ^{**}	۱۳۱/۸۰ [*]	۲۲۵/۳۳ ^{**}	۶۷/۵ [*]	۱۹۲۳۱/۱ [*]
B × A	۲	۶۴/۰۹ ^{ns}	۷۸/۸۸ ^{ns}	۳۶/۶۴ ^{ns}	۱۳/۶۶ ^{ns}	۶۳۰۸/۲ ^{ns}
C × A	۲	۶۲/۶۳ ^{ns}	۵۲/۴۹ ^{ns}	۴۱/۰۶ ^{ns}	۲۷/۵۳ ^{ns}	۱۳۶۶۶/۵ [*]
C × B	۱	۱۴۲/۴۹ [*]	۱۳۸/۲۵ ^{**}	۱۵۶/۷۸ ^{**}	۲۴/۴۵ ^{ns}	۵۳۹۰/۳۶ ^{ns}
C × B × A	۲	۵۰/۴۴ ^{ns}	۲۳/۶۱ ^{ns}	۴۴/۰۷ ^{ns}	۱۲/۹۷ ^{ns}	۲۴۳۵/۱ ^{ns}
خطای b	۱۸	۱۸/۵۲	۲۶/۲۶	۱۴/۰۵	۱۱/۶۱	۲۳۷۹/۸۷
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/۸	۹/۵۲	۴/۹۲	۵/۴۷	۱۱/۵۵

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی دار می‌باشد.

ادامه جدول ۳. میانگین مربعات اثر متانول و اسید هیومیک بر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد و راندمان مصرف آب کاسنی

تحت تنش کم آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد خشک کل	نسبت ریشه به ساقه و برگ	کارایی مصرف آب ریشه	کارایی مصرف آب ساقه و برگ	کارایی مصرف آب کل
تکرار	۲	۲۱۱۷۶/۵ ^{ns}	۰/۰۰۱۵۱ ^{ns}	۰/۰۰۸۰۴ [*]	۰/۰۳۸۰۴ ^{ns}	۰/۰۴۸۳۴ ^{ns}
آبیاری (A)	۲	۵۲۰۷۷۰/۸۹ ^{**}	۰/۰۷۶۱ ^{**}	۰/۰۹۲ ^{**}	۰/۲۱۶۵ ^{**}	۰/۲۸۸۸۵ ^{**}
خطای a	۴	۱۴۶۰۶/۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۸	۰/۰۱۰۶	۰/۰۱۴۳۴
متانول (B)	۱	۱۹۰۶۶/۳ [*]	۰/۰۰۰۸ [*]	۰/۰۰۰۱۹ ^{ns}	۰/۰۰۹۴۷ [*]	۰/۰۲۵۸۴ [*]
اسید هیومیک (C)	۱	۱۸۹۹۶/۱ [*]	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۶۲ [*]	۰/۰۱۰۲ [*]	۰/۰۲۲۸ ^{**}
B × A	۲	۸۳۷۳/۴ ^{ns}	۰/۰۰۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۲۸ ^{ns}	۰/۰۰۲۱۲ ^{ns}	۰/۰۲۴۸ [*]
C × A	۲	۱۶۹۸۱/۳ ^{**}	۰/۰۰۰۲۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۴۹ [*]	۰/۰۱۰۱ [*]	۰/۰۲۱۴ [*]
C × B	۱	۶۰۲۲/۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۰۳۵۲ ^{ns}	۰/۰۰۲۹ ^{ns}	۰/۰۰۲۶ ^{ns}
C × B × A	۲	۴۵۳۲/۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۹۷۹ ^{ns}	۰/۰۰۱۲۸۶ ^{ns}
خطای b	۱۸	۲۵۰۱/۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۷۸	۰/۰۰۳۵۲
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۳۲	۷/۷۸	۹/۹۱	۶/۶۱	۸/۰۹

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی دار می‌باشد.

تأثیر تنش کم آبی، متانول و اسید هیومیک بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و کارایی مصرف آب کاسنی

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر تنش کم آبی بر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد و نسبت ریشه به ساقه و برگ در کاسنی

آبیاری	شاخص	هدایت روزنه‌ای	محتوای آب نسبی	عملکرد خشک	نسبت ریشه به
(mm cumulative evaporation)	کلروفیل	(mmol/m ² .s)	برگ (%)	ریشه (g/m ²)	ساقه و برگ
۷۰	۵۹/۵۸ a	۷۷/۱۶ a	۸۵/۷۵ a	۷۷/۵۴ a	۰/۱۱۴ a
۱۴۰	۴۹/۲۸ b	۵۴/۰۸ b	۷۸/۰۱ b	۶۶/۱۰ b	۰/۱۳۰ b
۲۱۰	۳۷/۸۷ c	۳۰/۱۸ c	۶۵/۰۹ c	۴۳/۳۶ c	۰/۱۶۳ c

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

دی‌اکسید کربن جهت ماده‌سازی مربوط دانست که منجر به کاهش تعرق و ازدست‌رفتن آب در گیاه و در نتیجه حفظ آب بافت برگ شده (Fall & Benson, 1996) که در نهایت باعث افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ در کاسنی می‌گردد. هم‌چنین می‌توان گفت که محلول‌پاشی متانول با افزایش قدرت فتوسنتزی گیاه توانسته است با افزایش طول و انشعابات ریشه کاسنی، قدرت جذب آب و عناصر غذایی را از خاک افزایش داده و بنابراین گیاه تیمار شده با متانول در مقایسه با گیاه تیمار نشده از توان بیشتری در جذب آب و حفظ محتوای رطوبت نسبی در سلول‌های برگ برخوردار بوده است. محلول‌پاشی ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی متانول در سیاهدانه نیز باعث افزایش معنی‌دار محتوای رطوبت نسبی برگ شده است (Baradaran Firouzabadi et al., 2017).

افزایش معنی‌دار در شاخص کلروفیل با مصرف هیومیک اسید در شرایط عدم محلول‌پاشی متانول، احتمالاً می‌تواند به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه و در نتیجه افزایش رشد رویشی و غلظت کلروفیل در مقایسه با شاهد باشد. در تحقیقی، میزان کلروفیل در برگ‌های کرچک^۱ به وسیله کاربرد اسید هیومیک افزایش پیدا کرد (Kamalakar et al., 2013).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل متانول و اسید هیومیک بیانگر آن است که کاربرد اسید هیومیک در شرایط عدم محلول‌پاشی متانول باعث افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای رطوبت نسبی برگ شد اما در شرایط محلول‌پاشی متانول، بین کاربرد و عدم کاربرد اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری در این صفات مشاهده نشد (جدول ۵). به نظر می‌رسد محلول‌پاشی متانول از طریق بهبود ماده‌سازی گیاه و کاهش تنفس نوری توانسته است از طرفی مواد پیش ساخت لازم در سنتز کلروفیل را در گیاه افزایش داده و از طرف دیگر با کاهش پیری زودرس برگ‌ها، غلظت کلروفیل را در برگ‌های کاسنی به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. افزایش ۹/۴ درصدی شاخص کلروفیل در گیاه دارویی سرخارگل گزارش شده است (Khosravi et al., 2011).

احتمالاً متابولیسم متانول و تبدیل آن به قند در برگ گیاهان تیمار شده با متانول می‌تواند پتانسیل اسمزی برگ‌ها را تغییر داده و باعث افزایش فشار تورگر و افزایش هدایت روزنه‌ای آن شود که این امر باعث افزایش سرعت آسیمیلایسیون و همچنین افزایش رشد گیاهان می‌شود (Mirakhori et al., 2009). هم‌چنین علت افزایش معنی‌دار محتوای رطوبت نسبی برگ کاسنی با کاربرد متانول در این تحقیق را می‌توان به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن ناشی از متابولیسم شدن متانول در سلول‌های مزوفیلی برگ و دسترسی کافی گیاه به

1. *Ricinus communis*

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل متانول و اسید هیومیک بر برخی صفات فیزیولوژیک در کاسنی

متانول (%V/V)	اسید هیومیک (L/ha)	شاخص کلروفیل	هدایت روزنه‌ای (mmol/m ² .s)	محتوای آب نسبی برگ (%)
صفر	صفر	۴۵/۶ b	۴۹/۲ c	۷۳/۳ b
	۱۰	۴۹/۷ a	۵۳/۷ b	۷۶/۶ a
۲۱	صفر	۴۹/۹ a	۵۵/۷ a	۷۷/۵ a
	۱۰	۵۰/۲ a	۵۶/۴ a	۷۷/۶ a

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

۲.۳. صفات عملکردی و نسبت وزن ریشه به برگ و ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش کم‌آبی بر عملکرد خشک ریشه، عملکرد خشک ساقه و برگ، عملکرد خشک کل و نسبت ریشه به ساقه و برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثر ساده متانول نیز بر عملکرد خشک ساقه و برگ، عملکرد خشک کل و نسبت ریشه به ساقه و برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. هم‌چنین اثر ساده اسید هیومیک بر عملکرد خشک ریشه، عملکرد خشک ساقه و برگ و عملکرد خشک کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش کم‌آبی و اسید هیومیک بر عملکرد خشک ساقه و برگ و عملکرد خشک کل معنی‌دار بود، اما سایر اثرات متقابل بر این صفات معنی‌دار نشد (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌های صفات مذکور نشان داد که اعمال تنش شدید کم‌آبی (آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از تشتک) نسبت به آبیاری پس از ۱۴۰ و ۷۰ میلی‌متر تبخیر جمعی باعث شد تا عملکرد خشک ریشه به ترتیب ۳۴/۴ و ۴۴/۱ درصد کاهش یابد (جدول ۴). به نظر می‌رسد در شرایط کمبود آب، به‌علت کاهش تعداد و سطح برگ و کاهش صفات رشدی ریشه کاسنی، قدرت فتوسنتزی گیاه و نیز قدرت جذب آب گیاه به مقدار زیادی کاهش یافته که نتیجه آن افت پتانسیل آب گیاه و فشار آماس سلول‌ها، بسته‌شدن روزنه‌ها و در نهایت

هم‌چنین به نظر می‌رسد اسید هیومیک از طریق افزایش توسعه ریشه و جذب آب و مواد غذایی، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای و محتوای رطوبت نسبی برگ کاسنی می‌گردد. به‌عبارتی در این شرایط، گیاه آب بیش‌تری را در اختیار بخش هوایی قرار داده و احتمالاً در این شرایط غلظت هورمون آبسبزیک اسید انتقال‌یافته به سلول‌های محافظ روزنه کاهش یافته و بنابراین هدایت روزنه‌ای با کاربرد اسید هیومیک به میزان بیش‌تری افزایش می‌یابد. در تحقیقی، با مصرف ۳۱۱ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک بیش‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای در گیاه پروانش مشاهده شد (Chamani et al., 2015).

اسید هیومیک باعث بهبود ساختار خاک، افزایش ریشه‌زایی، نگهداری بیش‌تر آب در خاک، کمک به رشد سریع باکتری‌های مفید در خاک، کمک به انحلال و آزادسازی عناصر ماکرو و میکرو و در نتیجه کاهش نیاز به کودهای شیمیایی می‌باشد. هم‌چنین، استفاده از اسید هیومیک موجب افزایش مقاومت به کم‌آبی می‌شود (Salehi et al., 2010; Oveysi & Ghoshchi, 2012). به نظر می‌رسد کاربرد اسید هیومیک از طریق قدرت کلات‌کنندگی عناصر غذایی و با کاهش تبخیر و تعرق و در نتیجه قراردادن آب و مواد غذایی بیش‌تر و مناسب‌تر در اختیار گیاه، می‌تواند موجب افزایش هدایت روزنه‌ای شود.

تأثیر تنش کم‌آبی، متانول و اسید هیومیک بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و کارایی مصرف آب کاسنی

به ریشه‌ها به نسبت شاخه‌ها تخصیص داده می‌شود و در صورتی که تنش کم‌آبی زیاد شود، گیاه برای رویارویی با تنش کمبود آب از طریق افزایش نسبت وزن ریشه به شاخ و برگ تا حدودی با کمبود آب مقابله می‌کند ولی در نهایت با کاهش آب (تشدید تنش کم‌آبی) رشد رویشی گیاه (اندام هوایی و ریشه‌ها) کاهش می‌یابد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی متانول باعث افزایش به ترتیب ۱۲/۵ و ۱۰/۹ درصدی عملکرد خشک برگ+ ساقه و عملکرد کل نسبت به تیمار عدم استفاده از متانول گردید اما نسبت وزن خشک ریشه به برگ+ ساقه، ۹/۶ درصد کاهش یافت (جدول ۶). استفاده از متانول باعث افزایش تثبیت CO₂ و فتوسنتز خالص در واحد سطح شده و در نهایت موجب افزایش تولید ماده خشک در گیاهان زراعی سه کربنه می‌شود. بنابراین کاربرد متانول می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب جهت افزایش عملکرد این گیاهان مورد توجه قرار گیرد (Lee et al., 2006). محلول‌پاشی متانول بر قسمت‌های هوایی گیاهان زراعی سبب افزایش عملکرد، تسریع رسیدگی، کاهش اثر تنش کم‌آبی و کاهش نیاز آبی آن‌ها می‌شود (Nonomura & Benson, 1992). در تحقیقی، محلول‌پاشی با غلظت ۲۰ درصد حجمی متانول افزایش معنی‌دار عملکرد خشک شاخ و برگ آویشن^۱ را نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی متانول به‌دنبال داشت (Bahman et al., 2017).

کاهش کربن‌گیری و تولید ماده خشک گیاه خواهد بود. این موضوع می‌تواند کاهش معنی‌دار عملکرد خشک ریشه کاسنی در تیمارهای تنش کم‌آبی را توجیه نماید. از طرفی دیگر می‌توان گفت که افزایش تنش کمبود آب، به‌طور مستقیم بر فرآیندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به‌طور غیرمستقیم ورود گازکربنیک به روزنه‌ها را که به‌علت تنش آب مسدود می‌باشند را کاهش می‌دهد و در نهایت کاهش عملکرد خشک را در کاسنی باعث می‌گردد. در تحقیقی، اعمال تنش کم‌آبی موجب کاهش عملکرد خشک برگ، ریشه و کل در کاسنی شد (Mousavi, 2013). در مطالعه دیگری نیز به کاهش عملکرد کاسنی در شرایط کمبود آب اشاره شده است (Sani & Aliabadi Farahani, 2010).

نسبت وزن خشک ریشه به ساقه و برگ در تیمار تنش شدید کم‌آبی نسبت به تیمارهای تنش متوسط و بدون تنش به ترتیب ۴۸/۹ و ۲۶/۱ درصد برتری نشان داد (جدول ۴). هرچند کاهش سطح و تعداد برگ تحت شرایط تنش کم‌آبی سبب کاهش فتوسنتز، رشد و عملکرد ریشه نیز می‌گردد، با این وجود رشد ریشه نسبت به بخش هوایی کم‌تر تحت تأثیر کمبود آب قرار می‌گیرد به‌طوری‌که نسبت کل ماده خشک ریشه به برگ و ساقه در شرایط تنش شدید کم‌آبی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب، افزایش می‌یابد. چنین به‌نظر می‌رسد که در شرایط تنش فرآورده‌های فتوسنتزی بیش‌تری

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی متانول بر عملکرد، نسبت ریشه به ساقه و برگ و کارایی مصرف آب در کاسنی

متانول (%V/V)	عملکرد خشک ریشه (g/m ²)	عملکرد خشک ساقه و برگ (g/m ²)	عملکرد خشک کل (g/m ²)	نسبت ریشه به ساقه و برگ	کارایی مصرف آب ساقه و برگ (kg/m ³)
صفر	۶۲/۲۲a	۳۹۷/۵۷ b	۴۵۹/۸۰ b	۰/۱۳۵ a	۰/۶۱۳ b
۲۱	۶۲/۴۴a	۴۴۷/۳۰ a	۵۰۹/۷۴ a	۰/۱۲۲ b	۰/۶۶۵ a

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

1. *Thymus vulgaris* L.

لیتر اسید هیومیک به دست آمد (Mohammadipour et al., 2012).

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم‌آبی و اسید هیومیک بیانگر آن است که هر چند در هر سه سطح آبیاری، کاربرد ۱۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک نسبت به عدم کاربرد این اسید منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد خشک برگ و ساقه و عملکرد خشک کل کاسنی شد، اما بیش‌ترین افزایش این صفات در شرایط تنش متوسط کم‌آبی مشاهده گردید. به عبارتی کاربرد ۱۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک، در شرایط آبیاری مطلوب، تنش متوسط و شدید کم‌آبی عملکرد خشک برگ و ساقه به ترتیب ۱۰/۷، ۲۱/۲ و ۱۲/۳ درصد و عملکرد خشک کل به ترتیب ۹/۵، ۱۹/۸ و ۱۱/۴ درصد افزایش یافت (جدول ۷). در تحقیقی مشخص شد که اثر متقابل دور آبیاری و اسید هیومیک بر عملکرد ماده خشک ریحان معنی‌دار بود، به طوری که در هر دو شرایط بدون محلول‌پاشی و با محلول‌پاشی اسید هیومیک، عملکرد ماده خشک در مدار آبیاری ۵ روز بیش‌تر از مدار آبیاری ۱۰ روز بود، ضمن این که اسید هیومیک در هر دو مدار آبیاری مورد مطالعه، عملکرد ماده خشک را در مقایسه با عدم کاربرد اسید هیومیک افزایش داد (Jahan et al., 2015).

هم‌چنین کاهش نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی با محلول‌پاشی متانول را احتمالاً می‌توان به تأثیر مثبت متانول بر تولید ماده خشک و در نتیجه افزایش سطح برگ و توان فتوسنتزی و تجمع بیش‌تر بیوماس گیاهی در بخش هوایی گیاه مربوط دانست.

نتایج نشان داد که با افزایش کاربرد اسید هیومیک از صفر به ۱۰ لیتر در هکتار، عملکردهای خشک ریشه کاسنی به طور معنی‌دار و از ۵۹/۶۱ به ۶۵/۰۶ گرم در مترمربع (۹/۱ درصد) افزایش یافت. به نظر می‌رسد علت افزایش وزن خشک ریشه در کاسنی با کاربرد اسید هیومیک، افزایش شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای و به دنبال آن افزایش فتوسنتز و ماده خشک تولیدی در گیاه است. در تحقیقی، استفاده از اسید هیومیک (۰/۹ کیلوگرم در هکتار) تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد ریشه کاسنی داشت (Gholami et al., 2018b). هم‌چنین اثر سطوح مختلف اسید هیومیک (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار بررسی و گزارش شد که بیش‌ترین وزن خشک اندام‌های هوایی در اثر کاربرد تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و اسید هیومیک بر عملکرد و کارایی مصرف آب در کاسنی

آبیاری mm cumulative) (evaporation)	اسید هیومیک (L/ha)	عملکرد خشک ساقه و برگ (g/m ²)	عملکرد خشک کل (g/m ²)	کارایی مصرف آب ریشه (kg/m ³)	کارایی مصرف آب ساقه و برگ (kg/m ³)	کارایی مصرف آب کل (kg/m ³)
۷۰	صفر	۵۷۱/۷ b	۶۴۸/۹ b	۰/۰۷ c	۰/۵۰ e	۰/۵۷ f
	۱۰	۶۳۲/۸ a	۷۱۰/۷ a	۰/۰۷ c	۰/۵۶ d	۰/۶۳ e
۱۴۰	صفر	۴۰۰/۵ d	۴۶۳/۳ d	۰/۱۱ b	۰/۷۱ b	۰/۸۲ b
	۱۰	۴۸۵/۴ c	۵۵۴/۹ c	۰/۱۲ a	۰/۸۶ a	۰/۹۹ a
۲۱۰	صفر	۲۰۹/۱ f	۲۵۱/۰ f	۰/۱۱ b	۰/۵۵ d	۰/۶۶ d
	۱۰	۲۳۴/۸ e	۲۷۹/۶ e	۰/۱۲ a	۰/۶۲ c	۰/۷۴ c

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

این پژوهش‌گران اظهار داشتند که محلول‌پاشی اسید هیومیک در شرایط کم‌آبیاری، ضمن بهبود نسبی ویژگی‌های کمی گیاه دارویی ریحان، نقش مؤثری در کاهش اثرات مخرب ناشی از کم‌آبی و ثبات عملکرد این گیاه داشت در یک پژوهش دیگر مشخص شد که اسید هیومیک اثرات مضر کمبود آب را به‌وسیله گلوکاتینون احیاء شده کاهش داده و اثر مفیدی روی رشد و فتوسنتز اعمال کرده است (Buasri et al., 2012).

۳.۳. کارایی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش کم‌آبی و اثر ساده اسید هیومیک بر کارایی مصرف آب برای تولید ریشه، برگ و ساقه و کل ماده خشک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر ساده متانول نیز بر کارایی مصرف آب برای تولید برگ و ساقه و کل ماده خشک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، اما اثر آن بر کارایی مصرف آب برای تولید ریشه معنی‌دار نبود. اثر متقابل تنش کم‌آبی و متانول بر کارایی مصرف آب برای تولید کل ماده خشک و هم‌چنین اثر متقابل تنش کم‌آبی و اسید هیومیک بر کارایی‌های مصرف آب برای تولید ریشه، برگ و ساقه و کل ماده خشک در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی متانول کارایی مصرف آب برای تولید برگ و ساقه را به میزان ۸/۵ درصد نسبت به عدم استفاده از متانول افزایش داد (جدول ۶). محلول‌پاشی متانول بر قسمت‌های هوایی گیاهان زراعی سبب افزایش عملکرد، تسریع رسیدگی، کاهش اثر تنش کم‌آبی و کاهش نیاز آبی آن‌ها می‌شود (Nonomura & Benson, 1992).

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم‌آبی و اسید هیومیک بیانگر آن است که هر چند در شرایط آبیاری مطلوب، کاربرد ۱۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک نسبت به

عدم کاربرد این اسید منجر به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب برای تولید ریشه کاسنی نشد، اما در شرایط تنش متوسط و شدید کم‌آبی کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار و ۹/۱ درصدی این صفت گردید (جدول ۷). عدم تفاوت معنی‌دار تیمارهای کاربرد و عدم کاربرد اسید هیومیک در شرایط آبیاری مطلوب را می‌توان به عدم تفاوت معنی‌دار عملکرد ریشه در این تیمارها مربوط دانست. هم‌چنین در هر سه سطح آبیاری، کاربرد ۱۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک نسبت به عدم کاربرد این اسید منجر به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب برای تولید ساقه و برگ و کارایی مصرف آب برای تولید کل ماده خشک کاسنی شد، اما بیش‌ترین افزایش این صفات نیز در شرایط تنش متوسط کم‌آبی مشاهده گردید. به‌عبارتی کاربرد ۱۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک در شرایط آبیاری مطلوب، تنش متوسط و شدید کم‌آبی، کارایی مصرف آب برای تولید ساقه و برگ را به‌ترتیب ۱۲، ۲۱/۱ و ۱۲/۷ درصد و کارایی مصرف آب برای تولید کل ماده خشک را به‌ترتیب ۱۰/۵، ۲۰/۷ و ۱۲/۱ درصد افزایش داد (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد که با وجود کاهش عملکرد ساقه و برگ و عملکرد بیوماس کل کاسنی در شرایط تنش متوسط کم‌آبی، کاهش حجم آبیاری در این شرایط توانسته است باعث افزایش معنی‌دار صفات کارایی مصرف آب برای تولید ساقه و برگ و کارایی مصرف آب برای تولید بیوماس کاسنی در شرایط تنش متوسط کم‌آبی در مقایسه با دو سطح دیگر آبیاری گردد. احتمالاً بسته‌شدن بیش‌تر روزه‌ها در تیمار تنش متوسط کم‌آبی، تعرق را در مقایسه با تولید ماده خشک به مقدار بیش‌تری کاهش داده است و این موضوع باعث افزایش بهره‌وری از آب برای تولید ماده خشک در کاسنی شده است. هم‌چنین در شرایط تنش شدید کم‌آبی هر چند کارایی مصرف آب برای تولید ریشه، برگ و ساقه و بیوماس کل کاسنی

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و متانول بر کارایی مصرف آب در کاسنی

آبیاری	متانول (mm cumulative evaporation) (%V/V)	کارایی مصرف آب کل (kg/m ³)
۷۰	صفر	۰/۵۹ e
	۲۱	۰/۶۱ e
۱۴۰	صفر	۰/۸۷ b
	۲۱	۰/۹۴ a
۲۱۰	صفر	۰/۶۶ d
	۲۱	۰/۷۴ c

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مواد تعدیل‌کننده تنش کم آبی (متانول و اسید هیومیک) تأثیر مثبت و معنی‌داری بر اغلب صفات مورد مطالعه کاسنی داشتند اما نقش اسید هیومیک در تخفیف تنش کم آبی پررنگ‌تر بود، به طوری که نتایج اثر متقابل تنش کم آبی و اسید هیومیک نشان داد که در تیمارهای مختلف تنش کم آبی، کاربرد ۱۰ لیتر اسید هیومیک در هکتار موجب افزایش عملکرد خشک ساقه و برگ، عملکرد خشک کل، کارایی مصرف آب برای تولید ساقه و برگ و نیز کارایی مصرف آب برای تولید کل ماده خشک در کاسنی شد. با این وجود بیش‌ترین تأثیر مثبت بر بهبود صفات مذکور در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بدست آمد. لازم به ذکر است که هرچند در شرایط آبیاری مطلوب، محلول‌پاشی متانول منجر به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب برای تولید بیوماس کل کاسنی نشد، اما در شرایط تنش متوسط و شدید کم آبی محلول‌پاشی متانول باعث افزایش معنی‌دار این صفت گردید. هم‌چنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین کارایی مصرف آب از تیمار آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کاربرد ۱۰ لیتر اسید هیومیک در هکتار

نسبت به تیمار آبیاری بدون تنش کم آبی برتری معنی‌داری داشت، اما کاهش شدید این عملکردها در شرایط تنش شدید کم آبی باعث شد تا علی‌رغم کاهش آب مصرفی، کارایی مصرف آب در این شرایط نسبت تنش متوسط کم آبی کاهش معنی‌داری را نشان دهد. به نظر می‌رسد که کاربرد اسید هیومیک از طریق توسعه ریشه، کارایی مصرف آب را افزایش داده و با برقراری برهمکنش مناسب با فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت منجر به افزایش توانایی گیاه در مقابله با تنش کمبود آب می‌شود (Oveysi & Ghoshchi, 2012). هم‌چنین اسید هیومیک از طریق افزایش ریشه‌زایی، نگهداری بیش‌تر آب در خاک، کمک به رشد سریع باکتری‌های مفید در خاک، کمک به انحلال و آزادسازی عناصر ماکرو و میکرو (Salehi et al., 2010; Oveysi & Ghoshchi, 2012) توان فتوسنتزی گیاه و تجمع ماده خشک را در بخش‌های هوایی و زیرزمینی کاسنی افزایش داده و از این طریق کارایی مصرف آب برای تولید ریشه، برگ و ساقه و نیز بیوماس کل را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. نتایج تحقیقات متعددی به تأثیر مثبت کاربرد اسید هیومیک بر بیوماس و کاهش اثرات مخرب ناشی از کم آبی و ثبات عملکرد اشاره دارد (Mohammadipour et al., 2012; Jahan et al., 2015; Gholami et al., 2018a).

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم آبی و متانول بیانگر آن است که هرچند در شرایط آبیاری مطلوب، محلول‌پاشی متانول نسبت به عدم کاربرد متانول منجر به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب برای تولید بیوماس کل کاسنی نشد، اما در شرایط تنش متوسط و شدید کم آبی محلول‌پاشی متانول باعث افزایش معنی‌دار و به ترتیب ۸ و ۱۲/۱ درصدی این صفت گردید (جدول ۸). علت این موضوع را می‌توان به تفاوت میانگین عملکردهای بیوماس کل تحت تأثیر اثر متقابل تنش کم آبی و متانول مربوط دانست.

- <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.07.006>
Buasri, A., Chaiyut, N. & Loryuenyong, V. (2012). Transesterification of waste frying oil for synthesizing biodiesel by KOH supported on coconut shell activated carbon in packed bed reactor. *Science Asia*, 38, 283-288. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2012.38.283>
- Chamani, E., Bonyadi, M. & Ghanbari, A. (2015). Effects of salicylic acid and humic acid on vegetative indices of periwinkle (*Catharanthus roseus* L.). *Journal of Horticultural Science*, 29(4), 631-641. (in Persian)
- Fall, R. & Benson, A. A. (1996). Leaf methanol, the simplest natural product from plants. *Trends Plant Sciences*, 1(9), 296-301. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(96\)88175-0](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(96)88175-0)
- Gholami, H., Saharkhiza, M. J., Raouf fard, F., Askarghani, D. & Nadaf, F. (2018 a). Humic acid and vermicompost increased bioactive components, antioxidant activity and herb yield of Chicory (*Cichorium intybus* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 14, 286-292. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.03.021>
- Gholami, H., Raouffard, F., Saharkhiza, M. J. & Askarghani, D. (2018 b). Yield and physicochemical properties of inulin obtained from Iranian chicory roots under vermicompost and humic acid treatments. *Industrial Crops & Product*, 123, 610-616. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.031>
- Hossinzadeh, S. R., Salimi, A., Ganjeali, A. & Ahmadpour, R. (2013). Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics, chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 5(18), 115-132. (in Persian)
- Jahan, M., Ghalenoe, Sh., Khamooshi, A. & Amiri, M. B. (2015). Evaluation of some agroecological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by simultaneous application of water-saving superabsorbent hydrogel in soil and foliar application of humic acid under different irrigation intervals in a lowinp. *Journal of Horticulture Science*, 29(2), 240-254. (in Persian)
- Kakulvand, R., Fallah, S., and Abassi Sourki, A. (2017). Effects of species competition on photosynthetic pigments, prolin relative water content, and essence fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) and black cumin (*Nigella sativa* L.) under drought stress conditions in intercropping system. *Journal of Plant Process and Function Iranian Society of Plant Physiology*, 6(19), 255-270. (in Persian)

حاصل شد. به‌طورکلی براساس نتایج این تحقیق، در صورت وجود آب کافی برای داشتن حداکثر عملکرد اقتصادی، تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و کاربرد ۱۰ لیتر اسید هیومیک در هکتار مناسب است، اما در شرایط کم‌آبی و با در نظر گرفتن کارایی مصرف آب، جهت تولید عملکرد قابل قبول گیاه دارویی کاسنی تیمار تنش متوسط کم‌آبی (آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) و استفاده از اسید هیومیک به میزان ۱۰ لیتر در هکتار در منطقه بیرجند می‌تواند پیشنهاد شود.

۵. سپاسگزاری

از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند برای حمایت مالی اجرای این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. منابع

- Aghlmand, S., Esmailpour, B., Abasszadeh Dahaji, P., Soltani Toularoud, A. A. & Jalilvand, P. (2016). Effects of mycorrhizal fungi and salicylic acid on growth and physiological parameters of basil (*Ocimum basilicum* L.) under water deficit conditions. *Water and Soil Science*, 26(3), 51-66. (in Persian)
- Bahman, S., Mehrafarin, A. & Naghdi Badi, H. (2017). Influence of gibberellic acid, indole butyric acid, and methanol on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus vulgaris* L. *Journal of Medicinal Plants*, 16(61), 33-44. (in Persian)
- Baradaran Firouzabadi, M., Parsaeiyan, M. & Baradaran Firouzabadi, M. (2017). Agronomic and physiological response of *Nigella sativa* L. to ascorbate and methanol foliar application in water deficit stress. *Plant Ecophysiology*, 30, 13-27. (in Persian)
- Ben Ahmed, Ch., Ben Rouina, B., Sensoy, S., Boukhris, M. & Ben Abdallah, F. (2009). Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environmental and Experimental Botany*, 67(2), 345-352.

- Kamalakar, K., Rajak, A. K., Prasad, R. B. N. & Karuna, M. S. L. (2013). Rubber seed oil based biolubricant basestocks: A potential source for hydraulic oils. *Industrial Crops Production*, 51, 249-257.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.058>
- Khosravi, M. T., Mehrafarin, A., Naghdibadi, H., Hajiaghaee, R. & Khosray, E. (2011). Effect of methanol and ethanol application on yield of *Echinacea purpurea* L. in Karaj region. *Journal of Herbal Drugs*, 2(2), 121-128. (in Persian)
- Kordi, S., Saidi, M. & Ghanbari, F. (2013). Induction of drought tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) by salicylic acid. *International Journal of Agricultural and Food Research*, 2, 18-26.
- Lee, H. S., Madhaiyan, M., Kim, C. W., Choi, S. J. & Chung, T. M. (2006). Physiological enhancement of early growth of rice seedling (*Oryza sativa* L.) by production of phytohormone of N₂-fixing methylotrophic isolated. *Biology and Fertility of Soils*, 42(5), 402-408. <https://doi.org/10.1007/s00374-006-0083-8>
- Mehmood, N., Zubair, M., Rizwan, K., Muhammad Shahid, N. R. & Ahmad, V. U. (2012). Antioxidant, antimicrobial and phytochemical analysis of *Cichorium intybus* seeds extract and various organic fractions. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 11(4), 1145-1151. (in Persian)
- Mirakhoori, M., Paknejad, F., Moradi, F., Ardakani, M., Zahedi, H. & Nazeri, P. (2009). Effect of drought stress and methanol on yield and yield components of soybean (L₁₇). *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 5(4), 162-169. <https://doi.org/10.3844/ajbbbsp.2009.162.169>
- Mohammadipour, E., Golchin, A., Mohammadi, J., Negahdar, N. & Zarchini, N. (2012). Effect of humic acid on yield and quality of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Annals of Biological Research*, 3(11), 5095- 5098.
- Mousavi, S. Gh. (2013). Investigating the effect of different levels of nitrogen and irrigation on quantitative and qualitative performance of selected medicinal plants in birjand region. Final report of research project, Islamic Azad University of Birjand. (in Persian)
- Munne-Bosch, S., Penuelas, J. & Llusia, J. (2007). A deficiency in salicylic acid alters isoprenoid accumulation in water-stressed NahG transgenic Arabidopsis plants. *Plant Science*, 172, 756-762. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.12.005>
- Nonomura, A. M. & Benson, A. A. (1992). The path of carbon in photosynthesis: Improved crop yield with methanol. Proceedings of the *National Academy of Sciences of the United States of America*, 89, 9794-9798.
- Oveysi, M. & Ghoshchi, F. (2012). Study of humic acid role on reduction of water deficit stress effects on crops. *Agriculture and Sustainable Development*, 43, 12-16. (in Persian)
- Rafiei, M., Karimi, M., Noormohamadi, G. & Nadian, H. A. (2009). Effects of drought stress and zinc and phosphorus rates on some morphological traits and physiological of grain corn. *Crop Physiology Journal*, 1(1), 58-66. (in Persian)
- Saedi, F., Mosavi Nik, M. & Rahimian Boger, A. R. (2017). Effects of different fertilizers on the morphophysiological characteristics of chicory under drought stress. *Agricultural Crop Management*, 19(1), 119-132. (in Persian)
- Salehi, B., Bagherzadeh, A. & Ghasemi, M. (2010). Effect of humic acid on growth, yield and yield components traits of three variety of *Lycopersicon esculentum* L. *Agroecology Journal*, 2(4), 640-647. (in Persian)
- Sani, B. & Aliabadi Farahani, H. (2010). Effect of P₂O₅ on coriander induced by AMF under water deficit stress. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 2(4), 52-58.
- Sapeta, H., Miguel Costa, J., Lourenco, T., Maroco, J., van der Linde, P. & Oliveira, M. (2013). Drought stress response in *Jatropha curcas*: Growth and physiology. *Environmental and Experimental Botany*, 85, 76-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.08.012>
- Seckler, D., Molden, D. & Sakthivadivel, R. (2002). The concept of efficiency in water resource management and policy. In water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement. Ed. Kijne, J. W. Wallingford. UK. CABI.
- Sodaiizadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady maibody, A.M. & Hakimzadeh, M. A. (2016). The effects of water stress on some morphological and physiological characteristics of *Satureja Hortensis*. *Journal of Plant Process and Function Iranian Society of Plant Physiology*, 5(15), 1-12. (in Persian)
- Zarei, Gh., Shamsi Mahmoodabadi, H., Tabatabaei, S. A. & Mohtaram, S. A. (2014). Effect of sowing date and plant density on yield of chicory (*Cichorium intybus* L.). *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 104, 136-141. (in Persian)