تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۷ (ص۱۰۹۳-۱۰۸۳) DOI: 10.22059/ijswr.2018.241960.667764

The effect of Alkalinity Stress, Salicylic Acid and Soil Type on Mung Bean Growth Parameters (*Vigna radiata* Wilczek)

ALIASHRAF AMIRINEJAD[1*], MOJGAN BAHRAMI[2], MOKHTAR GHOBADI[3]

1. Assistant professor, Department of soil Science and engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran
2. MSc student, Department of Soil Science and engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran
3. Associate professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

(Received: Oct. 18, 2017- Revised: Apr. 5, 2018- Accepted: Apr. 8, 2018)

ABSTRACT

Salicylic acid plays a vital role in increasing the resistance of plants to alkalinity stress. In this research, the interaction of alkalinity stress, salicylic acid and soil type on Mung bean growth parameters were investigated. This experiment was conducted as a factorial based on a complete randomized design with three replications in greenhouse of Razi University. Treatments included alkalinity stress (Sodium bicarbonate at three levels 0, 20 and 40 mM), salicylic acid at four levels (0, 250, 500 and 750 µM) and two soil types. The results showed that although alkalinity stress significantly reduced the growth parameters such as plant height, root/shoot ratio, number of active root nodes, leaf area and leaf relative water content and increased proline content of the plant at 1% level, but in contrast, salicylic acid spray mitigated them. Furthermore, there was a significant difference between the two soil types in terms of reducing the effects of stress. In general, the concentration of 500 mM salicylic acid, as an optimum concentration, could neutralize the effects of extreme tension in alkalinity.

Keywords: Growth parameters, alkaline stress, salicylic acid, mung bean

* Corresponding Author's Email: aliamirinejad@yahoo.co.uk

اثرات متقابل تنش قلیائیت، سالیسیلیک‌اسید و نوع خاک بر پارامترهای رشد گیاه ماش (*Vigna radiata* Wilczek)

علی اشرف امیری نژاد[۱]، مژگان بهرامی[۲] و مختار قبادی[۳]

۱. استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی ، کرمانشاه، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(تاریخ دریافت: ۲۶/ ۷/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۱۶/ ۱/ ۱۳۹۷- تاریخ تصویب: ۱۹/ ۱/ ۱۳۹۷)

چکیده

سالیسیلیک‌اسید نقش حیاتی در افزایش مقاومت گیاهان در مقابل تنش قلیائیت دارد. در این تحقیق، اثرات متقابل تنش قلیائیت، سالیسیلیک‌اسید و نوع خاک بر پارامترهای رشدی گیاه ماش بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، در گلخانه دانشگاه رازی اجرا گردید. تیمارها شامل تنش قلیائیت (نمک بیکربنات سدیم در سه سطح ۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار)، سالیسیلیک‌اسید در چهار سطح (۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ میکرومولار) و دو نوع خاک بود. نتایج نشان داد که اگرچه تنش قلیائیت بطور معنی‌داری ویژگی‌های رشدی از قبیل ارتفاع بوته، نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه، تعداد گره فعال ریشه، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ را کاهش و مقدار پرولین را در سطح یک درصد افزایش داد، اما در مقابل، محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید باعث تعدیل آن‌ها شد. همچنین، به دلیل اختلاف ویژگی‌ها، تفاوت معنی‌داری بین دو نوع خاک از نظر کاهش اثرات تنش وجود داشت. به‌طورکلی، غلظت ۵۰۰ میکرومولار سالیسیلیک‌اسید، به عنوان غلظت بهینه، توانست اثر منفی تنش شدید قلیائیت را خنثی سازد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای رشد، تنش قلیائیت، سالیسیلیک‌اسید، ماش.

مقدمه

اگرچه قلیائیت خاک یکی از عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Rady *et al*, 2013)، اما امروزه، به دلیل ازدیاد جمعیت و افزایش تقاضا برای غذا، موضوع بهره‌برداری از خاک‌های شور و قلیا بیش از گذشته مورد توجه قرارگرفته است (Prasad and Power, 2001). کشور ایران با ۲۷ میلیون هکتار اراضی شور و قلیا، در مقام اول کشورهای آسیایی قرار دارد؛ به عبارت دیگر، حدود ۱۲/۵ درصد از مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، دارای خاک‌های شور و قلیا هستند (Bagheri and Hassanbaygi, 2009).

در خاک‌های قلیا، وجود سدیم بالا موجب تخریب ساختار خاک و تشکیل سله در سطح اراضی شده که باعث کاهش انتقال آب و هوا به درون خاک، افزایش آبدوی‌سطحی و فرسایش، کم‌شدن تهویه و در نهایت کاهش رشد و عملکرد محصولات زراعی می‌گردد (Gharaibeh *et al*., 2010). همچنین، pH زیاد خاک به عنوان یک عامل کلیدی در محدودکردن رشد و توسعه گیاه در شرایط قلیا مطرح است (Wang *et al*., 2011). به عبارتی، pH زیاد ناشی از تنش - قلیائیت، به ساختار ریشه و فعالیت‌های آن مانند جذب آب و یون‌ها و نیز مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی و سیستم غشاء سلولی آسیب می‌رساند (Yang *et al*., 2009). همین‌طور، بیکربنات به عنوان یون اصلی در شرایط قلیائیت، از طریق کاهش حلالیت مواد غذایی، جذب یون و تعادل یونی در گیاهان را تحت تأثیر خود قرار داده و لذا باعث کاهش رشد و عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود (Valdez-Aguilar and Reed, 2008).

به‌طورکلی، تنش قلیائیت که شامل تنش اسمزی، آسیب یونی و تنش pH بالا است، هر ساله بخش قابل توجهی از عملکرد محصولات زراعی را کاهش می‌دهد (Akhil *et.al*., 2008). علاوه بر این، کاهش وزن اندام‌های هوایی و توسعه ریشه گیاهان در خاک نیز در اثر تنش قلیائیت گزارش شده‌است (Liu *et al*., 2010).

ماش با نام علمی (*Vigna radiate*)از خانواده بقولات (Leguminosae)، تیره پروانه‌داران (Fabaceae) و راسته نخود (Fabales) است. این گیاه، با قابلیت همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هوا و یا تولید ماده آلی، در حاصلخیزی و

* نویسنده مسئول: aliamirinejad@yahoo.co.uk

بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک نقش مهمی دارد (Mobaser and Mousavi Nick, 2010).

اگرچه گیاه ماش نسبت به تنش خشکی مقاوم است، اما نسبت به تنش شوری و قلیائیت حساس می‌باشد (Tang *et al.*, 2014). با توجه به اثرات زیان‌بار قلیائیت، به عنوان یک تنش محیطی مهم، بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی و از جمله ماش، لذا، بحث افزایش مقاومت گیاهان در برابر این تنش اهمیت دارد. روش‌های زیست‌فناوری و یا اصلاح نبات معمولاً دارای خطرات بالایی بوده و یا هزینه‌بر هستند. بنابراین، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد از قبیل سالیسیلیک‌اسید، به عنوان یک راهکار ارزان و بی‌خطر برای مقابله با تنش قلیائیت در گیاهان دارای اهمیت است (Zhu, 2011).

در این مطالعه، علاوه بر ارزیابی اثرات تنش قلیائیت بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه ماش (*Vigna radiata*)، اثر کاربرد سالیسیلیک‌اسید به صورت محلول‌پاشی در کاهش آثار سوء این تنش و نیز اثرات متقابل تنش قلیائیت، سالیسیلیک‌اسید و نوع خاک (دو خاک با ویژگی‌های مختلف، به خصوص از نظر مقدار ماده آلی و درصد کربنات کلسیم معادل) بر ویژگی‌های رشدی گیاه ماش بررسی شد.

مواد و روش‌ها

روش اجرای طرح و اعمال تیمارها

آزمایش، به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل تنش قلیائیت (نمک بیکربنات سدیم در سه سطح صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار)، سالیسیلیک‌اسید (در چهار سطح صفر، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ میکرومولار) بود. نمونه‌ی خاک گلدان‌ها از لایه سطحی (عمق ۰- ۳۰ سانتی‌متری) اراضی دانشکده کشاورزی (با مشخصات ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه و ۱۴ ثانیه شمالی و ۴۷ درجه و ۶ دقیقه و ۱۱ ثانیه شرقی) و اراضی سری ظفر کرمانشاه (با مشخصات ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه و ۶ ثانیه شمالی و ۴۷ درجه و ۹ دقیقه و ۴۲ ثانیه شرقی) تهیه گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده

ویژگی خاک	pH	EC (dS/m)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	کربن‌آلی (٪)	کربنات کلسیم (٪)	CEC (Cmol/Kg)
سری دانشکده	۸/۱	۰/۲۸	۱۰/۵	۶۴/۵	۲۵	۰/۸۳	۳۱/۲	۱۸
سری ظفر	۷/۴	۰/۷۷	۱۰	۶۳	۲۷	۳/۱	۱۳/۷	۲۹

برای انجام طرح از گلدان‌های ده کیلوگرمی استفاده گردیده و نمونه‌های خاک بعد از هوا خشک‌کردن در داخل گلدان‌ها ریخته شد. در داخل هر گلدان، ده عدد بذر ماش رقم گوهر با قوه نامیه ۹۵ درصد به صورت دایره‌ای کاشته شد. عملیات آبیاری مطابق کاهش درصد رطوبت خاک و وجین علف‌های هرز بر اساس نیاز صورت گرفت. پس از جوانه‌زنی و ظهور برگ‌های حقیقی (مرحله دوبرگی)، در هر گلدان پنج بوته را باقی گذاشته و بقیه تنک شد. در این مرحله، به هر گلدان حدود ۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتروژن به صورت کود اوره محلول در آب اضافه و بلافاصله آبیاری انجام گردید. در موقع کشت نیز حدود ۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اکسید فسفر (P_2O_5) به صورت کود سوپر فسفات تریپل اضافه گردید تا فسفر لازم برای رشد ریشه گیاه تأمین شود. پس از استقرار کامل گیاهان و در مرحله ۴-۳ برگی، تیمارهای آزمایشی اجرا گردید.

تیمار سالیسیلیک‌اسید در ساعات غروب آفتاب (برای جلوگیری از تبخیر محلول)، به صورت محلول‌پاشی برگی تا خیس‌شدن کامل سطح برگ‌ها انجام گرفت. این عملیات با فاصله هر ده روز یک بار تکرار شد و تا شروع گلدهی گیاه ماش ادامه یافت. در تیمار شاهد فقط محلول‌پاشی با آب مقطر انجام گردید. برای اعمال تنش قلیائیت از نمک بیکربنات سدیم ($NaHCO_3$) در سه سطح غلظت صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار استفاده شد. برای تهیه غلظت ۲۰ و ۴۰ میلی مولار، با توجه به عدد مولی بیکربنات سدیم (۸۴ گرم)، به ترتیب ۱/۶ و ۳/۶ گرم بیکربنات سدیم در یک لیتر آب مقطر حل گردید. آبیاری با فاصله سه روز یکبار و به روش توزین هر گلدان صورت گرفت. همچنین، در فاصله چهار هفته یک‌بار گلدان‌ها با آب معمولی آبیاری شد تا از تجمع نمک در گلدان‌ها اجتناب شود.

تجزیه نمونه‌های خاک و گیاه

نمونه‌های خاک بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری، برای اندازه‌گیری‌های فیزیکی و شیمیایی لازم مورد استفاده قرار گرفتند. درصد نسبی ذرات خاک به روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1979)، pH گل‌اشباع و هدایت الکتریکی عصاره گل‌اشباع با دستگاه مربوطه، کربنات کلسیم

معادل به روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک (Jackson, 1958) کربن آلی به روش اصلاح‌شده واکلی و بلاک (Walkley and Black, 1934) و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش سه مرحله‌ای (Bower, 1952) تعیین شد.

در پایان رشد رویشی گیاه (حدود نه هفته پس از سبز شدن)، برخی پارامترهای رشدی شامل وزن خشک اندام هوایی و ریشه (خشک شده در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت)، سطح ریشه (با استفاده از فرمول اتکینسون)، حجم ریشه هر بوته (از طریق جابجا شدن آب در یک استوانه مدرج)، شاخص سطح برگ (با دستگاه مربوطه)، مقدار نسبی آب برگ (با استفاده از رابطه $RWC^{1}=\frac{(FW-DW)}{(TW-DW)}\times 100$) (Diaz-Perez *et al.*, 2006)، طول ریشه و ارتفاع بوته (با استفاده از خط‌کش)، قطر ساقه‌ها (با استفاده از کولیس)، تعداد برگ و شاخه‌های فرعی، تعداد کل و تعداد گره‌های فعال و غیرفعال ریشه هر بوته ماش اندازه‌گیری و به صورت میانگین هر گلدان برای آنالیزهای آماری مورد استفاده قرار گرفت.

استخراج و اندازه‌گیری پرولین با استفاده از روش Bates *et al.*, (1994) صورت گرفت. در این روش، ابتدا نیم گرم پودر برگ خشک شده توزین و داخل یک لوله آزمایش ریخته شد. بعد به آن ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید سه درصد اضافه گردید و محتوای لوله‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای پایین نگهداری شد. بعد محتوای لوله‌ها با کاغذ صافی واتمن فیلتر شد. یک میلی‌لیتر از محلول صاف شده را در یک لوله آزمایش ریخته و به آن یک میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و یک میلی‌لیتر اسیداستیک خالص افزوده شد. لوله‌های آزمایش به مدت یک ساعت در بن ماری جوشان ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده تا محتوای لوله‌ها به رنگ آجری ظاهر گردد. با قرائت مقدار جذب محلول رنگی حاصل توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد مربوطه مقدار پرولین تعیین شد.

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و مقایسه اثرات ساده و متقابل با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

اثرات متقابل تنش قلیائیت و سالیسیلیک اسید و نوع خاک بر ویژگی‌های هوایی گیاه ماش

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های هوایی گیاه ماش در جدول (۲) آمده است. بر طبق نتایج، بیشترین تعداد برگ (با میانگین ۱۶ برگ)، بیشترین طول بوته (با میانگین ۶۰ سانتی‌متر)، بیشترین تعداد شاخه فرعی (با میانگین ۴/۳ شاخه)، بیشترین وزن خشک برگ (با میانگین ۹/۳ گرم)، بیشترین وزن خشک ساقه (با میانگین ۱۰/۸ گرم)، بیشترین قطر ساقه (با میانگین ۴ میلی‌متر)، بیشترین محتوای نسبی آب برگ (با میانگین ۶۶ درصد)، بیشترین سطح برگ (با میانگین ۴۱۵/۴ سانتی‌مترمربع) و کمترین مقدار پرولین‌برگ (با میانگین ۰/۱۹ میکرومول برگرم) در سری خاک ظفر و در شرایط بدون تنش قلیائیت و غلظت ۵۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد. همین‌طور، کمترین تعداد برگ (با میانگین ۶ برگ)، کمترین طول بوته (با میانگین ۴۳ سانتی‌متر)، کمترین تعداد شاخه فرعی (با میانگین ۱/۶ شاخه)، کمترین وزن خشک برگ (با میانگین ۴/۵ گرم)، کمترین وزن خشک ساقه (با میانگین ۴/۱ گرم)، کمترین قطر ساقه (با میانگین ۲ میلی‌متر)، کمترین محتوای نسبی آب برگ (با میانگین ۵۴ درصد)، کمترین سطح برگ (با میانگین ۱۳۶/۷ سانتی‌متر مربع) و بیشترین مقدار پرولین برگ (با میانگین ۰/۳۳ میکرومول‌برگرم) در سری خاک دانشکده و در شرایط بدون سالیسیلیک‌اسید و تنش شدید - قلیائیت به دست آمد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش قلیائیت، سالیسیلیک اسید و نوع خاک بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ماش

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد برگ	طول بوته	تعداد شاخه فرعی	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	نسبت وزن خشک ساقه به برگ	قطر ساقه	نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی (R/S)	سطح برگ	محتوایی نسبی آب برگ	پرولین
S	۱	۲۳**	۳۲۹**	۰	۱۷**	۱۵**	۵/۸۱۴	۰**	۰	۱۵۳۳	۱۸	۷/۱۶
SA	۳	۱۰۶**	۱۴۴**	۳/۵**	۲۷**	۱۶**	۰/۰۱۵*	۴/۰۵**	۱۲/۳۲**	۱۴۷۰۵۹**	۳۱۵**	۴۹۴/۱**
A	۲	۵۱**	۱۵۰**	۸**	۲۷**	۱۲*	۴۹	۱	۶/۷۳**	۳۶۴۶۴**	۵۶	۲۵۸/۲**
A × S	۲	۶/۰۵**	۰	۳/۱**	۰/۲**	۰/۰۰۱	۰/۰۷۷	۰/۰۷۹	۸۳۶۴**	۱۶	۳۵۰/۸*	
SA × S	۳	۱**	۰/۰۱۴	۱/۱۲	۰	۰/۰۰۳	۰/۰۱۶	۰/۵۱۹	۴۳۱۴	**۲۶۵	۲۱۶/۹*	
A × SA	۶	۰**	۰/۰۵۱	۰/۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰	۳۱۴۶	۴	۱۹۳/۱**	
SA × S × A	۶	۲۰**	۰**	۰/۰۴	۰**	۰/۰۰۱	۰/۰۲	۰/۳۵۹	۲۵۶۴۵**	۳۰۲**	۴۲۳/۹**	
خطا	۴۸	۰/۰۵	۱/۲۳۵	۲/۷۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۱۵	۱/۶۳۲	۵۶۰۰	۶۸	۸/۴۱	

** و * به ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن در سطح یک و پنج درصد است. **S** نوع خاک، **SA** سالیسیلیک‌اسید، **A** تنش قلیائیت

نتایج اثرات متقابل تنش قلیائیت، سالیسیلیک اسید و نوع خاک بر ویژگی‌های هوایی گیاه ماش در جدول (۳) آمده است. ملاحظه می‌شود که در شرایط تنش شدید قلیائیت، ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ماش کاهش معنی‌داری (عموماً در سطح یک درصد) داشته‌اند. به عنوان مثال، پارامترهای تعداد برگ، طول بوته، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، تعداد شاخه جانبی و قطر ساقه تحت تأثیر تنش قلیائیت بوده در سطح یک درصد کاهش معنی‌داری داشته است. کاهش پارامترهای رشدی گیاه ذرت (Deng *et al.*, 2010) و جو (Yang *et al.*, 2009)، کاهش تعداد برگ گوجه‌فرنگی (Wang *et al.*, 2011) و کاهش وزن خشک و تر گیاه و طول ساقه در لوبیا (Valdez-Aguilar and Reed, 2008) در تنش قلیائیت گزارش شده است.

جدول ۳. اثر تنش قلیائیت و سالیسیلیک‌اسید بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ماش در دو نوع خاک مورد مطالعه

سطوح سالیسیلیک-اسید (µmol/l)	سطوح بیکربنات سدیم (mmol/l)	سری خاک	تعداد برگ	طول بوته (cm)	تعداد شاخه جانبی	وزن خشک برگ (gr)	وزن خشک ساقه (gr)	قطر ساقه (mm)	R/S	سطح برگ (cm^2)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	مقدار پرولین (µmol/gr)
۰	۰	ظفر	۹/۳def	۵۳d	۳/۳a	۷/۳a	۸/۶۸c	۳/۸a	۰/۲۱a	۲۰۳ d-g	۶۱/۳ab	۰/۲۵b
	۲۰		۹ef	۵۰h	۲/۶a	۶/۴۶a	۷i	۳/۷a	۰/۲۳a	۱۷۸efg	۵۸/۳ab	۰/۲۷ab
	۴۰		۸fg	۴۷/۶l	۲a	۶a	۶/۱۳k	۳/۵a	۰/۲۵a	۱۴۳fg	۵۵b	۰/۳۳a
۲۵۰	۰		۱۱cd	۵۶b	۳/۶a	۷/۶۳a	۸/۵۳d	۴/۱a	۰/۲۰a	a-f۲۸۵	۶۳/۳a	۰/۲۳bc
	۲۰		۱۰/۳/cde	۵۲/۶e	۳a	۷/۱a	۷/۷۶g	۳/۹a	۰/۲۲a	c-g۲۴۰	۵۸ab	۰/۲۵b
	۴۰		۸/۶efg	۴۹j	۲/۳a	۶/۴۶a	۶/۶j	۳/۷a	۰/۲۳a	efg۱۷۱	۵۴/۷b	۰/۳۰a
۵۰۰	۰		۱۶a	۶۰a	۴/۳a	۹/۳a	۱۰/۸a	۳/۸a	۰/۱۷a	۴۱۵/۴a	۶۶a	۰/۲۱bc
	۲۰		۱۵a	۵۶/۳b	۳/۶a	۸/۳۶a	۹/۴۶b	۳/۷a	۰/۱۸a	a-e۲۹۵	۶۰/۴ab	۰/۲۳bc
	۴۰		۱۳b	۵۳/۳d	۳a	۷/۳a	۷/۷۶g	۳/۵a	۰/۱۸a	a-f۲۸۶	۵۷ab	۰/۲۷ab
۷۵۰	۰		۱۱cd	۵۴/۳c	۳/۶a	۷/۹a	۸/۶cd	۲/۷a	۰/۱۹a	a-e۲۹۴	۶۲/۳a	۰/۲۲bc
	۲۰		۱۰cde	۵۲f	۳a	۷/۱a	۷/۸۶fg	۲/۶a	۰/۲۱a	b-g۲۵۴	۵۹ab	۰/۲۴b
	۴۰		۸fg	۴۹/۳ij	۲/۶a	۶/۵۶a	۶/۲۶k	۲/۴a	۰/۲۳a	d-g۲۱۷	۵۵/۱b	۰/۲۹ab
۰	۰	دانشکده	۱۱/۳bc	۴۷m	۳a	۶/۳a	۷/۷۹fg	۳/۶a	۰/۲۱a	d-g۲۰۰	۶۰/۶ab	bc۰/۲۳
	۲۰		۸/۶efg	۴۵o	۲/۶a	۵/۲۳a	۵/۶l	۳/۵a	۰/۲۳a	efg۱۶۳	۵۷ab	۰/۲۵b
	۴۰		۶h	۴۳p	۱/۶a	۴/۴۶a	۴/۱n	۳/۳a	۰/۲۴a	g۱۳۶	۵۴/۷b	۰/۲۹ab
۲۵۰	۰		۱۰cde	۵۱/۳g	۳/۳a	۶/۸a	۷/۹۳f	۳/۸a	۰/۱۹a	f-a۲۸۴	۶۰ab	۰/۲۱bc
	۲۰		۹ef	۴۸/۳k	۳a	۵/۸۶a	۶/۶۷j	۳/۷a	۰/۲۱a	g-b۲۶۹	۵۸/۴ab	۰/۲۳bc
	۴۰		۷/۶fgh	۴۶/۶n	۲/۳a	۵/۳a	۵/۳۹m	a۳/۵	۰/۲۳a	g-c۲۳۵	۵۳b	۰/۲۷b
۵۰۰	۰		۱۵a	۵۴c	۴a	۸/۶a	۹/۴۶b	۳/۶a	۰/۱۷a	ab۳۹۰	۶۵/۲a	۰/۱۹c
	۲۰		۱۳b	۵۳d	۳/۶a	۷/۰۶a	۸/۳۵e	۳/۵a	۰/۱۸a	abc۳۶۶	۶۰ab	۰/۲۱bc
	۴۰		۱۱cd	۵۰h	۲/۶a	۷/۵۶a	۷/۱۳hi	a۳/۳	۰/۱۹a	a-d۳۴۲	۵۸ab	۰/۲۵b
۷۵۰	۰		۱۱/۳bc	۴۹/۶i	۳/۳a	۶/۷۳a	۷/۲۳h	۲/۹a	۰/۱۹a	a-f۲۸۹	۶۲/۷a	۰/۲۱bc
	۲۰		۹ef	۴۸k	۳a	۵/۹۳a	۶/۲k	۲/۸a	۰/۲۲a	b-g۲۶۶	۵۷ab	۰/۲۴b
	۴۰		۷gh	۴۶/۳n	۲/۳a	۵/۵۶a	۵/۵۳l	۲/۶a	۰/۲۳a	c-g۲۲۲	۵۴/۱b	۰/۲۶b

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

محدود شدن ارتفاع بوته و ساقه‌های جانبی در شرایط تنش قلیائیت را می‌توان به عنوان یک مکانیسم سازگاری در نظر گرفت، زیرا در مواقع تنش، گیاه تلاش می‌کند رشد رویشی خود را سریع‌تر تمام کرده تا به مرحله زایشی و گلدهی رسیده و بقای نسل خود را حفظ کند (Ahmad and Sharma, 2010). به عبارت دیگر، از جمله مکانیزم‌های فرار از تنش در گیاهان،

عدم تورژسانس مناسب سلول‌ها و تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت مقابله با تنش بوده که موجب کوتاه شدن و کاهش رشد گیاهان می‌گردد (Lian *et al.*, 2010). به عقیده Hussain *et al.*, (2014)، کاهش ارتفاع گیاه بر اثر تنش قلیائیت، در اثر کوتاه شدن میانگره‌ها بوده که با کاهش رشد سلولی و تعداد سلول‌ها مرتبط می‌باشد. به عبارتی، تنش قلیائیت به دلیل کاهش رشد سلولی، مانع از توسعه عادی سلول‌های ریشه و کاهش دسترسی به مواد غذایی مورد نیاز گیاه می‌شود. بنابراین، موجب کاهش رشد بخش‌های هوایی گیاه و از جمله ارتفاع ماش می‌شود. این موضوع با نتایج حاصل از تحقیقات Guo *et al.*, 2009 و Hussain *et al.*, 2014 مطابقت دارد.

یکی دیگر از اثرات قلیائیت بر گیاهان، کاهش سطح برگ است و به عبارتی، کاهش سطح برگ به عنوان اولین عکس‌العمل گیاه در شرایط تنش‌قلیائیت مطرح می‌باشد (Shomeili *et al.*, 2012). این موضوع، منجر به کاهش تابش دریافتی و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌شود (Alam *et al.*, 2014)، زیرا میزان فتوسنتز و تولید ماده خشک یک گیاه با شاخص سطح برگ آن متناسب است (Shomeili *et al.*, 2012).

به هر حال تنش‌قلیائیت از طریق کاهش سرعت توسعه برگ و یا تغییر در شکل آن، سطح برگ را کاهش می‌دهد. همین‌طور، همبستگی منفی بین سطح برگ با مقدار عنصر سدیم گیاه (در ارتباط با بیکربنات سدیم خاک) وجود دارد (Valdez-Aguilar and Reed, 2010). کاهش سطح برگ تحت تأثیر تنش بیکربنات سدیم در گیاهان مختلف و از جمله جو گزارش شده است (Yang *etal.*, 2009). در واقع کاهش سطح برگ گیاه در شرایط تنش قلیائیت و یا بسته شدن روزنه‌ها ناشی از اثرات یون Na^+ بر سلول‌های محافظ روزنه برگ (Moradi and Abdelbagi, 2007)، ضمن کاهش فتوسنتز، باعث کاهش ماده خشک گیاهی می‌شود.

یکی دیگر از آثار تنش قلیائیت در گیاهان، جلوگیری از جذب آب و ایجاد تنش خشکی است. این فرایند بر مقدار نسبی آب برگ تأثیر گذاشته و لذا می‌توان علت کاهش محتوای رطوبت نسبی آب برگ گیاه ماش در شرایط تنش قلیائیت را کاهش جذب آب از ریشه‌ها دانست (Shibli *et al.*, 2013). بر اساس گزارش Shi and Wang, (2012)، کاهش آب قابل دسترس گیاه منجر به کاهش قطر ساقه می‌گردد. بنابراین، بوته‌هایی از ماش که از قطر ساقه بیشتری برخوردار بوده‌اند، می‌تواند به معنای آن باشد که قادر به رشد رویشی بیشتری بوده و لذا ماده خشک هوایی بیشتری نیز تولید کرده‌اند. تنش قلیائیت، از طریق کاهش میزان آب بافت گیاه، منجر به کاهش فشار آماس سلولی شده و بنابراین، با کاهش تقسیم سلولی، رشد عمومی گیاه و وزن خشک اندام‌های هوایی کم می‌شود (Sharma *et al.*, 2014). به عقیده Yassen and Mamari (2005)، محتوای نسبی آب برگ، شاخص مناسبی برای بیان وضعیت آب در بافت‌های گیاهی محسوب می‌شود.

از طرف دیگر، تجمع ترکیبات آلی مانند پرولین در سیتوپلاسم، نقش مهمی در کاهش تنش در گیاهان ایفا می‌کنند. به عبارتی، افزایش پرولین در گیاهان به هنگام تنش قلیائیت، یک نوع مکانیسم دفاعی است. یعنی پرولین از طریق مکانیسم‌های حذف گروه هیدروکسیل، تنظیم اسمزی و سنتز پروتئین، مقاومت گیاه را در برابر تنش قلیائیت بالا می‌برد (Hayat *et al.*, 2013) به عبارت دیگر، به هنگام تنش قلیائیت، پرولین به عنوان یک اسمولیت عمل کرده و پتانسیل اسمزی سلول‌ها را کاهش می‌دهد (Khan et al., 2010) Yang *et al.*, (2009) نیز اظهار داشته که در شرایط تنش‌قلیائیت، تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین در داخل واکوئل، یک راهبرد اصلی گیاهان در برقراری برگشت به حالت قبل از تنش است. به عبارتی، در پاسخ به تنش قلیائیت، پرولین در سیتوسول تجمع یافته و باعث تنظیم اسمزی سیتوپلاسمیک می‌شود. یعنی، در طول تنش که گیاه نیاز به حفظ پتانسیل آب سلولی و تورژسانس دارد، این موضوع توسط سنتز مواد تنظیم‌کننده اسمزی از جمله پرولین ایجاد می‌شود. اثر تنش‌قلیائیت در افزایش معنی‌دار پرولین در جو (Yang *et al.*, 2009)، گندم (Singh and Usha, 2013) و ذرت (Zamaninejad *et al.*, 2013) نیز گزارش شده‌است.

در مقابل اثرات منفی تنش قلیائیت، ملاحظه می‌شود که در شرایط کاربرد غلظت مناسب سالیسیلیک‌اسید (۵۰۰ میکرومولار)، ویژگی‌های اندام‌های هوایی گیاه ماش افزایش معنی‌داری (عموماً در سطح یک درصد) داشته است. به عنوان مثال، پارامترهای قطر ساقه، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی تحت تأثیر سالیسیلیک‌اسید در سطح یک درصد و نسبت وزن خشک ساقه به برگ، در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است. به نظر می‌رسد سالیسیلیک‌اسید با گسترش و توسعه سیستم ریشه‌ای، سبب افزایش جذب آب و عناصر غذایی در شرایط تنش‌قلیائیت شده که این خود افزایش پارامترهای رشدی مانند ارتفاع گیاه و سطح برگ را به همراه دارد (Yazdanpanah *et al.*, 2014). افزایش سطح برگ در اثر تیمار گیاه با سالیسیلیک‌اسید، در یونجه (Metwally *et al.*, 2011)، ذرت (Zamaninejad *et al.*, 2013)

و گندم (Sakhabutdinova *et al.*, 2010) نیز گزارش شده است.

بر طبق نظر Yazdanpanah *et al.*, (2014)، بهبود رشد گیاه تحت تنش‌قلیائیت با کاربرد سالیسیلیک‌اسید، به علت تأثیرات مطلوب آن بر فرآیندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و زیستی گیاهان است. به عنوان مثال، سالیسیلیک‌اسید از طریق سنتز پروتئین‌های خاصی به نام کیناز وظیفهٔ تنظیم تقسیم و تمایز سلولی را بر عهده دارد. لذا، محلول‌پاشی گیاه تحت تنش با سالیسیلیک‌اسید، زمینه‌ساز افزایش ارتفاع گیاه، محتوای نسبی آب برگ و بیوماس است (Singh, 2015). به عقیده Valdez-Aguilar and Reed (2010)، تیمار گیاهان با سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش‌قلیائیت، زمینه‌ساز جذب عناصر غذایی مانند کلسیم، منیزیم، فسفر و پتاسیم و کاهش جذب یون‌های سمی مانند کلر و سدیم بوده که می‌تواند عامل افزایش رشد گیاه و وزن شاخساره آن باشد.

همچنین، سالیسیلیک‌اسید با افزایش تقسیم سلولی، نقش مؤثری در افزایش ارتفاع گیاه دارد (Sakhabutdinova *et al.*, 2010). نقش سالیسیلیک‌اسید در افزایش معنی‌دار ارتفاع گندم (Singh and Usha, 2013)، ذرت (Mehrabian Moghadam *et al.*, 2011) و نخود (Majd et al., 2006) نیز گزارش‌شده است.

از طرف دیگر، اگرچه با تنش قلیائیت، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت، اما محلول‌پاشی گیاه با سالیسیلیک‌اسید، به علت تأثیر مثبت بر روی رشد ریشه، باعث افزایش ذخیره آبی گیاه و محتوای نسبی آب برگ ماش گردید. به عنوان مثال، بیشترین محتوای نسبی آب برگ (با میانگین ۶۶ درصد) در شرایط بدون تنش‌قلیائیت و غلظت ۵۰۰ میکرومولار سالیسیلیک‌اسید (در خاک سری ظفر) و کمترین محتوای نسبی آب برگ (با میانگین ۵۴ درصد) در شرایط بدون مصرف سالیسیلیک‌اسید و غلظت ۴۰ میلی‌مولار قلیائیت (در خاک سری دانشکده) به‌دست آمده است. مشابه این نتیجه توسط Singh and Usha (2013) در گندم و توسط Majd *et al.*, (2006) در نخود گزارش شده است. به عقیده Agarwal, *et al.*, (2005)، اثر سالیسیلیک‌اسید در افزایش محتوای نسبی آب برگ گیاهان در شرایط تنش، به علت نقش این ترکیب در تنظیم عملکرد روزنه‌ها و کاهش تبخیر سطحی اپیدرم می‌باشد. به عبارت دیگر، افزایش محتوای نسبی آب برگ، از جمله مکانیسم‌های مقاومت به تنش‌قلیائیت در گیاهان است که با مصرف سالیسیلیک‌اسید مورد انتظار است (Bezrukova, 2011). در چنین شرایطی و با افزایش مقدار نسبی آب برگ، مقدار پرولین گیاه ماش تحت تنش قلیائیت نیز کاهش‌یافته است. این موضوع با گزارش Delavri *et al.*, (2010) مطابقت دارد.

البته، کاربرد غلظت زیاد (۷۵۰ میکرومولار) سالیسیلیک-اسید اثرات منفی بر رشد گیاه ماش داشته و به عبارتی، موجب افزایش شدت تنش‌قلیائیت و کاهش مقاومت گیاه گردیده است. به گزارش Hayat and Ahmad (2007) کاربرد سالیسیلیک‌اسید با غلظت‌های بالاتر از حد آستانه تحمل، با ایجاد اختلالات فیزیولوژیکی، اثر بازدارندگی بر رشد گیاه دارد.

از سوی دیگر، بیشترین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در خاک سری ظفر و در شرایط بدون سالیسیلیک‌اسید و تنش شدید قلیائیت (با میانگین ۰/۲۵) و کمترین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در هر دو سری خاک دانشکده و ظفر و در شرایط بدون تنش‌قلیائیت و غلظت ۵۰۰ میکرومولار سالیسیلیک‌اسید (با میانگین ۰/۱۷) به‌دست آمده است. نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی یکی از شاخص‌های رشدی گیاه است که تابع تنش‌قلیائیت می‌باشد. به عبارتی، قلیائیت با اثرات متفاوتی که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر متابولیسم گیاه دارد، سبب کاهش رشد اندام‌های هوایی گیاه و افزایش نسبت وزن ریشه به اندام هوایی می‌گردد (Wang *et al.*, 2011). افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی در گیاهان مختلف تحت تنش‌قلیائیت، از جمله گوجه‌فرنگی (Wang *et al.*, 2011) و نیشکر (Hussain *et al.*, 2014) گزارش شده است.

اثرات متقابل نوع خاک، سالیسیلیک اسید و تنش قلیائیت بر ویژگی‌های ریشه گیاه ماش

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های ریشه گیاه ماش در جدول (۴) و اثرات متقابل نوع خاک، سالیسیلیک اسید و تنش قلیائیت بر این ویژگی‌ها در جدول (۵) آمده است. مطابق جدول (۵)، بیشترین تعداد کل گره ریشه (با میانگین ۳۹ گره)، بیشترین تعداد گره فعال ریشه (با میانگین ۳۲ گره)، بیشترین حجم ریشه (با میانگین ۱۹ سانتی‌مترمکعب) و بیشترین وزن خشک ریشه (با میانگین ۴/۸ گرم) در سری خاک ظفر و در شرایط بدون تنش‌قلیائیت و غلظت ۵۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمده است. همین‌طور، کمترین تعداد کل گره ریشه (با میانگین ۱۷ گره)، کمترین تعداد گره‌فعال ریشه (با میانگین ۱۶ گره)، کمترین حجم ریشه (با میانگین ۹ سانتی‌مترمکعب) و کمترین وزن خشک ریشه (با میانگین ۳/۷ گرم) در سری خاک دانشکده و در شرایط بدون سالیسیلیک اسید و تنش شدید قلیائیت به‌دست‌آمده است.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش قلیائیت، سالیسیلیک اسید و نوع خاک بر ویژگی‌های ریشه گیاه ماش

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد کل گره ریشه	تعداد گره فعال	تعداد گره غیر فعال	حجم ریشه	سطح ریشه	وزن خشک ریشه	طول ریشه
S	۱	۰	۲	۱۸**	۰/۰۱۴	۵۴۳**	۲/۱**	۲۰۶**
SA	۳	۳۳	۱۷**	۸**	۱۲۲**	۲۰۸۰**	۱/۰۱**	۲۲۴**
A	۲	۱۲۳۲**	۲۴**	۴**	۴۱**	۱۱	۳/۵**	۲۲**
A × S	۲	۴۷**	۰	۰	۲۲**	۳۱**	۰/۰۰۲	۰/۱
SA × S	۳	۵۲**	۸	۰	۰	۸	۰/۰۲۲	۰/۰۹
A × SA	۶	۷۱/۷**	۰/۰۷۴	۰/۰۵۶	۱	۵۶**	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳
SA × S × A	۶	۸۵**	۰	۰/۰۳۷	۳۷**	۲	۰/۰۰۹	۰/۰۱
خطا	۴۸	۴۰	۱۲	۳	۳/۱	۱۲	۰/۰۲۰	۱

** و * به ترتیب بیانگر معنی‌دارشدن در سطح یک و پنج درصد است. S نوع خاک، SA سالیسیلیک‌اسید، A تنش قلیائیت

ملاحظه می‌شود که در شرایط تنش شدید قلیائیت، حجم ریشه ماش کاهش معنی‌داری در سطح یک‌درصد داشته است. به عبارتی، بیشترین حجم ریشه (با میانگین ۱۹ سانتی-مترمکعب) در شرایط بدون تنش قلیائیت و غلظت ۵۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید (در خاک سری ظفر) و کمترین حجم ریشه (با میانگین ۹ سانتی‌مترمکعب) در شرایط بدون سالیسیلیک اسید و غلظت ۴۰ میلی مولار قلیائیت (در خاک سری دانشکده) به‌دست آمده است. در شرایط تنش قلیائیت، گیاه مقدار زیادی انرژی صرف مقابله با تنش‌قلیائیت نموده که این عمل باعث کاهش کارایی ریشه در جذب و تأمین عناصر غذایی و آب برای سایر اندام‌ها می‌شود. این موضوع کاهش حجم، وزن و طول ریشه را به دنبال دارد (Munir and Aftab, 2011). به عقیده Guo *et al.*, (2009)، کاهش توسعه طولی ریشه (عمق مؤثر ریشه) با افزایش تنش قلیائیت، به این دلیل است که در شرایط تنش، ریشه یون‌های سمی بیشتری را جذب می‌کند. در بعضی مطالعات، pH بالای محیط در شرایط قلیائیت، به عنوان عامل اصلی محدودکننده رشد ریشه گیاه بیان شده که منجر به آسیب تغذیه‌ای، اختلالات متابولیکی و یا عدم تعادل یونی می‌شود (Yang *et al.*, 2009). به عقیده Pearce *et al.*, (2012)، از بارزترین اثرات غلظت‌های بالای سدیم خاک‌های قلیا، کاهش حجم ریشه گیاهان است که خود منجر به جذب کمتر آب و عناصرغذایی می‌شود. بنابراین، کاهش جذب آب همراه با برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای و سمیت بعضی یون‌های خاص، موجب کاهش رشد ریشه در شرایط قلیا می‌شود. به طورکلی، ارقام گیاهی مقاوم به قلیائیت، نسبت به ارقام حساس، از ریشه‌های حجیم‌تر، طویل‌تر و نسبت بالاتر وزن ریشه به اندام هوایی (R/S) برخوردار می‌باشند (Alam *et al.*, 2014). از آنجا که ماش جز گیاهان حساس به تنش قلیائیت است، کاهش حجم ریشه گیاه با افزایش تنش قلیائیت، قابل انتظار بوده‌است. البته ملاحظه می‌شود که با کاربرد غلظت مناسب سالیسیلیک - اسید (۵۰۰ میکرومولار)، ضمن افزایش حجم ریشه ماش، اثرات تنش قلیائیت تعدیل گشته‌است. به عقیده Sakhabutdinova *et al.*, (2010)، اگرچه نحوه اثر سالیسیلیک اسید در افزایش رشد گیاهان تحت تنش ناشناخته است، اما احتمالا سالیسیلیک اسید باعث رشد و توسعه ریشه با تشدید تقسیم‌سلولی می‌شود. Fahad and Bano (2012) نیز گزارش کرده‌اند که سالیسیلیک - اسید با بهبود سیستم ریشه، زمینه سازگاری گیاه تحت تنش را فراهم می‌سازد. طبق یک گزارش، در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید سیستم ریشه حالت انتخابی در جذب و انتقال یون‌ها پیدا کرده و به صورت یک فیلتر، عبور یون‌ها و نسبت مطلوب یونهای سدیم به پتاسیم را کنترل می‌کند (Metwally *et al.*, 2011).

همچنین، در شرایط تنش قلیائیت، فتوسنتز گیاه نیز کاهش می‌یابد. این موضوع موجب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به ریشه شده که می‌تواند بر کاهش تعداد کل گره‌ها و نیز تعداد گره فعال ریشه مؤثر باشد. همین‌طور، سمی بودن محیط ریشه در شرایط قلیائیت خاک، عامل کاهش تعداد باکتری‌های ایجادکننده گره است. Valdez-Aguilar and Reed (2010)نیز ضمن اعلام کاهش تعداد ریشه‌های موئی دارای گره فعال باقلا تحت تنش قلیائیت، گزارش کرده‌اند که تمایز سلولی گره بوسیله تیمار قلیائیت تحت تأثیر قرارگرفته و در نتیجه گره‌ها لگ‌هموگلوبین (رنگ صورتی) خود را از دست داده و سفید (غیر فعال) می‌شوند. Anthraper and Dubois (2013) نیز گزارش کرده‌اند که تعداد گره‌های فعال و فعالیت باکتری‌های‌گره‌ساز تثبیت کننده نیتروژن، با افزایش قلیائیت خاک به طور معنی-داری کاهش می‌یابد.

نتیجه گیری کلی

تنش قلیائیت به عنوان یکی از تنش‌های محیطی می‌تواند موجب اختلال در فرآیند رشد و نمو گیاهان شود. ممانعت از رشد ریشه یکی از نخستین آثار تنش قلیائیت است. به هر حال pHبالای محیط ریشه در شرایط قلیائیت و جلوگیری از جذب مواد غذایی سبب کاهش رشد بخش‌های مختلف گیاه مانند کاهش رشد طولی و حجمی ریشه و یا کاهش سطح برگ و فتوسنتز گیاهان می‌شود. گیاه برای مقابله با اثرات مضر قلیائیت مجبور به صرف انرژی بیشتری بوده که در نتیجه، مقدار کمتری تولیدات فتوسنتزی به مصرف تولید ماده خشک می‌رسد؛ بنابراین وزن خشک کل گیاه کاهش می‌یابد. به طورکلی، گیاهانی که ریشه اصلی طویلتر و تعداد ریشه‌های جانبی بیشتری دارند نسبت به گیاهانی که این خصوصیت را کمتر دارند، تحمل بیشتری به تنش قلیائیت دارند. به عبارتی یک عامل مهم در میزان تحمل به قلیائیت، چگونگی توسعه سیستم ریشه‌ای آنها است. از طرف دیگر می‌توان گفت که در بعضی از نواحی تحت کشت ماش که تنش قلیائیت وجود دارد، برای افزایش رشد و عملکرد گیاه در این شرایط، کاربرد سالیسیلیک - اسید به عنوان یک هورمون رشدگیاهی، روشی آسان و مناسب است. یعنی اگرچه در شرایط تنش قلیائیت، کاهش رشد رویشی در گیاه ماش رخ داد، اما با استفاده از محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید رشد گیاه افزایش یافته است. به عبارت دیگر، تیمار گیاهان با سالیسیلیک‌اسید می‌تواند ضمن بهبود مقاومت گیاه ماش به تنش قلیائیت، باعث افزایش شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه در شرایط عادی و بدون تنش گردد.

جدول ۵. اثرات متقابل نوع خاک، سالیسیلیک اسید و تنش قلیائیت بر ویژگی‌های ریشه گیاه ماش

سطوح سالیسیلیک-اسید (µmol/l)	سطوح بیکربنات سدیم (mmol/l)	سری خاک	تعداد کل گره ریشه	تعداد گره فعال ریشه	تعداد گره غیرفعال ریشه	سطح ریشه (cm^2)	حجم ریشه (cm^3)	وزن خشک ریشه (gr)	طول ریشه (cm)
۰	۰	ظفر	۳۲abc	a۱۹	abc۱/۳	g۴۵	ef۱۳	a۲/۴	bc۱۷
	۲۰		۲۵b-f	۱۸a	۳/۶abc	۴۲g	۱۱fg	۴/۰۳a	۱۶cd
	۴۰		۱۸f	۱۷a	۴/۲abc	۴۱g	۱۰g	۳/۸a	۱۴ef
۲۵۰	۰		۳۵ab	۱۹/۵a	۲/۲bc	۵۴/۵f	۱۶bcd	۴/۴a	۱۸ab
	۲۰		۲۶b-f	۱۸a	۲/۸abc	۵۴/۳f	۱۵cde	۴/۳a	۱۷bc
	۴۰		۱۹ef	۱۷a	۳aabc	۵۴f	۱۴de	۴/۱a	۱۵de
۵۰۰	۰		۳۹a	۲۰a	۱/۸c	۶۷a-d	۱۹a	۴/۸a	۱۹a
	۲۰		۲۹a-e	۱۹a	۲/۳bc	۶۷a-d	۱۸ab	۴/۶a	۱۸ab
	۴۰		۱۹ef	۱۷a	۲/۹abc	۶۶b-e	۱۶bcd	۴/۴a	۱۶cd
۷۵۰	۰		۳۴abc	۲۳a	۲/۲bc	۵۵f	۱۶bcd	۴/۴a	۱۸ab
	۲۰		۲۵b-f	۲۲a	۲/۲bc	۵۴f	۱۵cde	۴/۳a	۱۷bc
	۴۰		۱۸f	۲۱a	۳abc	۵۴f	۱۳ef	۴/۱a	۱۵de
۰	۰	دانشکده	۳۰a-d	۱۸a	۴/۱abc	۴۳g	۱۳ef	۴/۰۶a	de۱۵
	۲۰		۲۴c-f	۱۸a	۴/۵abc	۴۲b	۱۱fg	۳/۹a	۱۴ef
	۴۰		۱۷f	۱۶a	۵/۳a	۴۲b	۹g	۳/۷a	۱۲g
۲۵۰	۰		۳۳abc	۱۹a	۳/۳abc	۶۴cde	۱۵cde	۴/۲a	۱۶cd
	۲۰		۲۶b-f	۱۹a	۴/۲abc	۶۲de	۱۴de	۴/۱a	۱۵de
	۴۰		۲۰def	۱۸a	۴/۹ab	۶۱e	۱۸ab	۳/۸a	۱۳fg
۵۰۰	۰		۳۵ab	۲۲a	۲/۱bc	۷۲a	۱۷abc	۴/۶a	۱۷bc
	۲۰		۲۹a-e	۲۱a	۲/۶abc	۷۰ab	۱۶bcd	۴/۵a	۱۶cd
	۴۰		۲۶b-f	۲۰a	۳/۵abc	۶۹abc	۱۶bcd	۴/۳a	۱۴ef
۷۵۰	۰		۳۲abc	۱۹a	۳/۳abc	۶۴cde	۱۶bcd	۴/۳a	۱۶cd
	۲۰		۲۵b-f	۱۸a	۴/۲abc	۶۴cde	۱۶bcd	۴/۱a	۱۵de
	۴۰		۲۰def	۱۷a	۴/۹ab	۶۳de	۱۵cde	۳/۸a	۱۳fg

REFERENCES

Agarwal S., Sairam R.K. Srivastava G.C. and Meena, R. (2005) Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plant*, 49,541-550.

Ahmad, P., and Sharma, S. (2010) Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alb*a L.) under $NaHCO_3$ stress. *International J. Plant Produc*., 4(2),1735-6814.

Akhil, R. B., Ishigo-oka, N. Adachi M, and Oguma, Y. (2008) Cold tolerance at the early growth stage in wildand cultivated rice. *Euphytica*, 165(3), 459-70.

Alam, M. Z., Stuchbury, T. Naylor, R. E. and.Rashid, M. A (2014) Effect of salinity and alkalinity on growth of some modern rice cultivars. *J. Agron*., 3(1), 1-10.

Anthraper, A., and Dubois, J. D. (2013) The effect of NaCl on growth, N_2 fixation, and percentage total nitrogen in *Leucaena leucocephala (*Leguminosae). *J. Bot*., 90(5), 683-692.

Bagheri, A.R., and Hassanbaygi, M. (2009) Effect of different levels of salinity on germination and accumulation of sodium and potassium ions in bean seed. *J. Enviro. Stress on Plant Sci*., 1(2),137-142.

Bates, L. S., Waldren R. P., and Teare, I. D. (1994) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 29, 205-207.

Bezrukova, M. V., (2011) The role of hormone changes in protective action of salicylic acid on growth of wheat seedlings under water deficit. *Agrochemya*, 2, 51-54.

Bower, C.A., (1952) Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Analysis. CRC, Press, USA

Deng, C.N., Zhang, G.X. Pan X.L. and Zhao, K.Y. (2010) Chlorophyll fluorescence and gas exchange responses of maize seedlings to saline-alkaline stress. *Bulg. J. Agric. Sci*., 16, 49-58.

Delavri, P.M., Baghizadeh, A. Enteshari, Sh. Kalantri, Kh. and Yazdanpanah, A. (2010) Deprivation. In search of the high-affinity K transport system. *Plant Physiol*.,100, 1269–1276.

Diaz-Perez, J. C., Shckel, K. L. and Sutter, E. G. (2006) Relative water content. *Annals of Botany*, 97, 85-96.

Fahad, S.H., and Bano, A. S. (2012) Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maizegrowth in saline area. *Pakistan J.Botany*, 44, 1433-438.

Gee, G.W., and Bauder, J.W. (1979) Particle size analysis by hydrometer: asimplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measured parameters. *Soil Sci Soc. Am. J*., 43, 1004-1007.

Gharaibeh, M., Eltaif, N. I. and Shraah, S. H. (2010) Reclamation of a calcareous saline-sodic soil using phosphoric acid and by-product gypsum. *Soil Use and Manag*, 26, 93–195.

Guo, R., Shi, L. and Yang, Y. (2009) Germination, growth, osmotic adjustment and ionic balance of wheat in response to saline and alkaline stresses. *Soil Sci. and Plant Nutri*., 55(5), 667-679.

Hayat, S., and Ahmad, A. (2007) *Salicylic acid: A plant hormone*. Springer. 401 pp.

Hayat, Q., Hayat, S. Irfan, M. and Ahmad, A. (2013) Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. *Environmental and Experimental Botany*, 68, 14-25.

Hussain, A., Khan, Z. Ashraf, M., Hamid Rashid, M. and Saeed Akhtar, M. (2014) Effect of alkali stress on some growth attributes of sugarcane cultivars. *International J. Agri. and Bio*., 11, 188–191.

Jackson, M. L., (1958) *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliff, 480p.

Khan, N.A., Shabian, S. Masoud, A. Nazar, A., and Iqbal, N. (2010) Application of salicylic acid. *Environ. Sci. Pollut*.,19, 2044–2054.

Lian, B., Zhou, M. Miransari D. and Smith, L. (2010) *Effects of salicylic acid on the environment*. SSSA Spec. Publ. 35. SSSA, Madison, WI, 460p.

Liu, J., Guo, W.Q. and Shi, D.C. (2010) Seed germination, seedling survival, and physiological response of sunflowers under saline and alkaline conditions. *Photosynthetica*, 48(2), 278-286.

Majd, A., Maddah, S.M. Fallahian, F. Sabagh Pour, S.H. and Chalbiyan, F. (2006) Comparing the effect of salicylic acid on yield, yield components and two susceptible and resistant chickpea resistance to the fungus *Ascochyta rabiei*. *Iranian J. Biology*, 19(3), 314-324(In Farsi).

Mehrabian Moghadam, N., Arvine, M. J. Khajavy Nejad, Gh. R. and Maghsoudi, K. (2011) Effect of salicylic acid on the growth and yield of corn in drought conditions in the field. *J. Agron. Seedlings and Seeds*, 27(1), 41-55. (In Farsi)

Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz, K. J. (2011) Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *Plant Physiol*., 132, 272–281.

Mobaser, H. R., and Mousavi Nick, M. (2010) *Legumes Crops*. 1st Edition, Islamic Azad University of Zahedan Publishers. p. 65-67 (In Farsi).

Moradi, F., and Abdelbagi, M. I. (2007) Response of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS- scavenging systems to salt stress during seedling stage in rice. *Annals Botany*, 25, 1-13.

Munir, N., and Aftab, F. (2011) Enhancement of alkali tolerance in sugarcane by ascorbic acid pretreatment. *African J. Biotechnology*, 10(80), 18362-18370.

Pearce, R. C., Li, Y. and Bush, L. P. (2012) Calcium and bicarbonate effects on the growth and nutrient uptake of burley tobacco seedlings. *J. Plant Nutri*., 32, 1079-1090.

Prasad, R., and Power, J. F. (2001) Soil fertility management for sustainable agriculture. p. 387.

Rady, M., Bhavya Varma, C. and Howladar, S. M. (2013) Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

seedlings overcome NaCl stress as a result of presoaking in leifera leaf extract. *Sci. Horti*. ,162, 63–70.

Sakhabutdinova, A. R., Fatkhutdinova, D. R. Bezrukova, M.V. and Shakirova, F. M. (2010) Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. *J Plant Physiol*, 29, 314-319.

Sharma, A.D., Thakur, M., Rana, M., and Singh, K. (2014) Effect of plant growth hormones and abiotic stresses on germination, growth and phosphates activities in Sorghum. *African J. Biotechnology*, 13, 308-312.

Shi, D., and Wang, D. (2012) Effects of various salt-alkali mixed stresses on Aneurolepidium. *Plant and Soil*, 271(2), 15-26.

Shibli, R. A, Kushad M. Yousef, G. and Lila, M. A. (2013) Physiological and biochemical responses of tomato micro shoots to induced alkalinity stress with associated ethylene accumulation. *Plant Growth Regulation*, 51, 159-169.

Shomeili, M., Nabipour, M. Meskarbashee, M. and Rajabi Memari, H. (2012) Evaluation of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) tolerance to salinity and alkalinity in vitro and in vivo cultures. *African J. Biotechnology*, 10(46), 9337-9343.

Singh, B., and Usha, K. (2013) Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *J. Plant Growth Regulation*, 39, 137–141.

Singh, K., (2015) Microbial and enzyme activities of saline and sodic soils. Degrad. Dev.pp. 706.

Tang, D. Y., Dong, Y. M. Ren, H. K. Li, L. and He, C. F. (2014) A review of photochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common food mung bean(*Vigna radiata*). *Chem. Central J.*, 8, 1–9.

Valdez-Aguilar, L. A., and Reed, D.W. (2008) Influence of potassium substitution by rubidium and sodium on growth, ion accumulation, and ion partitioning in bean under high alkalinity. Thesis. NWFP Agricultural University, Peshawar, 208p.

Valdez-Aguilar, L. A., and Reed, D. W. (2010) Growth and nutrition of young bean plants under high alkalinity as affected by mixtures of ammonium, potassium and sodium. *J. Plant Nutri*., 33, 1472-1488.

Walkley, A., and Black, I. A. (1934) A method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci*., 63, 251-263.

Wang, X., Geng, S., Ri, Y. J. Cao, D. Liu, J. Shi, D. C. and Yang, C. W. (2011) Physiological responses and adaptive strategies of tomato plants to salt and alkali stresses. *Horticulture Sci*., 130, 248-255.

Yang, C. W., Xu, H. H. Wang, L. L. Liu, J. Shi, D. C. and 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, 79-86.

Yassen, B.T., and Mamari. A. L. (2005). Further evaluation of the resistance of black barley to water stress. *Agron. J*. 174: 19-24.

Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A. and Abbassi, F. (2014) The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics. *African J. Agric. Rese*. 6,798-807.

Zamaninejad, M., Khorasani, S. K. Moeini, M. J. and Heidarian A. R. (2013) Effect of salicylic acid on morphological characteristics, yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) under salt stress. *Iranian J. Rang. For. Plant Breed. Gen. Res*., 16, 125-140.

Zhu, J. K., (2011) Over expression of a deltaproline-5-carboxylate synthetase gene and analysis of tolerance to salt stress in transgenic rice. *Trends in Plant Sci*., 12(2), 66-71.