

ارزیابی شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و فتوسنتزی دو رقم اسفناج (هیبرید و ایرانی) تحت تنش آب قلیایی

مینا بیارش^۱، محمود رقامی^{۲*}، حمیدرضا روستا^۳ و حمیدرضا کریمی^۳

۱- دانش‌آموخته علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

۳- استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

* نویسنده مسئول: mraghami@vru.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۴)

چکیده

قلیائیت اثرات مخربی بر تولید گیاهان دارد. با توجه به بالا رفتن قلیائیت خاک و آب در بسیاری از زمین‌های کشاورزی ایران، در این آزمایش اثر تنش قلیائیت بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و فتوسنتزی در دو رقم اسفناج برگ‌پهن ورامین و هیبرید ناریتا مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۷ در مزرعه دانشگاه ولیعصر رفسنجان انجام گرفت. فاکتورها شامل تنش قلیائیت در چهار سطح (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم) و رقم در دو سطح بود. نتایج نشان داد که تنش قلیائیت باعث کاهش پارامترهای رشدی (وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، تعداد برگ و سطح برگ) در هر دو رقم شد. اما کاهش وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ تحت تنش ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم در رقم هیبرید بیشتر از رقم ایرانی بود. بی‌کربنات سدیم همچنین باعث کاهش رنگیزه‌ها، کلروفیل کل، شاخص سبزی‌نگی، شاخص PI و شاخص Fv/Fm شد و در سطح ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات کاهش ۳۰ درصدی نرخ فتوسنتز نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد. با افزایش شدت تنش، محتوای آب نسبی برگ کاهش و میزان نشت یونی و پرولین برگ افزایش یافت. در رقم ایرانی تا سطح ۲۰ میلی‌مولار افزایش چندانی در مقدار سدیم برگ مشاهده نشد. در هر دو رقم با افزایش سطوح تنش خصوصیات رشدی و فتوسنتزی گیاهان کاسته شد. رقم برگ‌پهن ورامین از نظر صفات ارزیابی شده در سطوح پایین بی‌کربنات (۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار) تحمل بیشتری نسبت به رقم هیبرید داشت. به‌طور کلی رقم برگ‌پهن ورامین از نظر پارامترهای رشدی، فیزیولوژیکی و فتوسنتزی برای کشت و کار در شرایط قلیایی نسبت به رقم هیبرید مناسب‌تر است.

واژه‌های کلیدی: اسفناج، پرولین، شاخص سطح برگ، قلیائیت، نرخ فتوسنتز.

مقدمه

(al., 2017). سطح زیر کشت و تولید جهانی آن در سال ۲۰۱۸ به ترتیب، ۹۳۹ هزار هکتار و ۲۶/۲۵ میلیون تن بوده است و ایران با بیش از ۶۲۰۰ هزار هکتار سطح زیر کشت و تولید نزدیک به ۱۱۷ هزار

اسفناج با نام علمی *Spinacia oleracea* L. متعلق به خانواده چغندرسانان، گیاهی یک‌ساله و از سبزی‌های برگی مهم فصل سرد است (Yoon et

Lycopersicon annuum L.) و گوجه‌فرنگی (*esculentum* Mill. را در شرایط هیدروپونیک کاهش دهد (Mohsenian & Roosta, 2015; Roosta et al., 2015; Shojaei et al., 2019). در پژوهشی گیاهان گوجه‌فرنگی تیمار شده با بی‌کربنات از مقادیر کمتر وزن خشک، زیست‌توده و رنگیزه‌های فتوسنتزی نسبت به گیاهان شاهد برخوردار بودند (Gong et al., 2013).

گزارش شده است که بی‌کربنات تأثیر کاهنده‌ای بر ویژگی‌های فتوسنتزی و فلورسانس کلروفیل دو گونه از خانواده توت دارد (Wu & Xing, 2012). محققین با بررسی اثر تنش قلیائیت بر برخی ارقام کلم (*Brassica oleracea* L.) دریافتند که غلظت بالای بی‌کربنات سبب بروز نشانه‌های کمبود عناصر روی و آهن در برگ گیاهان و نیز کاهش پارامترهای فتوسنتزی گیاهان تحت تیمار می‌گردد. (Bagheri & Roosta, 2012). در پژوهشی دیگر اعمال تنش شوری همراه با قلیائیت روی یک توده طالبی ایرانی (*Cucumis melo* L.)، شاخص‌های رشدی و رنگدانه‌های فتوسنتزی کاهش اما مقدار پروتئین، قندهای محلول و عناصر سدیم و کلر شاخصاره افزایش یافت (Keshavarzi et al., 2019).

معمولاً بین تحمل یک گیاه به قلیائیت و عملکرد آن همبستگی منفی وجود دارد. در نتیجه وارپته‌های زیادی که هم به قلیائیت متحمل باشند و هم عملکرد اقتصادی داشته باشند، وجود ندارد. اسفناج به همراه گوجه‌فرنگی، فلفل سبز و سیر از جمله گیاهانی هستند که تحت تنش قلیائیت با وجود کاهش عملکرد واکنش بهتری نسبت به سایر سبزی‌ها دارند (Kumar et al., 2016). تنش قلیائیت باروری بسیاری از محصولات کشاورزی به‌ویژه سبزی‌ها که تحمل کمتری دارند را کاهش می‌دهد.

تن، ششمین تولیدکننده جهانی آن بوده است (FAO, 2018).

خاستگاه اولیه اسفناج را ایران می‌دانند. کشت اسفناج در مناطق مختلف جغرافیایی ایران انجام می‌گیرد و تنوع قابل‌توجهی از نظر ویژگی‌های مورفولوژیکی در توده‌های بومی اسفناج ایران وجود دارد (Eftekhari & Heidari, 2014) و به‌دلیل این تنوع ژنتیکی بسیار بالای توده‌های اسفناج بومی ایران پیشنهاد شده است در برنامه‌های به‌نژادی از این توده‌ها استفاده شود (Esfandiyari Bayat et al., 2014).

شوری و قلیائیت خاک اثرات مخربی بر ۹۳۲ میلیون هکتار از زمین‌های جهان داشته و موجب کاهش تولید محصول در ۲۷ میلیون هکتار از زمین‌های کشورمان شده است. تنش قلیائیت شدیدتر از تنش شوری است، تنش شوری به‌عنوان استرس ناشی از نمک‌های خنثی و تنش قلیائیت تنش حاصل از نمک‌های قلیایی تعریف می‌شود. در برخی مناطق قلیایی شدن خاک نتیجه وجود NaHCO_3 و Na_2CO_3 است که ممکن است مشکل جدی‌تری از شوری خاک که ناشی از وجود NaCl و Na_2SO_4 است، ایجاد کند (Zhang & Mu, 2009). گزارش شده است که بالا بودن pH سبب افزایش تخریب ساختار سلول‌های ریشه، اختلال در جذب آب و عناصر غذایی و در نتیجه کاهش عملکرد گیاه می‌گردد (Gao & Campbell, 2014). قلیائیت ناشی از بی‌کربنات، باعث عدم تعادل یونی و سمیت می‌شود با وجود این تنوع ژنتیکی زیادی در رابطه با تحمل به قلیائیت در گیاهان وجود دارد و حتی در وارپته‌های یک گیاه نیز با هم متفاوت است (Kumar et al., 2016). مشخص شده است که بی‌کربنات (تنش قلیائیت) می‌تواند خصوصیات رشدی و فیزیولوژیک سیر (*Allium sativum* L.)، فلفل (*Capsicum*)

بیشتر پژوهش‌ها تاکنون بر شناسایی و به‌نژادی واریته‌های جدید برای شرایط شوری متمرکز بوده است و تحقیقات کمی در محیط‌های قلیایی انجام گرفته است. با توجه به بالا رفتن قلیائیت خاک و آب در بسیاری از زمین‌های کشاورزی ایران در چند دهه اخیر و نیز به‌منظور بررسی واکنش رقم ایرانی با یک رقم هیبرید اسفناج در شرایط قلیائیت بالا، در پژوهش حاضر آزمایشی برای ارزیابی شاخص‌های رشدی، اکوفیزیولوژیکی و فتوسنتزی دو رقم اسفناج تحت تنش قلیائیت و مشخص کردن رقم متحمل‌تر طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ولیعصر رفسنجان در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. فاکتورها شامل تنش قلیائیت در چهار سطح (صفر،

۱۰، ۲۰، ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم) و رقم (هیبرید و ایرانی) بود. بذرهاى دو رقم اسفناج ایرانی (برگ پهن ورامین) و هیبرید F₁ (رقم نارینا-۰۱۲) از شرکت سپاهان رویش تهیه شد. بذرها در گلدان‌های پلاستیکی پنج کیلویی در بستری از خاک استریل شده با اتوکلاو و کود حیوانی کاملاً پوسیده به نسبت ۳:۱ کشت شدند. پس از گذشت یک ماه و در مرحله چهار برگی اعمال تنش‌ها شروع شد. تنش هر دو روز یک‌بار اعمال شد و هر هفته یک‌بار آبیاری با آب مقطر با هدایت الکتریکی خیلی پایین انجام گرفت، پس از گذشت ۶۰ روز از اعمال تیمارها برداشت صورت گرفت و پارامترهای مورد نظر اندازه‌گیری شد. میزان شوری خاک ۱/۰۵ دسی‌زیمنس بر متر و pH خاک ۷/۲۵ بود. ویژگی‌های هواشناسی مکان آزمایش در طی دوره کشت مطابق جدول ۱ بود.

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی شهرستان رفسنجان در طی دوره کشت

ماه	میانگین دمای ماهیانه (درجه سانتی‌گراد)	مجموع بارش ماهیانه (میلی‌متر)	حداکثر دمای ماهیانه (درجه سانتی‌گراد)	حداقل دمای ماهیانه (درجه سانتی‌گراد)
اسفند	۹	۸/۹	۲۰/۵	-۴/۷
فروردین	۱۴/۴	۳۸/۹	۲۵/۷	۵/۱
اردیبهشت	۲۱/۸	۱/۶	۳۴/۳	۴/۲

اندازه‌گیری پارامترهای رویشی

این پارامترها شامل سطح برگ، تعداد برگ، وزن تر اندام هوایی و ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه بود. سطح برگ با دستگاه سنجش سطح برگ مدل CI 202 اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری وزن تر به‌وسیله ترازو صورت گرفت. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌های گیاهی به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس وزن شدند و تعداد برگ نیز در زمان برداشت گیاهان شمارش شد.

اندازه‌گیری پارامترهای فتوسنتزی

این پارامترها شامل کلروفیل فلورسانس (fv/fm)، شاخص کارایی دستگاه فتوسنتز (PI)، رنگیته‌های فتوسنتزی (a و b)، کلروفیل کل، کاروتنوئید، نرخ فتوسنتز (A)، نرخ تعرق (E)، هدایت روزنه‌ای (gs) و شاخص سبزیگی (SPAD) بود. شاخص سبزیگی با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج دستی مدل SPAD-۵۰۲ ساخت کشور ژاپن اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل و شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی از دستگاه کلروفیل

نتایج و بحث

صفات رویشی

بر اساس نتایج با افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم از تعداد برگ گیاهان کاسته شد (جدول ۲). همچنین وزن خشک اندام هوایی و ریشه در هر دو رقم ایرانی و هیبرید با افزایش سطوح بی‌کربنات، کاهش یافت به گونه‌ای که مقدار این دو پارامتر در سطح ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم در رقم ایرانی به ترتیب ۳۲/۴ و ۲۴/۸ درصد و در رقم هیبرید ۳۷/۶ و ۱۶/۱ درصد نسبت به گیاهان شاهد کاهش داشت (جدول ۴). همچنین افزایش تنش قلیائیت سبب کاهش وزن تر اندام هوایی نسبت به شاهد گردید (جدول ۲).

با افزایش شدت تنش، سطح برگ نیز در هر دو رقم کاهش یافت. به طوری که مقدار آن در شرایط ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم در رقم ایرانی و هیبرید به ترتیب حدود ۲۵/۷ و ۲۸/۰ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش یافت. اما به طور کلی سطح برگ رقم ایرانی در مقایسه با سطح برگ رقم هیبرید بیشتر بود (جدول ۴).

گیاهان به غلظت بی‌کربنات بالا در خاک یا محلول غذایی با کاهش عملکرد و رشد اندام هوایی واکنش می‌دهند که به دلیل اثر بازدارندگی HCO_3^- روی مراحل متابولیسم یا اختلال در فعالیت و رشد ریشه و حلالیت مواد غذایی باشد. شرایط قلیائیت و در نتیجه pH بالا ممکن است منجر به کاهش جوانه‌زنی بذر، تخریب ساختار سلول‌های ریشه، تغییر در دسترسی عناصر غذایی و اختلال در جذب آن‌ها و در نتیجه کاهش قابل توجهی در عملکرد گیاهان شود (Stoleru *et al.*, 2019). به طور کلی اغلب اثرات قلیائیت بر رشد گیاه از طریق کاهش در قابلیت حل عناصر است (Shojaee *et al.*, 2019) و اثر تغییرات pH محیط اطراف ریشه بر جذب عناصر غذایی، سبب تغییر در شاخص‌های

فلوریمتر مدل Pochet PEA کمپانی Hansatech ساخت کشور انگلستان استفاده شد. این دستگاه میزان کلروفیل فلورسانس را بر اساس نسبت Fv/Fm ثبت می‌نماید. برای خواندن پارامترهای فتوسنتزی (نرخ تعرق و غیره) از دستگاه فتوسنتز متر IRGA (LCi Ultra Compact,) ADC BioScientific Ltd, Herts, انگلستان استفاده شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل a و b و مجموع کلروفیل از برگ‌های بالغ نمونه‌گیری و با استون عصاره‌گیری شد و میزان جذب نور محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T80 UV/VIS ساخت کشور چین) در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵، ۶۵۲ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد (Porra, 2002).

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیکی

این پارامترها شامل محتوای آب نسبی برگ، نشت الکترولیت، پرولین و قندهای محلول بود. برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ از روش Turner (۱۹۸۱)، اندازه‌گیری نشت الکترولیت برگ با روش (Sairam & Srivastava, 2002)، میزان پرولین برگ با روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) و اندازه‌گیری قندهای محلول با روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) صورت پذیرفت.

عناصر غذایی

عناصر آهن، کلسیم و سدیم در اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری شد. مقدار آهن با دستگاه جذب اتمی و مقدار سدیم با دستگاه شعله‌سنج (Jenway,) PEP7 ساخت آلمان) و مقدار کلسیم نیز با روش Prah و Chapman (۱۹۶۱) اندازه‌گیری شد.

آنالیز داده‌ها

آنالیز آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS var 9.1 و مقایسه میانگین‌های صفات با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

یافت. همچنین افزایش تنش قلیائیت سبب کاهش محتوای کلروفیل b شد. نتایج نشان داد که افزایش تنش عاملی برای کاهش کلروفیل کل نسبت به گیاهان شاهد بود. به طوری که هر چه سطوح تنش قلیائیت بالاتر رفت از محتوای کلروفیل کل کاسته شد (جدول ۳). شاخص سبزینگی با افزایش شدت تنش قلیائیت در هر دو رقم کاهش یافت. به طوری که مقدار آن در رقم اسفناج ایرانی در سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌مولار بیکربنات سدیم به ترتیب ۸/۸۷، ۱۰/۱ و ۱۴/۲ درصد و در برگ رقم هیبرید به ترتیب ۱۲/۱، ۲۸/۸ و ۳۷/۷ درصد کاهش نشان داد (جدول ۵). به طور کلی رقم هیبرید میزان سبزینگی بیشتری از رقم ایرانی داشت. اما تأثیر تنش قلیائیت در کاهش مقدار این شاخص در رقم هیبرید بیشتر بود.

کلروفیل، مولکول آلی کوچکی است که نور را جذب و به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کند. کلروفیل a رنگدانه اصلی در مرکز واکنش بوده اما کلروفیل b به عنوان یک رنگدانه کمکی و نیز تنظیم‌کننده سایر گیرنده‌های نوری عمل می‌کند (Goodsell, 2016). معمولاً نقش کلروفیل a نسبت به کلروفیل b در فتوسنتز گیاهان مهم‌تر است (Mane et al., 2011). کاهش در مقدار کلروفیل در شرایط تنش برای گیاه یک عامل محدود کننده به حساب می‌آید و به نظر می‌رسد که دلیل کاهش در مقدار کلروفیل در شرایط تنش، تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و همچنین اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد (Simkin et al., 2008). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مقدار رنگیزه‌های فتوسنتز برگ ارقام اسفناج در شرایط تنش قلیائیت کاهش یافت. در برخی منابع افزون بر بهبود جذب مواد غذایی از غلظت کلروفیل برگ به عنوان یکی از مکانیسم‌های تحمل تنش قلیائیت نام برده شده است (Cartmill et

فیزیولوژیکی نظیر فتوسنتز و در نهایت آسیب به بافت گیاه می‌گردد (Roosta & Mohsenian, 2015). بر اساس نتایج تحقیق حاضر شاخص‌های رویشی گیاه اسفناج در شرایط تنش قلیائیت کاهش یافت. با توجه به نتایج، کاهش شاخص‌های رشدی گیاه اسفناج در تنش قلیائیت را می‌توان به کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش نرخ تعرق و در نهایت کاهش نرخ فتوسنتزی نسبت داد. در پژوهش حاضر، پارامترهای رویشی رقم هیبرید اسفناج نسبت به رقم ایرانی در شرایط تنش قلیائیت بیشتر کاهش یافت. بر این اساس، به نظر می‌رسد رقم هیبرید از نظر پارامترهای رویشی در شرایط قلیائیت، نسبت به تغییرات pH حساس‌تر از رقم ایرانی است. تفاوت رقم‌ها به شرایط تنش قلیائیت را می‌توان به ماهیت ژنتیکی آن‌ها نسبت داد. به طوری که برخی از ارقام نسبت به شرایطی که در آن رشد می‌کنند سریع‌تر واکنش نشان می‌دهند (Kumar et al., 2016). مشابه با پژوهش حاضر، در تحقیق روی کدوی زوخینی افزایش غلظت بی‌کربنات تا ۱۰ میلی‌مولار به طور معنی‌داری باعث کاهش رشد و نیز عملکرد گیاه شد (Cardarelli et al., 2010). کاهش در شاخص‌های رشدی در سبزی‌های دیگری هم چون کاهو (Anderson et al., 2017)، گل کلم، کلم پیچ، سیر و پیاز (Kumar et al., 2016)، گوجه‌فرنگی (Mohsenian & Roosta, 2015)، فلفل (Roosta et al., 2015) و سیر (Shojaee et al., 2019) تحت تنش قلیائیت گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج جدول ۵ نشان داد که مقدار کلروفیل a برگ رقم ایرانی در سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم به ترتیب حدود ۱۱/۷، ۱۹/۸ و ۲۱/۸ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش

برهمکنش این دو قرار گرفت (جدول ۵). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها افزایش سطوح تنش قلیائیت در هر دو رقم سبب کاهش شاخص PI در اسفناج شد و تیمار شاهد در رقم هیبرید شاخص PI بالاتری نسبت به سایر تیمارها داشت. مقدار نرخ فتوسنتز نیز با افزایش تنش قلیائیت کاسته شد. به طوری که غلظت ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم سبب کاهش ۳۰ درصدی نرخ فتوسنتز نسبت به گیاهان شاهد شد. میزان تبادل گازی گیاهان تیمار شده با سطوح متفاوت بی‌کربنات سدیم کاهش قابل توجهی نسبت به گیاهان شاهد یافت. از طرفی افزایش سطوح تنش قلیائیت سبب کاهش شاخص Fv/Fm نسبت به گیاهان شاهد شد (جدول ۳).

(*al.*, 2007). در بررسی اثر تنش قلیائیت بر کدو نیز شاخص سبزی‌نگی با افزایش غلظت بی‌کربنات به مقدار زیادی کاهش یافت (*Cardarelli et al.*, 2010). کاهش در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط قلیائیت همچنان روی گیاهان برنج (*Wang et al.*, 2013)، آفتابگردان (*Liu & Shi*, 2010)، کلم (*Bagheri & Roosta*, 2012)، فلفل (*Roosta et al.*, 2015)، سویا (*Moteszarezaei et al.*, 2017) و سیر (*Shojaei et al.*, 2019) گزارش شده است.

شاخص‌های فتوسنتزی

نتایج نشان داد که شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) تحت تأثیر رقم، تنش قلیائیت و

جدول ۲- اثر بی‌کربنات سدیم بر پارامترهای رشدی و فتوسنتزی اسفناج در شرایط مزرعه

وزن تر ریشه (گرم)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	تعداد برگ	بی‌کربنات سدیم (میلی‌مولار)
۱۵/۲۷ ^a	۲۵/۰ ^a	۲۳/۱ ^a	شاهد
۱۴/۵۷ ^{ab}	۲۱/۸ ^b	۱۹/۱ ^b	۱۰
۱۲/۸۸ ^b	۱۹/۶ ^c	۱۵/۸ ^c	۲۰
۱۰/۲۴ ^c	۱۶/۰ ^d	۱۳/۲ ^d	۳۰

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۳- اثر بی‌کربنات سدیم بر پارامترهای فتوسنتزی اسفناج در شرایط مزرعه

نرخ فتوسنتز	هدایت روزنه‌ای	نسبت Fv/Fm	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	بیکربنات سدیم (میلی‌مولار)
(میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مترمربع بر ثانیه)	(میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مترمربع بر ثانیه)				
۶/۹۲ ^a	۰/۲۲۶ ^a	۰/۷۶ ^a	۱/۸۱ ^a	۰/۴۶۲ ^a	شاهد
۶/۱۸ ^b	۰/۲۰۱ ^b	۰/۷۵ ^b	۱/۷۲ ^b	۰/۴۴۵ ^{ab}	۱۰
۵/۴۸ ^c	۰/۱۷۵ ^c	۰/۷۲ ^c	۱/۵۹ ^c	۰/۴۳۶ ^{ab}	۲۰
۴/۸۴ ^d	۰/۱۵۵ ^d	۰/۷۱ ^d	۱/۵۴ ^c	۰/۴۳ ^b	۳۰

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴- اثر بی‌کربنات سدیم بر پارامترهای رشدی ارقام اسفناج در شرایط مزرعه

رقم	بی‌کربنات سدیم (میلی‌مولار)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گیاه)	وزن خشک ریشه (گرم در گیاه)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)
ایرانی	شاهد	۷/۳۹ ^a	۶/۴۷ ^a	۱۶۰/۷ ^a
	۱۰	۶/۷۳ ^b	۵/۳۰ ^{de}	۱۳۸/۹ ^b
	۲۰	۵/۸۰ ^c	۵/۰۲ ^{ef}	۱۳۰/۵ ^c
	۳۰	۵/۰۰ ^d	۴/۸۷ ^f	۱۱۹/۴ ^d
هیبرید	شاهد	۷/۹۳ ^a	۶/۷۱ ^a	۵۱/۳ ^e
	۱۰	۵/۵۲ ^{cd}	۶/۰۶ ^b	۴۵/۴ ^{ef}
	۲۰	۵/۷۱ ^{cd}	۵/۹۵ ^{bc}	۴۳/۱ ^{fg}
	۳۰	۵/۰۰ ^d	۵/۶۲ ^f	۳۶/۷ ^g

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۵- اثر بی‌کربنات سدیم بر پارامترهای فتوسنتزی ارقام اسفناج در شرایط مزرعه

رقم	بی‌کربنات سدیم (میلی‌مولار)	شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی	نرخ تعرق (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)	شاخص سبزی‌نگی	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
ایرانی	شاهد	۳/۱۹ ^c	۹/۵۱ ^a	۴۴/۹ ^a	۱/۳۲ ^{ab}
	۱۰	۳/۰۸ ^c	۸/۶۷ ^b	۴۱/۳ ^b	۱/۱۶ ^d
	۲۰	۲/۹۲ ^d	۸/۳۵ ^{bc}	۴۰/۳ ^{bc}	۱/۰۵ ^e
	۳۰	۲/۷۵ ^e	۷/۲۰ ^b	۳۹/۵ ^c	۱/۰۳ ^e
هیبرید	شاهد	۳/۷۲ ^a	۹/۴۱ ^a	۵۹/۱ ^a	۱/۳۸ ^a
	۱۰	۳/۴۹ ^b	۸/۵۱ ^b	۵۲/۳ ^{ab}	۱/۳۹ ^a
	۲۰	۳/۱۷ ^c	۷/۹۰ ^c	۴۴/۳ ^{bc}	۱/۲۶ ^{bc}
	۳۰	۳/۰۷ ^{cd}	۷/۳۵ ^d	۴۱/۱ ^c	۱/۱۹ ^{cd}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

دی‌اکسید کربن می‌تواند فتوسنتز را به کمتر از نقطه جبرانی کاهش دهد (Javadipour et al., 2013). pH بالای ناشی از تنش قلیائیت سبب تخریب کلروپلاست و کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاهان می‌شود. میزان فتوسنتز کمتر، ناشی از تخریب سنتز کلروفیل به دلیل انتقال کم آهن یا قابلیت حل‌پذیری کمتر آهن در خاک یا محلول غذایی بستر کشت است (Roosta et al., 2017).

فتوسنتز تعیین‌کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است. کاهش رشد گیاهان به‌واسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. کاهش فتوسنتز را می‌توان به نقصان هدایت روزنه‌ای نسبت داد که در شرایط تنش کاهش می‌یابد. هر چند بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش به‌منظور کاهش هدر رفت آب به‌صورت

داد که تنش قلیائیت سبب کاهش نرخ فتوسنتز، کاهش تبادلات گازی، کاهش تعرق و کاهش شاخص حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو گردید. کاهش در شاخص‌های فتوسنتزی را می‌توان به بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش و یا محدودیت‌های غیرروزنه‌ای نسبت داد. از عوامل غیرروزنه‌ای مؤثر بر فتوسنتز می‌توان پتانسیل آب برگ، ترکیبات بیوشیمیایی محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و تجمع یون‌های سمی در مایع درون سلولی را نام برد (Gong *et al.*, 2013) با توجه به نتایج تحقیق حاضر بسته شدن روزنه‌ها و کاهش نرخ تعرق در شرایط تنش قلیائیت را می‌توان به کاهش مقدار آب برگ نسبت داد که در نتیجه انتقال آب به سمت روزنه کاهش یافته و در نهایت سلول‌های نگهبان روزنه بسته می‌شوند. با بسته شدن روزنه‌ها نرخ تعرق، تبادلات گازی و مقدار دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد (Deng *et al.*, 2010). بسته شدن روزنه‌ها و کاهش نرخ تعرق سبب افزایش دمای برگ می‌شود که این افزایش دما سبب آسیب به دستگاه فتوسنتزی و کاهش شاخص‌هایی نظیر فلورسانس کلروفیل می‌گردد. نتایج پژوهش حاضر همچنین نشان داد که نسبت Fv/Fm در هر دو رقم اسفناج در شرایط تنش کاهش یافت. کاهش در فلورسانس کلروفیل به کاهش محتوای نسبی کلروفیل نسبت داده می‌شود. از طرف دیگر به دلیل کاهش محتوای نسبی آب برگ، تجمع رادیکال‌های آزاد در سلول زیاد می‌شود که همه این عوامل در نهایت منجر به کاهش شاخص‌های مربوط به فلورسانس کلروفیل می‌گردد (Roosta *et al.*, 2017). طی بررسی روی دو گونه توت (*Morus alba* L.) در شرایط تنش قلیائیت نشان داده شد که نرخ تنفس، هدایت روزنه‌ای و سرعت جذب دی‌اکسید کربن کاهش یافت که در پایان بر کاهش نرخ فتوسنتز تأثیرگذار شد

یکی از آسیب‌های ناشی از تنش قلیایی اثر آن بر رنگیزه‌های فتوسنتزی است به طوری که ممکن است بر سیتوپلاسم تأثیر بگذارد و سبب شکسته شدن ساختار و عملکرد کلروپلاست شده و سنتز کلروفیل را کاهش دهد. کاهش غلظت کلروفیل، قدرت رشد و مقاومت به تنش را در گیاه کاهش می‌دهد (Yang *et al.*, 2011). نسبت Fv/Fm نشان‌دهنده حداکثر کارایی کوانتوم فتوسیستم دو است و شاخص حساسی برای عملکرد فتوسنتزی گیاه به‌شمار می‌آید (Khan *et al.*, 2010). کاهش عملکرد کوانتومی می‌تواند توسط پارامتر فلورسانس متغیر به حداکثر (Fv/Fm) مورد ارزیابی قرار گیرد. نسبت Fv/Fm شاخصی برای تأثیر تنش‌ها بر گیاهان عنوان شده و مقدار این شاخص نشان‌دهنده فلورسانس کلروفیل برگ است. وجود هر گونه آشفتگی در تولید پروتئین‌ها و یا تغییر رنگدانه‌های فتوسیستم دو، منجر به کاهش نسبت Fv/Fm در شرایط تنش می‌شود (Javadipour *et al.*, 2013). گزارش‌های محدودی درباره اثر تنش قلیائیت بر فتوسنتز و فلورسانس کلروفیل وجود دارد با این وجود، کاهش نرخ فتوسنتز و به تأخیر انداختن رشد گیاه بر اثر تنش قلیائیت در برخی پژوهش‌ها گزارش شده است (Yang *et al.*, 2010; Cardarelli *et al.*, 2009). همچنین Deng و همکاران (۲۰۱۰) مشابه با نتایج پژوهش حاضر بیان کردند که شاخص کارایی فتوسنتزی به تدریج با افزایش تنش شوری- قلیائیت کاهش می‌یابد، به طوری که در تنش شوری- قلیائیت شدید، میزان شاخص کارایی فتوسنتزی در مقایسه با شاهد کاهش فراوان داشت.

واکنش‌های فتوسنتزی و یا فرآیند فتوسنتز تحت تأثیر عوامل محیطی و درونی گیاه قرار می‌گیرد و شرایط تنش به شدت فرآیند فتوسنتز را تحت تأثیر قرار می‌دهند. نتایج تحقیق حاضر نشان

(Ahmad & Sharma, 2010) که با نتایج تحقیق حاضر مبنی بر تأثیر تنش قلیائیت بر کاهش مقدار کلروفیل و نرخ فتوسنتز مطابقت دارد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پاسخ هر دو رقم به شرایط تنش از نظر کاهش نرخ شاخص‌های فتوسنتزی تقریباً یکسان بود که نشانگر حساسیت هر دو رقم به غلظت بالای سدیم است، اما مقدار این شاخص‌ها به‌طور کلی در رقم ایرانی بیشتر از رقم هیبرید بود و در شرایط قلیائیت رقم ایرانی از لحاظ کاهش شاخص‌های فتوسنتزی تغییرات کمتری در مقایسه با رقم هیبرید از خود نشان داد، هر چند با افزایش سطح تنش به ۳۰ میلی‌مولار پاسخ هر دو رقم به تنش قلیائیت از لحاظ کاهش نرخ فتوسنتز یکسان بود. به‌نظر می‌رسد رقم ایرانی از لحاظ شاخص‌های فتوسنتزی به غلظت‌های پایین بی‌کربنات نسبت به رقم هیبرید متحمل‌تر باشد.

شاخص‌های فیزیولوژیکی

محتوای آب نسبی برگ در رقم هیبرید در مقایسه

با رقم ایرانی بیشتر بود و مقدار آن با افزایش شدت تنش کاهش یافت؛ به‌طوری‌که کاربرد سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم به‌ترتیب سبب کاهش ۹/۱۴، ۱۱/۹ و ۱۳/۸ درصدی در مقایسه با گیاهان شاهد شد. مقدار نشت یونی رقم هیبرید در مقایسه با رقم ایرانی بیشتر بود و با افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم افزایش یافت به‌طوری‌که کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌مولار آن به‌ترتیب سبب افزایش ۱۰/۱، ۱۴/۵ و ۲۰/۴ درصدی در مقایسه با گیاهان شاهد شد (جدول ۶). محتوای پرولین برگ نیز با افزایش شدت تنش در برگ اسفناج افزایش یافت و مقدار آن در رقم هیبرید در سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم به‌ترتیب ۲۵/۵، ۴۲/۶ و ۶۲/۱ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد بیشتر بود در حالی‌که مقدار آن در رقم ایرانی در مقایسه با گیاهان شاهد به‌ترتیب ۱۵/۸، ۲۶/۳ و ۶۴/۱ درصد افزایش یافت (جدول ۶).

جدول ۶- اثر بی‌کربنات سدیم بر شاخص‌های فیزیولوژیکی برگ اسفناج در شرایط مزرعه

بی‌کربنات سدیم (میلی‌مولار)	محتوای آب نسبی برگ (%)	پرولین (میلی‌مول بر گرم وزن تر)	نشت یونی (%)
شاهد	۸۴/۱ ^a	۷۵/۲ ^d	۳۳/۶ ^d
۱۰	۷۶/۴ ^b	۹۰/۷ ^c	۳۷/۲۵ ^c
۲۰	۷۴/۱ ^c	۱۰۱/۱ ^b	۴۰/۳۰ ^b
۳۰	۷۲/۵ ^c	۱۲۲/۷ ^a	۴۳/۰ ^a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

در شرایط تنش، گیاهان برای تداوم رشد باید پتانسیل آب درونی را پایین‌تر از خاک نگه داشته و جذب آب و آماس خود را حفظ کنند. کاهش در محتوای آب نسبی برگ، آسیب به آماس را نشان می‌دهد که در نهایت منجر به محدود شدن قابلیت استفاده آب برای فرآیندهای توسعه سلولی می‌شود. در واقع محتوای آبی برگ‌ها به‌عنوان فاکتوری برای

تعیین سطح آب گیاه شناخته شده است که می‌تواند فعالیت‌های متابولیکی درون بافت گیاه را نشان می‌دهد (Yoon et al., 2017). نتایج این تحقیق نشان داد که محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش قلیائیت در هر دو رقم اسفناج کاهش یافت. کاهش در محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش را می‌توان به کاهش رشد ریشه و کاهش

برای حفظ تعادل پتانسیل آب، درون سیتوپلاسم تجمع می‌یابند. پرولین یکی از مهم‌ترین محلول‌های سازگار بوده و در تعدیل پتانسیل اسمزی بسیار مؤثر است، به‌علاوه پرولین نقش اسمولیتی به‌عنوان مخزن کربن و نیتروژن دارد (Farkhondeh *et al.*, 2012). Kumar و همکاران (۲۰۱۸) طی بررسی روی دو گونه گیاهی در دو شرایط شور و قلیایی نشان دادند که مقدار پرولین با افزایش شدت تنش افزایش یافت و گونه‌ای که مقدار پرولین بیشتری در شرایط تنش داشت از محتوای آب نسبی بیشتر و شاخص‌های رشدی بهتری نیز برخوردار بود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

عناصر غذایی

محتوای سدیم ریشه و اندام هوایی با افزایش شدت تنش در بافت برگ افزایش یافت به‌طوری که مقدار سدیم اندام هوایی اسفناج هیبرید در سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم در مقایسه با گیاهان شاهد به ترتیب ۲۵/۵، ۴۲/۶ و ۶۲/۱ درصد و در اسفناج ایرانی ۱۵/۸، ۲۶/۳ و ۶۴/۱ درصد افزایش یافت (جدول ۷). بنابراین در رقم ایرانی تا سطح ۲۰ میلی‌مولار افزایش زیادی در مقدار سدیم برگ مشاهده نشد. بر اساس مقایسه میانگین‌ها با افزایش سطوح بی‌کربنات سدیم مقدار کلر ریشه و اندام هوایی در هر دو رقم کاهش یافت. با افزایش شدت تنش، مقدار آهن ریشه و اندام هوایی نیز کاهش یافت به‌طوری که کاربرد ۳۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم سبب کاهش ۱۹/۱ درصدی مقدار آهن ریشه و ۲۰/۹ درصدی در اندام هوایی در مقایسه با گیاهان شاهد شد (جدول ۷).

تنش قلیائیت موجب بروز نارسایی‌های تغذیه‌ای در گیاه می‌شود و در نتیجه شرایط نامساعدی برای رشد و نمو گیاه ایجاد می‌گردد؛ این نارسایی‌ها ممکن است به‌دلیل اثرات منفی pH بالا در اثر

جذب آب نسبت داد. کاهش در محتوای نسبی آب برگ نشانگر یک کاهش فشار تورژانس می‌باشد که سبب کاهش آب مورد نیاز برای فرآیندهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی از قبیل طویل شدن سلولی، باز شدن روزنه‌ها و فرآیندهای وابسته به فتوسنتز است (Gao & Campbell, 2014). کاهش محتوای آب نسبی برگ می‌تواند به‌دلیل تغییرات pH باشد که تأثیر معنی‌داری بر فعالیت ریشه و جذب آب دارد (Yang *et al.*, 2008). در یک پژوهش که روی گیاهان پیوندی گوجه‌فرنگی روی تاتوره صورت گرفت، گیاهانی که در شرایط تنش قلیائیت از رشد ریشه بیشتری برخوردار بودند محتوای آب نسبی برگ بیشتری نیز داشتند (Mohsenian & Roosta, 2015). در تحقیق حاضر کاهش در محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش در هر دو رقم اسفناج کاهش یافت اما رقم هیبرید حساسیت بیشتری نشان داد.

یکی از سازوکارهای گیاهان برای مقابله با شرایط تنش، تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی پرولین و قندهای محلول است که پتانسیل اسمزی برگ یا بافت گیاه را کاهش می‌دهد و در نتیجه اختلاف شیب پتانسیل آب بین محیط ریشه و بافت ریشه بیشتر می‌شود و این حالت سبب جریان آب از ریشه به سمت بافت گیاه می‌گردد (Yang *et al.*, 2009). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مقدار پرولین برگ در شرایط تنش قلیائیت در هر دو رقم افزایش یافت ولی تغییراتی در مقدار کربوهیدرات‌های محلول مشاهده نشد. تجمع پرولین یک پاسخ فیزیولوژیکی به شرایط تنش بوده و از دو جنبه قابل بررسی است: نخست این که در شرایط تنش Na^+ در مقادیر بالا در سیتوسول جمع شده و ایجاد سمیت می‌کند و باید به واکوئل‌ها منتقل شود. بنابراین مواد آلی با وزن مولکولی کم، که با عنوان محلول‌های سازگار نامیده می‌شوند،

منیزیم، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و نیتروژن تحت تأثیر بی‌کربنات کاهش یافت (Cardarelli *et al.*, 2010). Tyson *et al.* (۲۰۰۴) گزارش دادند که افزایش pH قابلیت دسترسی کلسیم، روی، منگنز و آهن را در خیار (*Cucumis sativus* L.) کاهش می‌دهد. بنابراین، کاهش غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی و ریشه گیاه تحت تأثیر بی‌کربنات سدیم می‌تواند بخشی از دلیل کاهش رشد گیاه در این شرایط باشد. تنش قلیائیت تأثیری بر میزان آهن در ریشه گیاهان تاج‌ریزی، تنباکو و گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای به‌عنوان پایه برای گوجه‌فرنگی نداشت ولی باعث کاهش قابل‌توجهی در میزان آهن ریشه گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای شد (Mohsenian *et al.*, 2012). در پژوهش حاضر ریشه‌ها غلظت بالایی از عناصری چون آهن نسبت به اندام هوایی داشتند که شاید به علت تجمع این عناصر در آپوپلاست ریشه بر اثر افزایش pH به‌دلیل رسوب عناصر باشد.

افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم بر قابلیت جذب و انتقال عناصر غذایی در بخش‌های مختلف گیاه باشد و یا مربوط به وجود یون سدیم در رقابت با جذب عناصر در گیاه باشد (Huang *et al.*, 2007). یافته‌های پژوهش حاضر نشان‌دهنده کاهش عناصر آهن و کلر و افزایش سدیم در زمان تنش قلیائیت بود. در محلول غذایی با pH بالا فراهمی منگنز، روی، مس و به‌ویژه آهن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و تنش قلیائیت جذب یون‌های Cl^- ، HPO_4^- و NO_3^- را محدود کرده و بر جذب انتخابی K^+ و Na^+ اثر گذاشته و توازن یونی را به هم می‌زند (Yang *et al.*, 2009). در آزمایشی تأثیر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات آب آبیاری در بروز اختلالات تغذیه‌ای بررسی شد و مهم‌ترین عارضه ناشی از غلظت بالای بی‌کربنات، کلروز آهن گزارش شد (Shahabi *et al.*, 2005). در بررسی اثر قلیائیت بر هندوانه (*Citrullus lanatus*)، نتایج نشان داد که غلظت عناصر آهن، روی، مس،

جدول ۷- اثر بی‌کربنات سدیم بر عناصر سدیم، کلر و آهن ریشه و اندام هوایی ارقام اسفناج در شرایط

مزرعه

آهن		کلر		سدیم		بی‌کربنات
(میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)		(میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)		(/.)		سدیم
اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	(میلی‌مولار)
۱۱۱/۵ ^a	۱۲۹/۰ ^a	۱/۵۱ ^a	۱/۱۷ ^a	۰/۹۰ ^d	۰/۷۱ ^d	شاهد
۱۰۴/۵ ^b	۱۲۵/۳ ^a	۱/۳۵ ^b	۱/۰۸ ^b	۱/۰۲ ^c	۰/۷۶ ^c	۱۰
۹۷/۱۶ ^c	۱۱۳/۰ ^b	۱/۲۸ ^c	۱/۲۰ ^c	۱/۱۲ ^b	۰/۸۵ ^b	۲۰
۸۸/۱۶ ^d	۱۰۴/۳ ^c	۱/۲۱ ^d	۱/۰۷ ^d	۱/۲۶ ^a	۰/۹۴ ^a	۳۰

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

به‌طور کلی رقم هیبرید از لحاظ شاخص‌های رشدی بیشتر از رقم ایرانی تحت تأثیر تنش قلیائیت قرار گرفت. افزایش سطوح تنش قلیائیت عاملی برای کاهش میزان کلروفیل کل نسبت به گیاهان شاهد بود. به‌طوری‌که هر چه سطوح تنش قلیائیت بالاتر

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که ویژگی‌های رویشی نظیر سطح برگ، تعداد برگ، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی دو رقم اسفناج در شرایط قلیائیت کاهش یافت و

شاخص‌های فتوسنتزی به غلظت‌های پایین بی‌کربنات نسبت به رقم هیبرید متحمل‌تر باشد. طبق نتایج با افزایش شدت تنش، محتوای آب نسبی برگ کاهش و میزان نشت یونی و پرولین برگ افزایش یافت. به‌طور کلی با توجه به نتایج تحقیق حاضر به‌نظر می‌رسد رقم برگ‌پهن ورامین از نظر پارامترهای رشدی، فیزیولوژیکی و فتوسنتزی برای کشت و کار در شرایط قلیایی نسبت به رقم هیبرید نارینا مناسب‌تر است.

رفت از محتوای کلروفیل کل کاسته شد. شاخص سبزی‌نگی نیز با افزایش شدت تنش قلیائیت در هر دو رقم کاهش یافت. به‌طور کلی رقم هیبرید میزان سبزی‌نگی بیشتری از رقم ایرانی داشت، اما تأثیر تنش قلیائیت در کاهش مقدار این شاخص در رقم هیبرید بیشتر بود. پارامترهای فتوسنتزی نظیر نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، نرخ تعرق و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل نیز در شرایط تنش قلیائیت کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد رقم ایرانی از نظر

References

- Ahmad, P. & Sharma, S. (2010). Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under NaHCO_3 stress. *International Journal of Plant Production*, 4(2), 79-86.
- Anderson, T. S., Martini, M. R., De Villiers, D. & Timmons, M. B. (2017). Growth and tissue elemental composition response of Butterhead lettuce (*Lactuca sativa*, cv. Flandria) to hydroponic conditions at different pH and alkalinity. *Horticulturae*, 3(3), 41-53.
- Bagheri, V. & Roosta, H. R. (2012). Investigating the effect of different concentrations of sodium bicarbonate (alkalinity stress) on some varieties of cool crops in hydroponic system. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 5(1), 67-80. (In Farsi)
- Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- Cardarelli, M., Roupheal, Y., Rea, E. & Colla, G. (2010). Mitigation of alkaline stress by arbuscular mycorrhiza in zucchini plants grown under mineral and organic fertilization. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(5), 778-787.
- Cartmill, A. D., Alarcon, A. & Valdez-Aguilar, L. A. (2007). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance tolerance of *Rosa multiflora* cv. Burr to bicarbonate in irrigation water. *Journal of Plant Nutrition*, 30(9), 1517-1540.
- Chapman, H. D. (1961). *Methods of analysis for soils, plants, and waters*. University of California. Agrculture Science, Berkeley.
- Deng, C. N., Zhang, G. X., Pan, X. L. & Zhao, K. Y. (2010). Chlorophyll fluorescence and gas exchange responses of maize seedlings to saline-alkaline stress. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16(1), 49-58.
- Eftekhari, S. & Heidari, M. (2014). Nitrate and nitrite accumulation in Iranian spinach (*Spinacia oleracea* L.) landraces. *Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture)*, 37(2), 89-98. (In Farsi)
- Esfandiari Bayat, S., Eftekhari, S. & Heidari, M. (2014). Effect of nitrogen on nitrate accumulation and nitrate reductase activity in some Iranian landraces of spinach (*Spinacia oleracea*). *Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture)*, 37(1), 107-118. (In Farsi)
- Farkhondeh, R., Nabizadeh, E. & Jalilnezhad, N. (2012). Effect of salinity stress on proline content, membrane stability and water relations in two sugar beet cultivars. *International Journal of AgriScience*, 2(5), 385-392.

- Food and Agriculture organization. (2018). *FAOSTAT agricultural data base*. Retrieved April 30, 2020, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP/visualize>.
- Gao, K. & Campbell, D. A. (2014). Photophysiological responses of marine diatoms to elevated CO₂ and decreased pH: a review. *Functional Plant Biology*, 41(5), 449-459.
- Gong, B., Wen, D., VandenLangenberg, K., Wei, M., Yang, F., Shi, Q. & Wang, X. (2013). Comparative effects of NaCl and NaHCO₃ stress on photosynthetic parameters, nutrient metabolism, and the antioxidant system in tomato leaves. *Scientia Horticulturae*, 157, 1-12.
- Goodsell, D. S. (2016). *Green Energy in Atomic Evidence*. Springer. International Publishing.
- Huang, J., Fisher, P. R. & Argo, W. R. (2007). Container substrate-pH response to differing limestone type and particle size. *HortScience*, 42(5), 1268-1273.
- Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. & Diaz-Sanchie, M. (1992). Water stress induced changing concentrations of Prolin and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84, 67-72.
- Javadipour, Z., Movahhedi, D. M. & Balouchi, H. R. (2013). Evaluation of photosynthesis parameters, chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under saline condition. *Journal of Crop Production*, 6(2), 35-56. (In Farsi)
- Keshavarzi, M., Raghani, M. & Roosta, H. R. (2019). Grafting effects on some morpho-physiological characteristics of a cantaloupe landrace (Shahpasand) under salinity and alkalinity stress in hydroponic system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 9(4), 41-52. (In Farsi)
- Khan, M. N., Siddiqui, M. H., Mohammad, F., Naeem, M., & Khan, M. M. A. (2010). Calcium chloride and gibberellic acid protect linseed (*Linum usitatissimum* L.) from NaCl stress by inducing antioxidative defence system and osmoprotectant accumulation. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32(1), 121-129.
- Kumar, S., Phogat, V., Sharma, S. K., Satyavan, S., Meena, R. L. & Gupta, S. K. (2016). Tolerance of Vegetables to Salinity and Alkalinity-A Review. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*, 8(1), 1-13.
- Kumar, A., Kumar, A., Lata, C., Kumar, S., Mangalassery, S., Singh, J. P., Mishra, A. K. & Dayal, D. (2018). Effect of salinity and alkalinity on response of halophytic grasses *Sporobolus marginatus* and *Urochondra setulosa*. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 88(8), 105-115.
- Liu, J. & Shi, D. C. (2010). Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, inorganic ion and organic acid accumulations of sunflower in responses to salt and salt-alkaline mixed stress. *Photosynthetica*, 48(1), 127-134.
- Mane, A. V., Deshpande, T. V., Wagh, V. B., Karadge, B. & Samant, J. S. (2011). A critical review on physiological changes associated with reference to salinity. *International Journal of Environmental Sciences*, 1(6), 1192-1216.
- Mohsenian, Y., Roosta, H. R., Karimi, H. R. & Esmaeilizade, M. (2012). Investigation of the ameliorating effects of eggplant, datura, orange nightshade, local Iranian tobacco, and field tomato as rootstocks on alkali stress in tomato plants. *Photosynthetica*, 50(3), 411-421.
- Mohsenian, Y. & Roosta, H. R. (2015). Effects of grafting on alkali stress in tomato plants: datura rootstock improve alkalinity tolerance of tomato plants. *Journal of Plant Nutrition*, 38(1), 51-72.

- Motesharezadeh, B., Hesam-Arefi, A. & Savaghebi, G. R. (2017). The effect of bicarbonate on iron (Fe) and zinc (Zn) uptakes by soybean varieties. *Desert*, 22(2), 145-155.
- Porra, R. J. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*, 73(1), 149-156.
- Roosta, H. R. & Mohsenian, Y. (2015). Alleviation of alkalinity-induced Fe deficiency in eggplant (*Solanum melongena* L.) by foliar application of different Fe sources in recirculating system. *Journal of Plant Nutrition*, 38(11), 1768-1786.
- Roosta, H. R., Pourebrahimi, M. & Hamidpour, M. (2015). Effects of bicarbonate and different Fe sources on vegetative growth and physiological characteristics of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plants in hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition*, 38(3), 397-416.
- Roosta, H. R., Nejad, D. R., Raghimi, M. & Esmaeilzadeh, 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. (In Farsi)
- Sairam, R. K. & Srivastava, G. C. (2002). Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. *Plant Science*, 162(6), 897-904.
- 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.
- 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 Plant Nutrition*, 3, 33-50. (In Farsi)
- Simkin, A. J., Moreau, H., Kuntz, M., Pagny, G., Lin, C., Tanksley, S. & McCarthy, J. (2008). An investigation of carotenoid biosynthesis in *Coffea canephora* and *Coffea arabica*. *Journal of Plant Physiology*, 165(10), 1087-1106.
- 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), 287-301.
- Turner, N. C. (1981). Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58, 339-366.
- Tyson, R. V., Simonne, E. H., White, J. M. & Lamb, E. M. (2004). Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels. In *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 117, 79-83.
- Wang, X., Wang, J., Liu, H., Zou, D. & Zhao, H. (2013). Influence of natural saline-alkali stress on chlorophyll content and chloroplast ultrastructure of two contrasting rice (*Oryza sativa* L. japonica) cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 7(2), 289-300.
- Wu, Y. Y. & Xing, D. K. (2012). Effect of bicarbonate treatment on photosynthetic assimilation of inorganic carbon in two plant species of Moraceae. *Photosynthetica*, 50(4), 587-594.

- Yang, C. W., Jianaer, A., Li, C. Y., Shi, D. C. & Wang, D. L. (2008). Comparison of the effects of salt-stress and alkali-stress on photosynthesis and energy storage of an alkali-resistant halophyte *Chloris virgata*. *Photosynthetica*, 46(2), 273-278.
- Yang, C. W., Xu, H. H., Wang, L. L., Liu, J., Shi, D. C. & Wang, D. L. (2009). Comparative effects of salt-stress and alkali-stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plants. *Photosynthetica*, 47(1), 79-86.
- 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(2), 275-284.
- Yoon, Y. E., Kuppusamy, S., Cho, K. M., Kim, P. J., Kwack, Y. B. & Lee, Y. B. (2017). Influence of cold stress on contents of soluble sugars, vitamin C and free amino acids including gamma-aminobutyric acid (GABA) in spinach (*Spinacia oleracea*). *Food Chemistry*, 215, 185-192.
- Zhang, J. T. & Mu, C. S. (2009). Effects of saline and alkaline stresses on the germination, growth, photosynthesis, ionic balance and anti-oxidant system in an alkali-tolerant leguminous forage *Lathyrus quinquenervius*. *Soil Science and Plant Nutrition*, 55(5), 685-697.