



"مقاله پژوهشی"

واکنش برخی صفات فیزیولوژیکی ارقام ذرت به تنفس شوری

اعظم شکیب آیلار^۱, سلیم فرزانه^۱, سجاد محرم نژاد^۲, رئوف سید شریفی^۱ و محمد حسن زاده^۳

- ۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه حقوق اردبیلی، اردبیل، ایران
 ۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران، (نویسنده مسؤول: sm.chakherlo@yahoo.com)
 ۳- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه حقوق اردبیلی، اردبیل، ایران
 تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۷
 تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۷
 صفحه: ۱۸۰ تا ۱۷۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تنفس شوری یکی از مهمترین تنفس‌های محیطی است که بسیاری از فرآیندهای رشدی، تغذیه‌ای، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها: بهمنظور بررسی پاسخ وزن‌تر گیاهچه، مواد اسمولیتی، غلظت رنگدانه‌های کلروفیل، میزان رطوبت نسبی برگ (RWC) و مقدار سدیم و پتاسیم در ارقام ذرت، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامالاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. فاکتور اول سه سطح شوری شامل صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و فاکتور دوم شش رقم ذرت شامل SC704، TWC647، SC647، TWC647 با SC706 و SC715 بودند.

یافته‌ها: نتایج حاصل نشان داد که با افزایش سطح مختلف شوری وزن‌تر گیاهچه‌ها، RWC و غلظت رنگدانه‌های کلروفیل بهطور معنی‌دار کاهش یافت و با افزایش سطوح مختلف شوری غلظت پروپیون، گلایسین بتائین و مقدار سدیم و پتاسیم افزایش معنی‌داری نشان داد. بین ارقام مختلف ذرت از نظر صفات وزن‌تر گیاهچه‌ها، مواد اسمولیتی، غلظت رنگدانه‌های کلروفیل، RWC و مقدار سدیم و پتاسیم اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. تنفس شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید نسبت به شرایط عادی به ترتیب حدود ۱۰ و ۱۸ درصد سبب کاهش وزن‌تر گیاهچه‌های ذرت شد. نسبت به شرایط عادی همیستگی بین صفات نشان داد که بین وزن‌تر گیاهچه و نسبت سدیم به پتاسیم (Na^+/K^+) ارتباط مثبت و معنی‌دار وجود داشت همچنین بین مواد اسمولیتی، مقدار رنگدانه‌های کلروفیل و غلظت سدیم و پتاسیم ارتباط مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. رقم تری وی کراس ۶۴۷ با بیشترین وزن‌تر، غلظت پتاسیم و مواد اسمولیتی متحمل به تنفس شوری شناسایی شد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج حاصل، ارقام متحمل به تنفس شوری از طریق افزایش میزان مواد اسمولیتی و تنظیم تعادل بین یون‌های سدیم و پتاسیم می‌توانند تنفس شوری القاء شده در گیاه ذرت را تحمل کنند.

واژه‌های کلیدی: پروپیون، تنفس اسمزی، فتوستتر، گلایسین بتائین، وزن‌تر

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.), گیاهی از خانواده غلات با دوره رشد نسبتاً کوتاه و عملکرد مناسب است که در سطح جهانی از نظر میزان سطح کشت پس از گندم در رتبه دوم قرار دارد (۱). بهطور کلی تنفس‌های غیر زیستی حدود ۷۱ درصد از عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهند که در این میان ۴۰٪ افت عملکرد در اثر دمای بالا ۱۵ درصد، دمای پایین ۲۰ درصد، تنفس خشکی ۱۷ درصد و تنفس شوری روی براورده است (۲،۱). یکی از مهمترین تنفس‌های غیرزیستی، تنفس شوری است که اثرهای مخرب روی محصولات کشاورزی دارد و پیش‌بینی شده است که افزایش شوری زمین‌های مزروعی تا سال ۲۰۵۰، باعث می‌شود تا درصد از زمین‌های کشاورزی بدون استفاده شوند (۱).

شوری باعث بروز تغییرات مورفو‌فیزیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان می‌شود (۴). عملدهای اثر تنفس شوری بر گیاهان، جلوگیری از رشد می‌باشد که ممکن است به دلیل کاهش تقسیم سلولی، عدم تعادل یونی، کاهش جذب آب، اختلال در جذب عناصر، اثراخراج یون‌های سمی به‌ویژه سدیم، اختلال در جذب، احیاء و متابولیسم ازت و پروتئین، بسته شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها و کاهش کارابی فتوستتر باشد (۸). بنابراین انتخاب و شناسایی خصوصیات گیاهان متحمل به تنفس شوری برای افزایش تولید گیاهان زراعی در مناطق شور بسیار حائز اهمیت می‌باشد (۱). وجود یون‌های Na^+ و Cl^- بهصورت محلول در خاک شور،

مواد و روش‌ها
بنزور هیبریدهای ذرت تهیه شده از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل ابتدا با محلول سه درصد هیبوکلریت سدیم بهمدت دو دقیقه ضد عفونی و پنج روز پس از جوانه‌زنی، گیاهچه‌ها به پلاستیک‌های خاص حاوی پریلت منتقل شدند. این آزمایش بهصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کامالاً تصادفی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۹ در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی معان اجرا شد. فاکتور اول شش هیبرید ذرت (جدول ۱) و فاکتور دوم سه سطح شوری سدیم کلرید (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بود. بعد از جوانه زدن نمونه‌های گیاهی، تنش شوری بهمدت دو هفته تا مرحله سه برگی گیاهچه‌های ذرت توسط محلول نیم هوگلن، وزن تر گیاهچه‌های هیبرید ذرت با ترازو حساس مورد سنجش قرار گرفت.

میزان سدیم و پتانسیم: بعد از نمونه‌برداری از برگ‌های جوان گیاهچه‌های ذرت برای سنجش میزان سدیم و پتانسیم، نمونه‌ها در داخل پاکت‌های مجزا قرار گرفته و در آون تحت دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بهمدت ۴۸ ساعت قرار داده شد سپس ۱۰۰ میلی‌گرم ماده خشک را در هاون پور کرده و در هشت میلی‌لیتر اسید نیتریک بهمدت یک ساعت و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس آن محلول مورد نظر از کاغذ صافی عبور داده و میزان غلظت سدیم و پتانسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتوتمتر اندازه‌گیری شد (۳).

(محلول‌های سازگار کننده) تجمع می‌یابند از این ترکیبات می‌توان به انواعی از کربوهیدرات‌های محلول و ترکیبات نیتروژن (پرولین و گلایسین بتائین) اشاره کرد (۱۲،۳۰). گلایسین بتائین بهطور عمده در کلروپلاست‌ها جای دارد و نقش‌های حیاتی در ایجاد سازگاری در کلروپلاست، حمایت از غشاء‌های تیلاکوئیدی و در نتیجه حفظ کارایی فتوستتر و یکپارچگی غشاء پلاسمایی ایفا می‌کند (۱۲). پرولین بهویژه بهدلیل ویژگی‌های ساختار یونی دوقطبی و آب دوستی بالای خود بهعنوان یک ترکیب سازگار عمل می‌کند (۱۳). تجمع مواد محلول فعال اسمزی مانند کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه آزاد طی تنش شوری، بهعنوان سازگار موثر در تحمل به شوری تایید شده است (۱۱). سازگاری گونه‌های گیاهی به مقادیر بالای نمک خاک که منجر به منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی محلول خاک می‌شود، با تولید و تجمع این ترکیبات در گیاهان همراه می‌شود (۱). تنش شوری بهطور معنی‌دار سبب کاهش بیوماس، RWC و غلظت رنگدانه‌های کلروفیل در گیاه ذرت شد (۱۲،۸،۱۵). گزارش متعددی مبنی بر افزایش میزان غلظت سدیم در گیاه ذرت تحت تنش شوری شده است (۳،۱۴). افزایش میزان پرولین و گلایسین بتائین در گیاه ذرت یک واکنش در برابر تنش شوری است که سبب کاهش اثرات مضر ناشی از تنش شوری می‌شود (۱۷،۱۵). هدف از انجام پژوهش بررسی نحوه پاسخ هیبریدهای ذرت به تنش شوری با استفاده از صفات بیوشیمیابی و فیزیولوژیکی در مرحله گیاهچه‌ای جهت ناسایی هیبرید برتر بود.

جدول ۱- شجره هیبریدهای ذرت مورد مطالعه

Table 1. The maize hybrid pedigrees

شجره	رقم	شماره
SC647×MO17	TWC647	۱
B73×K1264/1	SC647	۲
B73×MO17	SC704	۳
K3640/3×MO17	SC705	۴
K3547/5×MO17	SC706	۵
K47/2-2-1-2-2-1-1-K18	SC715	۶

نسبت ۱:۱ با اسید سولفوریک دو نرمال رقیق شدند. از این محلول‌های رقیق شده نیم میلی‌لیتر در تیوب‌ها ریخته و در آب یخ بهمدت یک ساعت سرد گردید. سپس مقدار ۰/۲ میلی‌لیتر ییدید پتانسیم- ید سرد به محلول‌ها اضافه و محلول به آرامی ورتكس شد. سپس نمونه‌ها در دمای چهار ساعتی‌گراد بهمدت ۱۶ ساعت قرار داده شدند. بعد از سپری شدن این مدت، نمونه‌ها با دور ۱۰۰۰ و بهمدت ۱۵ دقیقه در دمای صفر درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ و محلول رو شناورها دور ریخته و کریستال پریداید را در ۹ میلی‌لیتر دی‌کلرواتان حل گردید. بعد از دو ساعت، میزان جذب در طول موج ۳۶۵ نانومتر با نمونه شاهد توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (۱۵).

میزان پرولین: نیم گرم از برگ گیاهچه‌های ذرت در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد در هاون چینی ساییده و محلول حاصل توسط کاغذ صافی واتمن شماره دو صاف شد و از آن برای سنجش پرولین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر استفاده گردید (۱۵).

محتوای نسبی آب برگ (RWC): ابتدا از هر برگ چهار دیسک برگی به قطر یک سانتی‌متر بوسیله استوانه لبه تیز تهیه و سریعاً وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شدند. سپس نمونه‌ها بهمدت چهار ساعت در آب مقطر دو بار تقطیر با دمای پنج درجه سلسیوس و نور انداک غوطه‌ور شده و پس از گرفتن آب روی آن‌ها با کاغذ صافی، وزن شدند (وزن تورم کامل). سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار داده شده و وزن شدند.

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

که RWC محتوای نسبی آب، FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن برگ در حالت تورژسانس کامل است.

میزان گلایسین بتائین: ۱۲۵ میلی‌گرم از ماده خشک گیاهچه‌های ذرت را با پنج میلی‌لیتر آب دیونیزه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ سانتی‌گراد بهصورت مکانیکی تکان داده و نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شدند. سپس نمونه‌ها به

کاهش معنی دار بیوماس گیاهچه های ذرت تحت تنش شوری است به طوری که این میزان کاهش بین ۱۰ تا ۲۸ درصد بوده است (۵۶). دلیل اصلی کاهش وزن و رشد گیاه تحت تنش شوری به دلیل اختلال در فرایندهای تولید انرژی مانند فتوستتر و تنفس می باشد. کاهش جذب آب در ریشه و نبود تعادل بین جذب آب و تعرق از دیگر عوامل کاهش رشد در اثر تنش شوری به شمار می آیند که سبب کاهش پتانسیل آب در آوند چوبی و کاهش شبی پتانسیل آب بین سلول های در حال توسعه و منبع آب می شود (۹).

نتایج حاصل از تجزیه داده های غلظت Na^+ و K^+ نشان داد که بین سطوح مختلف شوری و ارقام ذرت در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی دار وجود داشت. همچنین اثر برهمکنش رقم \times شوری برای غلظت Na^+ و K^+ معنی دار بود (جدول ۲). تنش شوری به طور معنی داری باعث افزایش میزان غلظت Na^+ و K^+ در هیریدهای ذرت مورد مطالعه شد. مقایسه میانگین اثر برهمکنش رقم \times شوری نشان داد که بیشترین غلظت Na^+ و K^+ به ترتیب با $12/4$ و $8/2$ میلی گرم بر گرم وزن خشک مربوط به سینگل کراس SC715 در سطح شوری ۲۰۰ میلی مولار سدیم کلرید و کمترین غلظت Na^+ و K^+ به ترتیب با $8/2$ و $6/8$ میلی گرم بر گرم وزن خشک مربوط به سینگل کراس SC704 و تری وی کراس TWC647 بود (شکل ۱).

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس وزن تر، مواد اسمولیتی، RWC، رنگدانه های کلروفیل، غلظت سدیم و پتانسیم در گیاهچه های ارقام ذرت تحت تنش شوری

Table 1. Analysis of variance of fresh weight, osmolytes' accumulation, pigment contents, Na^+ and K^+ in maize cultivar seedlings under salinity stress

کارتنتوئید (a+b)	میانگین مربعات										منابع تغییر آزادی	درجات درصد
	کلروفیل کل	کلروفیل <i>b</i>	کلروفیل <i>a</i>	گلایسین باتانین	برولین	RWC	Na^+/K^+	K^+	Na^+	وزن تر		
.۰/۱**	۳/۴**	.۰/۴**	۱/۵**	۷/۹**	۲۴/۳**	۲۵۷/۲**	.۰/۱**	.۰/۷**	۴/۴**	۳۰.۹/۵**	۵	رقم
۲/۰**	۴۴/۸**	۴/۷**	۲۰/۰**	۳۵/۴**	۱۵۲/۹**	۶۹۷/۰**	۲/۶**	۷۷/۰**	۳۰.۵/۹**	۴/۶**	۲	شوری
۱/۱**	۵/۰**	۳/۱**	۱/۱**	۳/۹ns	۱/۷ns	۲/۴۸**	.۰/۱*	.۰/۶**	۱/۷**	.۰/۰.۵ns	۱۰	رقم \times شوری
.۰/۰۱	.۰/۰۱	.۰/۰۱	.۰/۰۱	.۰/۲۷	.۰/۳۳	.۰/۵۹	.۰/۰۱	.۰/۱۸	.۰/۱۴	.۰/۰۵۲	۳۶	خطا
۴/۹	۶/۴	۴/۱	۴/۹	۳/۴	۱/۲	۱۰/۹	۸/۱	۷/۲	۵/۲	۷/۳	۷/۳	ضریب تغییرات (%)

*ns و ** بدتریب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال یک درصد: RWC: نسبت سدیم به پتانسیم و Na^+ : سدیم، K^+ : پتانسیم، Na^+/K^+ : محتوای نسبی آب

جدول ۲- میانگین وزن تر، غلظت گلایسین باتانین و برولین در ارقام مختلف ذرت

Table 2. Mean of fresh weight, and glycine betaine and proline contents in the different maize cultivars

	برولین ($\mu\text{g/g FW}$)	گلایسین باتانین ($\mu\text{g/g DW}$)	وزن تر (g)	رقم ذرت
	۱۱/۱۳ ^b	۱۶/۴۴ ^d	۴/۹۵ ^d	SC647
	۱۲/۰۰ ^a	۱۹/۷۵ ^a	۱۹/۲۳ ^a	TWC647
	۹/۴۷ ^c	۱۵/۶۲ ^c	۱۱/۹۱ ^b	SC704
	۱۰/۷۷ ^c	۱۵/۱۴ ^c	۳/۸۵ ^c	SC705
	۱۰/۸۴ ^b	۱۷/۱۸ ^b	۵/۰۴ ^d	SC706
	۹/۷۶ ^d	۱۶/۴۴ ^c	۸/۹۱ ^c	SC715

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر اختلاف معنی دار بین ارقام ذرت می باشد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد بود

با افزایش تنش شوری، میزان جذب پتانسیم توسط واریته های ذرت کاهش یافت و در بالاترین سطح شوری، کمترین کاهش در جذب پتانسیم، در مقاوم ترین هیرید و بیشترین کاهش در جذب پتانسیم، در حساس ترین هیرید ذرت مشاهده شد.

نعمت پور و همکاران (۱۴) با ارزیابی اثر شوری روی خصوصیات فیزیولوژیکی و رشد دو رقم ذرت بیان داشتند که تنش شوری به طور معنی داری باعث افزایش میزان غلظت Na^+ در گیاه ذرت شد. اکرم و همکاران (۳) اظهار کردند که

غلظت رنگدانه ها: ۲۰۰ میلی گرم از برگ های تازه گیاهچه های ذرت برای اندازه گیری غلظت کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل و کارتنتوئید براساس روش یاریورا و همکاران (۱۷) مورد استفاده قرار گرفت.

تجزیه آماری: قبل از تجزیه واریانس داده ها آزمون نرمال بودن داده ها به روش تست کولمو گروف- اسپیرنوف انجام گرفت. مقایسه میانگین ها به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد و تجزیه همبستگی با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده های وزن تر گیاهچه های ارقام ذرت نشان داد که اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد بین سطوح مختلف شوری و ارقام ذرت وجود داشت (جدول ۲). افزایش سطوح مختلف شوری به طور معنی دار باعث کاهش وزن تر گیاهچه های ذرت شد. این میزان کاهش برای شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار نسبت به بدون تنش شوری به ترتیب $10/۲$ و $17/۹$ درصد بود. براساس مقایسه میانگین وزن تر ارقام ذرت، تری وی کراس ۱۹/۲ TWC647 با $۳/۸$ گرم کمترین وزن ترا داشتند (جدول ۳).

پژوهش های متعددی جهت بررسی تأثیر تنش شوری روی ارقام مختلف ذرت انجام گرفته است، این گزارش ها حاکی از

بر گرم وزن خشک برآورد شد. همچنین میزان غلظت پرولین برای صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار سدیم کلرید به ترتیب $17/12$ و $19/41$ و $13/62$ میکروگرم بر گرم وزن تر بود. تنش شوری باعث افزایش میزان مواد اسمولیتی در هیبریدهای ذرت شد که احتمالاً پاسخی برای کاهش اثرات مضر ناشی از تنش شوری است. مقایسه میانگین بین هیبریدهای ذرت نشان داد که رقم تری وی کراس TWC647 دارای بیشترین میزان گلایسین بتائین و پرولین بود (جدول ۳).

بیشترین مقدار مطالعات فیزیولوژیکی و ژنتیکی نشان می‌دهد که مقدار اسمولیت آلی از قبیل گلایسین بتائین و پرولین تجمع یافته در گیاه بر اثر تنش شوری ارتباط مستقیمی با میزان تحمل به نمک در گیاه دارد در ارقام متحمل به شوری میزان تجمع این ماده بیشتر و در ارقام حساس میزان آن کم می‌باشد (۱۵). الیو و همکاران (۲) با بررسی اثر تنش اسمزی بر میزان اسمولیت‌های آلی در گیاهچه‌های ذرت گزارش کردند که با افزایش میزان تنش اسمزی مقدار گلایسین بتائین و پرولین در گیاهچه‌های ذرت نسبت به شاهد افزایش می‌یابد. افزایش این اسمولیت‌های آلی نوعی پاسخ به تنش اسمزی است که از طرف گیاه به کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه است. عمرانی و محروم‌نژاد (۱۵) اظهار کردند که تنش شوری باعث افزایش غلظت مواد اسمولیتی از قبیل پرولین و گلایسین بتائین در گیاهچه‌های ذرت می‌شود که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

براساس تجزیه واریانس داده‌های غلظت رنگدانه‌های کلروفیل، اثر رقم، شوری و برهmekش رقم × شوری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش شوری موجب کاهش غلظت کلروفیل *a*، کل کلروفیل *a+b*، کل کلروفیل (a+b) و کارتتوئید در هیبریدهای ذرت شد. مقایسه میانگین برهmekش رقم × شوری، سینگل کراس SC715 در شوری ۲۰۰ میلی مولار سدیم کلرید کمترین غلظت رنگدانه‌های را داشت (جدول ۴).

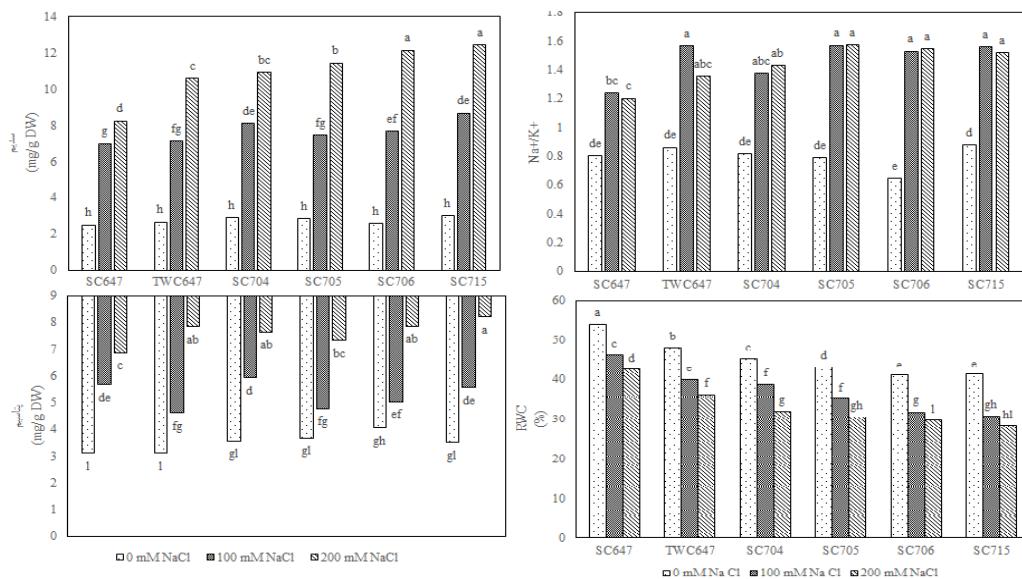
کاهش معنی‌دار کلروفیل کل برگ‌ها همراه با افزایش شوری، سبب ناتوانی برگ‌ها در انجام فتوستز و تشدید آسیب‌های ناشی از تنش می‌شود (۸)، تونا و همکاران (۱۶) نیز کاهش غلظت رنگدانه‌های کلروفیلی در گیاهچه‌های ذرت تحت تنش شوری را گزارش کردند. تنش شوری منجر به افزایش غلظت تنظیم کننده‌های رشد چون اسید آبسیزیک و اتیلن می‌شود که تحریک کننده آنژیم کلروفیلаз هستند و بدین ترتیب کلروفیل‌ها، تحت تأثیر این آنژیم تجزیه می‌شوند (۸،۷). کاهش غلظت کلروفیل در تنش شوری همچنین می‌تواند به دلیل سست شدن اتصال کلروفیل با پروتئین‌های کلروپلاستی در اثر افزایش غلظت یون‌های سمی سدیم و کلر، تحت تنش شوری باشد (۱،۱۲،۷). نعمت‌پور و همکاران (۱۴) بیان داشتند که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کل کلروفیل (a+b) و کارتتوئید در گیاهچه‌های ذرت می‌شود که با نتایج این پژوهش همسوی نشان می‌دهد.

شده. تجمع سدیم و کلر در گیاه سبب افزایش فشار اسمزی شده و گیاه از این طریق می‌تواند با کاهش پتانسیل اسمزی محیط ریشه مقابله نماید. از آنجا که عنصر پتانسیم یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه است، با افزایش شوری و یون سدیم در محیط از جذب یون پتانسیم ممانعت به عمل آمده و به دنبال آن گیاه را با کمبود این عنصر ضروری مواجه می‌سازد. دریک محیط شور که غلظت سدیم زیاد است، گیاهان مقادیر زیادی از یون سدیم را به جای یون‌های پتانسیم و کلسیم جذب می‌کنند که این امر به کمبود عناصر پتانسیم و کلسیم در گیاه منجر می‌شود و در نهایت کاهش رشد را به دنبال دارد (۱). اگرچه سدیم می‌تواند به افزایش فشار تورژسانس کمک کند اما نمی‌تواند در فعالیت‌های ویژه همانند فعالسازی آنزیم‌ها و سنتر پروتئین برای ایجاد رشد کافی جایگزین یون پتانسیم گردد. بنابراین اثرات سمتی سدیم کلرید ناشی از ابیاشتگی زیاد نمک در گیاه ممکن است تنها به دلیل اثرات مستقیم یون سدیم نباشد، بلکه به عمل کاهش مقدار عناصر مغذی ضروری پتانسیم و کلسیم در گیاه باشد (۱۲،۱۳).

با توجه به جدول ۲ بین ارقام ذرت، سطوح مختلف شوری و برهکمنش رقم × شوری در سطح احتمال یک درصد برای میزان RWC اختلاف معنی‌دار وجود داشت. تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار میزان RWC در ارقام ذرت مورد مطالعه شد. مقایسه میانگین برهmekش رقم × شوری نشان داد که بیشترین و کمترین میزان RWC در سطح شوری ۲۰۰ میلی مولار سدیم کلرید به ترتیب با $28/3$ و $36/2$ درصد مربوط به تری وی کراس TWC647 و سینگل کراس SC715 بود (شکل ۱).

کاهش محتوای نسبی آب برگ یک پاسخ عمومی به شرایط تنش اسمزی می‌باشد. محتوای آبی برگ‌ها به عنوان فاکتوری برای تعیین سطح آب گیاه شناخته شده است که منعکس کننده فعالیت‌های متابولیکی در بافت‌هاست. کاهش در برگ RWC برگ نشانگر یک کاهش تورگر می‌باشد که سبب کاهش آب مورد نیاز برای فرایندهای مورفوژوکی و فیزیولوژیکی از قبیل طویل شدن سلولی، باز شدن روزنه‌ها و فرایندهای وابسته به فتوستز است. کاهش در RWC برگ می‌تواند به عمل کاهش دستریسی به آب در شرایط تنش باشد، یا اینکه سیستم‌های ریشه‌ای به دلیل کاهش سطح جذب، قادر به جبران آب از دسترفته توسط تعرق نباشد (۵،۱۶). عمرانی و محروم‌نژاد (۱۵) با مطالعه چهار هیبرید ذرت تحت تنش شوری عنوان کردند که شوری به طور معنی‌دار باعث کاهش میزان RWC می‌شود و هیبریدهای مقاوم دارای RWC نسبتاً بالای برخوردار بودند که با نتایج این پژوهش همسوی نشان می‌دهد.

تجزیه واریانس داده‌های میزان پرولین و گلایسین بتائین نشان داد که بین ارقام ذرت و سطوح مختلف تنش در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲). میزان غلظت گلایسین بتائین برای صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار سدیم کلرید به ترتیب $11/0\cdot3$ ، $9/0\cdot1$ و $11/70$ میکروگرم



شکل ۱- میانگین رطوبت نسبی برگ (RWC)، غلظت سدیم، غلظت پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم در ارقام ذرت تحت تنش شوری (حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد)

Figure 1. Mean of RWC, Na⁺, K⁺ and Na⁺/K⁺ in maize cultivars udder salinity stress
(Various letters indicate significant differences p<0.05)

جدول ۳- میانگین رنگدانه کلروفیل ارقام ذرت در سطوح مختلف تنش شوری

Table 3. Means of pigment contents in maize cultivars under different salinity stress

کارتنتوئید	کلروفیل کل (a+b)	کلروفیل b	کلروفیل a	رقم	شوری (میلی مولار سدیم کلرید)
۰/۱۷ ^a	۰/۸۲ ^a	۰/۲۷ ^b	۰/۵۵ ^a	SC647	صفر
۰/۱۳ ^b	۰/۵۹ ^c	۰/۲۳ ^c	۰/۴۶ ^b	TWC647	
۰/۱۳ ^b	۰/۷۹ ^{ab}	۰/۳۳ ^a	۰/۴۵ ^{bc}	SC704	
۰/۱۳ ^b	۰/۷۶ ^{ab}	۰/۳۳ ^a	۰/۴۴ ^{bc}	SC705	
۰/۱۳ ^b	۰/۷۴ ^{bc}	۰/۲۳ ^c	۰/۴۳ ^c	SC706	
۰/۱۲ ^c	۰/۵۵ ^{de}	۰/۲۱ ^{cd}	۰/۳۹ ^d	SC715	
۰/۰۹ ^d	۰/۵۹ ^d	۰/۲۳ ^c	۰/۳۵ ^e	SC647	۱۰۰
۰/۰۸ ^d	۰/۵۱ ^{ef}	۰/۲۳ ^c	۰/۲۸ ^f	TWC647	
۰/۰۹ ^d	۰/۵۶ ^{de}	۰/۲۱ ^{cd}	۰/۳۴ ^e	SC704	
۰/۰۸ ^d	۰/۵۶ ^{de}	۰/۲۳ ^c	۰/۳۴ ^e	SC705	
۰/۰۹ ^d	۰/۴۸ ^{fg}	۰/۱۹ ^{cde}	۰/۲۸ ^f	SC706	
۰/۰۹ ^d	۰/۴۳ ^{gh}	۰/۲۰ ^{cde}	۰/۲۳ ^{gh}	SC715	
۰/۰۷ ^e	۰/۴۷ ^{fg}	۰/۱۷ ^{de}	۰/۲۹ ^f	SC647	۲۰۰
۰/۰۷ ^e	۰/۴۲ ^{gh}	۰/۱۷ ^{de}	۰/۲۴ ^g	TWC647	
۰/۰۷ ^e	۰/۳۹ ^h	۰/۱۱ ^f	۰/۲۸ ^f	SC704	
۰/۰۷ ^e	۰/۴۶ ^{fg}	۰/۱۸ ^{de}	۰/۲۷ ^f	SC705	
۰/۰۷ ^e	۰/۳۹ ^h	۰/۱۷ ^{de}	۰/۲۱ ^h	SC706	
۰/۰۶ ^f	۰/۳۸ ^h	۰/۱۶ ^e	۰/۲۲ ^h	SC715	

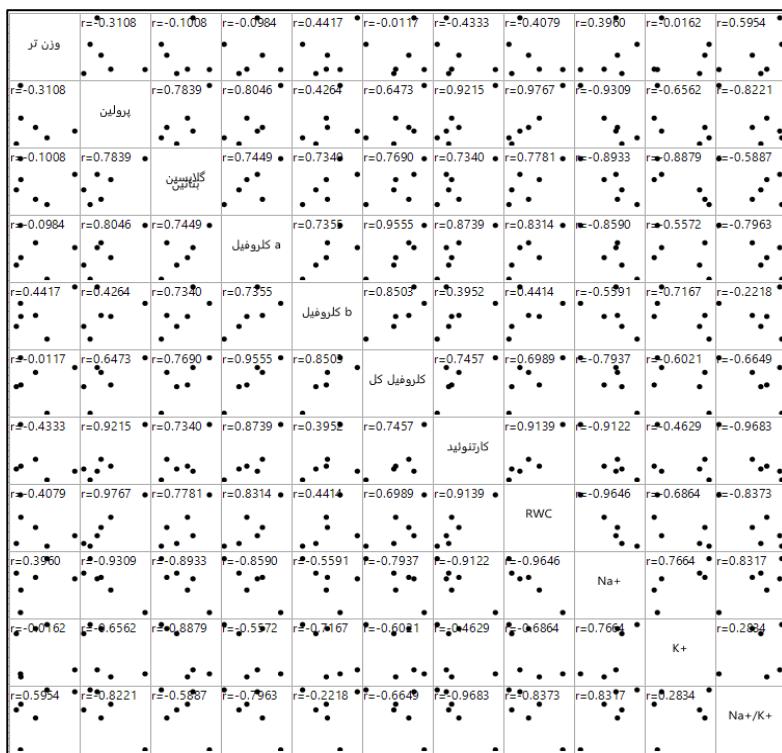
حروف متفاوت در هر ستون نشانگر اختلاف معنی دار بین ارقام ذرت می باشد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد بود.

غلظت رنگدانه ها، میزان Na^+ و K^+ وجود داشت. همچنین همبستگی بین وزن تر گیاهچه های ذرت با صفات بیوشیمیابی و RWC نشان داد (شکل ۲) که وزن تر فقط با Na^+/K^+ در سطح احتمال پنج درصد ارتباط مثبت معنی دار وجود داشت. همبستگی مثبت و معنی دار بین مواد اسمو لیتی با

تجزیه همبستگی بین وزن تر گیاهچه های ذرت با صفات بیوشیمیابی و RWC نشان داد (شکل ۲) که وزن تر فقط با Na^+/K^+ در سطح احتمال پنج درصد ارتباط مثبت معنی دار وجود داشت. همبستگی مثبت و معنی دار بین مواد اسمو لیتی با

متعدد مبنی ارتباط بین بیوماس و صفات بیوشیمیایی از قبیل مواد اسمولیتی، RWC، رنگدانه‌های کلروفیل و غلظت Na^+ و K^+ در ذرت (۱۵) و یونجه (۱۶) تحت تنش شوری شده است.

همکاری پیچیده در جهت کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه ذرت می‌باشد. که گیاه ذرت از طریق فعال کردن یکسری سازوکار در جهت پاسخ به تنش شوری می‌باشد، مطالعات



شکل ۲- همبستگی وزن تر با گلایسین بتائین، پرولین، رنگدانه کلروفیل، رطوبت نسبی برگ (RWC) و غلظت سدیم (Na^+) و پتاسیم (K^+) در ارقام ذرت

Figure 2. Correlation between fresh weight with glycine betaine, proline, pigment contents, RWC and sodium and potassium levels in different maize cultivars

صفات مورد ارزیابی نشان داد که وزن تر گیاهچه با Na^+/K^+ ارتباط مثبت معنی دار دارد. براساس این نتیجه چنین به نظر می‌رسد که تنظیم سازوکار سدیم و پتاسیم در گیاه ذرت از طریق حفظ تعادل بین سلولی می‌تواند اثرات ناشی از تنش شوری را کاهش دهد. در ارقام ذرت مورد مطالعه رقم تری وی کراس TWC647 و سینگل کراس SC407 جزء ارقام متحمل به تنش شوری و سینگل کراس SC647 و سینگل کراس SC715 جزء ارقام حساس به شوری شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش شوری به طور معنی دار باعث کاهش وزن تر، غلظت رنگدانه‌های کلروفیل و RWC شد. تنش شوری موجب افزایش مقدار مواد اسمولیتی (گلایسین بتائین و پرولین) و غلظت Na^+ و K^+ در گیاهچه‌های ارقام مختلف ذرت شد. افزایش مواد اسمولیتی و غلظت Na^+ و K^+ یک سازوکار مهم در جهت پاسخ به تنش شوری در گیاه ذرت بود که به موجب آن باعث کاهش اثرات ناشی از تنش شوری در گیاهچه‌های ذرت شد. همبستگی بین

منابع

1. Ashraf. M. 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advance*, 27: 84-93.
2. Aliu, S., I. Rusinovci, S. Fetahu, B. Gashi, E. Simeonovska and L. Rozman. 2015. The effect of salt stress on the germination of maize (*Zea mays* L.) seeds and photosynthetic pigments. *Acta Agriculturae Slovenica*, 105: 85-94.
3. Akram, M., A. Malik, Y. Asfraf, F. Saleem and M. Hussain. 2007. Competitive seedling growth and K⁺/Na⁺ ration different maize (*Zea mays* L.) hybrids under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*, 39(7): 2553-2563.
4. Carpici, E.B., N. Celik, G. Bayram and B.B Asik. 2010. The effects of salt stress on the growth, biochemical parameter and mineral element content of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 9(41): 6937-6942.
5. Chaum, S. and C. Kirdmanee. 2010. Salt tolerance screening in six maize (*Zea mays* L.) genotypes using multivariate cluster analysis. *Philippine Agricultural Scientis*, 93: 156-164.
6. FAO, 2019. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
7. Gill, S.S. and N. Tuteja. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12): 909-930.
8. Jiang, C., C. Zu, D. Lu, Q. Zhu, J. Shen, H. Wang and D. Li. 2017. Effect of exogenous selenium supply on photosynthesis, Na⁺ accumulation and antioxidative capacity of maize (*Zea mays* L.) under salinity stress. *Scientific Reports*, 7: 1-14 (42039).
9. Mansour, M.M.F., K.H.A. Salama, F.Z.M. Ali and A.F. Abou Hadid. 2005. Cell and plant responses to NaCl in *Zea mays* L. cultivars differing in salt tolerance. *General and Applied Plant Physiology*, 31: 29-41.
10. Menezes-Benavente, L., S.P. Kernodle, M. Margis-Pinheiro and J.G. Scandalios. 2004. Salt-induced antioxidant metabolism defenses in maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Communications in Free Radical Research*, 9: 29-36.
11. Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7: 405-410.
12. Molazem. D. and A. Bashirzadeh. 2017. Investigation of the antioxidant enzymes and proline in varieties of maize (*Zea mays* L.) under salinity stress. *Journal of Molecular and Cellular Research*, 1: 77-90 (In Persian).
13. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25: 239-250.
14. Nematpour, A., S.A. Kazemeini and M. Edalat. 2015. Effect of salinity on some growth and physiological characteristics of two cultivars of sweet corn (*Zea mays* var. *saccharata*). *Plant Production Technology*, 7(2): 153-165 (In Persian).
15. Omrani. B. and S. Moharramnejad. 2018. Study of salinity tolerance in four maize (*Zea mays* L.) hybrids at seedling stage. *Journal of Crop Breeding*, 9: 79-86 (In Persian).
16. Tuna, A.L., C. Kaya, H. Altunlu and M. Ashraf. 2013. Mitigation effects of non-enzymatic antioxidants in maize (*Zea mays* L.) plants under salinity stress. *Australian Journal of Crop Science*, 7(8): 1181-1188.
17. Yaryura. P., G. Cordon, M. Leon, N. Kerber, N. Pucheu, N. Rubio, G. Garc and G. Lagorio. 2009. Effect of phosphorus deficiency on reflectance and chlorophyll fluorescence of cotyledons of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195: 186-196.

Response of Some Physiological Traits in Maize Cultivars to Salinity Stress

Azam Shakib Aylar¹, Salim Farzaneh¹, Sajjad Moharramnejad², Raouf Seyed Sharifi¹ and Mohammad Hasanzadeh³

1- Department of Genetic and Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Moghan, Iran, (Corresponding author: sm.chakherlo@yahoo.com)

3- Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources-Moghan, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 11 July, 2021 Accepted: 18 September, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: Salinity stress is one of the most important abiotic stresses that effects on many agronomic, nutritional, physiological, and biochemical processes of crops.

Materials and Methods: To assess response of fresh weight, osmolytes, pigment contents, RWC, Na⁺, and K⁺ levels in maize cultivars, a factorial experiment based on completely randomize design with three replications under greenhouse conditions at the Faculty of Agriculture and Natural Resources-Moghan was carried out. The first factors were six maize cultivars as SC647, TWC647, SC704, SC705, SC706 and SC715, and the second factors were three levels of salinity stress as 0, 100 and 200 mM NaCl.

Results: The results indicated that NaCl stress significantly reduced fresh weight, photosynthetic pigment, and RWC, but significantly increased glycine betaine and proline, Na⁺, and K⁺ contents. There were significant differences between maize cultivars in terms of fresh weight, osmolytes, pigment contents, RWC, Na⁺, and K⁺ levels. The applied salt stress as 100 and 200 mM NaCl reduced fresh weight about 10 and 18 percent, respectively. Significant correlations were observed between fresh weight and Na⁺/K⁺ ratio, and also significant correlations were observed between osmolytes, pigment contents, and Na⁺, and K⁺ levels. TWC647 cultivar with high fresh weight, K⁺, glycine betaine, and proline contents was salt-tolerance.

Conclusion: The results indicated that salt-tolerance maize cultivars via increase osmolytes, and regulation between Na⁺, and K⁺ ions can tolerate salinity stress damage in maize plant.

Keywords: Fresh weight, Glycine betaine, Osmotic stress, Photosynthesis, Proline