نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۶۴۰-۶۲۹
شاپا: ۴۷۳۰-۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 32, No. 4, Winter 2019, p. 629-640
ISSN: 2008 - 4730

تأثیر تنش مکانیکی بر برخی از خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گل حسن‌یوسف (*Coleus blumei* Benth.)

عاطفه صفایی فر[۱]- عبدالحسین رضایی نژاد[۲]*- صادق موسوی فرد[۳]- فیض الله شهبازی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۲

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر تنش لرزشی بر کنترل رشد گیاه حسن‌یوسف انجام شد. آزمایش به‌صورت گلدانی و بر اساس فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. اعمال تنش پس از استقرار قلمه‌های ریشه‌دار شده، هر روز صبح بعد از طلوع خورشید در سه زمان صفر (شاهد)، پنج و ۱۰ دقیقه و قدرت تنش در سه فرکانس ۷/۵ و ۱۰ و ۱۲/۵ هرتز توسط دستگاه شبیه‌ساز لرزش انجام شد. نتایج نشان داد کلیه تیمارهای تنش لرزشی در تمامی قدرت‌ها و زمان‌های اعمال شده باعث کاهش ارتفاع گیاه شد. با افزایش قدرت و مدت تنش، ارتفاع گیاه کاهش بیشتری نشان داد به‌طوری‌که در گیاهان تحت تنش لرزشی با قدرت ۱۲/۵ هرتز و مدت زمان ۱۰ دقیقه نسبت به شاهد ۳۱ درصد کاهش ارتفاع نشان دادند. اعمال تنش لرزشی باعث کاهش تعداد و سطح برگ، طول ریشه، بیوماس گیاه و محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد شد، اما تأثیری در نشت یونی نداشت. در بین تیمارها، گیاهانی که با قدرت ۷/۵ هرتز و به‌مدت پنج دقیقه تحت تنش لرزشی بودند، ۱۶ درصد کاهش ارتفاع نسبت به شاهد نشان دادند اما سایر خصوصیات رشدی مانند قطر ساقه، سطح برگ، نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید و کلروفیل شرایط مشابه با گیاهان شاهد داشتند. با این حال برحسب شرایط تولید امکان انتخاب سایر شدت‌ها و مدت‌های تنش وجود دارد. بطور کلی بررسی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد امکان استفاده از تنش‌های مکانیکی کنترل شده برای تولید گیاهان گلدانی کوتاه و پرپشت بدون استفاده از مواد شیمیایی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: تنش لرزشی، حسن یوسف، کاهش ارتفاع، کنترل رشد

مقدمه

گیاه زینتی حسن‌یوسف (*Coleus blumei* Benth.) از خانواده نعناع Laminaceae، گیاهی علفی، پررشد، دارای برگ‌های زینتی رنگی که با زیبایی و تنوع ویژه‌اش، آن را از هر گیاه دیگری متمایز می‌سازد (۲۷). ساقه‌ی گیاهان این جنس در برش سطح مقطع به شکل چهارگوش، برگ‌ها متقابل با طول ۲/۵ تا ۱۰ سانتی‌متر، مضرس، دمبرگ‌دار یا بدون دمبرگ است (۳۴). از این گیاه عمدتاً به صورت گلدانی و آپارتمانی استفاده می‌شود.

تولید گیاهان آپارتمانی کوتاه و پرپشت در گلدان دارای ارزش تجاری می‌باشد. استفاده از مواد شیمیایی و کندکننده‌های رشد یکی از روش‌های معمول در کاهش ارتفاع گیاهان می‌باشد. در آزمایشی بر روی گل میخک گلدانی[۲] استفاده خاک‌کاربرد پاکلوبوترازول باعث کاهش رشد و ارتفاع گیاه شد (۴). نتایج آزمایش دیگری بر روی زنبق سیاه[۳] نشان داد که استفاده از پاکلوبوترازول و کلرومکوات‌کلراید باعث کاهش ارتفاع ساقه گل‌دهنده شده که برای گیاهان گلدانی مناسب می‌باشد (۱). در گیاهان گلدانی استفاده از کندکننده‌های رشد شیمیایی یک روش امتحان شده در کنترل طول ساقه است که برای متراکم کردن گیاه به‌کار می‌رود. اسپری موادی مثل دامینوزاید، کلرومکوات کلراید یا پاکلوبوترازول باعث کاهش ارتفاع گیاهان می‌شود اما نیاز به استفاده مکرر از این مواد باعث افزایش هزینه تولید و افزایش آلودگی‌های محیطی می‌شود. بنابراین تولید گیاهانی با ارتفاع کمترکه هزینه تولید کمتر و دوست محیط زیست باشد ضروری به‌نظر می‌رسد (۳۲). لذا محققین به‌دنبال راه‌های مختلف کاهش ارتفاع گیاهان هستند. در آزمایشی بر روی گل حنا[۴] بوسیله اعمال کنترل شده خشکی، ارتفاع گیاهان ۶۸ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
(*- نویسنده مسئول: Email: rezaeinejad.h@lu.ac.ir)
۴- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
DOI: 10.22067/jhorts4.v32i4.72467

2- *Dianthus caryophyllus*
3- *Iris chrysographes*
4- *Impatiens walleriana*

(۱۴). در آزمایش دیگری با کاهش میزان آبیاری ارتفاع گیاه میخک گلدانی کاهش یافت (۲). یکی دیگر از روش‌های کاهش ارتفاع گیاهان استفاده از کیفیت نور است، در آزمایشی بر روی دانهال‌های گوجه‌فرنگی[1] با تاباندن نور کنترل شده در پایان روز ارتفاع ساقه گیاه کنترل شد، به‌نحوی که با تابش نور قرمز به مادون قرمز بالا کوتاه شدن ساقه گیاهان و با تابش نور قرمز به مادون قرمز پایین افزایش ارتفاع ساقه گیاهان دیده شد (۱۵). استفاده از نور قرمز بیشتر نسبت به نور مادون قرمز باعث کاهش ارتفاع ساقه در گیاهان داوودی گلدانی[2] نسبت به شاهد شد (۹). استفاده از ترکیبات کودی و مواد غذایی در گیاهان نیز با تأثیر بر روی رشد رویشی می‌تواند باعث افزایش یا کاهش ارتفاع ساقه گیاهان شود، در آزمایشی بر روی گل ادریسی[3] یک ترکیب از غلظت مناسب از کود نیتروژن در طول دوره رویشی تا تولید و اسپری اوره تا قبل از ریزش برگ‌ها می‌تواند یک مدیریت مناسب در کنترل رشد رویشی بیش از اندازه باشد. افزایش ذخیره نیتروژن، مقدار نیتروژن مصرفی را کاهش می‌دهد و گلدهی گل‌های ادریس را بهینه می‌سازد (۶).

همچنین یکی از مشکلات پیش روی تولیدکنندگان گل و گیاه، رشد بیش از اندازه و متفاوت گیاهچه‌ها در زمان انتقال است. کنترل رشد در گیاهان پرورش یافته در هوای آزاد بوسیله مواد شیمیایی تنظیم‌کننده رشد یک روش معمول است اما استفاده از این مواد گران، سخت و بسیارمحدود است. بنابراین معقول است که جهت کنترل ارتفاع گیاه به‌روش‌های غیر شیمیایی، بتوان به‌آسانی برای استفاده تجاری آنها را سازگار کرد (۱۸). اختلالات مکانیکی یا تنش مکانیکی باعث پاسخ‌های مورفولوژیکی متفاوتی در گونه‌های گیاهی می‌شود. فنوتیپ خاص ایجاد شده توسط این گونه از تنش‌ها باعث کوتاه شدن و کمپکت شدن بیشتر گیاهان نسبت به گیاهانی است که تنش مکانیکی ندیده‌اند. این تأثیر بر روی ارتفاع می‌تواند باعث یکدست شدن گیاهان بارده شود (۱۹). استفاده از تنش‌های مکانیکی مانند تنش‌های لمسی، تکانی، لرزشی و... جهت کاهش ارتفاع و پرپشت کردن گیاهان گلدانی می‌تواند به‌عنوان یک روش مؤثر و کم هزینه ارزیابی شود. در آزمایشی برس‌کشی نشاهای خیار[4] ۱۰ بار در هر روز و به‌مدت چهار روز باعث کاهش ۲۵ درصد ارتفاع نهایی طول هیپوکوتیل در گیاهان تنش دیده نسبت به شاهد شد (۱۰). درآزمایش دیگری، تنش مکانیکی از نوع مالشی بوسیله یک اسفنج بر روی میانگره گیاه فلفل اعمال شد؛ این تنش باعث کاهش ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ، کاهش تعداد گل، کاهش وزن تر و خشک ریشه و ساقه و همچنین کاهش تعداد میوه، حجم میوه و وزن تر میوه نسبت به گیاهان شاهد شد (۱۹).

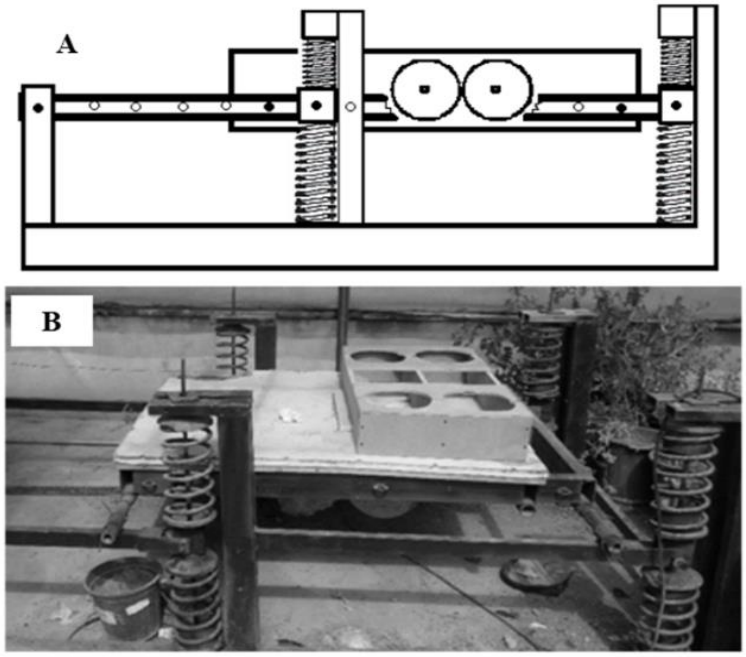
علاوه بر بررسی اثر تنش مکانیکی بر کنترل رشد گونه‌های مختلف سبزیجات، در گروهی دیگر از پژوهش‌ها اثر تنش مکانیکی بر گیاهان گلدار و زینتی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. اوتیو و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند که اعمال تنش تماسی باعث کاهش وزن تر و خشک بوته در گیاهان تنش دیده نسبت به شاهد در گل میناچینی[5] و کاهش ارتفاع بوته، طول ساقه و طول ساقه گل‌دهنده در گل اطلسی[6] نسبت به گیاهان شاهد شد (۳). ژارنر و لانگتون (۱۹۹۷) متوجه شدند که طول دمبرگ و وزن خشک بنفشه[7] در اثر تنش مکانیکی کاهش یافت (۱۸). همچنین تنش تماسی از نوع برس‌کشی بر روی بنفشه آفریقایی[8] باعث کاهش رشد گیاهان تنش دیده نسبت به شاهد شد (۱۲). در پژوهش حاضر با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز لرزش، کنترل رشد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گل حسن‌یوسف در شدت و مدت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی گیاه حسن‌یوسف در طی بهار سال ۱۳۹۶ در گلخانه‌ی پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان با میانگین دمای روزانه گلخانه ۲۸-۲۲ درجه سانتی گراد، رطوبت ۷۰-۶۰ درصد و نور ۶۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه انجام گرفت. در این پژوهش ابتدا گیاه مورد نظر از طریق قلمه از گیاه مادری تکثیر، سپس قلمه‌های دارای ۳-۲ جوانه و دارای ۲ برگ به‌طور مستقیم در گلدان های حاوی یک قسمت خاک، یک قسمت ماسه و یک قسمت کود حیوانی پوسیده کشت شدند. پس از ریشه‌دار شدن و استقرار گیاه در خاک که حدود یک هفته طول کشید، اعمال تیمارها روزی یکبار (صبح بعد از طلوع خورشید) شروع شد. پس از استقرار کامل گیاهان، تنش لرزشی توسط دستگاه لرزاننده موجود در گلخانه دانشکده بر روی گیاهان اعمال شد. برای شبیه‌سازی ارتعاشات بر روی گل‌ها، دستگاه شبیه‌ساز ارتعاشات در شرایط آزمایشگاه طراحی و ساخته شد. شکل ۱، شماتیک و تصویر این دستگاه را در حال انجام کار نشان می‌دهد. با توجه به شکل، مشاهده می‌شود که این دستگاه شامل یک میز ارتعاشی است که به آن دو عدد چرخ‌دنده وصل شده است و این چرخ‌دنده‌ها توسط یک موتور الکتریکی دور متغیر، در خلاف جهت هم می‌چرخند. بر روی محور چرخ‌دنده‌ها دو عدد وزنه به‌صورت خارج از مرکز قرارگرفته است که وزن و میزان خارج از مرکزی آن‌ها قابل تنظیم است. میز ارتعاشی بر روی دو تیرک افقی قرارگرفته است.

1- *Solanum lycopersicum*
2- *Chrysanthemum indicum*
3- *Hydrangea macrophylla*
4- *Cucumus sativus* L.
5- *Callistephus chinensis* L.
6- *Petunia* spp.
7- *Viola tricolor* L.
8- *Saintpaulia ionantha* H. Wendl.

بهارخواب‌ها توسط یک پیکربندی فنری نگهداری می‌شوند. یکسر تیرک‌ها از بالا و پایین به دو فنر (فنرهای بالایی و پایینی) و سر دیگر آن‌ها به‌صورت لولایی به تیرک‌های عمودی وصل شده است. به موتور الکتریکی یک دستگاه اینورتر، وصل شده است که با استفاده از آن دور موتور تغییر می‌کند و در اندازه مورد نظر تنظیم می‌شود. با تغییر دور موتور، دور چرخ‌دنده‌ها و درنتیجه سرعت زاویه‌ای وزنه‌ها تغییر می‌کند و میز به ارتعاش درمی‌آید. فرکانس دستگاه برحسب هرتز، از تقسیم تعداد دور چرخ‌دنده‌ها برحسب rpm که توسط اینورتر اندازه‌گیری می‌شود بر زمان ۶۰ ثانیه، به دست می‌آید. برای تنظیم شتاب دستگاه در اندازه موردنظر از تغییرات اندازه وزنه‌ها، خارج از مرکزی وزنه‌ها و تغییر موقعیت عرضی قرارگیری میز بر روی تیرک‌های افقی استفاده می‌شود.



شکل ۱- دستگاه شبیه‌ساز لرزش. شماتیک (A) و در حال انجام کار (B)
Figure 1- Vibration simulation. Schematic (A) and functioning (B) of

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمار مدت زمان اعمال تنش در سه زمان صفر (شاهد)، پنج و ۱۰ دقیقه و تیمار شدت اعمال تنش در سه سطح ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ هرتز بر روی گیاهان اعمال شد. پس از استقرار کامل گیاهان تیمارها به‌مدت چهار هفته اعمال شد. اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ طبق روش یاماساکی و دیلنبورگ (۴۱) انجام و غلظت مالون‌دی‌آلدئید طبق روش باگ و آست (۱۳) اندازه‌گیری شد. برای سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئید از روش لیختن تالر (۳۰) با استفاده از بافت تر برگی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر[1] مدل ماپادا[2] انجام شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ گیاه، تمامی برگ‌های بوته را از گیاه جدا کرده و توسط دستگاه سطح برگ سنج[3] اندازه‌گیری شد. طول ساقه و ریشه بااستفاده از خط‌کش اندازه‌گیری و واحد آن بر اساس سانتی‌متر گزارش گردید. با توجه به چهارگوش بودن ساقه گیاهان خانواده نعناییان، قطر ساقه به‌صورت مضربی از طول سطح مقطع ساقه در عرض آن که توسط دستگاه کولیس اندازه گیری شد، محاسبه شد. برای تجزیه آماری از نرم‌افزارهای Minitab و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون PLSD در سطح احتمال پنج درصد انجام و نمودارها با نرم افزار Prism 5 رسم گردید.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، تنش مکانیکی از نوع لرزشی بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشمیایی حسن‌یوسف موثر بود (جدول ۱)، به‌طوری که با افزایش مدت و شدت اعمال تنش لرزشی، کاهش معنی‌داری در ویژگی‌های رشدی به‌ویژه ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، سطح برگ، تعداد و طول شاخه جانبی، حجم و طول ریشه مشاهده شد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل مدت و

1- Spectrophotometer
2- Mapada, China
3- Leaf area meter (Delta-Tscan), England

شدت تنش بر ارتفاع گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که با افزایش قدرت و مدت اعمال تنش لرزشی، ارتفاع گیاه کاهش بیشتر نشان داد به‌طوری که در گیاهان تحت تیمار تنش لرزشی با قدرت ۱۲/۵ هرتز و مدت زمان ۱۰ دقیقه نسبت به شاهد ۳۱ درصد کاهش ارتفاع نشان دادند (جدول ۲). در پژوهش‌های مشابه نیز نتایج مشابهی از تاثیر تنش مکانیکی بر کاهش ارتفاع گیاهان بدست آمده است. اعمال تنش تماسی بر روی گیاه نخود[1] باعث کاهش رشد طولی نخود شد (۳۳)، همچنین تنش مکانیکی در برنج[2]، ذرت[3] و جو[4] باعث کاهش ارتفاع گیاهان نسبت به شاهد شد (۳۸). تنش‌های مکانیکی باکاهش حرکت قطبی اکسین باعث کاهش ارتفاع بوته می‌شود (۱۷). آزمایشات مختلف نشان دادند زمانی که یک دوره تنش تماسی اعمال می‌شود، انتقال اکسین نشاندار از طریق اپی‌کوتیل قطع شده نخود به میزان ۴۰ تا ۵۰ درصد در مدت ۲۴ ساعت کاهش می‌یابد که این میزان رشد طولی را متوقف می‌کند (۳۳). سیتوکنین به‌عنوان محرک تقسیم سلولی، محرک افزایش سطح برگ و کند کننده پیری برگ‌ها شناخته شده است. مقدار سیتوکنین-های فعال در ترشحات گیاه آفتابگردان[5] سربرداری شده در پاسخ به تنش‌های تکانی کاهش پیدا کرد؛ از طرف دیگر گزارش شده است که اتیلن توسعه سلول‌های جانبی را القا نموده که رشد طولی را محدود می کند، مطالعات نشان داده است که کاربرد خارجی اتیلن بعضی از اثرات ریخت‌شناسی تنش‌های مکانیکی را به انضمام اپی‌ناستی برگ و کاهش طویل شدن ساقه در بسیاری از گونه‌های گیاهی شبیه‌سازی خواهدکرد (۵). ظهور اتیلن ناشی از تنش مسلماً از افزایش ساخت پیش‌ماده اتیلن یعنی ۱-آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیل اسید ناشی می‌شود و ساخت ACC از طریق آنزیم ACC سنتتاز تنظیم می‌شود. بنابراین ظهور اتیلن ناشی از تنش مکانیکی باید در تحریک فعالیت آنزیم ACC سنتتاز دخالت داشته باشد (۲۴). اثراصلی مدت زمان و شدت تنش بر قطر ساقه در سطح یک درصد معنی‌دار شد اما اثر متقابل آنها معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که با افزایش مدت زمان اعمال تنش، قطر ساقه کاهش یافت. تاثیر تنش در شدت‌های ۷/۵ و ۱۰ هرتز یکسان بود ولی در شدت ۱۲/۵ هرتز، قطر ساقه کاهش بیشتری نشان داد. محرک‌های تکانی و تماسی هر دو طول ساقه را کاهش داده و نسبت قطر ساقه به طول را افزایش می‌دهند، اما ضخیم شدن ساقه‌ها فقط در پاسخ به تنش‌های تماسی اتفاق می‌افتد (۲۱).

در تعداد دیگری از پژوهش‌ها هم نشان داده شد که در گیاهان تحت تنش تکانی قطر ساقه در مقایسه با گیاهان شاهد معمولاً یا بدون تغییر مانده و یا کاهش می‌یابد (۲۰، ۲۱، ۲۳ و ۲۹). اثر متقابل مدت و شدت تنش بر تعداد و طول شاخه‌های جانبی در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). کمترین تعداد شاخه‌های جانبی در گیاهانی که به‌مدت پنج دقیقه و با فرکانس ۷/۵ هرتز تنش دیدند، مشاهده شد. همچنین اعمال تنش مکانیکی با شدت ۱۰ هرتز باعث کاهش تعداد شاخه‌های جانبی شد در حالیکه کاربرد فرکانس ۱۲/۵ هرتز تنش لرزشی اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد (جدول ۲). کلیه تیمارهای تنش لرزشی در تمام قدرت‌ها و زمان‌های اعمال شده باعث کاهش طول شاخه جانبی در گیاهان شد. افزایش شدت تنش در مدت زمان ۱۰ دقیقه باعث کاهش بیشتر طول شاخه‌های جانبی شد و کمترین طول شاخه‌های جانبی در گیاهانی که به‌مدت ۱۰ دقیقه و با شدت ۱۲/۵ هرتز تحت تیمار تنش لرزشی بودند دیده شد (جدول ۲).

در خصوص تعداد و سطح برگ تنها اثر اصلی مدت تنش در سطح یک درصد معنی‌دار شد و اثر اصلی شدت تنش و اثر متقابل مدت و شدت تنش معنی‌دار نشد (جدول ۱). اعمال تنش لرزشی باعث کاهش تعداد و سطح برگ شده و زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه اثر یکسانی داشتند (جدول ۲). وانگ و همکاران (۴۰) نیز نتایج مشابهی از کاهش تعداد برگ در بوته در اثر تنش مکانیکی بر روی دانهال‌های ماش معطر[6] نشان دادند. با افزایش مدت زمان اعمال تنش لرزشی، سطح برگ در بوته و میانگین سطح برگ نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد اما افزایش شدت اعمال تنش تأثیری بر کاهش این دو صفت نداشت (جدول ۲). گارنر و همکاران (۱۸) هم نشان دادند که تنش مکانیکی از نوع برس‌کشی باعث کاهش سطح برگ در بنفشه نسبت به گیاهان شاهد شد. همچنین تنش مکانیکی از نوع تماسی باعث کاهش سطح برگ در گیاهچه‌های فلفل[7] شد (۱۹).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان دادکه اثر مدت زمان اعمال تنش لرزشی بر طول ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر اصلی شدت و همچنین اثر متقابل مدت و شدت تنش معنی‌دار نشد. با اعمال تنش، طول ریشه کاهش یافته ولی مدت زمان ۵ و ۱۰ دقیقه تأثیر یکسانی داشتند. از طرف دیگر اثر متقابل مدت و شدت تنش بر حجم ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد و افزایش سطوح دو فاکتور مدت زمان و شدت تنش در تمامی تیمارها باعث کاهش حجم ریشه شد (جدول ۲).

1- *Pisum sativum*
2- *Oryza sativa*
3- *Zea mays*
4- *Hordeum vulgar*
5- *Helianthus annuus*
6- *Hedysarum leave*
7- *Capsicum annum*

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر شدت و مدت تنش مکانیکی بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در حسن یوسف

Table 1- ANOVA of the effects of frequency and duration of mechanical stress on selected characteristics of *Coleus blumei*

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعاتMS										
		ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	طول شاخه‌های جانبی Length of axillary shoots	تعدادشاخه جانبی No.of axillary shoots	تعداد برگ در بوته No. of leaves/plant	سطح برگ Leaf area	میانگین سطح برگ Mean Leaf area	طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume	وزن ترساقه Stem FW	وزن خشک ساقه Stem DW
مدت تنش Duration of stress (A)	2	123.62**	70**	1541.01**	13.48**	369.33**	793935**	170.57**	122.23**	712.48**	142.66**	0.201**
شدت تنش Frequency of stress (B)	2	14.06**	34.35**	136.04**	1.03ns	10.11ns	11203ns	4.6ns	7.509ns	17.81**	17.54**	0.0035ns
اثر متقابل A × B	4	2.85**	7.53ns	107.94**	2.37**	52.78ns	43335ns	12.54ns	7.55ns	11.92**	21.123**	0.011ns
اشتباه آزمایشی Error	18	0.46	3.723	7.56	0.33	22.7	16228	8.59	8.009	0.926	1.69	0.0064
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		2.68	4.3	5.96	5.99	8.24	11.28	6.12	10.71	5.33	10.86	13.33

ادامه جدول ۱- Table 1-continued

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعاتMS										
		وزن تر برگ Leaf FW	وزن خشک برگ Leaf DW	وزن تر ریشه Root FW	وزن خشک ریشه Root DW	محتوای نسبی آب RWC	نشت یونی Electrolyte leakage	مالون دی آلدئید MDA	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل Total Chl	کارتنوئید Carotenoids
مدت تنش Duration of stress (A)	2	162.86**	0.828**	148.29**	0.298**	99.068**	2.5ns	0.532*	1.42**	0.19ns	2.7**	0.15**
شدت تنش Frequency of stress (B)	2	1.06ns	0.0005ns	4.85**	0.0069ns	3.02ns	2.14ns	0.351*	3.1**	0.7**	6.66**	0.33**
اثر متقابل A × B	4	12.58**	0.084**	11.86**	0.048ns	86.045**	26.26ns	0.274*	4.07**	1.06**	8.93**	1.41**
اشتباه آزمایشی Error	18	1.47	0.0073	0.37	0.017	3.055	1.61	0.0907	0.05	0.0712	0.155	0.026
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		7.33	6.89	5.31	21.2	2.03	4.92	14.5	2.4	6.83	2.9	4.13

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns, * and ** non-significant and significant at 5% and 1% probability, respectively

جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های مورفولوژیکی در حسن یوسف تحت تأثیر شدت و مدت تنش مکانیکی

Table 2- Mean comparison of morphological characteristics of *Coleus blumei* under frequency and duration of mechanical stress

مدت تنش Duration of stress (min)	شدت تنش Frequency of stress (H_z)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	طول شاخه جانبی Length of axillary shoots (cm)	تعداد شاخه جانبی No. of axillary shoots/plant	تعداد برگ در بوته No. of leaves/plant	سطح برگ Leaf area (cm/plant)	میانگین سطح برگ Mean leaf (cm) area	طول ریشه Root length (cm)	حجم ریشه Root volume (cm^3)
0		29.5a	47.8a	60.1a	11.0a	64.7a	1423.87a	52.89a	30.6a	28.22a
5		23.88b	44.6b	44.1b	9.0b	56.7b	949b	45.64b	25.0b	14.11b
10		22.5c	42.2c	34.1c	8.7b	52.0b	877b	45.09b	23.7b	11.77c
	7.5	26.55a	46.4a	49.2a	9.9a	59.0a	11226a	48.27a	27.1a	19.55a
	10	25.27b	45.6a	47.4a	9.7ab	57.2a	1076a	48.27a	26.8a	17.77b
	12.5	24.05c	42.7b	41.7b	9.2b	57.1a	1056a	47.06a	25.4a	16.77c
	7.5	29.83a	48.1a	70.7a	12.0a	68.7a	1479a	50.73ab	30.8ab	28.33a
0	10	29.5a	47.7ab	58.5b	10.7b	60.7ab	1252ab	54.86a	29.8abc	28.33a
	12.5	29.16a	47.6ab	51.0c	10.3bc	64.7a	1541a	53.10a	31.2a	28.00a
	7.5	25.16b	46.7ab	41.3e	8.0f	54.0bc	944c	47.53bc	24.8de	12.00c
5	10	23.66cd	46.3ab	47.5cd	8.7ef	55.3bc	897c	44.50c	26.0bcd	18.00b
	12.5	22.83d	41.0d	43.5de	9.7cd	60.7ab	791c	43.26c	24.2de	12.33c
	7.5	24.66bc	44.4bc	35.5f	9.0de	49.0c	942c	46.55abc	24.7de	10.00d
10	10	22.66d	42.7cd	36.2f	8.3ef	55.3bc	1009c	45.58c	25.5cde	12.33c
	12.5	20.16e	39.5d	30.7g	9.7cd	51.7c	895c	44.80c	20.8e	13.00c

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون PLSD می‌باشند.

هر عدد نشان‌دهنده‌ی میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد

Values followed with the same letter(s) (column-wise) are not significantly different at $P<0.05$ according to PLSD.
Values are the mean of three replications ± S.E.

جدول ۳- مقایسه میانگین بیوماس ساقه، برگ و ریشه در حسن یوسف تحت تاثیر شدت و مدت تنش مکانیکی

Table 3- Mean comparison of stems, leaves and roots biomass of *Coleus blumei* under frequency and duration of mechanical stress

مدت تنش Duration of stress (min)	شدت تنش Frequency of stress (H_z)	وزن ترساقه Stem FW (g/plant)	وزن خشک ساقه Stem DW (g/plant)	وزن تر برگ Leaf FW (g)	وزن خشک برگ Leaf DW (g)	وزن تر ریشه Root FW (g)	وزن خشک ریشه Root DW (g)
0		16.37a	0.76a	21.42a	1.6a	16.01a	0.82a
5		10.89b	0.56b	14.28b	1.07b	10.05b	0.53b
10		8.62c	0.47b	13.84b	1.07b	8.26c	0.49b
	7.5	12.83a	0.62a	16.84a	1.25a	11.94a	0.64a
	10	12.71a	0.58a	16.55a	1.25a	11.78a	0.61a
	12.5	10.35b	0.58a	16.15a	1.24a	10.59b	0.58a
	7.5	12.63c	0.71ab	22.77a	1.7a	15.31b	0.84ab
0	10	16.06b	0.74a	18.35b	1.4b	14.2c	0.69bc
	12.5	20.41a	0.83a	23.15a	1.7a	18.52a	0.93a
	7.5	9.15de	0.58bc	13.82c	1.13cd	9.26f	0.52cde
5	10	12.46c	0.6bc	15.01c	1.1cd	11.24d	0.61cde
	12.5	11.07cd	0.5cd	14.02c	1de	9.65ef	0.45de
	7.5	9.27d	0.47cd	13.07c	0.92e	7.22g	0.39e
10	10	9.60d	0.52cd	15.11c	1.22c	10.38de	0.62bcd
	12.5	7.01e	0.42d	13.35c	1.06de	7.17g	0.45de

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون PLSD می‌باشند.

هر عدد نشان‌دهنده‌ی میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد

Values followed with the same letter(s) (column-wise) are not significantly different at $P<0.05$ according to PLSD.
Values are the mean of three replications ± S.E.

تنش‌های مکانیکی با کاهش منافذ خاک باعث فشردگی خاک شده و در چنین خاکی، از رشد ریشه‌ها ممانعت و یا اینکه رشد آنها با محدودیت روبرو می‌گردد. اثرات منفی تنش مکانیکی بر روی ریشه‌ها به کرات گزارش شده است (۲۵)، در آزمایشی گیاهچه‌های هفت روزه جو در بسترهای تحت تنش مکانیکی و بدون تنش قرار گرفتند، تنش مکانیکی باعث کاهش طول ریشه‌ها نسبت به تیمار شاهد شد (۳۱). در مورد ویژگی وزن خشک ساقه، برگ و ریشه، تنها اثر اصلی مدت تنش در سطح یک درصد معنی‌دار شد و اثر شدت تنش و اثر متقابل مدت و شدت تنش معنی‌دار نشد (جدول ۱). اعمال تنش صرفنظر از زمان و شدت تنش بطور یکسان باعث کاهش وزن خشک ساقه، برگ و ریشه در مقایسه با گیاهان شاهد شد (جدول ۳). پونتین و ویپیو (۳۶) نشان دادند که تنش تکانی باعث کاهش وزن تر و افزایش وزن خشک گیاه در دانهال‌های گل‌کلم[1]نسبت به گیاهان شاهد شد، اما گراهام و ویلر (۱۹) نتایج مشابهی با پژوهش حاضر را بدست آورده و نشان دادند که تنش مکانیکی بر روی گیاه فلفل باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه و ساقه نسبت به گیاهان شاهد شد. همچنین تنش مکانیکی از نوع برس‌کشی بر روی کاهو[2] باعث کاهش وزن خشک ساقه در گیاهان تنش دیده نسبت به شاهد شد (۷).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر متقابل مدت و شدت تنش مکانیکی بر محتوای نسبی آب برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد که افزایش مدت زمان وشدت اعمال تنش باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ در گیاهان تحت این تنش نسبت به تیمار شاهد شد، بطوری که، گیاهانی که با شدت ۱۲/۵ هرتز و به‌مدت ۱۰ دقیقه تحت تنش مکانیکی بودند کمترین محتوای نسبی آب را نشان داند. خواجه‌پور و کافی (۱۹) نیز نتایج مشابهی را بدست آورده و نشان دادند که تنش مکانیکی که توسط باد ایجاد شد باعث کاهش محتوای نسبی آب در گیاهان تحت تنش نسبت به نمونه‌های شاهد شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) همچنین نشان دادند که اثر تنش مکانیکی بر نشت یونی گیاهان تحت تنش معنی‌دار نبود. تیمارهای تنش لرزشی اختلاف معنی‌داری را در میزان نشت الکترولیت سلول‌های برگ گیاهان نسبت به گیاهان شاهد نشان نداد. اما اثر متقابل مدت و شدت تنش مکانیکی بر میزان مالون‌دی‌آلدئید در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در بین تیمارها، فقط اعمال تنش با شدت ۱۰ هرتز باعث کاهش مالون‌دی‌آلدئید در گیاهان تنش دیده نسبت به شاهد شد و در بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده نشد (جدول ۴). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر متقابل شدت و مدت تنش لرزشی بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. در تمام تیمارهای تنش لرزشی به‌جز گیاهانی که با شدت ۱۰ هرتز تحت تنش بودند، افزایش مدت و شدت تنش باعث افزایش سطح کلروفیل و کارتنوئید در برگ گیاهان تحت تنش نسبت به نمونه‌های شاهد شد و بیشترین میزان آن در گیاهانی که به مدت ۱۰ دقیقه و با فرکانس ۱۲/۵ هرتز تحت تنش لرزشی قرار گرفتند، مشاهده شد (جدول ۴). گراهام و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که تنش مکانیکی بر روی فلفل باعث افزایش نسبی سطح کلروفیل برگ شد (۲۳). لاتیمر و میشل (۱۹۸۸) هم نتایج مشابهی را از افزایش محتوای کلروفیل برگ دانهال‌های بادمجان[3] در اثر تنش تکانی گزارش دادند (۲۸).

نتیجه‌گیری

بطور کلی نتایج حاصل از این تحقیق، نشان‌دهنده اثرات مثبت تنش لرزشی بر کنترل رشد گیاه حسن‌یوسف بود. اعمال تنش در تمام سطوح آزمایش باعث کاهش ارتفاع گیاه شده و ویژگی‌های رشدی دیگر گیاه مانند تعداد و سطح برگ، طول ریشه، بیوماس گیاه و محتوای نسبی آب برگ نیز نسبت به شاهد کاهش نشان دادند، اما اعمال تنش تاثیری در نشت یونی نداشت. لذا استفاده از روش‌های غیرشیمیایی کنترل رشد گیاهان مانند اعمال تنش لرزشی، جهت تولید گیاهان گلدانی و آپارتمانی کوتاه و پرپشت، به‌دلیل هزینه پایین، سهولت کار و عدم آلودگی زیست محیطی، توجه بیشتری را می‌طلبد.

1- *Brassica oleracea*
2- *Lactuca sativa*
3- *Solanum melangena*

جدول ٤- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در حسن یوسف تحت تاثیر شدت و مدت تنش مکانیکی

Table 4- Mean comparison of physiological and biochemical characteristics of *Coleus blumei* under frequency and duration of mechanical stress

مدت تنش Duration of stress (min)	شدت تنش Frequency of stress (H_z)	محتوای نسبی‌آب RWC (%)	نشت یونی Electrolyte leakage (%)	مالون دی آلدئید MDA (µmol gFW^{-1})	کلروفیلa Chl a (mg g FW^{-1})	کلروفیلb Chl b (mg g FW^{-1})	کلروفیل کل Total Ch (mg g FW^{-1})	کارتنوئید Carotenoids (mg g FW^{-1})
0		89.1a	26.3a	2.34a	7.04c	2.83b	9.85c	2.83b
5		85.6b	25.7a	1.96b	7.52b	2.91ab	10.44b	2.9b
10		82.4c	25.3a	1.89b	7.83a	3.12a	10.95a	3.08a
	7.5	86.3a	26.2a	2.29a	7.84a	3.2a	10.97a	2.89b
	10	85.6a	25.9a	1.98b	6.79b	3.01a	10.85a	2.77b
	12.5	85.2a	25.3a	1.92b	7.76a	2.65b	9.42b	3.15a
	7.5	88.3bc	24.4de	2.5a	6.75e	2.66cd	9.41d	2.48de
0	10	86.2cd	25.1cd	2.43a	7.42d	3.17b	10.53c	3.32b
	12.5	92.7a	29.5a	2.1abc	6.96e	2.66cd	9.62d	2.7cd
	7.5	81.0f	28.2ab	2.17ab	8.62b	3.29b	11.91b	3.33b
5	10	90.8ab	26.6bc	1.87bcd	6.91e	2.48d	9.39d	2.63cde
	12.5	85.0de	22.4e	1.64cd	7.04de	2.97bc	10.01cd	2.73cd
	7.5	87.5cd	25.1cd	2.21ab	8.16c	3.08bc	11.24b	2.85c
10	10	82.0ef	24.1de	1.47d	6.04f	2.31d	8.35e	2.38e
	12.5	77.8g	26.7bc	2.21ab	9.29a	3.97a	13.27a	4.03a

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون PLSD می‌باشند. هر عدد نشان‌دهنده‌ی میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد

Values followed with the same letter(s) (column-wise) are not significantly different at $P<0.05$ according to PLSD. Values are the mean of three replications ± S.E.

منابع

1- Al-khassawneh M.N., Karam S.N., and Shibli R.A. 2006. Growth and flowering of iris (*Iris nigricans Dinsm*). Following treatment with plant growth regulators. Journal of Scientia Horticulturae, 107: 187-193.

2- Alvarez S., Navarro A., Banon S., and Sanchez-Blanco M.J. 2009. Regulated deficit irrigation in potted Dianthus plant: Effects of severe and moderate water stress on growth and physiological responses. Journal of Scientia Horticulturae, 122: 579-585.

3- Autio J., Voipo I., and Koivunen T. 1994. Responses of aster, dusty miller, and petunia seedlings to daily exposure to mechanical stress. HortScience, 29: 1449–1452.

4- Banon S., Gonzalez A., Cano E., Franco J., and Ferandez J. 2002. Growth, development and color response of potted *Dianthus caryophyllus* cv. Mondrian to paclobutrazol treatment. Journal of Scientia Horticulturae, 94: 371-377.

5- Barker J.E. 1979. Growth and Wood properties of *Pinus radiata* in relation to applied ethylene. New Zealand Journal of Forest Science, 9: 15-19.

6- Bi G., Scagel C.F., and Harkess R. 2008. Rate of Nitrogen fertigation during vegetative growth and spray applications of urea in the fall alters growth and flowering of florists' Hydrangeas. Journal of Hort Science, 43: 472-477.

7- Biddington N.L., and Dearman A.S. 1978**.** The effects of mechanically-induced stress on the growth of water and nutrient deficient lettuce and cauliflowers seedlings, Annals of Botany, 59: 679-683.

8- Biro R.L., and Jaffe M.J. 1984. Thigmorphogenesis: ethylene evolution and its role in the changes observed in mechanically perturbed bean plants. Physiologia Plantarum, 62: 289-296.

9- Bjerregaard Lund J., Blom T., and Mazanti Aaslyng J. 2007. End-of-day lighting with different Red/Far-red ratios using light-emitting diodes affects plant growth of *Chrysanthemum* × *morifolium* ramat. 'Carlo charm'. Journal of HortiScience, 42: 1609-1611.
10- Bjorkman T. 1999. Dose and Timing of Brushing to Control Excessive Hypocotyl Elongation in Cucumber Transplants. Hortechnology, 2: 224-226.
11- Boeger M.R.T., and Poulson M.E. 2003. Morphological adaptations and photosynthetic rates of amphibious *Veronica anagallis-aquatica* L. (Scrophulariaceae) under different flow regimes. Aqua. Bot., 75: 123-135.
12- Brotton C.J., and Cole C.J. 2009. Brushing Using a Hand Coated With Body Lotion or in a Latex Glove Decreases African violet Plant Quality and Size. Journal of Hort Technology, 190. pp. 613-616.
13- Buege J.A., and Aust SD. 1978. Microsomal lipid peroxidation. Methods Enzyme, 52: 302-310.
14- Burnett S., Lersel M., and Thomas P. 2005. PEG-8000Alters Morphology and Nutrient concentration of Hydroponic Impatiens. Journal of Hort Science, 40: 1768-1772.
15- Chia P-L., and Kubota C. 2010. End-of-day Far-red light quality and dose requirements for tomato rootstock hypocotyl elongation. Journal of HortScience, 45: 1501-1506.
16- Dhopte A.M., and Livera M.M. 2002. Principles and techniques for plant scientist:
17- Erner Y., and Jaffe M.J. 1982. Thigmomorphogenesis: the involvement of Auxin and Abscisic Acid in Growth retardation due to Mechanical perturbation. Journal of Plant & Cell physiol, 23: 935-941.
18- Garner L.C., and Langton F.A. 1997. Brushing pansy (*Viola tricolor*) transplants: a flexible, effective method for cotrolling plant size, Scientia Horticulture, 70: 187-195.
19- Graham T., and Wheeler R. 2017. Mechanical stimulation modifies canopy architecture and improves volume utilization efficiency in bell pepper: implications for bioregenerative life-support and vertical farming, open Agriculture, 42-51.
20- Heuchert J.C., Marks J.S. and Mitchel C.A. 1983. Strengthening of tomato shoots by gyratory shaking. Journal of the American Society of Horticultural Science, 10: 801-805.
21- Jaffe M.J., Biro R., and Bridle K. 1980. Thigmomorphogenesis: calibration of the parameters of the sensory function in beans, Physio. Plant. 49: 410-416.
22- Jones R.S., and Mitchell C.A. 1988. A marking device for the identification and measurement of growth zones in seedlings with minimum mechanical stress. Annuals of Applied Biology, 113: 437-441.
23- Jones R.S., Goe L.L., Montgomery L., and Mitchell C.A. 1990. Seismic stress response of soybean to different photosynthetic photon flux. Annuals of Botany, 66: 617-622.
24- Kafei M., Burzoei A., Salehei M., Kamandei A., Maasumei A., and Nabati J. 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Publications University of Mashhad.
25- Kafei M., and Damghanei A. 2002. The Mechanisms of Resistance of Plants to Environmental Stresses (translation). Ferdowsi University of Mashhad Publishing house.
26- Khajepoor R., Kafei M., Nezamei A., and Khazaei H. 2017. The Effect of Wind Mechanical Stress on Some Morphologicall Traits of two Semi-Dwarf and Normal Wheat (*Triticum aestivum*) cultivars. Journal of Crop Production, 10: 101-114.
27- Khalighi A. 1997. Potting and Breeding Ornamental Plants of Iran. Ruzbehan Publications.
28- Latimer J., and Mitchell C.A. 1988. Effects of Mechanical stress or Abscisic Acid on Growth, water status and leaf Abscisic Acid content of Eggplant seedlings. Journal of Scientia Horticulturae, 36: 37-46.
29- Latimer J.G., Pappas T., and Mitchel C.A. 1986. Growth responses of eggplant to mechanical stress in greenhouse and outdoor environments. Journal of the American Society for Horticultural Science, 111: 694-698.
30- Lichtenthaler H.K. 1987. Chlorophylls and cartenoides: pigments of photosynthetice bio-membranes. In: Method in Enzymol. (eds.s.p.colowick and N.O.Kaplan) Academic press. NewYork, 48: 350-382.
31- Lindberg S., and Petterson S. 1985. Effects of mechanical stress on uptake and distribution of nutrients in barley. Plant and Soil, 83: 295-309.
32- Lykas Ch., and Papafotiou M. 2008. *Gardenia jasminoides* Height control using a photoselective polyethylene film. Journal of Hort science, 43: 2027-2033.
33- Mitchell C.A. 1977. Influence of mechanical stress on Auxin-stimulated growth of excised pea stem section. Physiologia Plantarum, 41: 129-134.
34- Nagpaly A., Singh B., Sharma S., Rani G., and Virk G. 2008**.** *Coleus spp*: micropropagation and in vitro production of secondray metabolites- Global science books, 2: 1-17.
35- Pappas T., and Mitchel G.A. 1985. Effects of seismic stress on the vegetative growth of *Glycine max* (L.) Merr. cv. Wells II. Plant Cell and Environment, 8: 143-148.
36- Pontinen V., and Voipio I. 1992. Different Methods of Mechanical stress in controlling the Growth of Lettuce and Cauliflower seedling. Journal of Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci. 42: 246-250.

37- Sone K., Noguchi K., and Terashima I. 2006. Mechanical and ecophysiological significance of the form of a young *Acer rufinerve* tree: vertical gradient in branch mechanical properties. Tree Physiology, 26: 1549-1558.
38- Suge Hiroshi. 1978. Growth and gibberellin production in *Phaseolus vulgaris* as affected by mechanical stress, plant & cell physio, l: 303-310.
39- Telewski F., and Jaffe M.J. 1986. Thigmomorphogenesis: the role of ethylene in the response of *Pinus taeda* and *Abies fraseri* to mechanical perturbation. Physiologia Plantarum, 66: 227-233.
40- Wang Y-H., He W-M., Dong M., Yu F-H., Zhang L-L., Cui Q-G., and Chu Y. 2008. Effects of shaking on the Growth and Mechanical properties of *Hedysarum leave* may be independent of water regimes. Journal of Plant Sci. 169: 503-508.
41- Yamasaki S., and Dillenburg L.C. 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. Revista Brasilian Fisiologia Vegetal, 11: 69-75.

Journal of Horticultural Science
Vol. 32, No. 4, Winter 2019, p. 629-640
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۶۴۰-۶۲۹
شاپا: ۴۷۳۰-۲۰۰۸

The Effect of Mechanical Stress on Some Morpho-Physiological and Biochemical Characteristics of *Coleus blumei* Benth.

A. Safaei Far[1]- A. Rezaei Nejad[2*]- S. Mousavi-Fard[3] - F. Shahbazi[4]

Received: 17-06-2018
Accepted: 03-12-2018

Introduction: Coleus (*Coleus blumei* Benth.) from Laminaceae family is an herbaceous, fast growing plant with colorful and decorative leaves which is used as an ornamental and pot plants. Producing short and compact potted plants is valuable in floral industry. A chemical procedure has long been used for this purpose. However, chemical procedure is environmentally unsafe, while it is expensive. Therefore, researches are carried out to find cheaper and safer methods. Several researches have been done on height control, such as genetic manipulation, temperature management, light quality manipulation, controlled water deficit and withholding nutrients. Controlled mechanical stresses are included the potential non-chemical methods. In the present research, using a laboratory vibration simulator, the effects of vibration stress with different frequencies and durations had been examined on growth control of coleus.

Material and Methods: The experiment was conducted at the research greenhouse of Lorestan University, Iran in 2017. Uniform rooted cuttings of Coleus were transplanted in plastic pots (15 cm diameter and height) that filled with equal proportion of soil, sand and cow manure. The experimental design was a factorial based on a completely randomized design with three replications. After plant establishment, the treatments were applied every morning, with 7.5, 10 and 12.5 Hz frequencies and 0, 5 and 10 min durations, using a laboratory vibration simulator. Treatments application lasted for four weeks and then, plant height, stem diameter, total number of leaves per plant and leaf area, total number and length of side shoots, root volume and length, leaf, stem and root fresh and dry weights, relative water content, electrolyte leakage and the amounts of photosynthetic pigments were assessed.

Results: The results showed that interaction effects of frequency and duration of mechanical stress were significant at the 0.01 level in plant height, the total number and length of side shoots, root volume, leaf, stem and root fresh and dry weights, relative water content, the amounts of photosynthetic pigments, while it was not significant on electrolyte leakage. The main effects of duration of mechanical stress were significant at the 0.01 level in total number of leaves per plant and leaf area. Mean comparisons showed that with increasing frequency and duration of mechanical stress, plant height, total number of leaves per plant and leaf area, the total number and length of side shoots, root volume and length, leaf, stem and root fresh and dry weights and relative water content decreased. The shortest plant height was found in plants that treated with 12.5 frequency for 10 min which was 31% shorter than control plants. The main effects of frequency and duration of mechanical stress were significant at the 0.01 level in stem diameter, while their interaction effect was not significant. Stem diameter reduced with increasing stress duration. The stress effect on stem diameter was similar in 7.5 and 10 Hz frequencies. However, stem diameter was lower in plants treated with 12.5 Hz. Mechanical stress decreased the total number of leaves per plant and leaf area and the effects of 5 and 10 min duration were similar. With increasing frequency and duration of mechanical stress, the amounts of photosynthetic pigments increased; so that, the highest amount of those were found in plants that treated with 12.5 Hz frequency for 10 min.

Discussion: According to the results of the present research, vibration stress could control plant growth in Coleus. Stress treatments with all frequencies and durations, decreased plant height and other growth parameters i.e. the total number of leaves per plant. Leaf area, root length, plant biomass and relative water content were also decreased, while, electrolyte leakage was not significantly affected. At the same time, mechanical stress increased the amounts of photosynthetic pigments. Plants treated with 7.5 Hz frequency for 5 min showed 16% shorter plant height compared with controls, while other plant growth characteristics including stem diameter, leaf area, electrolyte leakage, MDA content and the amounts of photosynthetic pigments were similar to those in control plants. Therefore, this treatment

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran, Respectively
(*- Corresponding Author Email: rezaeinejad.h@lu.ac.ir)
4- Associate Professor, Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

could be recommended as a good vibration treatment for practical use. However, based on the production conditions, other vibration frequencies and durations could be chosen. In total, vibration stress using a vibration simulator could be a proper method for producing short and compact pot plants due to its cheapness and being easy to use and an environmentally friendly method.

Keywords: Coleus, Growth control, Plant height, Vibration stress