مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۵ شماره ۲ صفحه‌های ۲۱۱ تا ۲۲۴ (۱۴۰۳)
مقاله پژوهشی

بررسی پاسخ‌های رشدی و فتوسنتزی سه رقم گل‌کاغذی (*Bougainvillea glabra*) در شرایط تنش بی‌کربنات سدیم و آهن

Studying the Growth and Photosynthetic Responses of Three Cultivars of Paper Flower (*Bougainvillea glabra*) to Sodium Bicarbonate and Iron Stresses

ندا جاویدان، سمیه اسماعیلی*، مهرانگیز چهرازی، شهره زیودار
گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
*نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (s.esmaeili@scu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۲۰

چکیده

آزمایشی گلخانه‌ای برای بررسی پاسخ‌های سه رقم گل‌کاغذی به سطوح مختلف بی‌کربنات سدیم و کلات آهن به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح بی‌کربنات (صفر، ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار) و سه سطح کلات آهن FeEDDHA ((۳۰ میکرومولار (نرمال)، ۳ میکرومولار (کمبود) و ۶۰ میکرومولار (بیش‌بود) و سه رقم گل‌کاغذی ’Barbara Karst‘، ’Jamaica white‘ و ’Lady Mary Baring‘)) بودند. نتایج نشان داد که میزان وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای نسبی آب برگ، میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای با افزایش تنش قلیایی کاهش یافت. همچنین تیمار ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم به همراه ۶۰ میکرومولار کلات آهن نسبت به غلظت‌های پایین‌تر سبب افزایش میزان نشت یونی و کارایی مصرف آب شد. میزان نشت یونی در سه رقم گل‌کاغذی در پاسخ به تنش قلیایی افزایش یافت. میزان محتوای نسبی آب برگ در رقم ’Barbara Karst‘ با افزودن قلیاییت تا ۳۰ میلی‌مولار ۲۷/۷۵٪ کاهش یافت. گرچه در رقم‌های ’Jamaica white‘ و ’Lady Mary Baring‘ به ترتیب ۲۶/۴۹٪ و ۲/۱٪ کاهش یافت. قابل ذکر است که در غلظت‌های بالای بی‌کربنات سدیم و آهن (۳۰ میلی‌مولار و ۶۰ میکرومولار)، میزان فتوسنتز به‌ترتیب حدود ۴۵/۱۴٪، ۴۹/۸۰٪ و ۵۷/۳۲٪ در رقم‌های ’Barbara Karst‘، ’Jamaica white‘ و ’Lady Mary Baring‘ کاهش یافت. بر اساس نتایج این پژوهش، به نظر می‌رسد که رقم ’Barbara Karst‘ نسبت به رقم ’Jamaica white‘ و ’Lady Mary Baring‘ تحمل بالاتری نسبت به تنش بی‌کربنات سدیم دارد.

واژه‌های کلیدی: رقم، فتوسنتز، قلیایی، کلات آهن، گل‌کاغذی.

مقدمه

گل‌کاغذی با نام علمی *Bougainvillea* sp. از تیره لاله عباسی[۱]، بومی مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری آمریکای جنوبی به ویژه آرژانتین، پرو، برزیل و بولیوی است که به محیط‌های خشک و کم‌آب سازگار می‌باشد (Rouphael *et al.*, 2008). فرم‌ها و رنگ‌های متنوع برگواره‌ها و عادت رشدی مختلف موجب محبوبیت گل‌کاغذی در میان طراحان فضای سبز شده است. رقم‌های فراوانی از این جنس با جهش‌های طبیعی (جهش جوانه)، جهش‌های مصنوعی و دورگه‌گیری در گل‌کاغذی ایجاد شده است که دارای ارزش تزیینی و کاربردهای گسترده‌ای (بوته‌ای، پرچین، گلدانی، بونسای، درختچه‌ای و آلاچیق) در فضای سبز می‌باشند (Farahmand, 2017; Minj *et al.*, 2023). گل‌کاغذی بهترین رشد را در آفتاب کامل، خاک حاصلخیز مرطوب و اسیدی در pH ۵/۵ تا ۶ دارد. در pHهای بالاتر نشانه‌های کمبود آهن دیده می‌شود (Khosh-Khui, 2014). قلیاییت مهمترین پارامتر کیفیت

۱- Nyctaginaceae

آب به دلیل تأثیر آن بر روی خاک یا pH محلول محیط رشد است. همچنین قابلیت جذب آهن در خاک‌های قلیایی به دلیل وجود مقادیر بالای کلسیم کربنات و pH بالا، پایین است (Valdez-Aguilar & Reed, 2007). بی‌کربنات (HCO_3^-) و کربنات‌ها (CO_3^{2-}) یون‌های اصلی هستند که باعث قلیایی شدن آب آبیاری می‌شوند. آب با قلیاییت بالا، با افزایش pH محیط رشد منجر به تخریب ساختار یاخته ریشه شده و با اختلال در جذب مواد غذایی سبب بروز کمبود عناصر غذایی در گیاه شده که اثر منفی بر رشد آن دارد (Yang *et al*., 2008). آهن یکی از عناصر ریز مغذی ضروری برای رشد گیاهان می‌باشد که در تنظیم فرآیندهای یاخته‌ای به عنوان یک عامل مهم برای فعالیت آنزیم‌ها ایفای نقش می‌کند. آهن نقش مهمی در تنظیم فتوسنتز گیاهان، تنفس میتوکندریایی، سنتز و ترمیم نوکلئوتیدها و حفظ یکپارچگی ساختار پروتئین‌ها دارد. آهن موجود در خاک فراوان است در حالی‌که جذب آن توسط گیاهان ناکافی است. اغلب گیاهان در خاک‌های آهکی و قلیایی به دلیل حلالیت کم عناصر آهن، روی و منگنز در آب و غیر قابل جذب بودن توسط ریشه، دچار کلروز (زردی) برگ می‌شوند که سبب کاهش سنتز کلروفیل و فتوسنتز شده و سرانجام منجر به کاهش عملکرد و کیفیت گیاهان می‌شوند (De la Guardia & Alcantara, 2002; Zhang *et al*., 2019). بسیاری از گیاهان زینتی به کلروز ناشی از کمبود آهن و به تبع به قلیاییت محیط ریشه حساس هستند. در گزارشی، فهرست بیش از ۵۰ گیاه زینتی حساس به کلروز آهن را نشان دادند که برخی از آن‌ها شامل رز، مروارید، جعفری، استئوسپرموم، پریوش، آزالیا، ختمی، ادریسی، اطلسی، زنبق، گلایول، شمعدانی و سرخس می‌باشند (Wallace & Wallace, 1986). در پژوهش دیگری، تحمل به قلیاییت در برخی گونه‌های زینتی با آب آبیاری دارای صفر تا ۱۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم بررسی کردند، نتایج آنها نشان داد، بیشترین درجه حساسیت به کلروز ناشی از بی‌کربنات سدیم به ترتیب در گونه‌های رز[۱]، ختمی درختی[۲]، شمعدانی پیچ[۳]، داوودی[۴]، ختمی درختی[۵] و پریوش[۶] بود (Valdez-Aguilar & Reed, 2007).

با توجه به اینکه کنترل کلروز آهن هزینه‌بر است، یکی از بهترین روش‌ها، انتخاب گونه‌ها و رقم‌هایی است که نسبت به pH بالای خاک متحمل بوده و حساسیت کمتری به کمبود آهن ناشی از محیط قلیایی نشان دهد (Koenig & Kuhns, 2002). پژوهش‌های پیشین نشان داده است که پاسخ نژادگان‌ها و رقم‌ها به کمبود آهن و افزایش pH در گیاهان زینتی متفاوت است (Demasi *et al*., 2015; Demasi *et al*., 2017). برخی از رقم‌های آزالیا در مواجه با کمبود آهن، نشانه‌های کمتری از کمبود را بروز می‌دهد که به دلیل ترشحات ریشه می‌باشدکه منجر به کاهش pH و افزایش جذب آهن قابل دسترس توسط ریشه‌ها می‌باشد (Dosan, 2024). از نشانه‌های سمیت آهن ظهور نقاط قهوه‌ای بسیار کوچک بر روی برگ‌ها می‌باشد (Hakimi & Farzamisepehr, 2016). با توجه به ویژگی‌های بسیار خوب جنس گل‌کاغذی، زردی برگی ناشی از کمبود آهن در میان گیاهان دیده می‌شود گرچه در برخی منابع اشاره شده است گل‌کاغذی به خاک های شور و قلیایی مقاوم است (Kumari *et al*., 2021). بنابراین اطلاعات دقیق و کاملی در مورد پاسخ‌های رشدی و فتوسنتزی جنس گل‌کاغذی از نظر تحمل به شرایط قلیایی وجود ندارد و هچنین پاسخ به سطوح مختلف آهن نیز در این گیاه به ویژه در سطح رقم کمتر مطالعه شده است. از این رو، این پژوهش با هدف ارزیابی پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیک سه رقم گل‌کاغذی به غلظت‌های مختلف بی‌کربنات سدیم در شرایط بدون خاک انجام شد که نتایج این پژوهش می‌تواند به انتخاب رقم متحمل به محیط‌های قلیایی و کمبود آهن با اهمیت باشد.

۱- *Rosa* sp. L. 'Pink Cupido'
۲- *Hibiscus rosa-sinensis* L. 'Mango Breeze'
۳- *Pelargonium peltatum* L. 'Peppermint Candy'
۴- *Chrysanthemum morifolium* 'Ramat'
۵- *H. rosa-sinensis* L. 'Bimini Breeze'
۶- *Catharanthus roseus*

مواد و روش‌ها

محل انجام آزمایش و مواد گیاهی

پژوهش حاضر در مجموعه گلخانه‌ای دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۱۴۰۱ انجام گردید. پیش از شروع آزمایش، ابتدا قلمه‌های نیمه خشبی از شاخه‌های یکساله سه رقم گل‌کاغذی با رنگ برگواره صورتی پررنگ ('Barbara Karst')، سفید ('Jamaica white') و زرد ('Lady Mary Baring') از شهرستان رامهرمز از باغ خصوصی تهیه شد. سپس قلمه‌ها در محلول قارچکش بنومیل ۲ در هزار غوطه ور شدند. سپس کمی پس از هوا خشک شدن، یک سوم پایینی قلمه‌ها در هورمون ریشه‌زایی ایندول بوتریک اسید (IBA) با غلظت ۳۰۰۰ پی‌پی‌ام فرو برده شدند. سپس در بستر ماسه بادی شسته شده کشت و در زیر تونل پلاستیکی به مدت ۳ ماه نگهداری شدند. در این فاصله زمانی قلمه‌های ریشه دار شده با کود کامل کریستالون به غلظت یک چهارم در هزار تغذیه شدند. پس از آن، گیاهان جوان با اندازه تقریبا مشابه انتخاب و در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر (حجم ۷ لیتر) دارای مخلوط کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۱:۱ (حجمی/ حجمی) کشت شدند. در طول دوره آزمایش، متوسط دما ۵± ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی هوا بین ۵± ۷۰ درصد بود.

طرح آزمایش و اعمال تیمارها

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. تیمار بی‌کربنات سدیم تهیه شده از شرکت مرک آلمان، در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار) و کلات آهن EDDHA Na Fe (Fe 6%) در سه سطح (۳، ۳۰ و ۶۰ میکرومولار) بر سه گل‌کاغذی ('Barbara Karst'، 'Jamaica white' و 'Lady Mary Baring') اعمال شد. ابتدا گیاهان کاملا مستقر شده، سالم و یکنواخت از نظر ارتفاع و سطح کانوپی انتخاب شدند، با محلول غذایی یک چهارم هوگلند به مدت یک هفته به صورت کود آبیاری تغذیه شدند. پس از آن، به مدت یک هفته از محلول غذایی نیم هوگلند استفاده شد. سپس، محلول غذایی هوگلند کامل با تغییر جزیی (Hoagland and Arnon, 1950) به همراه هر سطح تنش به صورت جداگانه آماده شد. pH محلول هوگلند پیش از اعمال بی‌کربنات سدیم برابر ۶ و هدایت الکتریکی (EC) محلول برابر ۰/۲ $dS\ m^{-1}$بود. گیاهان از هر تیمار مربوطه، ۴۰۰ میلی‌لیتر بر اساس ظرفیت زراعی به مدت دو ماه، یک روز در میان محلول‌دهی شدند. pH محلول بدون بی‌کربنات سدیم با استفاده از هیدروکلریک اسید ۹۰٪ در محدوده ۵/۵ تا ۶/۵ حفظ شد. میانگین pH محلول پیش از استفاده برای گیاهان با سطح ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم ۷/۲ و محلول با سطح ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم ۸/۳ بود. پس از هر بار محلول‌دهی برای کنترل میزان pH و EC بسترهای رشد، زه‌آب خروجی گلدان‌ها جمع آوری و به آزمایشگاه منتقل و با دستگاه pH متر و EC متر اندازه‌گیری شدند. پس از ۳ مرتبه از اعمال تیمارها، یک بار آبشویی با آب مقطر جهت جلوگیری از تجمع بیش از اندازه نمک در بستر ریشه‌ها انجام شد.

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده

در پایان آزمایش، بی درنگ پس از جداسازی اندام هوایی و شست و شوی ریشه، در گلخانه وزن تر اندام هوایی (برگ، دمبرگ، ساقه و خار) و ریشه و وزن خشک آن‌ها پس از ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس با استفاده از ترازوی دیجیتال دو رقم اعشار بر حسب گرم اندازه‌گیری شد.

میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC) با استفاده از روش (Barrs & Weatherly, 1962) به صورت جداسازی تعداد ۱۰ دیسک برگ با مساحت یک سانتی‌متر مربع (۰/۲ گرم) تهیه شد. سپس با آب مقطر سه مرتبه شستشو داده شد و سپس با ۵۰ سی‌سی آب مقطر به مدت ۱۲ ساعت در درون یخچال دمای ۴ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس رطوبت اضافی نمونه‌ها با دستمال کاغذی گرفته شد و وزن تورژسانس آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از آن، نمونه‌ها درون آون دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت جهت اندازه‌گیری وزن خشک قرار گرفتند. در نهایت اعداد به دست آمده در فرمول زیر جهت محاسبه محتوای نسبی آب برگ به صورت درصد قرار گرفتند:

$$RWC\ (\%) = \frac{(W.F - W.D)}{(WT - WD)} \times 100$$

برای اندازه‌گیری میزان نشت یونی (EL) در گیاه، تعداد ۱۰ قطعه دیسک برگ (۰/۱ گرم) از هر تکرار برداشت شد. نمونه‌های برگ سه مرتبه با آب مقطر شسته شدند و سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به هر فالکون دارای نمونه برگی اضافه شد و به مدت

۲۴ ساعت در دمای محیط قرار گرفتند. سپس میزان نشت یونی اولیه (EC1) خوانده شد. سپس نمونه‌ها در درون اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه برای اندازه‌گیری نشت یونی ثانویه (EC2) قرار گرفتند. عددهای به دست آمده در فرمول زیر قرار داده‌شد و نشت یونی به صورت درصد بیان گردید (Prášil & Zámečník, 1998).

$$EL\ (\%)=\frac{EC1}{EC2}\times 100$$

برای اندازه‌گیری فتوسنتز و تبادلات گازی، برگ‌های کاملا توسعه یافته (گره‌های ۳ تا ۶ از قسمت بالای گیاه در شرایط نور کامل) در قسمت محفظه‌ی شیشه‌ای دستگاه (مجهز به حس‌گرهای دما و تراکم جریان فتونی فتوسنتزی) قرار داده شد. هر برگ به مدت ۲۰ ثانیه در این محفظه قرار داده شد. اندازه‌گیری در بازه زمانی ۹ تا ۱۱ صبح، دامنه شدت اشباع نور فتوسنتزی معادل ۱۳۲۷/۵ - ۱۷۲۰/۳۸ میکرومول فتون بر متر مربع در ثانیه و در دمای ۳۵-۲۵ درجه سلسیوس با استفاده از دستگاه Lci-SD ساخت کشور انگلستان انجام گرفت. میزان کارایی مصرف آب از تقسیم فتوسنتز خالص به تعرق (میکرومول دی اکسید کربن بر میلی‌مول آب) محاسبه شد.

واکاوی آماری داده ها

داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 واکاوی شد و مقایسه میانگین داده ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها برای ویژگی‌هایی که برهمکنش بین تیمارها معنی‌دار بود با استفاده از برش‌دهی فیزیکی انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های رشدی

جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرهای برهمکنش بی‌کربنات، آهن و رقم بر وزن تر و خشک شاخساره و وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار می باشد و بر وزن تر ریشه معنی دار نیست. گرچه اثرهای برهمکنش بی‌کربنات سدیم در آهن و بی‌کربنات سدیم در نژادگان برای میزان وزن تر ریشه در سطح احتمال ۱ و ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). به طور کلی در هر سه رقم گل‌کاغذی با افزایش بی‌کربنات سدیم از صفر به ۳۰ میلی‌مولار وزن تر ریشه روند کاهشی نشان داد. وزن تر و خشک شاخساره در هر سه رقم گل‌کاغذی با افزودن غلظت بی‌کربنات سدیم از ۱۵ به ۳۰ میلی‌مولار در حضور کلات آهن (۶۰ میکرومولار)، کاهش یافت. وزن تر شاخساره، در شرایط بدون بی‌کربنات سدیم با افزودن کلات آهن از ۳ به ۳۰ میکرومولار در رقم Barbara Karst (۱۳/۸٪)، Jamaica white (۷/۸٪) و Lady Mary Baring (۰/۸٪) افزایش داشت. در شرایط مشابه، این تغییرات درصد افزایش برای وزن خشک ریشه در رقم‌های Barbara Karst (۱۰/۲٪)، Jamaica white (۳/۷٪) و Lady Mary Baring (۵/۹٪) می‌باشد. نتایج استفاده از کلات آهن (III) -EDDHA در غلظت‌های ۴ و ۳۵ میکرومولار در گل همیشه بهار[1]، نشان داد که کمبود آهن (۴ میکرومولار) برای این گیاه منجر به کوتاهی رشد ساقه و کاهش جذب آهن تا ۲۰٪ برای گیاه شد. کمبود آهن سبب بروز علائم کلروز به واسطه‌ی بسته شدن روزنه‌ها و غلظت پایین فتوسنتز اتفاق می‌افتد. همچنین وزن خشک برگ گیاه به شدت کاهش یافت و با افزودن غلظت آهن تا ۳۵ میکرومولار، علائم کمبود آهن تا حد زیادی کاهش یافت. کمترین میزان کلروفیل نیز در گل همیشه بهار، مربوط به غلظت کم آهن بود که این نتایج نیز همسو با پژوهش حاضر می‌باشد (Izadi *et al*., 2020). در پژوهش مشابهی، رقم‌های انگور تیمار شده با بی‌کربنات سدیم در حضور دو منبع آهن (کلات آهن و سولفات آهن)، کاهش معنی‌داری در وزن تر شاخساره و ریشه نشان دادند (Shahsavandi *et al*., 2020). در شرایط هیدروپونیک افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم تا ۱۰ میلی‌مولار در ختمی درختی[2] سبب کاهش وزن تر و خشک شاخساره شد (Valdez-Aguilar & Reed, 2006). هچنین به طور مشابهی، افزایش سطح بی‌کربنات سدیم (۳۰ میلی مولار) و کمبود آهن (۳ میکرومولار) منجر به کاهش سرعت رشد خالص و وزن تر و خشک کل در همه رقم‌های انگور مورد مطالعه شد (Shahsavandi & Eshghi, 2021).

۱- *Calendula officinalis* L.
۲- *H. rosa-sinensis* L.

افزون بر این، با افزودن کلات آهن از ۳۰ به ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، کاهش شاخص‌های رشدی مانند وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع و طول ریشه در گیاه ختمی پرپر[۱] مشاهده شد (Pourmokhtar *et al*., 2022) که با نتایج حاضر همسو می‌باشد. از دلایل دیگرکاهش شاخص‌های رشدی در گیاهان می‌توان قلیاییت بالا در آپوپلاست و در نتیجه آن کم شدن خاصیت ارتجاعی دیواره یاخته‌ای که یکی از عوامل محدودکننده رشد و توسعه یاخته است را بیان کرد (Rayle & Cleland, 1992). نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش‌ها (جدول ۱) نشان می‌دهد که بیشترین میانگین وزن تر شاخساره (۲۱۷/۴۴ گرم) مربوط به رقم Barbara Karst در تیمار شاهد (بدون بی‌کربنات) در حضور ۳۰ میکرومولار آهن بود. در Barbara Karst که کمترین میانگین آن (۸۹/۲۱ گرم) مربوط به رقم Jamaica white در سطح ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم و ۶۰ میکرومولار آهن می‌باشد. با افزودن تنش بی‌کربنات سدیم از صفر به ۳۰ میلی‌مولار وزن تر شاخساره در رقم Barbara Karst (۵۶/۸٪) کاهش یافت. درصد کاهش در شرایط مشابه برای رقم Jamaica white (۵۶/۸٪) و برای رقم Lady Mary Baring نیز (۵۷٪) بود. بر اساس نتایج، با قلیایی‌تر شدن محیط ریشه کاهش وزن تر شاخساره مشاهده شد. نتایج مشابهی نیز در گیاهان انگور تیمار شده با بی‌کربنات سدیم در حضور دو منبع آهن یافت شد که با کاهش وزن تر شاخساره و ریشه همراه بود (Shahsavandi *et al*., 2020). دلیل این کاهش عملکرد می‌تواند اثر بازدارندگی HCO_3^- بر مراحل متابولیکی و یا اختلال در فعالیت رشد ریشه و حلالیت مواد غذایی باشد (Stoleru *et al*., 2019). اثر تنش قلیاییت بر رشد گیاه همچنین از طریق کاهش حلالیت و اختلال در جذب عناصر غذایی نیز خود را نشان می‌دهد (Shojaee *et al*., 2019).

محتوای نسبی آب (RWC)

با افزودن مقدار بی‌کربنات سدیم (۳۰ میلی‌مولار) به همراه کلات آهن (۶۰ میکرومولار)، محتوای نسبی آب برگ در رقم‌های Barbara Karst (۲۷/۷۵٪)، Jamaica white (۲۶/۴۹٪) و Lady Mary Baring (۲/۱٪)، نسبت به شاهد (شرایط بدون بی‌کربنات سدیم و آهن نرمال) کاهش یافت (جدول ۳). با افزودن کلات آهن از ۳ به ۳۰ میکرومولار در شرایط بدون بی‌کربنات سدیم، میزان محتوای نسبی آب برگ در رقم Barbara Karst ۱۶/۵۱٪ افزایش یافت، در رقم Barbara Karst که در رقم‌های Jamaica white و Lady Mary Baring افزایشی یافت نشد. در غلظت‌های بالاتر بی‌کربنات سدیم به ترتیب ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار در هر سه رقم گل‌کاغذی، میزان محتوای نسبی آب برگ، با افزودن کلات آهن به ۶۰ میکرومولار نسبت به ۳ و ۳۰ میکرومولار، افزایش یافت. نتایج مشابهی نیز در پایه‌های مورد مطالعه پسته گزارش شده است که با افزودن بی‌کربنات سدیم از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌مولار، محتوای نسبی آب برگ و وزن تر کل در پایه‌های آتلانتیکا و سرخس به طور قابل توجهی نسبت به شاهد کاهش یافت (Rajabi *et al*., 2011). در شرایط pH بالا و اثرهای مخرب آن بر ساختار ریشه و کاهش جذب آب توسط گیاه، محتوای نسبی آب برگ نیز کاهش می‌یابد که می‌تواند دلیلی بر کاهش رشد گیاهان در شرایط تنش قلیایی باشد (Yang *et al*., 2008; Malekzadeh Shamsabad *et al*., 2021). همچنین گزارش شده است، کاهش کمتر میزان محتوای نسبی آب برگ در رقم‌های مقاوم می‌تواند به دلیل افزایش تنظیم اسمزی در گیاه باشد (Balaguer *et al*., 2002).

۱- *Althaea rosea*

جدول ۱- آنالیز واریانس اثر بی‌کربنات سدیم، آهن و رقم بر ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیک گل‌کاغذی.

Table 1. Variance analysis of the effect of sodium bicarbonate, iron, and cultivar on the morphophysiological characteristics of paper flower.

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square									
		وزن تر شاخساره Shoot fresh weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	محتوای نسبی آب (٪) RWC (%)	نشت یونی (٪) EL (%)	فتوسنتز (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) Photosynthesis (µmol m^{-2} s^{-1})	هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه) Stomatal conductance (mol m^{-2} s^{-1})	تعرق (مول بر متر مربع بر ثانیه) Transpiration (mol m^{-2} s^{-1})	کارایی مصرف آب (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) WUE (µmol mol^{-1})
R	3	9.60	24.12	45.85	0.17	183.18	3.69	0.19	0.0025	0.41	0.101
A	2	106295.32**	8451.63**	1873.92**	1825.48**	1842.65**	2143.75**	112.55**	0.0007ns	9.63**	0.009ns
B	2	3685.49**	1106.98**	37.53ns	30.54**	1361.62**	7.29ns	3.25**	0.0023**	1.39**	1.148*
C	2	161.47**	47.55**	100.79ns	14.38**	283.06**	111.17**	1.33*	0.0180**	6.58**	5.076**
A*B	4	1550.45**	275.18**	214.32**	108.06**	364.47**	145.95**	9.90**	0.0012*	1.45**	2.267**
A*C	4	269.69**	61.33**	144.49*	22.88**	457.44**	82.15**	0.51ns	0.0017**	0.39ns	1.408**
B*C	4	141.30**	23.85**	16.44ns	26.94**	112.20ns	138.82**	4.51**	0.0093**	3.90**	2.815**
A*B*C	8	95.58**	11.12*	46.80ns	25.37**	152.15*	115.66**	1.12**	0.0049**	0.81**	1.513**
Error	78	26.93	4.82	43.31	2.56	55.67	10.27	0.29	0.0003	0.18	0.261
CV (%)		3.55	3.07	15.08	6.98	10.62	7.62	7.40	11.49	12.96	19.73

R: بلوک، A: بی_کربنات سدیم، B: کلات آهن، C: رقم. ns: بیانگر عدم معنی‌داری، *: معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، **: در سطح احتمال ۱٪ و ***: در سطح احتمال ۰/۱٪ درصد می‌باشند.

R: Block, A: Sodium bicarbonate, B: Iron chelate, C: Cultivar. ns: indicates not significant, *: significant at $P \leq 0.05$, **: $P \leq 0.01$, and ***:$P \leq 0.001$ levels.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرهای برهمکنش سدیم بی‌کربنات، آهن و رقم بر ویژگی‌های رشدی گل‌کاغذی.

Table 2. Mean comparison of the interaction effects of sodium bicarbonate, iron, and cultivar on the growth traits of paper flower.

صفات Traits	بی¬کربنات سدیم (میلی مولار) Sodium bicarbonate (m M)	کلات آهن (میکرومولار) Iron chelate (µM)	رقم Cultivar		
			Barbara Karst	Jamaica white	Lady Mary Baring
وزن تر شاخساره (گرم) Shoot fresh weight (g)	0	3	190.96^{c†}	199.97^{b}	200.62^{b}
		30	217.44^{a}	215.67^{a}	216.69^{a}
		60	192.14^{c}	190.04^{c}	189.45^{c}
	15	3	162.36^{d}	159.91^{d}	159.06^{d}
		30	157.90^{d}	143.31^{e}	144.50^{e}
		60	133.46^{f}	129.30^{f}	104.86^{g}
	30	3	95.15^{h}	95.47^{h}	94.71^{h}
		30	93.74^{h}	92.98^{h}	93.00^{h}
		60	89.51^{h}	89.21^{h}	91.72^{h}
وزن خشک شاخساره (گرم) Shoot dry weight (g)	0	3	84.69^{ab}	82.52^{bcd}	87.14^{a}
		30	87.57^{a}	83.09^{bc}	86.76^{a}
		60	82.19^{bcd}	83.27^{bc}	82.37^{bcd}
	15	3	79.60^{de}	80.79c^{d}	81.35^{cd}
		30	74.46^{fg}	77.14^{ef}	74.32^{fg}
		60	73.13^{gh}	70.21^{hi}	68.65^{i}
	30	3	65.53^{j}	65.21^{j}	63.48^{j}
		30	59.24^{k}	57.25^{k}	49.17^{l}
		60	46.43^{lm}	45.6^{1m}	39.11^{n}
وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)	0	3	28.32^{d}	28.44^{d}	29.06^{cd}
		30	31.22^{bc}	29.50^{cd}	30.79^{bc}
		60	32.55^{ab}	33.93^{a}	34.17^{a}
	15	3	17.84^{j}	20.54^{ghi}	14.86^{klm}
		30	22.82^{ef}	20.41^{hi}	22.71^{efg}
		60	21.11^{fgh}	24.17^{e}	22.71^{efg}
	30	3	18.53^{ij}	17.90^{j}	21.41^{fgh}
		30	24.25^{e}	17.01^{jk}	12.79^{mn}
		60	15.48^{kl}	14.63^{lm}	12.24^{n}

†مقادیر، میانگین چهار تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن ($P\leq 0.05$) است.

†Values are the average of four repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($P\leq 0.05$).

نشت یونی (EL)

اثرهای اصلی و برهمکنش برای صفت نشت یونی در سطح احتمال ۱ و ۵٪ معنی‌دار است (جدول ۱). نتایج جدول ۳، نشان می‌دهد که با افزودن غلظت بی‌کربنات سدیم و قرار گرفتن گیاه در شرایط تنش در سه رقم Barbara Karst، Jamaica white و Lady Mary Baring گل‌کاغذی میزان نشت یونی برگ افزایش یافت. بیشترین میزان نشت یونی (۵۵/۱۴٪) مربوط به گل‌کاغذی رقم Jamaica white در غلظت بالای بی‌کربنات سدیم (۳۰ میلی‌مولار) و ۳ میکرومولار آهن می‌باشد. کمترین میزان آن (۲۴/۶۶٪) مربوط به رقم Jamaica white در شرایط بدون بی‌کربنات سدیم (صفر میلی‌مولار) و ۶۰ میکرومولار آهن است. همچنین افزودن میزان آهن از ۳ به ۳۰ میکرومولار در شرایط وجود بی‌کربنات سدیم (۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار) در رقم Lady Mary Baring و Jamaica white نسبت به رقم Barbara Karst، درصد کاهش بیشتری را نشان داد. با افزودن آهن از غلظت ۳ به ۳۰ میکرومولار در هر سه رقم گل‌کاغذی درصد نشت یونی کاهش یافت. درصد کاهش در رقم Barbara Karst (۶/۵٪)، Jamaica white (۱۸/۴٪) و Lady Mary Baring (۱۴/۸٪) بود. با افزودن کلات آهن به غلظت ۶۰ میکرومولار در شرایط وجود بی‌کربنات سدیم (۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار)، تا حدودی سبب بهبود در رقم Jamaica white و Lady Mary Baring شد، اما سبب متوقف شدن نشت یونی در شرایط تنش نگردید و همچنان میزان نشت یونی با افزودن بی‌کربنات سدیم در حضور کلات آهن ادامه یافت.

نتایج مشابهی با نتایج حاضر در رقم‌های مختلف انگور تیمار شده با بی‌کربنات سدیم یافت شد که منجر به افزایش قابل توجهی در میزان نشت یونی برگ و ریشه گردید، در حالی‌که هیچ یک از منابع آهن نتوانست اثرهای نامطلوب بی‌کربنات را بهبود دهد (Shahsavandi *et al*., 2020). در شرایط تنش، حالت پایدار غشا یاخته از بین رفته و با قرار گرفتن در محیط آبی مواد محلول یاخته به بیرون تراوش می‌کند. پایداری غشا از طریق تراوش یون‌ها از آن ارزیابی می‌شود. ایجاد حالت پایدار پس از نشت یونی در گیاهان با سنتز پروتئین، ویژگی‌های سیستم فتوسنتزی و آنزیم‌ها مرتبط است. با افزایش شدت تنش در گیاهان، روند پمپ شدن یون‌های غشایی کند و غیر فعال و در نتیجه نشت یونی بیشتر می‌شود (Shahsavandi *et al*., 2020). نمک‌های قلیایی از جمله سدیم بی‌کربنات و سدیم کربنات‌ها نسبت به نمک‌های خنثی مانند سدیم کلرید، اثرهای مخرب‌تری بر گیاهان دارند (Shi *et al*., 1993). همچنین pH بالا منجر به کمبود پروتون، تخریب یا مهار شیب الکتروشیمیایی غشا می‌شود و منجر به از دست‌دهی عملکردهای فیزیولوژیک یاخته ریشه مانند جذب یون‌ها می‌شود (Guo *et al*., 2015).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرهای برهمکنش سدیم بی‌کربنات، آهن و رقم بر محتوای نسبی آب و نشت یونی برگ گل‌کاغذی.

Table 3. Mean comparison of the interaction effects of sodium bicarbonate, iron, and cultivar on the leaf RWC and EL of paper flower.

صفات Traits	بی‌کربنات سدیم (میلی مولار) Sodium bicarbonate (m M)	کلات آهن (میکرو مول) Iron chelate (µM)	رقم Cultivar		
			Barbara Karst	Jamaica white	Lady Mary Baring
محتوای نسبی آب (٪) RWC (%)	0	3	71.56^{b-f}†	74.30^{a-e}	76.53^{a-d}
		30	83.38^{ab}	69.04^{c-g}	76.17^{a-d}
		60	73.47^{a-f}	73.20^{a-f}	84.16^{ab}
	15	3	63.68^{d-g}	71.95^{b-f}	77.80^{a-c}
		30	60.07^{f-h}	57.95^{gh}	67.54^{c-g}
		60	85.98^{a}	85.88^{a}	80.94^{a-c}
	30	3	48.78^{hi}	59.70^{f-h}	56.01^{g-i}
		30	55.62^{g-i}	42.55^{i}	74.57^{a-d}
		60	61.08^{e-h}	73.30^{a-f}	75.71^{a-d}
نشت یونی (٪) EL (%)	0	3	37.84^{mno}	38.45^{l-o}	40.77^{j-m}
		30	35.37^{no}	31.35^{pq}	34.72^{op}
		60	29.36^{q}	24.66^{r}	36.51^{no}
	15	3	46.01^{fgh}	41.97^{i-l}	42.57^{h-k}
		30	44.53^{g-j}	41.68^{i-m}	38.75^{k-n}
		60	48.12^{d-g}	45.05^{ghi}	49.24^{c-f}
	30	3	53.87^{ab}	46.74^{efg}	48.35^{d-g}
		30	50.83^{bcd}	55.14^{a}	47.34^{d-g}
		60	52.31^{abc}	50.66^{b-e}	46.74^{efg}

†مقادیر، میانگین چهار تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن ($P< 0.05$) است.

†Values are the average of four repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($P\leq 0.05$).

پارامترهای فتوسنتزی

با توجه به نتایج آنالیز واریانس (جدول ۱)، اثرهای اصلی و برهمکنش برای فتوسنتز در سطح احتمال ۱ و ۵٪ معنی‌دار است. نتایج جدول ۴، نشان می‌دهد که بیشترین میزان فتوسنتز (۱۰/۹۵ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع بر ثانیه) مربوط به گل‌کاغذی رقم Lady Mary Baring در شرایط بدون بی‌کربنات سدیم و آهن ۳۰ میکرومولار می‌باشد. کمترین میزان آن (۳/۸۵ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع بر ثانیه) مربوط به رقم Jamaica white در شرایط بالای تنش بی‌کربنات سدیم (۳۰ میلی‌مولار) و ۳۰ میکرومولار آهن است. میزان فتوسنتز در رقم Lady Mary Baring در شرایط بالای بی‌کربنات سدیم نسبت به شرایط بدون بی‌کربنات سدیم حدود ۴۵/۱۴٪ کاهش و در رقم Barbara Karst ۴۹/۸۰٪ و Jamaica white ۵۷/۳۲٪ می‌باشد.

این مقدار کاهش با افزودن کلات آهن از ۳ به ۳۰ میکرومولار میزان فتوسنتز افزایش ولی به علت افزودن شرایط تنش بی‌کربنات سدیم این مقدار کاهش یافت. به طور کلی بیشترین مقدار برای فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق در شرایط بدون بی‌کربنات سدیم در حضور آهن، در رقم‌های Lady Mary Baring و Barbara Karst و کمترین مقادیر آن‌ها در شرایط ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم در حضور آهن بیش‌بود می‌باشد. افزودن غلظت آهن از ۳ به ۳۰ میکرومولار در شرایط بدون بی‌کربنات سدیم، سبب افزایش میزان فتوسنتز در رقم Jamaica white به رقم Barbara Karst و Lady Mary Baring شد. افزودن مقدار کلات آهن به ۶۰ میکرومولار سبب کاهش فتوسنتز در رقم Barbara Karst و Lady Mary Baring گردید. همچنین در شرایط بی‌کربنات سدیم (۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار)، افزودن منبع کلات آهن، میزان فتوسنتز را در رقم Barbara Karst و Lady Mary Baring کاهش داد. به طور کلی، افزودن منبع کلات آهن با وجود بی‌کربنات سدیم، تنها در رقم Jamaica white تا حدودی کمک به افزایش فتوسنتز کرد. در رقم Barbara Karst این نتیجه برای کارایی مصرف آب برعکس می‌باشد. رقم Jamaica white در شرایط وجود بالای مقدار بی‌کربنات سدیم در حضور آهن ۶۰ میکرومولار دارای بیشترین مقدار کارایی مصرف آب و رقم Barbara Karst در شرایط بدون بی‌کربنات سدیم و شرایط مشابه آهن دارای کمترین میزان آن می‌باشد. تعیین کننده اصلی رشد و عملکرد در گیاهان، فتوسنتز می‌باشد. توانایی حفظ آن در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ عملکرد مهم است. کاهش رشد گیاهان به واسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. کاهش فتوسنتز را می‌توان به علت بسته شدن و کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش نسبت داد. همچنین pH بالای ناشی از تنش قلیاییت سبب تخریب کلروپلاست و کاهش فعالیت فتوسنتز در گیاهان می‌شود. افزون بر این، میزان فتوسنتز کمتر، به علت تخریب سنتز کلروفیل به دلیل انتقال کم آهن یا قابلیت حل‌پذیری کمتر آهن در خاک یا محلول غذایی بستر کشت مرتبط می‌باشد (Roosta *et al*., 2017). محلول‌پاشی کلات آهن از غلظت ۰/۵ به ۱ گرم در لیتر سبب افزایش سه برابر میزان فتوسنتز در ارقام پسته شد. با افزایش محلول‌پاشی کلات آهن در پسته، میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و کارایی مصرف آب به دنبال کاهش سطح برگ، نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. عنصر آهن در فعالیت آنزیم‌های اکسیداسیون و احیا نقش مهمی دارد. در زمان انتقال الکترون در فتوسیستم، آهن سه ظرفیتی به دو ظرفیتی احیا می‌شود و انتقال الکترون را در فرایندهای فتوسنتز و تنفس انجام می‌دهد. کارایی مصرف آب از ویژگی‌های فیزیولوژیک است که با هدف ارزیابی مصرف آب توسط گیاه مورد بررسی قرار می‌گیرد و حاصل نسبت فتوسنتز به تعرق در گیاهان است و به معنی تثبیت کربن به ازای تبخیر و تعرق آب تلقی می‌شود. بر اساس نتایج جدول ۴، بیشترین میزان تعرق (۴/۸۹ میلی‌مول آب بر متر مربع بر ثانیه) مربوط به گل‌کاغذی رقم Barbara Karst در شرایط بدون بی‌کربنات سدیم و آهن ۶۰ میکرومولار می‌باشد. کمترین میزان آن (۱/۳۵ میلی‌مول آب بر متر مربع بر ثانیه) مربوط به رقم Lady Mary Baring در شرایط بالای تنش بی‌کربنات سدیم (۳۰ میلی‌مولار) و ۶۰ میکرومولار آهن است. یکی از پاسخ‌های گیاه به شرایط تنش بی‌کربنات سدیم، محدود شدن سطح تعرق کننده به دلیل کاهش سطح برگ می‌باشد. بنابراین گیاه آب کمتری را از طریق تعرق از دست می‌دهد. بنابراین با افزودن شرایط تنش، تعرق در گیاه کاهش می‌یابد (Zuo *et al*., 2007).

به طور مشابهی، اثر تغییر pH بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه رز[1] نشان داد که با افزایش pH از ۴/۵ به ۶/۵، وزن تر و خشک گیاه، جوانه گل و قطر ساقه افزایش یافت. در حالی‌که با افزایش بیشتر pH تا ۸ روند کاهشی در این عامل‌ها دیده شد. بیشترین تعداد جوانه، محتوای کلروفیل، Fv/Fm، شاخص عملکرد (PI) در pH ۶/۵ یافت شد (Roosta *et al*., 2014). این نتایج با نتایج حاضر همسو بود که بیانگر آن است که با افزایش بی‌کربنات، زردی برگ، کاهش میزان کلروفیل و کاهش عملکرد دستگاه فتوسنتز به طور هماهنگ روی می‌دهد که دلیلی نیز بر کاهش رشد گیاهان در مواجه با تنش قلیایی می‌باشد. رقم‌های انگور تیمار شده با بی‌کربنات، کاهش قابل توجهی در میزان شاخص کلروفیل و سرعت فتوسنتز در مقایسه با گیاهان در معرض کمبود آهن نشان دادند. تغییرات فیزیولوژیک مختلفی در برگ‌ها به دلیل کمبود آهن دیده می‌شود که به دلیل نقش آهن در تشکیل

۱- *Rosa hybrida* cv. Grand Gala

ساختار آنزیم‌های موثر در بیوسنتز کلروفیل می‌باشد. افزون بر این، کاهش محتوای کلروفیل می‌تواند به دلیل مهار بیوسنتز آن یا افزایش سرعت تجزیه آن باشد (Shahsavandi *et al*., 2024).

بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای (۰/۲۵ مول آب بر مترمربع بر ثانیه) مربوط به گل‌کاغذی رقم Barbara Karst در شرایط بدون بی‌کربنات سدیم و آهن ۶۰ میکرومولار می‌باشد. کمترین میزان آن (۰/۱۱ مول آب بر مترمربع بر ثانیه) مربوط به رقم Jamaica white در شرایط بالای تنش بی‌کربنات سدیم (۳۰ میلی‌مولار) و ۶۰ میکرومولار آهن است. با افزودن بی‌کربنات سدیم، میزان هدایت روزنه‌ای در رقم گل‌کاغذی کاهش یافت (جدول ۴). افزایش بی‌کربنات محلول غذایی سبب تحریک هورمون اسید آبسیزیک و جریان آن از آوند آبکش به چوبی می‌شود. این امر سبب کاهش هدایت روزنه‌ای و به دنبال آن کاهش تعرق و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Shahabi *et al*., 2005). این نتایج با پژوهش حاضر همسو می‌باشد.

کارایی مصرف آب از ویژگی مهم فیزیولوژیک در گیاهان است که به منظور ارزیابی مصرف آب توسط گیاه بررسی می‌شود. نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، نشان داد که میزان کارایی مصرف آب در رقم‌های Jamaica white و Lady Mary Baring، با افزایش میزان قلیاییت (۳۰ میلی‌مولار) و کلات آهن (۶۰ میکرومولار)، افزایش یافت. کاربرد آهن (۱۵ میلی‌گرم) در توت فرنگی سبب افزایش سطح برگ، در نتیجه آن افزایش فتوسنتز و عملکرد بهتر گیاه گردید (Roosta *et al*., 2017). در این پژوهش در سطح کلات آهن ۳۰ میکرومولار به همراه افزایش بی‌کربنات سدیم از صفر به ۱۵ میلی‌مولار، سبب کاهش کارایی مصرف آب در رقم‌های Barbara Karst و Lady Mary Baring شد. با افزودن میزان بی‌کربنات سدیم به ۳۰ میلی‌مولار در شرایط توام با کلات آهن ۶۰ میکرومولار، سبب افزایش معنی‌دار در میزان کارایی مصرف آب در رقم‌های Jamaica white و Lady Mary Baring در مقایسه با شرایط بدون بی‌کربنات و کمبود آهن شد. این بیانگر آن است کلات آهن به میزان ۶۰ میکرومولار اثر منفی تنش قلیایی شدید (۳۰ میلی مولار) را توانست تعدیل نماید. بر اساس این نتایج که همسو با سایر پژوهش‌های پیشین است نشان داد که پاسخ رقم‌ها به شدت تنش قلیایی و میزان آهن متفاوت می‌باشد (Demasi *et al*., 2015; Demasi *et al*., 2017; Shahsavandi *et al*., 2024).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرهای برهمکنش سدیم بی‌کربنات، آهن و رقم بر میزان فتوسنتز و تبادلات گازی گل‌کاغذی.

Table 4. Mean comparison of the interaction effects of sodium bicarbonate, iron, and cultivar on the photosynthesis and gas exchanges rate of paper flower.

صفات Traits	بی‌کربنات سدیم (میلی مولار) Sodium bicarbonate (m M)	کلات آهن (میکرو مول) Iron chelate (µM)	رقم Cultivar		
			Barbara Karst	Jamaica white	Lady Mary Baring
فتوسنتز (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) Photosynthesis ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	0	3	$8.35^{cde\dagger}$	8.68^{cde}	8.79^{cde}
		30	9.83^{b}	9.02^{c}	10.95^{a}
		60	7.19^{gh}	8.90^{cd}	6.52^{hi}
	15	3	7.40^{g}	7.52^{fg}	7.38^{g}
		30	8.24^{def}	8.45^{cde}	8.28^{cde}
		60	7.94^{efg}	8.50^{cde}	7.95^{efg}
	30	3	4.56^{n}	3.85^{n}	5.71^{jkl}
		30	5.39^{kl}	5.84^{ijk}	5.81^{i-l}
		60	5.05^{lm}	6.17^{ij}	5.59^{jkl}
هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه)	0	3	0.18^{c-g}	0.15^{i-m}	0.21^{bc}
		30	0.17^{f-j}	0.13^{mn}	0.20^{b-e}
		60	0.25^{a}	0.14^{klm}	0.09^{o}
	15	3	0.15^{i-m}	0.18^{d-h}	0.21^{bcd}
		30	0.18^{d-g}	0.15^{h-m}	0.18^{d-h}
		60	0.22^{b}	0.16^{g-l}	0.14^{j-m}

Stomatal conductance (mol m^{-2} s^{-1})	30	3	0.21^{bc}	0.17^{f-j}	0.19^{c-f}
		30	0.18^{e-h}	0.13^{lmn}	0.16^{f-k}
		60	0.17^{f-j}	0.11^{no}	0.17^{f-i}
تعرق (مول بر متر مربع بر ثانیه) Transpiration (mol m^{-2} s^{-1})	0	3	3.53^{c-f}	2.68^{hi}	4.14^{b}
		30	3.30^{d-g}	3.15^{e-h}	3.83^{bcd}
		60	4.89^{a}	3.12^{fgh}	2.43^{ij}
	15	3	4.10^{bc}	3.03^{f-i}	4.01^{bc}
		30	3.84^{bcd}	3.51^{c-f}	4.07^{bc}
		60	3.86^{bcd}	3.75^{b-e}	3.58^{b-f}
	30	3	3.56^{b-f}	2.58^{hij}	3.85^{bcd}
		30	3.36^{d-g}	2.03^{jk}	2.87^{ghi}
		60	3.08^{fgh}	1.73^{kl}	1.35^{l}
کارایی مصرف آب (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) WUE (µmol mol^{-1})	0	3	2.50^{d-i}	3.42^{bc}	2.23^{g-j}
		30	2.98^{c-f}	2.14^{jkl}	2.93^{c-g}
		60	1.47^{kl}	2.95^{c-g}	2.71^{c-i}
	15	3	2.41^{e-i}	3.17^{c-i}	2.26^{g-j}
		30	2.41^{e-i}	2.86^{c-i}	2.32^{e-i}
		60	2.80^{c-i}	2.27^{f-j}	2.86^{c-h}
	30	3	1.28^{l}	2.76^{c-i}	1.48^{kl}
		30	2.48^{d-i}	3.00^{cde}	2.16^{h-k}
		60	1.65^{jkl}	4.16^{a}	4.13^{ab}

†مقادیر، میانگین چهار تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن ($P< 0.05$) است.

†Values are the average of four repetitions and the same letters indicate no significant difference with Duncan test ($P\leq 0.05$).

نتیجه‌گیری

به طور کلی، تیمار کلات آهن در غلظت ۳۰ میکرومولار (نرمال) در مقایسه با آهن ناچیز (۳ میکرومولار) در شرایط بدون بی‌کربنات سدیم، منجر به بهبود ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک در هر سه رقم گل‌کاغذی شد. افزون بر این، گل‌کاغذی رقم Barbara Karst در مقایسه با رقم‌های Jamaica white و Lady Mary Baring در شرایط تنش قلیایی متوسط و شدید در میزان نرمال آهن (۳۰ میکرومولار)، تحمل بالاتری بر اساس افزایش وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، میزان آب نسبی برگ، کاهش آسیب به غشا یاخته و بهبود دستگاه فتوسنتزی نشان داد. گرچه با بررسی روند تغییرات مورفو_فیزیولوژیک سه رقم گل‌کاغذی، رقم‌های Jamaica white و Lady Mary Baring تیمار شده با کلات آهن ۶۰ میکرومولار در شرایط تنش قلیایی شدید نیز توانستند اثرهای مخرب تنش را با بهبود عملکرد دستگاه فتوسنتزی تعدیل نمایند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز (شماره گرنت SCU.AH1402.47677) جهت حمایت مالی در این پژوهش قدردانی و تشکر می نمایند.

منابع

References

Albano, J. P., & Miller, W. B. (1996). Iron deficiency stress influences physiology of iron acquisition in marigold (*Tagetes erecta* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *121*(3), 438-441.

Balaguer L., Pugnaire, F.I., Martinez-Ferri, E., Armas, C., Valladares, F., & Manrique, E. (2002). Ecophysiological siginificance of chlorophyll loss and reduced photochemical efficiency under extreme acidity in *Stipa tanacissima* L. *Plant and Soil*, *240*, 343-352.

Barrs, H. D., & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, *15*(3), 413-428.

De la Guardia, M. D., & Alcántara, E. (2002). A comparison of ferric-chelate reductase and chlorophyll and growth ratios as indices of selection of quince, pear and olive genotypes under iron deficiency stress. *Plant and Soil, 241*, 49-56.

Demasi, S., Caser, M., Kobayashi, N., Kurashige, Y., & Scariot, V. (2015). Hydroponic screening for iron deficiency tolerance in evergreen azaleas. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *43*(1), 210-213.

Demasi, S., Caser, M., Handa, T., Kobayashi, N., De Pascale, S., & Scariot, V. (2017). Adaptation to iron deficiency and high pH in evergreen azaleas (*Rhododendron* spp.): potential resources for breeding. *Euphytica*, *213*, 1-15.

Dosan, S. (2024). Ferric chelate reductase activity in azalea under iron deficiency stress. *American Journal of Agriculture and Horticulture Innovations*, *4*(09), 1-6.

Farahmand, H. (2017). Ornamental climbing plants (Ornamental vines) and wall-covering shrubs. Mashhad University Press, 580 p. (In Persian).

Guo, R., Yang, Z., Li, F., Yan, C., Zhong, X., Liu, Q., ... & Zhao, L. (2015). Comparative metabolic responses and adaptive strategies of wheat (*Triticum aestivum*) to salt and alkali stress. *BMC Plant Biology*, *15*, 1-13.

Hakimi, L. and M, Farzamisepehr. (2016). Study of Fe and Cu accumulation and antioxidant activities of dominant plant species in Sorkhe Mine in Marand province. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, *10*(40), 21- 30.

Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. Circular. *California Agricultural Experiment Station*, 347.

Izadi, Z., Rezaei Nejad, A., & Abadía, J. (2020). Physio-morphological and biochemical responses of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) to split iron nutrition. *Acta Physiologiae Plantarum*, *42*, 1-14.

Khush-Khui, M. (2014). Floriculture principles and species (Translate). Shiraz University Publications. Volume 2.

Koenig, R., & Kuhns, M. R. (2002). Control of iron chlorosis in ornamental and crop plants. AG-SO, 1, 1.

Kumari, M., Singh, D., Singh, P., & Sahay, S. (2022). Boungainvillea: An ideal ornamental plant for landscaping and pollution control. *Indian Horticulture*, *67*(4).

Li, J., Pu, L., Han, M., Zhu, M., Zhang, R., & Xiang, Y. (2014). Soil salinization research in China: advances and prospects. *Journal of Geographical Sciences*, *24*, 943-960.

Malekzadeh Shamsabad, M. R., Roosta, H. R., & Esmaeilizadeh, M. (2021). Responses of seven strawberry cultivars to alkalinity stress under soilless culture system. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(2), 166-180.

Minj, S. K., Gupta, P. P., Kumar, R., Khilari, M., & Painkra, D. S. (2023). Root parameter investigation in standardized media for Bougainvillea (*Bougainvillea comm.* Ex Juss.) propagation. *International Journal of Plant & Soil Science*, *35*(18), 1013-1017.

Moalemi, N., & Chehrazi, M. (2005). The effect of auxin hormone on the rooting of leaf and leafless stem cuttings of paper flower (*Bougainvillea spectabilis*) in plastic tunnel. *Scientific Journal of Agriculture*, 27(2), *127*-138. (In Persian).

Pourmokhtar, E., Saffari, V. R., & Sarcheshme Pour, M. (2022). Evaluation of phytoremediation ability *Althaea rosea* under iron contamination. *Iranian Plant and Biotechnology*, *16*(4), 59-67. (In Persian).

Prášil, I., & Zámečník, J. (1998). The use of a conductivity measurement method for assessing freezing injury: I. Influence of leakage time, segment number, size and shape in a sample on evaluation of the degree of injury. *Environmental and Experimental Botany*, *40*(1), 1-10.

Rajabi, M., Roosta, H. R., Karimi, H. R., & Hokmabadi, H. (2012). Investigation of the tolerance of Pistachio rootstocks to sodium bicarbonate. *Journal of Horticultural Science*, 26(3), 301-310. (In Persian).

Rayle, D. L., & Cleland, R. E. (1992). The acid growth theory of auxin-induced cell elongation is alive and well. *Plant Physiology*, 99(4), 1271.

Roosta, H. R., & Rezaei, I. (2014). Effect of nutrient solution pH on the vegetative and reproductive growth and physiological characteristics of rose cv.'Grand Gala'in hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition*, *37*(13), 2179-2194.

Roosta, H. R., Nejad, D. R., Raghami, M., & Esmaeilizadeh, M. (2017). Comparison of the effect of nano Fe chelate with Fe-chelate on growth and physiological characteristics of two cultivars of pepper under alkaline conditions in soilless culture system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *8*(1), 35-55.

Rouphael, Y., Cardarelli, M., Colla, G. & Rea, E. (2008). Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *HortScience*, *43*, 730-736.

Shahabi, A., Malakouti, M. J., & Fallahi, E. (2005). Effects of bicarbonate content of irrigation water on nutritional disorders of some apple varieties. *Journal of Plant Nutrition*, *28*(9), 1663-1678.

Shahsavandi, F., Eshghi, S., Gharaghani, A., Ghasemi-Fasaei, R., & Jafarinia, M. (2020). Effects of bicarbonate induced iron chlorosis on photosynthesis apparatus in grapevine. *Scientia Horticulturae*, *270*, 109427.

Shahsavandi, F., & Eshghi, S. (2021). Effects of bicarbonate and Fe sources on vegetative growth and physiological traits of four grapevine cultivars. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *52*(20), 2401-2413.

Shahsavandi, F., Eshghi, S., Jafarinia, M., & Aliniaeifard, S. (2024). Photosynthetic gas exchange and functionality in different grapevine cultivars and their cross grafted combinations in response to bicarbonate-induced Fe deficiency. *Plant Stress*, 11, 100408.

Shi, Y., Byrne, D. H., Reed, D. W., & Loeppert, R. H. (1993). Iron chlorosis development and growth response of peach rootstocks to bicarbonate. *Journal of Plant Nutrition*, *16*(6), 1039-1046.

Shojaee, M., Roosta, H., Roozban, M., & Soufi, H. (2019). Evaluation of the growth characteristics and changes in the concentration of some nutrient elements of garlic affected by different nitrogen sources and alkalinity in hydroponic culture. *Horticultural Plants Nutrition*, *2*(1), 33-50.

Singh, R. K., Singh, R. P. and Singh, R. S., (2003). Effect of iron on herbage and oil yield of lemon grass (*Cymbopogon flexuosus*). *Crop Research*, *26*, 185- 187.

Stoleru, V., Slabu, C., Vitanescu, M., Peres, C., Cojocaru, A., Covasa, M., & Mihalache, G. (2019). Tolerance of three Quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) to salinity and alkalinity stress during germination stage. *Agronomy*, 9(6), 287.

Valdez-Aguilar, L. A., & Reed, D. W. (2006). Comparison of growth and alkalinity-induced responses in two cultivars of hibiscus (*Hibiscus rosa-sinensis* L.). HortScience, *41*(7), 1704-1708.

Valdez-Aguilar, L. A., & Reed, D. W. (2007). Response of selected greenhouse ornamental plants to alkalinity in irrigation water. *Journal of Plant Nutrition*, *30*(3), 441-452.

Wallace, G. A., & Wallace, A. (1986). Correction of iron deficiency in trees by injection with ferric ammonium citrate solution. *Journal of Plant Nutrition*, *9*(3-7), 981-986.

Yang, C. W., Wang, P., Li, C. Y., Shi, D. C., & Wang, D. L. (2008). Comparison of effects of salt and alkali stresses on the growth and photosynthesis of wheat. *Photosynthetica*, *46*, 107-114.

Yang, J. Y., Zheng, W., Tian, Y., Wu, Y., & Zhou, D. W. (2011). Effects of various mixed salt-alkaline stresses on growth, photosynthesis, and photosynthetic pigment concentrations of Medicago ruthenica seedlings. *Photosynthetica*, *49*, 275-284.

Zhang, X., Zhang, D., Sun, W., & Wang, T. (2019). The adaptive mechanism of plants to iron deficiency via iron uptake, transport, and homeostasis. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(10), 2424.

Zuo, Y., Ren, L., Zhang, F., & Jiang, R. F. (2007). Bicarbonate concentration as affected by soil water content controls iron nutrition of peanut plants in a calcareous soil. *Plant Physiology and Biochemistry*, *45*(5), 357-364.

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 25 (2): 211-224 (2024)
Research article

Studying the Growth and Photosynthetic Responses of Three Cultivars of Paper Flower (*Bougainvillea glabra*) to Sodium Bicarbonate and Iron Stresses

Neda Javidan, Somayeh Esmaeili[1]*, Mehrangiz Chehrazi, and Shohreh Zivdar
Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
*Corresponding Author: E-mail: (s.esmaeili@scu.ac.ir)

In a greenhouse experiment, the responses of three varieties of paper flowers to varying levels of sodium bicarbonate and iron chelate were studied. This investigation was structured as a randomized complete block design with four replications. The treatments included three levels of bicarbonate (0, 15, and 30 mM) and three levels of FeEDDHA iron chelate [(3 μM (deficiency), 30 μM (normal), and 60 μM (excess)] and three cultivars of paper flowers ('Barbara Karst', 'Jamaica white', and 'Lady Mary Baring'). The results showed that the fresh and dry weight of shoot and root, relative water content, transpiration rate, and stomatal conductance decreased with increasing alkaline stress. Additionally, the treatment of 30 mM sodium bicarbonate and 60 μM iron chelate increased the amount of ion leakage and water use efficiency compared to lower concentrations. The ion leakage levels in the three flower-paper cultivars rose in response to alkaline stress. The relative leaf water content in the 'Barbara Karst' cultivar decreased by 27.75% with rising alkalinity up to 30 mM. However, in the 'Jamaica white' and 'Lady Mary Baring' cultivars, these reductions were 26.49% and 2.1%, respectively. Notably, under high concentrations of sodium bicarbonate and iron (30 mM and 60 μM), the photosynthesis rates decreased significantly by approximately 45.14%, 49.80%, and 57.32% in the 'Barbara Karst', 'Jamaica white', and 'Lady Mary Baring' cultivars, respectively. Based on the results, it is evident that the 'Barbara Karst' cultivar exhibited superior tolerance to sodium bicarbonate stress compared to the 'Jamaica white' and 'Lady Mary Baring' cultivars.
Keywords: Alkalinity, Cultivar, Iron chelate, Photosynthesis, Paper flower.