تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۶
۵۸۲-۵۷۱
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2017.113.1029

ارزیابی خصوصیات رنگ کاسبرگ در گیاه دارویی چای‌ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) تحت تأثیر مدیریت آبیاری، تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزا و مصرف اسید هیومیک

حمیدرضا فلاحی[1*]، مرتضی قربانی[2]، مهسا اقحوانی شجری[3]، علیرضا صمدزاده[1]، مهدی خیاط[4]، زهرا مرکی[5]، امیرحسن اسعدیان[6]

۱. عضو هیئت‌علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.
۲. عضو هیئت‌علمی گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند.
۳. دکتری بوم‌شناسی کشاورزی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
۴. عضو هیئت‌علمی گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.
۵. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گیاهان دارویی و کارشناس آزمایشگاه فیزیولوژی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.
۶. عضو هیئت‌علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی سرایان، دانشگاه بیرجند.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۱

چکیده

در این تحقیق تأثیر فراهمی آب (آبیاری پس از تبخیر ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر از تشتک کلاس A به ترتیب به‌عنوان تیمارهای بدون تنش و تحت تنش خشکی)، تلقیح میکوریزایی (شاهد، *Glomus intraradices* و *Glomus versiforme*) و مصرف اسید هیومیک (صفر و ۴ کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد و مؤلفه‌های رنگ در کاسبرگ‌های گیاه دارویی چای‌ترش مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی سرایان (دانشگاه بیرجند) انجام شد. عملکرد کاسبرگ در شرایط اعمال تنش خشکی کمتر از تیمار عدم وجود تنش (به ترتیب ۱۰/۷ و ۱۹/۱ گرم در مترمربع) و در شرایط تلقیح با قارچ میکوریزای *Glomus intraradices* بیشتر از تیمار عدم تلقیح میکوریزایی بود (به ترتیب ۱۸/۲ و ۱۲/۹ گرم در مترمربع). همچنین مصرف هیومیک اسید در شرایط اعمال تنش خشکی عملکرد کاسبرگ خشک را بهبود بخشید. تنش خشکی موجب کاهش مقدار a^*، هیو وکروما به ترتیب به میزان ۲۲، ۵۳ و ۱۵ درصد شد. مصرف اسید هیومیک نیز مقدار زاویه هیو را ۶۳ درصد کاهش و نسبت b/a را ۲۵ درصد افزایش داد. هر دو گونه میکوریزا حدود ۶۶ درصد شاخص هیو را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند. نتایج اثرات سه‌گانهٔ عامل‌های آزمایشی نشان داد که بیشترین و کمترین میزان b/a به ترتیب در تیمارهای تنش خشکی× مصرف اسید هیومیک× تلقیح میکوریزایی و عدم تنش× عدم مصرف هیومیک× عدم تلقیح به دست آمد (به ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۰۲). همچنین بیشترین میزان هیو (°۲۱۵) در شرایط عدم اعمال تنش خشکی × عدم مصرف اسید هیومیک و تلقیح با *Glomus versiforme* حاصل شد. بیشترین میزان شاخص قرمزی نیز در تیمار عدم وقوع تنش خشکی × عدم کاربرد اسید هیومیک × انجام تلقیح میکوریزایی مشاهده شد. افزون بر این، همبستگی معنی‌داری بین a^* با کروما (۰/۶۴**+) و شاخص قهوه‌ای شدن (۰/۷۱**-) و نیز بین هیو با شاخص قرمزی (۰/۶۸**+) به دست آمد. درمجموع، عملکرد و کیفیت رنگ کاسبرگ چای‌ترش در شرایط عدم وقوع تنش خشکی مناسب‌تر بود و تلقیح میکوریزایی توانست تا حدودی اثرات منفی تنش خشکی بر عملکرد و شاخص‌های رنگ کاسبرگ را کاهش دهد.

واژگان کلیدی: **روشنایی، زاویه هیو، کروما، کم‌آبیاری، گیاه دارویی.**

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین مشکلات تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. محدودیت شدید منابع آب و هزینه بالای تأمین و انتقال آب سبب می‌شود که در برخی مواقع یا مناطق از دیدگاه

* نگارنده پاسخگو: حمیدرضا فلاحی. پست الکترونیک: hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir

اقتصادی سطح بهینه آبیاری کمتر از مقدار آب موردنیاز برای تولید حداکثر عملکرد باشد و بنابراین در این شرایط مدیریت صحیح کم‌آبیاری می‌تواند سودمند ارزیابی شود (Fallahi et al., 2016). یکی دیگر از مشکلات کشاورزی در مناطق خشک پایین بودن حاصلخیزی خاک به دلیل سطح پایین ماده آلی و فعالیت‌های میکروبی می‌باشد؛ بنابراین، مدیریت صحیح تغذیه خاک از طریق مصرف کودهای زیستی مانند هیومیک اسید و بهره‌جویی از روابط مفید همزیستی گیاه و ریزجانداران خاکزی مانند مایکوریزا، راه‌کاری مفید در جهت افزایش مواد آلی خاک، تقویت جوامع میکروبی، افزایش کارایی مصرف نهاده‌های کشاورزی به‌خصوص آب آبیاری و درنهایت بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان به‌خصوص در محیط‌های تحت تنش خشکی محسوب می‌شود (Aghhavani-Shajari et al., 2016; Koocheki et al., 2016).

اسید هیومیک به‌عنوان یک اسید آلی بدون اثرات مخرب زیست‌محیطی باعث بهبود ساختار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و به دلیل داشتن ترکیبات هورمونی، اثرات مثبت قابل‌ملاحظه‌ای بر شاخص‌های کمی و کیفی محصولات کشاورزی دارد (Sabzevari et al., 2010). مطالعات انجام‌شده بر روی بسیاری از گیاهان دارویی مانند زعفران (Koocheki et al., 2016)، گاوزبان (Heidari and Minaei, 2014) و گلرنگ (Yadollahi et al. 2015) حاکی از تأثیر مثبت مصرف اسید هیومیک بر رشد و عملکرد این گیاهان می‌باشد. قارچ‌های مایکوریزا نیز با برقراری رابطه همزیستی با بسیاری از گیاهان زراعی در افزایش جذب عناصر غذایی به‌خصوص فسفر از خاک و نیز افزایش توان ریشه در جذب آب و درنتیجه بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و نیز تحمل به تنش‌های محیطی به‌خصوص تنش خشکی نقش مفیدی دارند (Aghhavani-Shajari et al., 2016). تاکنون اثرات استفاده از گونه‌های مختلف مایکوریزا بر رشد بسیاری از گیاهان دارویی مانند زیره، شوید (Kapoor et al., 2002)، رازیانه (Kapoor et al., 2004) و گشنیز (Aghhavani-Shajari et al., 2016) مثبت ارزیابی شده است. در گیاه دارویی چای‌ترش نیز تلقیح میکوریزایی (Aulia et al., 2009) و آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (Rahbarian et al., 2011) مناسب ارزیابی‌شده و بیان شده است که مصرف هیومیک اسید می‌تواند اثرات منفی کمبود فراهمی آب را کاهش دهد (Sanjari-Mijani et al., 2015).

چای‌ترش با نام علمی *Hibiscus sabdariffa* L. گیاهی یک‌ساله و علفی است که به خانواده مالواسه[1] تعلق داشته و در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری رشد می‌کند. کاسبرگ‌ها مهم‌ترین اندام اقتصادیِ مورد استفاده در این گیاه می‌باشند که به دلیل رنگ قرمز درخشان و طعم مطبوع در صنایع غذایی جهت تولید نوشیدنی‌ها، مربا و شربت مورداستفاده قرار می‌گیرند (Borrás-Linares et al., 2015). کاسه گلِ چای‌ترش به‌عنوان منبع مناسبی از آنتوسیانین به شمار رفته و ازنظر ویتامین ث و سایر آنتی-اکسیدانت‌ها مانند هیبیستین[2] و نیز ویتامین آ، ریبوفلاوین، نیاسین، کلسیم، آهن، مواد معدنی، کاروتن، لیکوپن و فیبر رژیمی غنی می‌باشد (Wong et al., 2002; Fasoyiro et al., 2005a,b; Duangmal et al., 2008). تاکنون در برخی از پژوهش‌های علمی موضوع مدیریت آبیاری (El-Boraie et al., 2009; Rahbarian et al., 2011)، مصرف هیومیک اسید (Sanjari-Mijani et al., 2015) و نیز تلقیح میکوریزایی (Sonar et al., 2013; Sembok et al., 2015) بر رشد، عملکرد و برخی شاخص‌های کیفیِ میوه چای‌ترش موردبررسی قرار گرفته است، اما تأثیر این تیمارها بر فاکتورهای رنگ در این گیاه بررسی نشده است. در مطالعات مربوط به رنگ‌سنجی از شاخص‌های رنگ هانتر شامل l^* (نماد روشنایی رنگ)، a^* (نماد سبزی تا قرمزیِ رنگ) و b^* (نماد آبی تا زردیِ رنگ) استفاده‌شده و برای ارزیابی کیفیت و اشباع رنگ نیز به ترتیب از پارامترهای زاویه هیو و کروما استفاده می‌شود (Ebrahimi et al., 2014).

خصوصیات ظاهری ازجمله مؤلفه‌های مربوط به رنگ از عوامل مؤثر بر بازارپسندی و کیفیت مواد دارویی می‌باشند که تاکنون در گیاه چای‌ترش موضوع تأثیر عوامل مختلف مدیریتی بر این مؤلفه‌ها بررسی نشده است؛ بنابراین، هدف از این تحقیق ارزیابی تأثیر میزان فراهمی آب، تلقیح میکوریزایی و مصرف اسید هیومیک بر عملکرد و شاخص-های رنگ کاسبرگ‌های خشک‌شده این گیاه بود.

---

[1]. Malvaceae
[2]. Hibiscetine

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر برخی تیمارهای تغذیه‌ای و رژیم آبیاری بر عملکرد کاسبرگ و پارامترهای رنگ در گیاه دارویی چای‌ترش، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی سرایان (دانشگاه بیرجند) در سال ۱۳۹۴ انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل استفاده از کود زیستی مایکوریزا (شاهد، *Glomus intraradices* و *Glomus versiforme*)، اسید هیومیک (مصرف و عدم مصرف اسید هیومیک) و رژیم آبیاری (آبیاری پس از تبخیر ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر تقریباً معادل با فواصل آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز در شرایط سرایان) بودند. مدیریت آبیاری به‌عنوان عامل اصلی، مصرف هیومیک اسید به‌عنوان عامل فرعی و تلقیح میکوریزایی نیز به‌عنوان عامل فرعی فرعی در نظر گرفته شدند. در این آزمایش آبیاری گیاه پس از تبخیر ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر به ترتیب به‌عنوان تیمارهای بدون تنش و تحت تنش خشکی (کم‌آبیاری) در نظر گرفته شد.

برای اجرای آزمایش، عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه و دیسک‌زنی در اوایل فرودین انجام‌شده و در پایان فروردین‌ماه، کاشت چای‌ترش توسط بذور توده بومی سراوان (استان سیستان و بلوچستان) صورت گرفت. برای این منظور با استفاده از شیارساز، جوی و پشته‌هایی به عمق ۳۰ سانتی‌متر و فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد و بذور به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از یکدیگر روی ردیف کشت شدند. کود زیستی مایکوریزا (ماده همراه + اسپور قارچ) بر اساس مقدار توصیه‌شده توسط شرکت مربوطه، هم‌زمان با کشت به مقدار ۲۰ گرم در مترمربع (حدود ۲ گرم به ازای هر گیاه) در زیر ردیف‌های کاشت مصرف شد. اسید هیومیک نیز بنا به توصیه شرکت سازنده (هیومیکس‌ترکت اسپانیا) به میزان ۴ کیلوگرم در هکتار در دو نوبت (۱۵ و ۳۵ روز پس از سبز شدن گیاه) به مقدار مساوی مورداستفاده قرار گرفت. خصوصیات شیمیایی اسید هیومیک مورداستفاده در جدول ۱ ارائه شده است. جهت اطمینان از مصرف یکنواخت اسید هیومیک، مقدار مورداستفاده از این ماده برای هر کرت در ظرف مخصوصی حل گردیده و پس از آب‌گیریِ کامل کرت، محلول تهیه‌شده به‌صورت یکنواخت در سطح آب موجود در کرت پخش شد.

جدول ۱. ترکیبات شیمیایی اسید هیومیک مورداستفاده

Table 1. The constituents of used humic acid (% W/W Total; Brand of Humixtract produced in Spain)

اکسید پتاسیم Potassium oxide	اکسید کلسیم Calcium oxide	کل مواد آلی Total organic matter	پلی‌کربوکسیلیک اسید Polycarboxilic acid	اسیدهای هیومیک Humic acids	کل عصاره هیومیکی Total humic extract
10%	1%	70%	32%	38%	70%

پس از کاشت، آبیاری تمامی تیمارها تا زمان استقرار کامل بوته (دو هفته اول) با فواصل هفته‌ای صورت گرفته و پس‌ازآن تیمار آبیاری موردنظر در هر کرت به‌طور جداگانه اعمال شد. پس از سبز شدن تا مرحله برداشت محصول عملیات تنک کردن و وجین علف‌های هرز صورت گرفت و یک مرحله نیز محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، ۴۰ روز پس از سبز شدن گیاهان انجام شد. کود ریزمغذی مورداستفاده با نام مولتی-پرپلکس[1] حاوی ۲ درصد نیتروژن، ۵ درصد گوگرد، ۱/۲ درصد کربن، ۰/۰۵ درصد مس، ۰/۳ درصد منیزیوم، ۰/۱ درصد منگنز، ۰/۱۵ درصد بور، ۰/۲ درصد آهن، ۰/۵ درصد روی، ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیتوکینین، ۰/۵۲ میلی‌گرم بر لیتر ژیبرلین، ۰/۳۳ میلی‌گرم بر لیتر اکسین و ۰/۲۷ درصد اسیدهای آمینه بود.

برداشت میوه‌های چای‌ترش در نیمه اول آبان‌ماه صورت گرفت و پس از جداسازی کاسبرگ‌ها، عملیات خشک‌کردن آن‌ها در سایه و در دمای آزمایشگاه صورت پذیرفت. به‌منظور تعیین تأثیر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد اقتصادی گیاه، کاسبرگ‌های خشک‌شده مربوط به هر تیمار

[1]. Multi-purplex produced in USA

به‌طور جداگانه توزین شد. در مرحله بعد پارامترهای مربوط به رنگ نمونه‌های کاسبرگِ خشک‌شده با استفاده از رنگ‌سنج (مدل TES 135, Shenzhen Youfu Tools Co., Ltd. - TAIWAN) موردسنجش قرار گرفت. نتایج به‌صورت شاخص‌های رنگ هانتر[۱] (l^* = روشنایی[۲]، a^*= نماد سبزی تا قرمزی و b^* = نماد آبی تا زردی) بیان گردید. افزون بر این، شدت یا اشباع رنگی (کروما)[۳] و زاویه هیو[۴] با استفاده از معادلات ۱ و ۲ تعیین شد (McGuire, 1992).

$$\text{Chroma} = \left(a^{*2}+b^{*2}\right)^{0.5} \quad [۱]$$

$$\text{Hue angle} = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad [۲]$$

شاخص l نماد روشنایی رنگ بوده و از صفر برای رنگ سیاه تا ۱۰۰ برای رنگ سفید متغیر می‌باشد. حوزه تغییرات نماد a از مقادیر- برای رنگ سبز تا + برای رنگ قرمز و نماد b از مقادیر- برای رنگ آبی تا + برای رنگ زرد تعیین شده است. زاویه هیو (برحسب درجه) برای قرمز ارغوانی ۰º، زرد ۹۰º، سبز مایل به آبی ۱۸۰º و برای رنگ آبی ۲۷۰º تعریف شده است (Ebrahimi et al., 2014). در این آزمایش، شاخص قهوه‌ای شدن[۵] نیز با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد. مقدار X در معادله ۳ با استفاده از معادله شماره ۴ تعیین گردید (Ergunes and Tarhan, 2006). برای محاسبه شاخص قرمزی نیز از معادله ۵ استفاده شد (Pathare et al., 2013)

$$\text{BI} = \frac{[100(x-0.31)]}{0.17} \quad [۳]$$

$$x = \frac{(a+1.75L)}{(5.645L+a-3.012b)} \quad [۴]$$

$$\text{RI} = a^*/b^* \quad [۵]$$

در پایان داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مورد تجزیه قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

عملکرد کاسبرگ

اثرات ساده مدیریت آبیاری و تلقیح میکوریزایی بر مقدار عملکرد خشک کاسبرگ در گیاه دارویی چای‌ترش معنی‌دار بود (جدول ۲). مقدار این شاخص در تیمار انجام آبیاری پس از تبخیر ۱۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر ۴۳ درصد بیشتر از تیمار انجام آبیاری پس از تبخیر ۲۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر (تیمار وجود تنش خشکی) بود (جدول ۳). این نتایج با یافته‌های رهبریان و همکاران (Rahbarian et al., 2011) که در آزمایشی در شرایط آب و هوایی جیرفت گزارش کردند افزایش شدت تنش خشکی به بیش از ۷۵ درصد ظرفیت زراعی موجب کاهش عملکرد چای‌ترش می‌شود، مطابقت دارد. آن‌ها کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی را به کاهش سطح فتوسنتز کننده، افزایش حجم ریشه، کاهش تولید کلروفیل و نیز افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت بالا بردن غلظت شیره سلولی مرتبط دانستند.

تلقیح میکوریزاییِ گیاه چای‌ترش توسط گونه‌های *Glomus intraradices* و *Glomus versiforme* مقدار عملکرد کاسبرگ را به ترتیب ۲۹ و ۵ درصد در مقایسه با تیمار عدم تلقیح میکوریزایی افزایش داد (جدول ۳). اثرات مثبت همزیستی گیاه با قارچ‌های میکوریزا عمدتاً به افزایش قدرت جذب آب و عناصر غذایی به‌خصوص عناصر کم‌تحرک مثل فسفر و روی در گیاه همزیست مرتبط می‌باشد (Sonar et al., 2013). اثر متقابل تلقیح میکوریزایی و آبیاری نیز نشان داد که در هر دو تیمار وجود و عدم وجود تنش خشکی، همزیستی گیاه با قارچ میکوریزاییِ Glomus intraradices افزایش عملکرد کاسبرگ را در پی داشت که البته میزان اثرگذاری در شرایط تنش خشکی ۳۲ درصد بیشتر از تیمار فراهمی مطلوب آب بود (جدول ۴). این یافته‌ها با نتایج هازونی و همکاران (Hazzoumi et al., 2015) که گزارش کردند سودمندی قارچ‌های میکوریزا در شرایط تنش خشکی بیشتر است، همخوانی دارد. آن‌ها بیان داشتند تلقیح میکوریزایی موجب تغییر متابولیسم گیاه میزبان شده که تولید ترکیبات شیمیاییِ دفاعی در گیاه از نتایج آن می‌باشد. نتایج اثرات متقابل سه‌گانه عوامل آزمایشی نیز حاکی از تأثیر مثبت همزیستی میکوریزایی و مصرف هیومیک اسید بر بهبود عملکرد کاسبرگ چای‌ترش در شرایط تنش خشکی بود، این در حالی است که مصرف

---

۱. Hunter color values= Hunter parameters
2. Lightness
۳. Color intensity and saturation (Chroma)
4. Hue angle
5. Browning index

هیومیک اسید در شرایط عدم وجود تنش خشکی سودمند نبود (جدول ۵). ترکیبات هیومیکی ضمن داشتن عناصر غذایی موردنیاز گیاه، موجب تقویت تنظیم اسمزی گیاهان، تحریک فرآیند دفاع آنزیمی و نیز تولید آلکالوئید، فنول و توکوفرول شده و از این راه مقاومت گیاه به تنش خشکی را بهبود می‌بخشند (Canellas et al. 2015).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر مدیریت آبیاری، مصرف هیومیک اسید و تلقیح میکوریزایی بر عملکرد و شاخص‌های رنگ کاسبرگ در گیاه دارویی چای ترش

Table 2. Analysis of variance for the effects of irrigation management, mycorrhizal inoculation and humic acid application on sepals yield and different calyx color quality indices of roselle.

منابع تغییرات Source of variation	df	عملکرد کاسبرگ خشک Dry sepal yield	روشنایی L^*	قرمزی- سبزی a^*	زردی- آبی b^*	b/a	زاویه هیو Hue angle	شدت رنگ Chroma	شاخص قرمزی Redness	شاخص قهوه‌ای شدن Browing index
تکرار Replication (R)	2	61.9^{ns}	82.78^{ns}	42.06^{ns}	19.91^{**}	0.041^{**}	1003^{*}	495.85^{*}	1020^{*}	0.02326^{ns}
مدیریت آبیاری Irrigation (I)	1	62633.4^{**}	0.18^{ns}	311.81^{**}	0.23^{ns}	0.008^{ns}	9970^{**}	373.32^{**}	10025^{**}	0.05880^{**}
خطای عامل الف R*I: Error a	2	869.6^{ns}	47.95^{ns}	9.43^{ns}	0.86^{ns}	0.0006^{ns}	15^{ns}	53.23^{ns}	13^{ns}	0.00467^{ns}
هیومیک اسید Humic acid (H)	1	73.9^{ns}	64.66^{*}	31.37^{ns}	2.43^{ns}	0.010^{ns}	16497^{**}	0.07^{ns}	16515^{**}	0.04361^{**}
آبیاری× هیومیک اسید I*H	1	13194.3	46.62^{ns}	6.87^{ns}	1.70^{ns}	0.005^{ns}	508^{*}	51.80^{ns}	511^{*}	0.00222^{ns}
خطای عامل ب R*H(I): Error b	4	5396.2^{*}	167.50^{*}	82.53^{ns}	2.59^{ns}	0.012^{ns}	348^{ns}	146.65^{ns}	349^{ns}	0.04295^{ns}
تلقیح میکوریزایی Mycorrhiza (M)	2	19248.9^{**}	3.53^{ns}	0.49^{ns}	6.09^{ns}	0.007^{ns}	12884^{**}	113.59^{ns}	12950^{**}	0.00007^{ns}
مدیریت آبیاری × تلقیح میکوریزایی I*M	2	19076.6^{**}	40.37^{ns}	114.19^{*}	1.66^{ns}	0.001^{ns}	26736^{**}	441.98^{*}	26797^{**}	0.01545^{ns}
هیومیک اسید × تلقیح میکوریزایی H*M	2	3959.5	24.94^{ns}	7.90^{ns}	4.40^{ns}	0.008^{ns}	14900^{**}	114.39^{ns}	14992^{**}	0.00439^{ns}
هیومیک× میکوریزا× آبیاری	2	9286.2^{**}	24.52^{ns}	11.47^{ns}	18.83^{**}	0.037^{**}	58110^{**}	400.42^{*}	58311^{**}	0.00365^{ns}
خطای عامل ج Error c	16	6862	223.91	202.82	22.00	0.046	1996	867.99	2010	0.09222
مجموع Total	35	140662	272.02	821.01	80.76	0.180	142972	3059.34	143498	0.29134

**، * و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم وجود اثر معنی‌دار می‌باشند

*, ** and ns represent significant at 5% level, Significant at 1% level and non-significant, respectively.

مؤلفه‌های رنگ‌سنجی در سیستم هانتر

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر ساده مدیریت آبیاری بر مقدار قرمزی (a^*) و تأثیر مصرف هیومیک اسید بر شاخص l^*، معنی‌دار بود (جدول ۲). مقدار a^* در تیمار عدم وقوع تنش خشکی حدود ۲۲ درصد بیش از تیمار تنش خشکی بود. این شاخص از مقادیر منفی (رنگ سبز) تا مقادیر مثبت (رنگ قرمز) تغییر می‌کند و هر چه مقادیر مثبت آن بیشتر باشد نشان‌دهنده قرمزی بیشتر می‌باشد. قرمزی بیشتر نیز

احتمالاً ناشی از آنتوسیانین‌های قرمز موجود در کاسبرگ چای‌ترش می‌باشد (Duangmal et al., 2008) و نتایج آزمایش کنونی نیز حاکی از افزایش مقدار آنتوسیانین در شرایط فراهمی مطلوب رطوبت بود (داده‌ها ارائه نشده‌اند). مصرف هیومیک اسید نیز مقدار l^* را در مقایسه با تیمار شاهد حدود ۱۰ درصد افزایش داد (جدول ۳). افزایش مقدار l^* بیانگر افزایش میزان درخشندگی می‌باشد و به‌عنوان یک صفت مطلوب به شمار می‌آید (Rahimi et al., 2014). با توجه به نقش فراهمی آب در بهبود شاخص درخشندگی، علت احتمالی افزایش میزان درخشندگی در اثر مصرف هیومیک اسید را می‌توان به نقش این ترکیبات در بهبود محتوای رطوبتی گیاه نسبت داد.

مقدار a^* به‌طور معنی‌داری از برهم‌کنش آبیاری در تلقیح میکوریزایی تأثیر پذیرفت (جدول ۲)، به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفت در شرایط عدم وقوع تنش خشکی و تلقیح میکوریزایی با گونه G. intraradices و کمترین مقدار آن در شرایط تنش خشکی و عدم تلقیح میکوریزایی مشاهده شد (جدول ۴). افزون بر این، اثرات متقابل سه گانهٔ فراهمیِ آب، مصرف هیومیک اسید و تلقیح میکوریزایی بر صفات b^* و b/a در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط عدم وجود تنش خشکی (آبیاری پس از تبخیر ۱۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر)، مصرف هم‌زمان میکوریزا و اسید هیومیک موجب کاهش مقدار b^* و b/a شد، درحالی‌که در تیمار اعمال تنش رطوبتی مصرف هم‌زمان این دو ترکیب مقدار هر دو مؤلفه ذکرشده را افزایش داد. در بین تمامی تیمارهای آزمایشی بیشترین مقدار b^* و b/a در تیمار ترکیبیِ کم‌آبیاری × مصرف هیومیک × تلقیح میکوریزایی به دست آمد. کم‌ترین مقدار این دو شاخص نیز در شرایط عدم وجود تنش خشکی و عدم مصرف منابع تغذیه‌ای حاصل شد (جدول ۵). با توجه به این‌که مقادیر بالای زردی ($+b^*$) برای میوه‌های قرمزرنگ (Ergunes and Tarhan, 2006) مطلوب نیست، بنابراین پرهیز از تنش رطوبتی برای حفظ رنگ ظاهریِ کاسبرگ در چای ترش مهم ارزیابی می‌شود.

شاخص b^* نشان‌دهنده میزان زردی نمونه بوده و تحت تأثیر غلظت رنگ‌دانه‌های کارتنوئیدی می‌باشد. هر چه مقدار کارتنوئیدها افزایش پیدا کند، مقدار شاخص b^* بیشتر خواهد شد (Ayaseh et al., 2014). با توجه به اینکه کاسبرگ چای ترش حاوی مقادیر قابل‌توجهی بتاکاروتن می‌باشند (Da-Costa-Rocha et al., 2014)، بنابراین افزایش مقدار b^* در شرایط کم‌آبیاری و تلقیح میکوریزایی می‌تواند ناشی از تولید بیشتر این رنگ‌دانه‌ها باشد. در پژوهش مشابهی افزایش مقدار غلظت کاروتن در شرایط تنش خشکی در گیاه سورگم گزارش و بیان شد که کاروتن از مهم‌ترین کارتنوئیدهاست که در شرایط تنش رطوبتی قادر است انرژی زیاد طول‌موج‌های کوتاه را گرفته و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولیدشده نقش آنتی‌اکسیدانی خود را ایفا کند (Riahinia et al., 2013). درمجموع به نظر می‌رسد در گیاه چای ترش، تنش رطوبتی موجب افزایش رنگ‌دانه‌های کارتنوئیدی و درنتیجه افزایش مقدار b^* و فراهمی مطلوب رطوبت سبب افزایش شاخص a^* به‌واسطه تولید بیشتر ترکیبات آنتوسیانینی می‌شود؛ بنابراین، پرهیز از اعمال تنش خشکی شدید در چای ترش می‌تواند ضمن حصول عملکرد بالاتر کاسبرگ، موجب بهبود خواص ظاهری مرتبط با رنگ و نیز مقدار آنتوسیانین موجود در کاسبرگ گردد.

هیو، کروما و شاخص قهوه‌ای بودن

مقدار زاویه هیو به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تمامی فاکتورهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۲). اعمال تنش خشکی موجب کاهش شدید مقدار این شاخص شد، به‌طوری‌که مقدار زاویه هیو برای تیمارهای فراهمیِ مناسب آب و کم‌آبیاری به ترتیب حدود ۶۳ و ۳۰ درجه بود. در پژوهش مشابهی بر روی گیاه شیشه‌شور (Callistemon laevis) اعمال هم‌زمان تنش خشکی و شوری موجب کاهش زاویه هیو شد (Alvarez and Sanchez-Blanco, 2015). افزون بر این، مقدار هیو برای تیمارهای مصرف و عدم مصرف هیومیک اسید نیز به ترتیب حدود ۲۵ و ۶۸ درجه تعیین شد. تلقیح میکوریزایی نیز تأثیر افزایشیِ قابل‌توجهی بر شاخص زاویه هیو داشت، به‌طوری‌که گونه های *G. intraradices* و *G. versiforme* به ترتیب مقدار صفت مذکور را ۶۶ و ۶۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات ساده مدیریت آبیاری، کاربرد هیومیک اسید و تلقیح میکوریزایی بر روی عملکرد و مؤلفه‌های رنگ کاسبرگ در گیاه چای‌ترش

Table 3. Results of means comparison for simple effects of irrigation management, mycorrhizal inoculation and humic acid application on sepals yield and different calyx color quality indices of roselle.

تیمارهای آزمایشی Treatments	عملکرد کاسبرگ خشک Dry sepal yield ($g.m^{-2}$)	روشنایی L^*	قرمزی- سبزی a^*	زردی- آبی b^*	b/a	زاویه هیو (درجه) Hue angle	شدت رنگ Chroma	شاخص قرمزی Redness	شاخص قهوه‌ای شدن Browing index
Irrigation management ----- **مدیریت آبیاری**									
آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک 100 mm pan evaporation	19.13^{a}	27.6^{a}	27.2^{a}	2.40^{a}	0.09^{b}	62.9^{a}	44.4^{a}	11.3^{a}	585.61^{b}
آبیاری پس از ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک 200 mm pan evaporation	10.79^{b}	27.4^{a}	21.3^{b}	2.56^{a}	0.12^{a}	29.7^{b}	37.9^{a}	08.3^{b}	585.69^{a}
Humic acid application ------ **مصرف هیومیک اسید**									
عدم مصرف 0 $kg.ha^{-1}$	15.10^{a}	26.2^{b}	25.2^{a}	2.22^{a}	0.09^{a}	67.7^{a}	41.2^{a}	11.3^{a}	585.61^{a}
۴ کیلوگرم در هکتار 4 $kg.ha^{-1}$	14.82^{a}	28.9^{a}	23.3^{a}	2.74^{a}	0.12^{a}	24.9^{b}	41.1^{a}	08.5^{b}	585.68^{a}
Mycorrhizal inoculation -------- **تلقیح میکوریزایی**									
Glomus intraradices	18.21^{a}	27.1^{a}	24.3^{a}	2.33^{a}	0.10^{a}	57.6^{a}	40.4^{a}	10.4^{a}	585.64^{a}
Glomus versiforme	13.68^{b}	27.7^{a}	24.3^{a}	3.04^{a}	0.12^{a}	61.6^{a}	43.6^{a}	07.9^{b}	585.55^{a}
عدم تلقیح میکوریزایی Control	12.99^{b}	27.8^{a}	24.1^{a}	2.07^{a}	0.09^{a}	19.7^{b}	39.4^{a}	11.6^{a}	585.65^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on Duncan test.

نتایج اثر متقابل آبیاری و تلقیح میکوریزایی نشان داد که بیشترین مقدار زاویه هیو با ۱۱۶ درجه در شرایط عدم وجود تنش خشکی و تلقیح گیاه با *G. versiforme* و کمترین مقدار این فاکتور نیز با حدود ۱۶ درجه در تیمار کم‌آبیاری و در شرایط عدم مصرف میکوریزا حاصل شد (جدول ۴). نتایج اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد که در شرایط عدم وجود تنش، مصرف هم‌زمان هیومیک اسید و میکوریزا موجب افزایش زاویه هیو گردید، درحالی‌که در شرایط تنش خشکی تلقیح میکوریزایی بدون مصرف هیومیک اسید موجب افزایش فاکتور هیو شد. بیشترین مقدار این شاخص نیز با ۲۱۵ درجه در تیمار ترکیبیِ عدم وجود تنش خشکی × عدم مصرف هیومیک و تلقیح با *G. versiforme* به دست آمد (جدول ۵).

مقدار شاخص قرمزیِ کاسبرگ به‌طور معنی‌داری از فاکتورهای آزمایشی تأثیر پذیرفت (جدول ۲). بیشترین مقدار این شاخص در شرایط عدم وقوع تنش خشکی، عدم مصرف هیومیک اسید و عدم انجام تلقیح میکوریزایی به دست آمد (جدول ۳). در هر دو تیمار رطوبتی، عدم تلقیح میکوریزایی موجب افزایش شاخص قرمزی شد و در بین دو گونه میکوریزا نیز تلقیح گیاه با *G. intraradices* بیشترین مقدار این شاخص را ایجاد نمود (جدول ۴). در هر دو سطح فراهمیِ آب مصرف هیومیک اسید موجب کاهش مقدار قرمزیِ کاسبرگ در گیاه چای ترش گردید (شکل ۱). همچنین تلقیح میکوریزایی در هر دو سطح مصرف و عدم مصرف هیومیک اسید سبب کاهش این شاخص شد (شکل ۲). درمجموع، بیشترین مقدار شاخص قرمزی در گیاهان تلقیح نشده و در شرایط عدم وقوع تنش و عدم مصرف اسید هیومیک به دست آمد (جدول ۵). مقدار شاخص قهوه‌ای شدن نیز تنها تحت تأثیر مدیریت آبیاری قرار گرفت (جدول ۲) و در شرایط وقوع تنش خشکی مقدار این شاخص به مقدار ناچیزی بیش از تیمار فراهمیِ مطلوب آب بود (جدول ۳).

آنتوسیانین‌های قرمزرنگ موجود در کاسبرگ‌های چای ترش مسئول رنگ قرمز درخشان این اندام‌ها می‌باشند (Duangmal et al., 2008). نتایج آنالیزهای کیفی نشان داد که مقدار آنتوسیانین در گیاهان تحت تنش خشکی ۱۲ درصد کمتر از گیاهانی بود که به‌طور مطلوب آبیاری شده بودند (داده‌ها ارائه نشده است). این مشاهدات با روند تغییر شاخص قرمزی کاسبرگ‌ها مطابقت دارد (جدول ۳)؛ بنابراین، به نظر می‌رسد بالاتر بودن شاخص‌های قرمزی و هیو در شرایط عدم وجود تنش ناشی از تولید مقادیر بیشتری آنتوسیانین در گیاهان تحت تیمار باشد. این مشاهدات از رابطه رگرسیونی بین شاخص قرمزی و محتوای آنتوسیانین کاسبرگ نیز قابل‌درک می‌باشد، هرچند که مقدار ضریب تعیین (R^2) در این معادله پایین می‌باشد (شکل ۳). در پژوهش مشابهی ارتباط بین شاخص‌های رنگ هانتر و مقدار آنتوسیانین در میوه گیلاس بررسی و گزارش شد که کاهش مقادیر L و a^* ناشی از تقلیل رنگ قرمز رنگ‌دانه‌های آنتوسیانین می‌باشد (Naderi et al., 2015). در تحقیق دیگری نیز بیان شد که تخریب آنتوسیانین‌ها بر روی کاهش مقدار L^* و افزایش مقدار b^* و درنتیجه تغییر رنگ میوه‌ها از قرمز به سمت قهوه‌ای تیره مؤثر می‌باشد (Pathare et al., 2013).

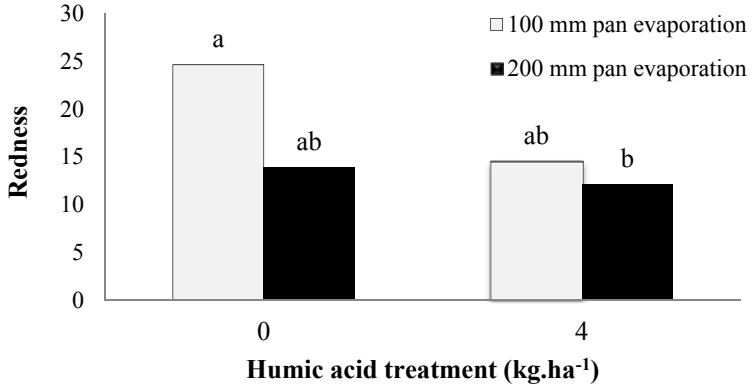
جدول ۴. مقایسه میانگین برهم‌کنش مدیریت آبیاری و تلقیح میکوریزایی بر روی عملکرد و مؤلفه‌های رنگ کاسبرگ در گیاه چای‌ترش

Table 4. Results of means comparison for interaction effect of deficit irrigation and mycorrhizal inoculation on sepals yield and different calyx color quality indices of roselle

مدیریت آبیاری Irrigation management (mm pan evaporation)	تلقیح میکوریزایی Mycorrhizal inoculation	عملکرد کاسبرگ خشک Dry sepal yield ($g.m^{-2}$)	قرمزی- سبزی a	درجه هیو Hue angle	شدت رنگ Chroma	شاخص قرمزی Redness
100	*Glomus intraradices*	23.38^{a}	28.9^{a}	49.2^{ab}	46.8^{a}	12.14^{a}
	Glomus versiforme	16.67^{b}	24.8^{ab}	116.1^{a}	42.0^{ab}	09.32^{ab}
	Control	19.35^{a}	27.8^{ab}	23.5^{b}	44.3^{a}	12.87^{a}
200	*Glomus intraradices*	13.04^{b}	19.7^{c}	66.1^{ab}	34.0^{b}	08.64^{b}
	Glomus versiforme	12.70^{b}	23.8^{bc}	17.1^{b}	45.2^{a}	06.95^{b}
	Control	06.64^{c}	20.3^{c}	15.8^{b}	34.0^{b}	10.25^{ab}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on Duncan test.



شکل ۱. تأثیر متقابل مصرف هیومیک اسید و مدیریت آبیاری بر روی شاخص قرمزیِ کاسبرگ در گیاه چای ترش. میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

Fig 1. Interaction effect of irrigation management and humic acid application on redness of dried sepals of roselle. Means followed by the same letter have not significant different based on ($P \leq 0.05$) based on Duncan test.

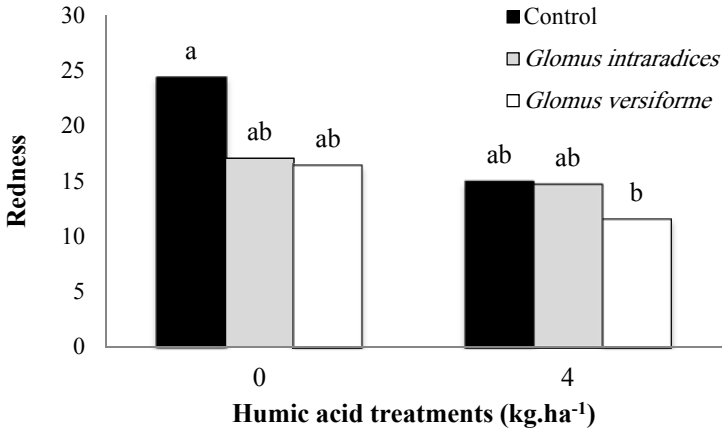
جدول ۵. مقایسه میانگین برهمکنش مدیریت آبیاری، مصرف هیومیک اسید و تلقیح میکوریزایی بر عملکرد کاسبرگ و مؤلفه‌های رنگ کاسبرگ در گیاه چای‌ترش

Table 5. Results of means comparison for interaction effect of irrigation management, humic acid application and mycorrhizal inoculation on sepals yield and different calyx color quality indices of roselle

مدیریت آبیاری Irrigation management	مصرف هیومیک اسید Humic acid application	تلقیح میکوریزایی Mycorrhizal inoculation	عملکرد کاسبرگ خشک Dry sepal yield ($g.m^{-2}$)	زردی- آبی b	نسبت قرمزی به زردی b/a	زاویه هیو (درجه) Hue angle	شدت رنگ Chroma	شاخص قرمزی Redness
۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک 100 mm pan evaporation	0 $kg.ha^{-1}$	*Glomus intraradices*	28.94^{a}	3.08^{a}	0.10^{a-d}	10.1^{e}	52.3^{a}	10.1^{c}
		Glomus versiforme	15.75^{bc}	3.17^{a}	0.12^{a-d}	215.3^{a}	44.4^{ab}	08.3^{d}
		Control	18.88^{b}	0.83^{b}	0.029^{d}	38.9^{d}	40.1^{abc}	34.4^{a}
	4 $kg.ha^{-1}$	*Glomus intraradices*	27.82^{bc}	1.68^{ab}	0.06^{bcd}	88.3^{c}	41.4^{ab}	16.66^{b}
		Glomus versiforme	13.60^{cd}	2.15^{ab}	0.08^{bcd}	17.0^{e}	39.4^{abc}	12.5^{c}
		Control	19.81^{b}	3.49^{a}	0.13^{abc}	8.0^{e}	48.5^{a}	07.69^{d}
۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک 200 mm pan evaporation	0 $kg.ha^{-1}$	*Glomus intraradices*	10.72^{de}	0.85^{b}	0.03^{cd}	124.1^{b}	28.0^{c}	33.33^{a}
		Glomus versiforme	10.19^{def}	3.42^{a}	0.13^{bcd}	8.1^{e}	47.5^{ab}	07.69^{d}
		Control	06.25^{f}	2.05^{ab}	0.10^{a-d}	9.8^{e}	34.9^{bc}	10.00^{c}
	4 $kg.ha^{-1}$	*Glomus intraradices*	15.3^{bc}	3.70^{a}	0.19^{a}	8.0^{e}	39.9^{abc}	05.26^{e}
		Glomus versiforme	17.21^{bc}	3.51^{a}	0.16^{ab}	6.2^{e}	43.0^{ab}	06.25^{de}
		Control	07.12^{de}	1.90^{ab}	0.09^{bcd}	31.9^{de}	34.3^{bc}	11.11^{c}

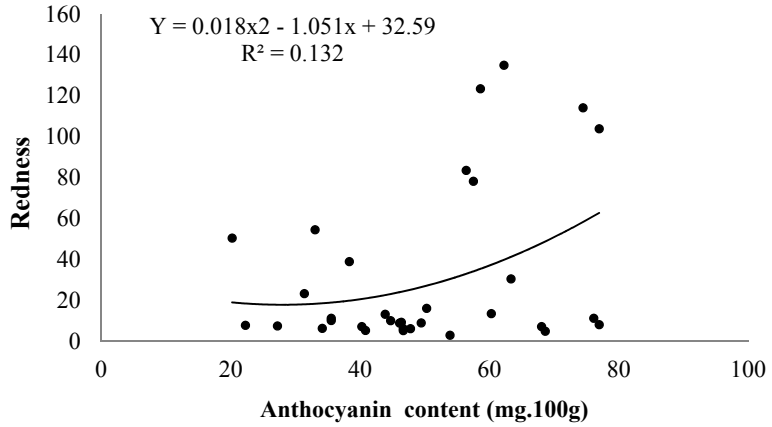
در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

In each column, means with at least one similar letter have no significant different ($P \leq 0.05$) based on Duncan test.



شکل ۲. تأثیر متقابل مصرف هیومیک اسید و تلقیح میکوریزایی بر روی شاخص قرمزیِ کاسبرگ در گیاه چای‌ترش- میانگین-های داری حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

Fig 2. Interaction effect of mycorrhizal innoculation and humic acid application on redness of dried sepals of roselle. Means followed by the same letter have not significant different based on ($P \leq 0.05$) based on Duncan test.



شکل ۳. رابطه رگرسیونی بین محتوای آنتوسیانین کاسبرگ (داده‌های مربوطه در مقاله دیگری ارائه شده است) با شاخص قرمزی در گیاه دارویی چای‌ترش

Fig 3. Relationship between anthocyanin content and redness in dried sepals of roselle.

همبستگی بین صفات

شاخص درخشندگی (l^*) رابطه مثبت و معنی‌داری با مقادیر b، b/a و کروما نشان داد. مؤلفه a^* نیز با شاخص کروما ارتباط قوی مثبت (۰/۶۴**) و با شاخص قهوه‌ای شدن همبستگی منفی معنی‌داری (۰/۷۱**-) داشت. این موضوع نشان می‌دهد که با زیادشدن میزان رنگ قرمز در کاسبرگ، شدت رنگ افزایش و میزان قهوه‌ای شدن کاسبرگ که شاخصی نامطلوب است کاهش پیدا می‌کند. همبستگی بین فاکتور b با b/a و کروما نیز مثبت و معنی‌دار بود. نسبت b به a با مقادیر کروما و شاخص قهوه‌ای شدن ارتباطی مثبت داشت و رابطه همبستگی مثبتی نیز بین زاویه هیو با شاخص قرمزیِ کاسبرگ مشاهده گردید (جدول ۶).

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین مؤلفه‌های مختلف مربوط به رنگ کاسبرگ خشک‌شده در گیاه دارویی چای ترش

Table 6. Correlation coefficients of different calyx color quality indices of roselle.

	روشنایی L^*	قرمزی-سبزی a^*	زردی-آبی b^*	b/a	زاویه هیو Hue angle	شدت رنگ Chroma	شاخص قرمزی Redness	شاخص قهوه‌ای شدن Browing index
L	1							
a^*	0.09^{ns}	1						
b^*	0.34^{*}	-0.01^{ns}	1					
b/a	0.33^{*}	-0.26^{ns}	0.93^{**}	1				
Hue angle	-0.16^{ns}	0.07^{ns}	-0.24^{ns}	-0.26^{ns}	1			
Chroma	0.32^{*}	0.64^{**}	0.73^{**}	0.50^{**}	-0.20^{ns}	1		
Redness	-0.16^{ns}	0.07^{ns}	-0.24^{ns}	-0.26^{ns}	0.68^{**}	-0.20^{ns}	1	
Browning	0.61^{**}	-0.71^{**}	0.23^{ns}	0.41^{**}	-0.16^{ns}	-0.29^{ns}	-0.16^{ns}	1

**، * و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم وجود اثر معنی‌دار می‌باشند

*, ** and ns represent significant at 5% level, Significant at 1% level and non significant, respectively.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه در چای ترش شدت رنگ قرمز بیانگر میزان کیفیت محصول تولیدی می‌باشد، پرهیز از تنش شدید خشکی می‌تواند موجب بهبود شاخص‌های رنگ چای ترش ازجمله a^* و شاخص قرمزی شود. افزون بر این، با در نظر گرفتن بهبود شاخص‌های کیفی میوه مانند محتوای آنتوسیانین و ویتامین ث (داده‌ها ارائه نشده‌اند) و نیز افزایش عملکرد کمی کاسبرگ در شرایط تلقیح میکوریزایی، توصیه

می‌شود در شرایط تنش رطوبتی از توان همزیستیِ این ریزجانداران جهت کاهش اثرات منفی تنش خشکی بهره گرفته شود.

قدردانی

بخشی از هزینه‌های اجرای این طرح توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه بیرجند تأمین شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Aghhavani Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., Nasiri Mahallati, M., 2016. Effects of single and combined application of organic, biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of coriander (*Coriandrum sativum*). Journal of Horticultural Science. 29(4), 486-500. [In Persian with English Summary].

Alvarez, S., Sanchez-Blanco, M.J., 2015. Comparison of individual and combined effects of salinity and deficit irrigation on physiological, nutritional and ornamental aspects of tolerance in *Callistemon laevis* plants. Journal of Plant Physiology. 185, 65-74.

Ayaseh, A., Alizadeh, M., Esmaiili, M., Mehrdad, A., Javadzadeh, Y., 2014. Effect of thermosonication on peroxides enzyme activity and color parameters of carrot juice. Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology. 3(3), 267- 282. [In Persian with English Summary].

Aulia, R.A., Mohamad, O., Marlina,M., Rasli, H., Fuad, S.N., Zainal, A.I. 2009. Effects of mycorrhiza on productivity of roselle. The 8th Malaysia Congress on Genetics, August 4-6, 2009. Malaysia.

Borrás-Linares, I., Fernández-Arroyo, S., Arráez-Roman, D., Palmeros-Suárez, P.A., Del Val-Díazc, R., Andrade-Gonzáles, I., Fernández-Gutiérrez, A., Gómez-Leyva, J.F., Segura-Carretero. A., 2015. Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidantand antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). Industrial Crops and Products. 69, 385-394.

Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A., Mazzei, P., Piccolo, A., 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae. 196, 15-27.

Da-Costa-Rocha, L., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I., Heinrich, M., 2014. *Hibiscus sabdariffa* L. A phytochemical and pharmacological review. Food Chemistry. 165, 424-443.

Duangmal, K., Saicheua, B., Sueeprasan, S., 2008. Colour evaluation of freeze-dried roselle extract as a natural food colorant in a model system of a drink. Food Science and Technology. 41, 1437-1445.

Ebrahimi, R., Jalili Marandi, R., Doolati Baneh, H., Esmaeili, M., Haji Taghiloo, R., 2014. Effect of pre harvest sprays of ethephon on fruit quality attributes of seedless grape (*Vitis vinifera* L.). Plant Production Journal. 37(1), 11-25. [In Persian with English Summary].

El-Boraie, F.M., Gaber, A.M., Abdel-Rahman, G., 2009. Optimizing irrigation schedule to maximize water use efficiency of *Hibiscus sabdariffa* under Shalatien conditions. World Journal of Agricultural Science. 5(4), 504-514.

Ergunes, G., Tarhan, S. 2006. Color retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying. Journal of Food Engineering. 76, 446-452.

Fallahi, H.R., Aghhavani Shajari, M., Taherpour Kalantari, R., Soltanzadeh, M.G., 2016a. Evaluation of superabsorbent efficiency in response to dehydration frequencies, salinity and temperature and its effect on yield and quality of cotton under deficit irrigation. Journal of Agroecology. 7(4), 513-527. [In Persian with English Summary].

Fallahi, H.R., Ghorbani, M., Aghhavani-Shajari, M., Samadzadeh, A., Asadian, A.H., 2016b. Antioxidant activities and fruit quality response of roselle to planting methods, humic acid application and mycorrhizal inoculation under water deficit condition. Industrial Crops and Products. Unrer Review.

Fasoyiro, S.B., Babalola, S.O., Owosibo, T., 2005a. Chemical composition and sensory quality of fruit-flavoured Roselle (*Hibiscus*

sabdariffa) drinks. World Journal of Agricultural Science. 1(2), 161-164.

Fasoyiro, S.B., Babalola, S.O., Owosibo, T., 2005b. Chemical and storability of fruit-flavoured (*Hibiscus sabdariffa*) drinks. World Journal of Agricultural Science. 1(2), 165-168.

Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., Elharchli, E.H., Joutei, K.A., 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and water stress on growth, phenolic compounds, glandular hairs, and yield of essential oil in basil (*Ocimum gratissimum* L). Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2, 1-11.

Heidari, M., Minaei, A., 2014. Effects of drought stress and humic acid application on flower yield and content of macro-elements in medical plant borage (*Borago officinalis* L.). Journal of Plant Production Research. 21(1), 167-182. [In Persian with English Summary].

Koocheki, A., Fallahi, H.R., Amiri, M.B., Ehyaei, H.R., 2016. Effects of humic acid pplication and mother corm weight on yield and growth of Saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Agroecology. 7(4), 425- 442. [In Persian with English Summary].

McGuire, R.G., 1992. Reporting of objective color measurements. Hortscience. 27, 1254-1255.

Naderi, B., Maghsoudlou, Y., Aminifar, M., Ghorbani, M., Rashidi, L., 2015. Investigation on the changes in color parameters and turbidity of cornelian Cherry (*Cornus mass* L) produced by microwave and conventional heating. Nutrition and Food Sciences Research. 2(4), 39-46.

Pathare, P.B., Opara, U.L., Al-Said, F.A., 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. Food Bioprocess Technology. 6, 36-60.

Rahbarian, P., Afsharmanseh, G., Modafea Behzadi, N., 2011. Effect of drought stress as water deficit and planting density on yield of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) in Jiroft region. New Finding in Agriculture. 5(3), 249-257. [In Persian with English Summary].

Rahimi, S., Mirdehghan, S.H., Esmaeilzadeh, M., 2014. Effect of pressure infiltration of putrescine on postharvest quality of two table grape cultivars (*Vitis vinifera* L.). Iranian Journal of Horticultural Science. 45(2), 137-149. [In Persian with English Summary].

Riahinia, Sh., Khazaei, H.R., Kafi, M., Nezami, A., 2013. Effects of water stress and soil nitrogen levels on some biochemical properties in grain sorghum cultivars under greenhouse conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse culture. 14, 61-71. [In Persian with English Summary].

Sabzevari, S., Khazaie, H.R., Kafi, M., 2010. Study on the effects of humic acid on germination of four wheat cultivars (*Triticun aestivum* L.). Journal of Iranian Field Crop Research. 8(3), 473-480. [In Persian with English Summary].

Sembok, W.W., Abu-Kassim, N., Hamzah, Y., Rahman, Z.A., 2015. Effect of mycorrhizal inoculation on growth and quality of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) grown in soiless culture system. Malaysian Applied Biology. 44(1), 57-62.

Sanjari-Mijani, M., Sirousmehr, A., Fakheri, B.A., 2015. The effects of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa*). Agriculture and Crop Management. 17(2), 403-414. [In Persian with English Summary].

Sonar, B.A., Kamble, V.R., Chavan, P.D., 2013. Native AM fungal colonization in three *Hibiscus* species under NaCl induced salinity. Journal of Pharmacy and Biological Science. 5(6), 7-13.

Wong, P., Salmah, Y., Ghazali, H.M., Cheman, Y.B., 2002. Physico-chemical characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* l.). Nutrition and Food Science. 32(2), 68-73.

Yadollahi, P., Asgharipour, M.R., Kheiri, N., Ghaderi, A., 2015. Effects of drought stress and different types of organic fertilizers on the yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Oil Plants Production. 1(2), 27-40. [In Persian with English Summary].