بررسی اثر متقابل Na^{+}-Ca^{2+} بر زیست‌توده و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز در برگ گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.)

صدیقه جهانی[*1]، مهرداد لاهوتی[2] و ملیحه جهانی[3]

۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد و عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، گروه زیست‌شناسی، مشهد، ایران.

۲) عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، گروه زیست شناسی، مشهد، ایران.

۳) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات فارس، گروه زیست‌شناسی، شیراز، ایران.

* **نویسنده مسئول:** Sedighe.jahani64@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۹/۰۱ **تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۰۵**

چکیده

تنش شوری یک مشکل در حال توسعه در خاک‌های کشاورزی است. به منظور بررسی اثر برهمکنش Na^{+}-Ca^{2+} بر زیست‌توده و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز در برگ گیاه جو، این تحقیق به صورت یک طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای (دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۳۵ درصد و فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی) صورت گرفت. گیاهچه‌ها یک هفته بعد از کاشت بذور در خاک با سطوح کلرید سدیم صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار و توأم با سطوح کلریدکلسیم صفر، ۶ و ۱۰ میلی‌مولار تیمار شدند. پس از پنج هفته اعمال تیمار، برخی از پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شامل وزن خشک ساقه و ریشه و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز در برگ مورد سنجش قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش شوری به‌طور معنی‌دار باعث کاهش وزن خشک ساقه و ریشه شد ولی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز در برگ شد. درحالی‌که، افزودن کلسیم به محیط شور به‌طور معنی‌دار باعث افزایش وزن خشک ساقه و ریشه شد ولی فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز را در برگ کاهش داد. کلسیم اثر زیان‌آور تنش شوری را کاهش داد و بیش‌ترین اثر بهبود دهنده کلسیم در غلظت ۶ میلی‌مولار کلریدکلسیم مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز، تنش شوری، کلریدکلسیم.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1392.5.20.2.3]

مقدمه

تنش شوری یکی از مهم‌ترین مشکلات مناطق خشک و نیمه خشک در جهان است (Parida and Das, 2005). جو گیاهی گلیکوفیت، تک لپه‌ای، یکساله و از خانواده گرامینه است (خدابنده، ۱۳۸۴). کلسیم به عنوان یک عنصر ضروری در بسیاری از فرآیندهای گیاهی مطرح است (White and Broadley, 2003). این یون در فرآیندهای حفظ ساختمان غشاء، پایداری ساختمان دیواره سلولی، تنظیم انتقال یون‌ها و کنترل تبادلات یونی نقش دارد و هم‌چنین به عنوان یک پیام‌رسان ثانویه در مسیر انتقال سیگنال در سلول عمل می‌کند (White and Broadley, 2003). تنش شوری همانند دیگر تنش‌های محیطی می‌تواند سبب تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS)[1] همانند سوپراکسید (O_2^-)، هیدروژن‌پراکسید (H_2O_2) و رادیکال‌هیدروکسیل (OH°) در درون سلول شود (Sairam and Tyagi, 2004). این ترکیبات خسارت زیادی را از طریق اکسیداسیون چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک به سلول وارد می‌کنند (Blokhina *et al*., 2003). آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز، اکسیدوردوکتازهایی هستند که نقش بسیار مهمی را در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی مانند شوری دارند و هم‌چنین در سم‌زدایی اشکال مختلف اکسیژن فعال شده در سلول اهمیت دارند که در هنگام بروز تنش موجب جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده، می‌شوند و با اکسیداسیون‌های متفاوت در مکانیسم‌های دفاعی گیاه شرکت می‌کنند (Mittler, 2002). در پژوهشی که بر روی سورگوم شیرین انجام شد، گزارش شد که تنش شوری باعث کاهش وزن خشک ساقه و ریشه شد درحالی‌که افزودن تیمار کلسیم به محیط شور باعث کاهش اثرات مضر تنش شوری و افزایش وزن خشک ساقه و ریشه شد (Zhou and Ma, 2012). تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در یونجه شد (Gholizadeh *et al*., 2012). هم‌چنین در پژوهشی دیگر که بر روی سویا انجام شد، گزارش شد که تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز شد (Weisany *et al*., 2012). بنابراین با توجه به اهمیت جو به عنوان یک گیاه زراعی و وسعت رو به افزایش زمین‌های شور، این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش Na^{+}-Ca^{2+} بر زیست‌توده و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان‌پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز در برگ گیاه جو انجام شد، تا امکان ارائه راهکاری ساده، ارزان و اقتصادی برای مقابله با تنش شوری و گامی به سوی کشاورزی پایدار را فراهم نماید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای (دما ۲۵°C، رطوبت نسبی ۳۵ درصد و فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی) در آزمایشگاه تحقیقات فیزیولوژی گیاهی دانشگاه آزاد مشهد انجام شد. گیاهچه‌ها یک هفته بعد از کاشت بذور در خاک با سطوح کلریدسدیم **صفر**، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار و توأم با سطوح کلریدکلسیم **صفر**، ۶ و

[1] Reactive Oxygen Species

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1392.5.20.2.3]

۱۰ میلی‌مولار تیمار شدند. اعمال محلول‌های تیماری به گیاهان در حد ظرفیت زراعی خاک (بدون اینکه محلول نمک از انتهای گلدان خارج شود و اگر محلول نمک خارج می‌شد به درون گلدان برگردانده می‌شد) به مدت پنج هفته صورت گرفت. پس از اتمام دوره تیمار، برخی پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شامل وزن خشک ساقه و ریشه، فعالیت آنزیم‌های‌پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز در برگ مورد سنجش قرار گرفت. برای اندازه‌گیری وزن خشک ساقه و ریشه، هر کدام را به‌طور مجزا داخل فویل آلومینیومی قرار داده و در آون با دمای ۷۰°C به مدت ۴۸ ساعت خشک گردید و سپس با ترازوی دیجیتال Sartorius مدل TE214S با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شدند.

سنجش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش Mac-Adam و Nelson Sharp (۱۹۹۲) و فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز به روش Reymond و همکاران (۱۹۹۳) انجام شد.

استخراج عصاره آنزیمی

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز، نیاز به تهیه محلول حاوی عصاره آنزیمی بود. ابتدا ۰/۱ گرم از بافت برگ تازه را پس از شستشو با آب مقطر، با یک میلی‌لیتر محلول کلریدپتاسیم ۰/۸ مولار (با افزودن ۰/۶ گرم کلریدپتاسیم جامد به ۱۰ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار با pH = ۶/۸، محلول کلرید پتاسیم ۰/۸ مولار تهیه گردید) در هاون چینی ساییده و مخلوط حاصل با سرعت ۷۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه با استفاده از سانتریفوژ یخچال‌دار Vision مدل VS-15000 CFN II سانتریفوژ گردید و مایع فوقانی به عنوان عصاره خام حاوی آنزیم مورد استفاده قرار گرفت. به منظور حفظ فعالیت آنزیم، تمامی مراحل استخراج آنزیم در ظرف یخ انجام گرفت.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز، پس از تهیه عصاره آنزیمی، در ابتدا ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیم، ۳ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار و ۵۰ میکرولیتر گایاکول و سپس ۵۰ میکرولیتر هیدروژن پراکسید ۳ درصد اضافه شد و بلافاصله تغییرات جذب نوری در طول موج ۴۳۶ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل UV/۱۱۰۰ در فواصل زمانی ۱۵ ثانیه به مدت ۳ دقیقه ثبت گردید.

سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز، پس از تهیه عصاره آنزیمی، ابتدا لوله‌های آزمایش را در حمام آب ۴۰°C قرار داده و سپس به ترتیب به هر لوله ۲/۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۰/۲ مولار با pH= ۶/۸ و ۰/۲ میلی‌لیتر پیروگالل ۰/۰۲ مولار اضافه گردید و به آن‌ها فرصت داده شد تا به دمای ۴۰°C برسند، سپس در لحظه خواندن جذب

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1392.5.20.2.3]

آنزیم به هر لوله ۲۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه شد و تغییرات جذب پلی‌فنل‌اکسیداز در فاصله زمانی ۴ دقیقه در طول موج ۴۳۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر ثبت شد (Reymond *et al*., 1993).

محاسبه های آماری

تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

جدول ۱ نشان داد که با افزایش تنش شوری، وزن خشک ساقه و ریشه به‌طور معنی‌دار کاهش یافت ($P\leq$۰/۰۵)، ولی افزودن تیمار کلسیم به محیط شور باعث افزایش معنی‌دار در وزن خشک ساقه و ریشه شد ($P\leq$۰/۰۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک ساقه و ریشه مربوط به گیاه شاهد بود و کم‌ترین وزن خشک ساقه در گیاه تحت تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد که نسبت به گیاه شاهد ۶۹ درصد کاهش یافت که اختلاف معنی‌دار با گیاه شاهد داشت. کم‌ترین وزن خشک ریشه در گیاه تحت تیمار با ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد که نسبت به گیاه شاهد ۸۲ درصد کاهش یافت که اختلاف معنی‌دار نسبت به گیاه شاهد داشت (جدول ۱؛ شکل‌های ۱ و ۲).

کاهش وزن خشک ساقه در اثر تنش شوری به این دلیل است که در محیط شور مقدار زیادی یون‌های مضر از جمله Na^{+} و Cl^{-} وجود دارد که یا خود آن‌ها مضر هستند یا باعث اختلال در متابولیسم عناصر غذایی دیگر می‌شوند. مثلاً رقابت K^{+} با Na^{+} و Cl^{-} با NO_3^{-} سبب اختلال در جذب عناصر غذایی گیاه می‌شوند (Parida and Das, 2005).

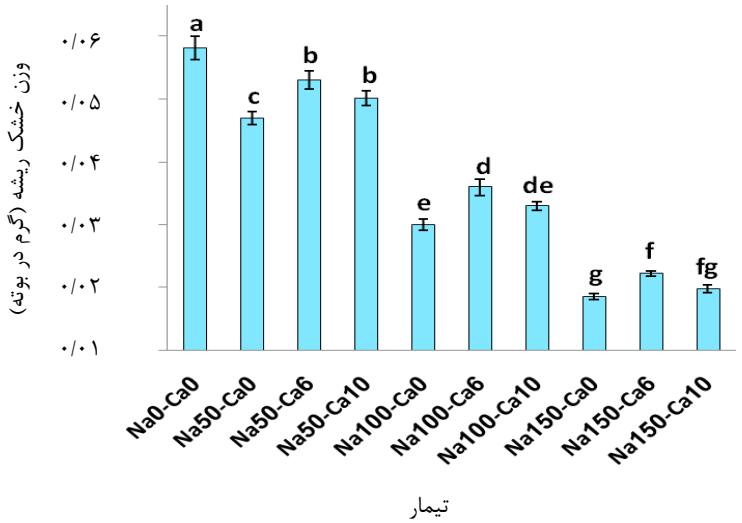
جدول ۱: مقایسه میانگین اثر متقابل Na^{+}- Ca^{2+} بر صفات مورد سنجش در گیاه جو

صفات سنجش شده / تیمارها	وزن خشک ساقه (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز برگ ($\Delta A_{۴۲۶}min^{-1}FW$)	میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز برگ ($\Delta A_{۴۳۰}.min^{-1}FW$)
کنترل (شاهد)	۰/۱۴۴۱a	۰/۰۴۸۲a	۰/۱۰۱۲g	۰/۰۵۲۰h
۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم	۰/۱۱۸۱c	۰/۰۳۷۱c	۰/۳۴۳۳e	۰/۰۷۱۱ef
۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم + ۶ میلی‌مولار کلریدکلسیم	۰/۱۲۹۰b	۰/۰۴۳۱b	۰/۲۸۳۰f	۰/۰۵۳۶gh
۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم + ۱۰ میلی‌مولار کلریدکلسیم	۰/۱۲۲۳bc	۰/۰۴۰۲b	۰/۳۱۱۳ef	۰/۰۶۴۲fg
۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم	۰/۰۷۲۸ef	۰/۰۲۰۳e	۰/۴۷۵۱c	۰/۰۹۵۳cd
۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم + ۶ میلی‌مولار کلریدکلسیم	۰/۰۹۵۲d	;۰/۰۲۶۱d	۰/۳۲۵۲ef	۰/۰۷۶۱e
۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم + ۱۰ میلی‌مولار کلریدکلسیم	۰/۰۷۹۵e	۰/۰۲۳۱de	۰/۴۱۳۰d	۰/۰۸۷۲d
۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم	۰/۰۴۵۱h	۰/۰۰۸۶g	۰/۶۸۱۳a	۰/۱۱۳۰a
۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم + ۶ میلی‌مولار کلریدکلسیم	۰/۰۶۸۱f	۰/۰۱۲۲f	۰/۵۱۴۰bc	۰/۰۹۸۲bc
۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم + ۶ میلی‌مولار کلریدکلسیم	۰/۰۵۶۱g	۰/۰۰۹۸fg	۰/۵۳۳۳b	۰/۱۰۵۰ab

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون توکی با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

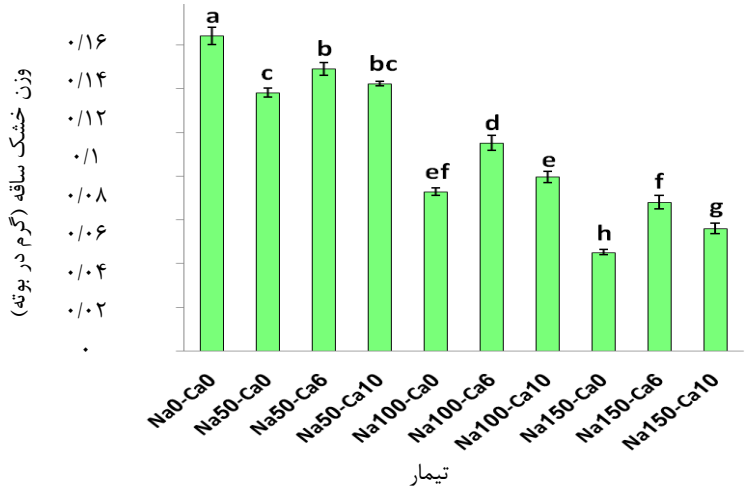
[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1392.5.20.2.3]



شکل ۱: اثر متقابل Na^{+}- Ca^{2+} بر وزن خشک ساقه گیاه جو

در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون توکی است.



شکل ۲: اثر متقابل Na^{+}- Ca^{2+} بر وزن خشک ریشه گیاه جو

در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون توکی است.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر با یافته‌های محققان دیگر بر روی گیاهان برنج (Sivasankaramoorthy, 2013) و سورگوم (Shariat Jafari *et al*., 2009) مطابقت دارد.

از اثرات مضر تنش شوری سمیت یونی، عدم تعادل عناصر غذایی و به هم خوردن تنظیم اسمزی می‌باشد و ریشه اولین اندامی است که با تنش شوری مواجه می‌شود و با توجه به تنظیم اسمزی و سازوکارهای اجتنابی که در جهت کاهش اثر تنش شوری انجام می‌دهد، مقدار زیادی از انرژی که از اندام‌های هوایی جهت رشد خود دریافت می‌کند را صرف مقابله با تنش شوری می‌نماید که این عمل باعث کاهش کارایی ریشه در تأمین عناصر غذایی و آب برای سایر اندام‌ها می‌شود و احتمالاً مجموع این عوامل ممکن است کاهش وزن خشک ریشه را به دنبال داشته باشد (Parvaiz and Satyawati, 2008).

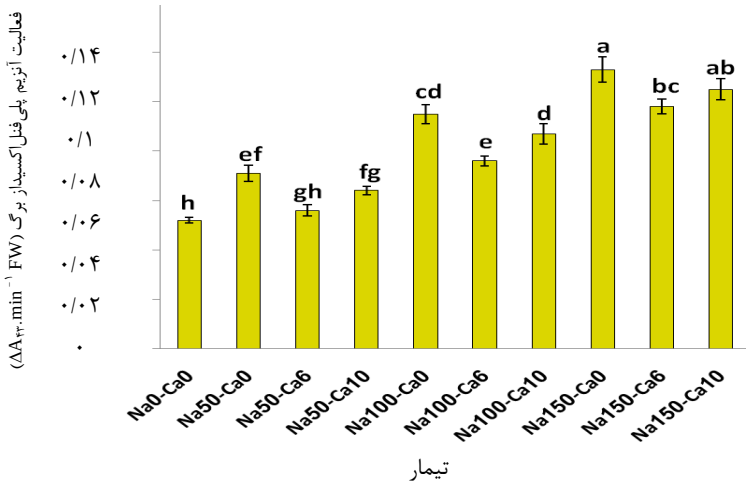
[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1392.5.20.2.3]

تنش شوری احتمالاً باعث ایجاد یک تنش اسمزی ثانویه و یا یک تنش خشکی فیزیولوژیکی در گیاه می‌شود که با بسته شدن روزنه‌ها در برگ از کم شدن آب جلوگیری می‌کند و هم‌چنین کاهش سطح برگ و در نهایت کاهش فتوسنتز و افت فتوسنتز و کاهش ماده خشک ساخته شده را باعث می‌شود، بنابراین وزن خشک کاهش می‌یابد (Parida and Das, 2005).

بررسی‌ها نشان داده است که افزودن کلسیم به محیط شور، احتمالاً می‌تواند از طرق مختلف از جمله حفظ ساختار و تمامیت غشاء سلول و افزایش تقسیم سلولی، کاهش جذب و انتقال سدیم به اندام هوایی، افزایش جذب پتاسیم و در نتیجه افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه، بهبود متابولیسم نیتروژن و فعالیت فتوسنتزی گیاه، تأثیر مخرب شوری بر رشد گیاه را کاهش دهد (Cramer, 2002; Rengel, 1992).

جدول ۱ نشان داد که با افزایش تنش شوری، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز برگ به‌طور معنی‌دار افزایش یافت ($P\leq$۰/۰۵). درحالی‌که، افزودن تیمار کلسیم به محیط شور باعث کاهش معنی‌دار در فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز برگ شد ($P\leq$۰/۰۵). نتایج جدول ۱ نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه تحت تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم مشاهده شد که نسبت به گیاه شاهد ۶/۸۱ برابر افزایش یافت که اختلاف معنی‌دار با گیاه شاهد داشت. بیش‌ترین فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز در گیاه تحت تیمار ۱۵۰ میلی مولار کلریدسدیم مشاهده شد که نسبت به گیاه شاهد ۲/۱۷ برابر افزایش یافت که اختلاف معنی‌دار با گیاه شاهد داشت و کم‌ترین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز مربوط به گیاه شاهد بود (شکل‌های ۳ و ۴).

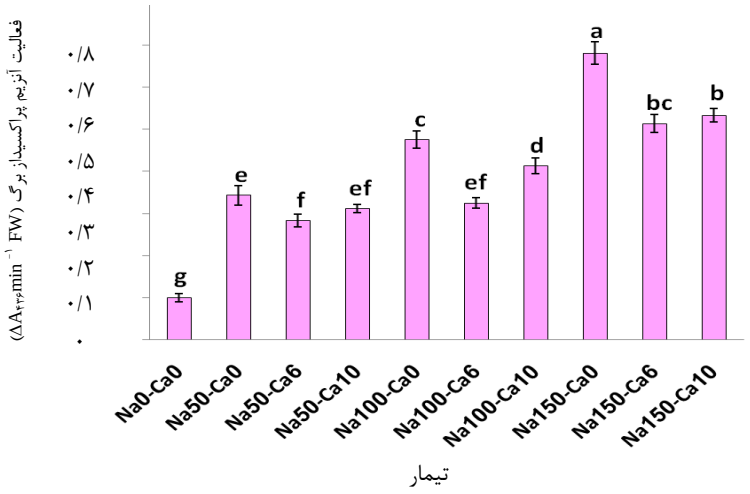


شکل ۳: اثر متقابل Na^{+}- Ca^{2+} بر فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ گیاه جو

در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون توکی است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1392.5.20.2.3]



شکل ۴: اثر متقابل Na^{+}- Ca^{2+} بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز برگ گیاه جو

در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون توکی است.

علت افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز در طی تنش شوری به این دلیل است که تنش شوری باعث افزایش تولید انواع اکسیژن فعال می‌شود که بسیار واکنشگر و سمی بوده و به بیومولکول‌های حیاتی سلول نظیر لیپیدها، DNA و پروتئین‌ها آسیب وارد کرده و در نهایت متابولیسم سلول را مختل می‌نماید که این موجب افزایش فعالیت تنش اکسیداتیو القایی به واسطه سدیم می‌شود و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تولید شده به‌وسیله سلول‌های گیاهی از جمله پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز باعث خنثی‌سازی و کاهش گونه‌های اکسیژن فعال و حفاظت سلول و تحمل در برابر شرایط تنش در گیاه می‌شوند (Mittler, 2002; Sairam and Tyagi, 2004). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ممکن است راهی برای تحمل گیاه به تنش‌های محیطی باشد (Abogadallah, 2010).

در پژوهش‌هایی که بر روی گندم و گوجه فرنگی انجام شد، تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد (ابراهیمیان و همکاران، ۱۳۸۹؛ مختاری و همکاران، ۱۳۸۹). درحالی‌که، افزودن کلسیم به محیط شور به‌طور معنی‌داری باعث کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت دارد.

هم‌چنین در پژوهش‌هایی دیگر که توسط محققان بر برنج، ذرت خوشه‌ای، گندم و ذرت انجام شد، گزارش شد که تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت دارد (Amirjani, 2011; Bazi *et al*., 2009; Mandhania *et al*., 2006; Azevedo Neto *et al*., 2006; Sudhakar, 2001).

علت کاهش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز در هنگام افزودن تیمار کلسیم به محیط شور، ممکن است این باشد که کلسیم با کاهش تجمع سدیم، تنش شوری را در گیاه کاهش داده و در نتیجه نیاز گیاه را به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در طی تنش شوری را کاهش می‌دهد زیرا با کاهش تنش شوری، میزان تولید رادیکال‌های آزاد که بسیار واکنشگر و سمی هستند، کاهش می‌یابد (Cramer, 2002).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1392.5.20.2.3]

در پژوهش‌هایی که توسط محققان بر لوبیا، گشنیز و یونجه انجام شد، گزارش کردند که تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز شد که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت دارد (Demir and Kocacaliskani, 2001; Setayesh Mehr and Esmaeilzadeh Bahabadi, 2013; Wang and Zhang, 2009).

با توجه به اینکه کلسیم به عنوان یک عنصر غذایی معدنی مهم است و در کاهش اثرات زیانبار تنش شوری بسیار مؤثر است و هم‌چنین اهمیت جو به عنوان یک گیاه زراعی و با توجه به وسعت رو به افزایش زمین‌های شور، تعیین غلظت بهینه کلسیم برای تحمل گیاهان در شرایط تنش اهمیت دارد. در پژوهش حاضر، افزودن کلسیم به محیط شور باعث کاهش اثرات مضر تنش شوری شد و بیش‌ترین اثرات بهبود دهنده کلسیم در غلظت ۶ میلی‌مولار کلریدکلسیم مشاهده شد که می‌تواند راهکاری ساده، ارزان و اقتصادی برای مقابله با تنش شوری و افزایش بهره‌وری خاک و گامی به سوی کشاورزی پایدار را فراهم نماید.

منابع

ابراهیمیان، ع.، لاهوتی، م. و اصغرزاده، ا. ۱۳۸۹. تغییرات فعالیت آنزیم پراکسیداز، مقادیر پرولین و کلروفیل برگ در سطوح مختلف کلسیم در گیاهان گندم رقم *Triticum sativum* L. (cv. soissons) و بهبود بهره‌وری خاک در شرایط تنش شوری. اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان. ۲۰-۱۹ آبان ۱۳۸۹، اصفهان. ایران. ص: ۹۷-۹۵.

خدابنده، ن. ۱۳۸۴. غلات. چاپ هشتم. موسسه انتشارات دانشگاه تهران. ۵۳۸ ص.

مختاری، ا.، ابریشم‌چی، پ. و گنجعلی، ع. ۱۳۸۹. تأثیر کلسیم بر رشد و سازگاری بیوشیمیایی گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicum esculentum* var. Mobile) تحت تنش شوری. شانزدهمین کنفرانس سراسری و چهارمین کنفرانس بین المللی زیست شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۵-۲۳ شهریور ۱۳۸۹. مشهد. ایران. ص: ۱۲۳-۱۲۵.

Abogadallah, G.M. 2010. Antioxidative defense under salt stress. Plant Signaling and Behavior 5 (4): 369-374.

Amirjani, M.R. 2011. Effect of salinity stress on growth, sugar content, pigments and enzyme activity of rice. International Journal of Botany 7 (1): 73-81.

Azevedo Neto, A.D., Prisco, J.T., Eneas-Filho, J., Abreu, C.E.B. and Gomes-Filho, E. 2006. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt tolerant and salt sensitive maize genotypes. Environmental and Experimental Botany 56(1): 87-94.

Bazi, S., Heidari, M., Mahdinegad, N. and Abbasi, F. 2009. Effects of different salinity stresses on osmotic adjustment and activity of antioxidant-enzymes in two sorghum genotypes. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science 12 (46): 18-27.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1392.5.20.2.3]

Blokhina, O., Virolainen, E. and Fagerstedt, K. 2003. Antioxidant oxidative damage and oxygen deprivation stress. Annals of Botany 91: 179-194.

Cramer, G.R. (2002). Sodium-calcium interaction under salinity stress. Chapter 10: 205-228.

Demir, Y. and Kocacaliskani, I. 2001. Effect of NaCl and proline on polyphenol oxidase activity in bean seedling. Biologia Plantarum 44 (4): 607-609.

Gholizadeh, S., Nemati, I. and Moradi, F. 2012. Effect of supplemental calcium and potassium on organic and inorganic solutes and antioxidant enzymes activity in NaCl stressed alfalfa seedlings. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4 (7): 377-385.

Mac-Adam, J.W. and Nelson Sharp, C.J. 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. Journal of Plant Physiology 99 (3): 872-878.

Mandhania, S., Madan., S. and Sawhney, V. 2006. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. Biologia Plantarum 50 (2): 227-231.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. Trends in Plant Science 7 (9): 405-415.

Parida, A.K. and Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants. a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60 (11): 324-349.

Parvaiz, A. and Satyawati, S. 2008. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. Plant Soil Environment. 54 (3): 89-99.

Rengel, Z. 1992. The role of calcium in salt toxicity. Plant Cell and Environment. 15(6): 625-632.

Reymond, J., Pakariyathan, N., Azanza, J.l. 1993. Purification and some properties of polyphenol oxidase from sunflower seeds. Phytochemistry 34 (4): 927-931.

Sairam, R.K. and Tyagi, A. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Current Science 86 (3): 407-421.

Setayesh Mehr, Z. and Esmaeilzadeh Bahabadi, S. 2013. Physiological and antioxidant responses of coriander (*Coriandrum sativum* L.) to salinity. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5 (4): 344-348.

Shariat Jafari, M.H., Kafi, M. and Astaraie, A.R. 2009. Interactive effects of NaCl induced salinity, calcium and potassium on physiomorphological traits of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). Pakistan Journal of Botany 41 (6): 3053-3063.

Sivasankaramoorthy, S. 2013. Effect of supplementary calcium enhances plant growth, photosynthetic pigments and uptake of nutrient in *Oryza sativa* L. under NaCl stress. International Journal of Chemical and Life Sciences 2 (7): 1189-1192.

Sudhakar, C. 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. Plant Science 161 (3): 613-619.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1392.5.20.2.3]

Wang, Y.X. and Zhang, B. 2009. Effects of salt stress in enzyme activity and soluble sugar content of alfalfa. Chinese Journal of Xinjiang Agricultural Sciences 46 (3): 589-591.

Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G., Siosemardeh, A., Ghassemi-Golezani, K. 2012. Changes in antioxidant enzymes activity and plant performance by salinity stress and zinc application in soybean (*Glycine max* L.). Plant Omics Journal 5 (2): 60-67.

White, P.J. and Broadley, M.R. 2003. Calcium in plants. Annals of Botany 92 (4): 487-511.

Zhou, G. and Ma, B.L. 2012. Calcium addition affects germination and early seedling growth of sweet sorghum under saline conditions. Agricultural Science and Technology 13 (12): 2538-2543.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1392.5.20.2.3]