

## پاسخ‌های رشدی و تنظیم یونی *Agrostis stolonifera* L. به ترینکزاپک اتیل در تنش شوری

مهرداد رسولی<sup>۱</sup>، عبدالله حاتم‌زاده<sup>۲\*</sup>، محمود قاسم‌نژاد<sup>۳</sup> و حبیب‌الله سمیع‌زاده لاهیجی<sup>۳</sup>  
۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق دکتری، استاد و دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۷)

### چکیده

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در شرایط تنش‌زا می‌توانند سبب بهبود رشد گیاه شوند. در این آزمایش میزان رشد، قند محلول، پرولین، تجمع یون‌های سدیم و پتاسیم تحت تأثیر کاربرد ترینکزاپک اتیل در تیمارهای مختلف شوری بررسی شد. تیمارها شامل چهار سطح شوری شامل ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی زیمنس بر متر با استفاده از کلرید سدیم و تیمارهای ترینکزاپک اتیل در چهار سطح ۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ مترمربع بود که سه مرتبه و هر ۱۴ روز یک‌بار اعمال شد. شوری باعث افزایش معنی‌داری در میزان قندهای محلول، پرولین، غلظت یون سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی، غلظت یون پتاسیم اندام‌های هوایی شد ولی موجب کاهش میزان غلظت یون پتاسیم ریشه، عمق توسعه ریشه و محتوای نسبی آب شد. همچنین، محلول‌پاشی ترینکزاپک اتیل موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ، توسعه ریشه، قند محلول، پرولین، غلظت یون سدیم و پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه و اندام‌های هوایی شد. بنابر نتایج مشخص شد، در شرایط شوری تجمع میزان بالاتر یون پتاسیم در اندام‌های هوایی و کاهش انتقال یون سدیم از ریشه به اندام‌های هوایی می‌تواند یک سازوکار مهم چمن آگروستیس برای تنظیم یونی و افزایش مقاومت به شرایط شوری باشد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، چمن، کلرید سدیم، محتوای نسبی آب و قندهای محلول.

## Growth responses and ion regulation of *Agrostis stolonifera* L. to trinexapac-ethyl under salinity stress

Mehrdad Rasouli<sup>1</sup>, Abdollah Hatamzadeh<sup>2\*</sup>, Mahmood Ghasemnezhad<sup>3</sup> and Habibollah Samizadeh Lahiji<sup>3</sup>

1, 2, 3. Former Ph.D. Student, Professor and Associate Professor, Faculty of Agriculture Science, University of Guilan, Rasht, Iran  
(Received: Jan. 5, 2017 - Accepted: Feb. 15, 2017)

### ABSTRACT

Plant growth regulators can improve plant growth under environmental stress conditions. Effect of trinexapac-ethyl (TE) on growth response, soluble sugars content (SSc), proline and ion regulation were investigated in creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera* L.) under salinity stress. The four salinity levels were applied at rate of control, 5, 10, and 15 dS/m with NaCl and TE treatments were applied with a hand sprayer at three times, biweekly at rate of 0, 60, 120, and 240 mg/100 m<sup>2</sup>. Salinity, significantly increased SSc, proline content, leaf and root Na<sup>+</sup>, leaf K<sup>+</sup>, leaf Na/K and root Na/K rates but root K<sup>+</sup>, root length density and relative water content (RWC) decreased. Also, Foliar application of TE increased RWC, root length density, SSc, proline, leaf and root Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> concentrations, Na/K as well as leaf and root ratios. Results indicated that taking up more of the K<sup>+</sup>, maintaining a high K<sup>+</sup> concentration in the leaves and reducing the Na<sup>+</sup> being transferred from the roots to the shoots could be the mechanisms for Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> regulation for salinity tolerance in creeping bentgrass.

**Keywords:** Grass, potassium, RWC, sodium chloride, soluble sugars.

\* Corresponding author E-mail: hatamzadeh.abdollah@gmail.com; hatamzadeh@guilan.ac.ir

### مقدمه

تنش شوری موجب کاهش و نیز جلوگیری از رشد بسیاری از گیاهان می‌شود و نزدیک به ۲۰ درصد زمین‌های زیر کشت و نزدیک به نیمی از زمین‌های تحت آبیاری جهان در معرض تأثیر شوری هستند (Sairam & Tyagi, 2004). به‌طورمعمول تنش شوری توسط نمک سدیم و به‌ویژه NaCl ایجاد می‌شود. تأثیر تخریبی تنش شوری بر گیاهان به‌علت کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک (تنش آبی)، تعادل نداشتن مواد غذایی و تأثیر یون‌های خاص (تنش شوری) است. در فرایند تنش شوری در گیاهان فرآیندهای مهمی همانند نورساخت (فتوسنتز)، ساخت (سنتز) پروتئین و سوخت‌وساز (متابولیسم) چربی‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به‌نظر می‌رسد که گیاهان با سازوکارهای پیچیده‌ای که در آن‌ها بیان بسیاری از ژن‌ها و سازوکارهای فیزیولوژیکی دخالت دارد به تنش پاسخ می‌دهند (Parida & Das, 2005). راه‌کارهای بیوشیمیایی شامل انباشتن انتخابی یا دفع یون‌ها، کنترل جذب یون توسط ریشه و انتقال به برگ‌ها، ذخیره‌سازی یون‌ها در بخش‌های غیر حساس (واکوئل)، ساخت محلول‌های سازگار، تغییر در مسیر نورساخت، اصلاح در ساختار غشاء، القای آنزیم‌های پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانت) و القای هورمون‌های گیاهی هستند. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، به‌ویژه بازدارنده‌های رشد، به‌طور گسترده‌ای در مدیریت چمن‌ها و کنترل سرزنی آن‌ها استفاده می‌شوند. ترینگزاپک اتیل<sup>۱</sup> یکی از این کندکننده‌های رشد است که بازدارنده زیست‌ساخت (بیوسنتز) آخرین مرحله تولید جیبرلین می‌شود و منجر به کاهش رشد اندام‌های هوایی گیاه می‌شود. کاربرد ترینگزاپک اتیل سبب افزایش میزان سیتوکنین زاتین ریبوزید در گیاهان می‌شود. سیتوکنین به‌عنوان یک تأخیرانداز پیری شناخته شده است و این امر با سازوکارهای مختلفی مانند فعالیت پاداکسندگی، کاهش تنفس، کاهش آنزیم‌های درگیر در تخریب غشای یاخته‌ای (لیپاز و لیپو اکسیژناز) و کاهش باز و بسته شدن

روزنه‌ها انجام می‌پذیرد. این پاسخ‌های مثبت فیزیولوژیکی سبب افزایش مقاومت چمن‌ها به تنش‌های محیطی می‌شود (Pessarakli, 2007). کاربرد ترینگزاپک اتیل در چمن پوآ<sup>۲</sup> باعث افزایش کیفیت و میزان سبزینه (کلروفیل) و همچنین افزایش کارایی گیاه در برابر تنش خشکی (Roohollahi *et al.*, 2010) و تنش شوری (Arghavani *et al.*, 2012) می‌شود. هم‌ایستایی<sup>۳</sup> یون‌ها در گیاه، برای مقاومت گیاه و حفظ حالت پایداری در یاخته‌های گیاهی در برابر تنش شوری لازم است. در شوری زیاد، یون سدیم با دیگر یون‌ها به‌ویژه پتاسیم رقابت می‌کند و منجر به کاهش میزان پتاسیم در گیاه می‌شود (Parida & Das, 2005). نسبت  $K^+/Na^+$  در مدت تنش شوری کاهش می‌یابد و این کاهش در گونه‌های حساس به شوری بیشتر است. از سوی دیگر وجود پتاسیم کافی برای زنده ماندن گیاه در محیط‌های شور ضروری است و این به‌دلیل حفظ غلظت زیاد بستره ای (استرومایی) پتاسیم در چنین شرایطی است (Uddin & Juraimi, 2013).

تجمع پرولین از جمله روش‌های سوخت‌وسازی (متابولیکی) است که در پاسخ به تنش اسمزی و یا دیگر تنش‌ها توسط گیاهان به‌کار می‌رود (Hua *et al.*, 1997). پرولین تجمع یافته، نقش‌هایی مانند ایجاد ترکیب اسمزی، ترکیب ذخیره‌ای نیتروژن، جاروب‌کننده رادیکال‌های هیدروکسیل، تنظیم پتانسیل اکسایشی (اکسیداسیون) یاخته‌ای، تنظیم pH و حفظ آماس (تورژانس) و نیز حجم یاخته را به‌عهده دارد که در نهایت موجب سازش و تحمل در برابر تنش شوری می‌شود (Nakashima *et al.*, 1998). از دیگر موادی که در شرایط تنش در گیاه تجمع می‌یابد، قندهای محلول هستند که در شرایط تنش به‌عنوان عامل‌های اسمزی و یا به‌عنوان حفاظت‌کننده‌های اسمزی عمل می‌کنند. افزایش قند طی تنش، به‌طور معنی‌داری با تنظیم اسمزی و حفظ آماس همبستگی دارد و به‌عنوان حفاظت‌کننده اسمزی، باعث پایداری پروتئین‌ها و غشاها می‌شود (Sánchez *et al.*, 1998). سازوکار جذب و انباشتن یون در اندام‌های مختلف گیاه، عاملی بسیار مهم

2. *Poa pratensis* L.  
3. Homeostasis

1. Trinexapac-ethyl

ریشه به روش اندازه‌گیری مستقیم با دقت ۱ میلی‌متر محاسبه شد (Böhm, 2012).

ریشه و اندام‌های هوایی چمن‌ها پس از شستشوی دقیق، در آن با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده و پس از خشک شدن با آسیاب برقی به صورت پودر در آورده شدند. پس از تهیه خاکستر از مواد گیاهی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس و عصاره‌گیری، غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم به روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه شعله‌سنج نوری (فلیم فتومتر مدل Elico CL 361) اندازه‌گیری شد.

محتوای نسبی آب اندام‌های هوایی با رابطه زیر محاسبه شد.

$$RWC \text{ (Relative Water Content) \%} = \frac{(FW-DW)}{(SW-DW)} \times 100 \quad (1)$$

که در آن FW وزن تر، DW وزن خشک و SW وزن آماس برگ است (Smart & Bingham, 1974).

برای اندازه‌گیری پرولین برگ، ۲۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌های برگ به وسیله هاون با نیتروژن مایع همگن (هموزن) و به آن اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد اضافه و عصاره به دست آمده صاف شد. ۱ میلی‌لیتر اسید استیک و ۱ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین به ۱ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده بالا اضافه شد. محلول به دست آمده به مدت یک ساعت در حمام آب در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از آن برای پایان یافتن واکنش، لوله‌های آزمایش درون یک بستر یخی قرار گرفت. سپس ۲ میلی‌لیتر تولوئن به محلول اضافه شد و به مدت ۲۰ ثانیه ورتکس شد. غلظت پرولین نمونه‌ها در تولوئن با استفاده از طیف‌سنج نوری (اسپکتروفوتومتر) در طول موج ۵۲۰ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد به دست آمده از غلظت‌های مختلف پرولین، برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates et al., 1973).

همچنین اندازه‌گیری قند محلول به روش فنل-سولفوریک اسید انجام شد. ۱۰۰ میلی‌گرم برگ خشک و سائیده شده درون ارلن قرار گرفت و ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به آن اضافه شد. ارلن به مدت ۱۵ دقیقه درون حمام آب گرم قرار گرفت. محلول به دست آمده از کاغذ صافی واتمن عبور داده

در تعیین تحمل به شوری گیاه عنوان شده است. تاکنون پژوهش‌های بسیار اندکی در این مورد روی چمن‌ها انجام شده است و با توجه به اینکه افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری اهمیت ویژه‌ای دارد، پژوهشی با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف ترینگزاپک اتیل و تنش شوری بر تجمع یون‌های کانی در اندام‌های مختلف چمن آگروستیس<sup>۱</sup>، میزان انباشت پرولین، قند محلول، محتوای نسبی آب، میزان رشد اندام‌های هوایی و عمق توسعه ریشه اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. گیاهان به مدت سه ماه با آب آبیاری معمولی بدون نمک آبیاری شدند و پس از استقرار کامل چمن‌ها تیمارهای آزمایشی اعمال شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در چهار سطح شوری ۱/۴ (شاهد)، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی زیمنس بر متر با استفاده از نمک کلرید سدیم روی گونه چمن آگروستیس (*Agrostis stolonifera* L.) محلول پاشی با ترینگزاپک اتیل در چهار سطح ۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ مترمربع به مدت ۴۲ روز و هر ۱۴ روز یکبار بود. ترینگزاپک اتیل خریداری شده از شرکت سیگما آلمان (Trinexapac-ethyl, 37898-Sigma) (Aldrich, active ingredient (a.i.): TE= 98% به صورت پودر بود که پس از محاسبه سطح هر گلدان و واسنجی (کالیبراسیون) مساحت مورد نظر با افشانه، محلول‌های ذخیره از پودر ترینگزاپک اتیل تهیه و به صورت محلول پاشی در غلظت‌های مورد نظر اعمال شد. گلدان‌های مورد استفاده به قطر ۱۵ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر بود که با خاک دارای بافت شنی لومی پر شده بودند. میزان رشد اندام‌های هوایی برحسب میلی‌متر در هفته از هر واحد آزمایشی به طور تصادفی از سه نقطه از چمن اندازه‌گیری شد. پس از خارج کردن ریشه‌ها از گلدان‌ها، ریشه‌ها به طور کامل با آب شستشو داده شد و روی کاغذ گراف میلی‌متری قرار داده شد و میانگین آن‌ها به عنوان میزان عمق توسعه

1. Creeping bentgrass

شوری نیز بر همه شاخص‌های فیزیولوژیکی و رشدی و پتاسیم ریشه در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌دار داشته است. اثر متقابل ترینگزاپک اتیل و شوری در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری بر میزان رشد اندام‌های هوایی نشان داده است (جدول ۱).

#### رشد اندام‌های هوایی

نتایج اثر متقابل تیمار ترینگزاپک اتیل و شوری بر میزان رشد چمن نشان داد، در هر غلظت ترینگزاپک اتیل، با بالا رفتن میزان شوری، میزان رشد به‌طور مداوم کاهش یافت. در همه سطح‌های شوری، افزایش غلظت ترینگزاپک اتیل میزان رشد را نسبت به شاهد کاهش داد. بیشترین میزان رشد مربوط به گیاهان شاهد بوده است (شکل ۱). شوری فعالیت سوخت‌وسازی گیاه و تقسیم یاخته‌ای را کاهش داده در نتیجه از رشد طبیعی جلوگیری می‌کند (Sakihama *et al.*, 2002). کاهش ارتفاع رشد به دنبال کاربرد ترینگزاپک اتیل به دلیل بازدارندگی فعالیت آنزیم ۳ بتا هیدروکسیلاز است که در نتیجه آن از تبدیل جیبرلیک اسید از نوع (GA<sub>20</sub>) به نوع دیگر (GA<sub>1</sub>) جلوگیری می‌کند و سبب کاهش طولی شدن یاخته‌ای می‌شود. کاربرد این کندکننده رشد گیاهی باعث کاهش رشد و در نتیجه کاهش هزینه‌های سرزنی خواهد شد (McCullough *et al.*, 2004).

شد و به‌منظور حذف رنگیزه‌های موجود در عصاره، ۳/۵ میلی‌لیتر سولفات روی ۵ درصد و ۳/۵ میلی‌لیتر هیدروکسید باریوم ۰/۳ نرمال به آن اضافه شد. محلول به‌دست‌آمده به‌مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفیوژ ۳۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. از محلول به‌دست‌آمده ۲ میلی‌لیتر جدا و ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک با فشار به آن اضافه شد و به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد تا خنک شود. سپس میزان جذب محلول در طول موج ۴۹۰ نانومتر، با استفاده از طیف‌سنج نوری خوانده شد. منحنی استاندارد با استفاده از محلول‌هایی با غلظت ۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم گلوکز رسم شد (Hellebust & Craigie, 1978).

تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این تحقیق نرم‌افزارهای آماری SAS و Excel بودند.

#### نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس (۱ و ۲) نشان می‌دهد، تیمار ترینگزاپک اتیل بر شاخص‌های فیزیولوژیکی (محتوای نسبی آب، قند محلول، پرولین، سدیم و پتاسیم اندام‌های هوایی، سدیم ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی) و رشدی (عمق توسعه ریشه) تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. تیمار

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر ترینگزاپک اتیل و شوری بر میزان رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک چمن آگروستیس

Table 1. Analysis of variance of trinexapac-ethyl and salinity levels on growth and physiological characteristics of creeping bentgrass

Source of Variation	df	RWC	Shoot growth	Root length density	Soluble sugar	Proline
Trinexapac-ethyl	3	125.76**	178.19**	30.61**	367.53**	1.22**
Salinity	3	3394.43**	3750.91**	33.53**	2156.72**	2.91**
Trinexapac-ethyl × Salinity	9	138.30 <sup>ns</sup>	150.47**	6.12 <sup>ns</sup>	36.99 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>
C.V. (%)	-	7.13	11.32	16.48	14.48	10.10

\*\* و ns: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

\*\* , ns: Significant difference at 1% probability level and non significant difference, respectively.

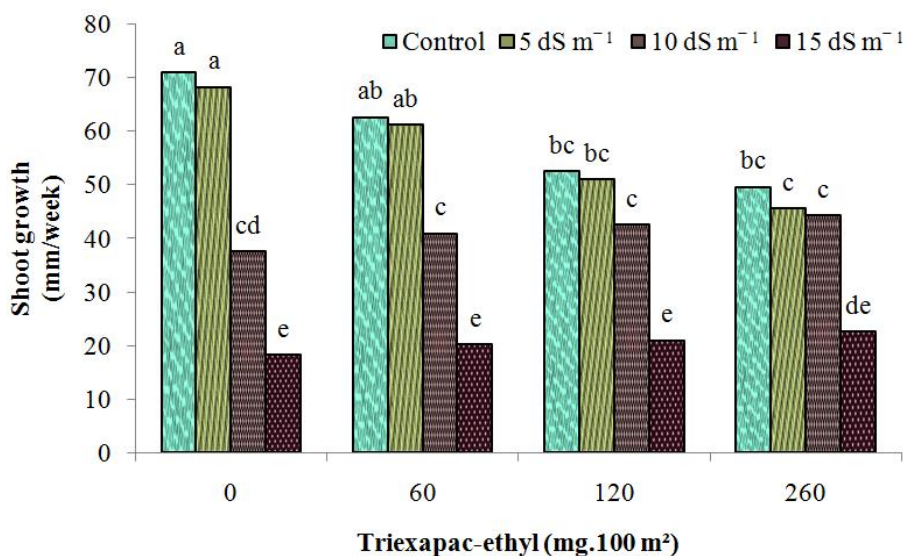
جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر ترینگزاپک اتیل و شوری بر میزان سدیم و پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی چمن آگروستیس

Table 2. Analysis of variance of trinexapac-ethyl and salinity levels on leaf and root Na and K concentrations of creeping bentgrass

Source of Variation	df	Leaf K	Leaf Na	Leaf Na/K	Root K	Root Na	Root Na/K
Trinexapac-ethyl	3	147.50**	583.21**	0.09**	4.47 <sup>ns</sup>	533.83**	51.77**
Salinity	3	1301.73**	3825.57**	0.75**	32.46**	7956.65**	454.62**
Trinexapac-ethyl × Salinity	9	11.24 <sup>ns</sup>	7.48 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	1.23 <sup>ns</sup>	153.79 <sup>ns</sup>	5.85 <sup>ns</sup>
C.V. (%)	-	9.82	9.25	8.68	21.13	9.54	14.84

\*\* و ns: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

\*\* , ns: Significant difference at 1% probability level and non significant difference, respectively.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار ترینگزپاک اتیل و شوری بر میزان رشد اندام‌های هوایی چمن آگروستیس  
Figure 1. Mean comparison of interaction of trinexapac-ethyl and salinity treatments on shoot growth in creeping bentgrass

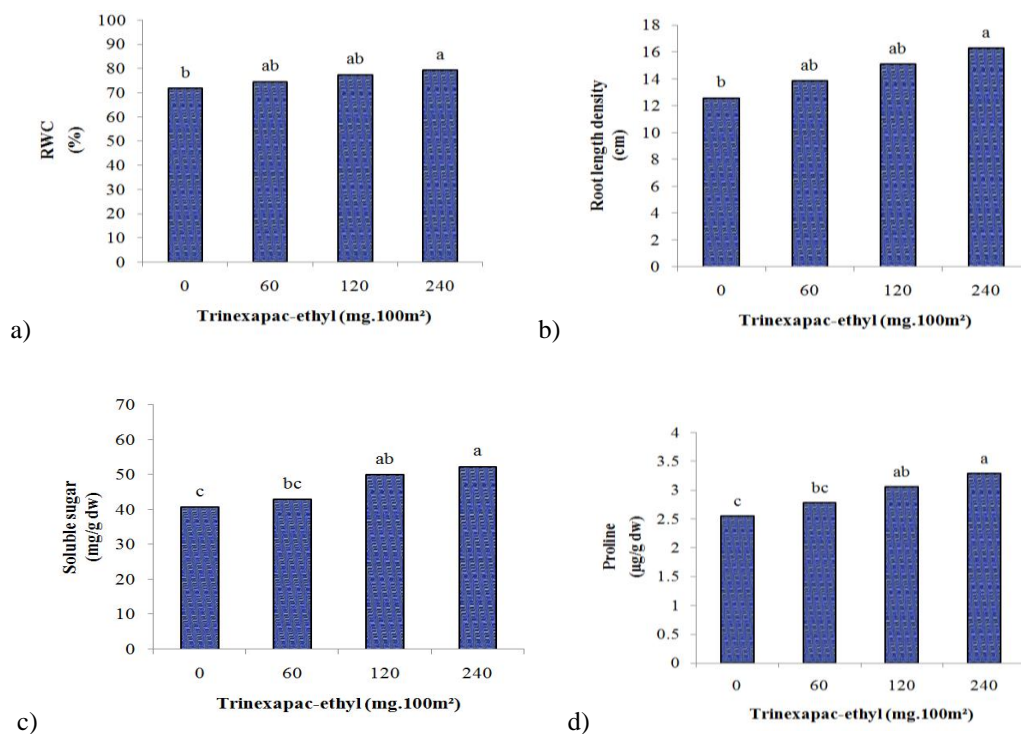
داد، ترینگزپاک اتیل سبب افزایش معنی‌داری در عمق توسعه ریشه نسبت به شاهد شد، با افزایش غلظت ترینگزپاک اتیل عمق توسعه ریشه در چمن افزایش یافت (شکل ۲-b). شوری سبب کاهش معنی‌دار عمق توسعه ریشه نسبت به شاهد شد. با بالا رفتن میزان شوری عمق توسعه ریشه کاهش یافت (شکل ۳-b). بنا بر یافته‌های این پژوهش در گزارش دیگری بیان شد، کاربرد ترینگزپاک اتیل در دوره شوری باعث افزایش رشد ریشه در گونه برموداگراس<sup>۱</sup> نیز می‌شود. افزایش میزان توسعه ریشه با کاربرد ترینگزپاک اتیل یک عامل مهم در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی است (Baldwin *et al.*, 2006). در نتایج برخی بررسی‌ها گزارش‌های متفاوتی از تأثیر کاربرد ترینگزپاک اتیل بر رشد و نمو ریشه در گونه‌های چمن وجود دارد. کاربرد غلظت ۰/۲ گرم در هکتار ترینگزپاک اتیل در چمن پوآ موجب کاهش معنی‌داری در میزان توسعه ریشه شد (Roohollahi *et al.*, 2010) در حالی‌که کاربرد ترینگزپاک اتیل در مرحله‌های اولیه<sup>۲</sup> رشد تأثیر معنی‌داری بر میزان طول ریشه در لولیوم<sup>۲</sup> نداشت (Roohollahi & Kafi, 2010).

#### محتوای نسبی آب

در تیمار ۲۴۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ مترمربع ترینگزپاک اتیل، میزان محتوای نسبی آب نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری داشت کاربرد تیمار ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ مترمربع ترینگزپاک اتیل موجب افزایش محتوای نسبی آب نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۲-a). در تیمارهای شوری کاهش معنی‌داری در محتوای نسبی آب نسبت به تیمار شاهد وجود داشت و بیشترین میزان در شاهد (۹۱/۸۳ درصد) مشاهده شد (شکل ۳-a). محتوای نسبی آب شاخصی مناسب برای نشان دادن کمبود فیزیولوژیکی آب برگ است. بالا بودن محتوای نسبی آب شاخصی مهم برای نشان دادن وضعیت آبی برگ و میزان جذب آب توسط ریشه در شرایط تنش است و همزمان شبکه ریشه‌ای قابلیت بالایی برای دریافت آب پیدا می‌کند (Xu & Huang, 2012). بهبود محتوای نسبی آب با تیمار ترینگزپاک اتیل احتمال دارد به علت کاهش توسعه برگ (McCann & Huang, 2007)، کاهش میزان تبخیر و تعرق (Ervin & Koski, 2001)، و بهبود تنظیم اسمزی باشد (Bian *et al.*, 2009). کاهش محتوای نسبی آب به دلیل تنش ناشی از آسیب دیدن به غشای یاخته‌ای است (Wilson & Jacobs, 2004).

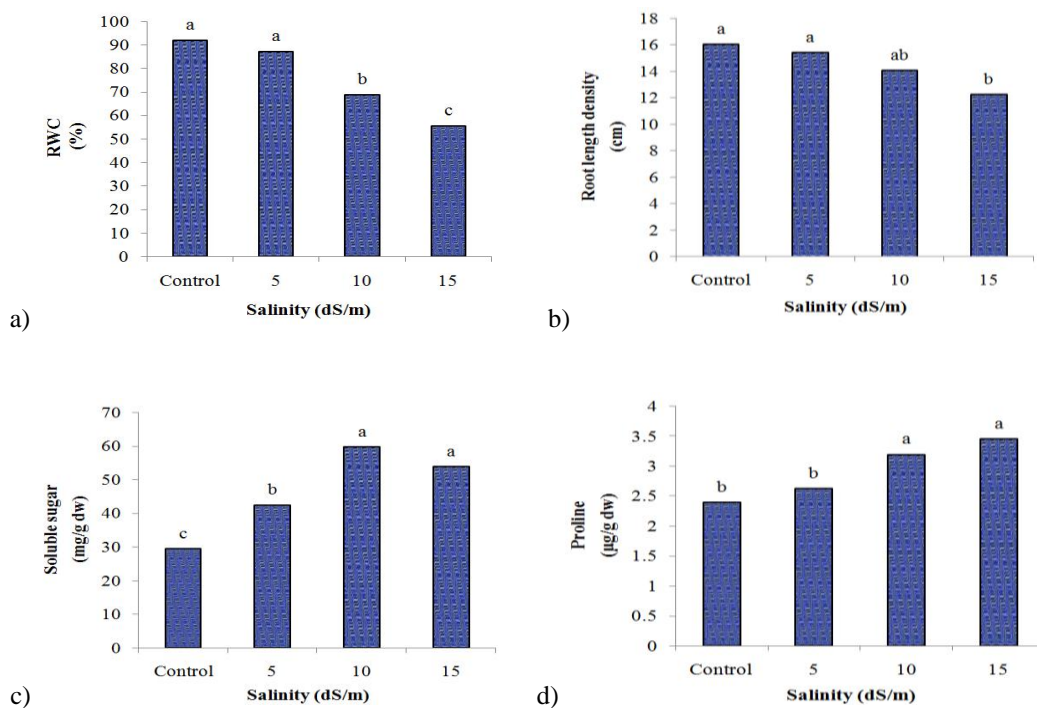
عمق توسعه ریشه: مقایسه میانگین داده‌ها نشان

1. *Cynodon dactylon* L.  
2. *Lolium perenne* L.



شکل ۲. تأثیر تیمار ترینکزاپک اتیل بر محتوای نسبی آب برگ (a)، عمق توسعه ریشه (b)، محتوای قند محلول (c) و محتوای پرولین (d) چمن آگروستیس

Figure 2. Mean comparison of trinexapac-ethyl on RWC (a), root length density (b), soluble sugar (c) and proline (d) in creeping bentgrass



شکل ۳. تأثیر تیمار شوری بر محتوای نسبی آب برگ (a)، عمق توسعه ریشه (b)، محتوای قند محلول (c) و محتوای پرولین (d) چمن آگروستیس

Figure 3. Mean comparison of salinity on RWC (a), root length density (b), soluble sugar (c) and proline (d) in creeping bentgrass

### میزان قند محلول

نتایج نشان داد، میزان قند محلول چمن محلول‌باشی شده با ترینگزپاک اتیل به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد بالاتر بود، به‌طوری‌که با افزایش غلظت ترینگزپاک اتیل میزان قند محلول در چمن افزایش نشان داد (شکل ۲-۲). افزایش میزان شوری میزان قند محلول در چمن آگروستیس را افزایش داد، در غلظت‌های ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر (به‌ترتیب ۵۹/۸۳ و ۵۳/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) بیشترین میزان این صفت نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۳-۲). تنش شوری باعث کاهش غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ می‌شود، همچنین القای تنش در درازمدت باعث انتقال دوباره شده و به‌همین دلیل در شرایط تنش به‌علت کم بودن میزان کربن (بسته بودن روزه‌ها) محتوای قند در شرایط تنش کمتر دیده می‌شود. افزایش محتوای قند در چمن آگروستیس در هر دو تیمار شوری و ترینگزپاک اتیل نسبت به شاهد مشاهده شد. تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ معرف انتقال نیافتن آن‌ها به مقصدهای دیگر و بی‌نیازی این مقصدها به کربوهیدرات‌های محلول یا بالا بودن توان برگ در تولید این ترکیب‌ها و یا نیاز به کربوهیدرات‌های محلول در تنظیم اسمزی برگ است (Hossain et al., 1990). به‌نظر می‌رسد تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ چمن آگروستیس در شرایط تنش به‌دلیل نیاز به آن‌ها برای تنظیم فشار اسمزی برگ و پایداری غشای یاخته‌ای باشد. افزایش قند محلول با کاربرد ترینگزپاک اتیل احتمال دارد به‌دلیل کاهش نیاز قند برای رشد باشد که به‌جای آن قندها برای تعدیل اسمزی در شرایط تنش به‌کار می‌روند (Bian et al., 2009).

### پرولین

نتایج نشان داد، ترینگزپاک اتیل میزان پرولین برگ را افزایش داد، به‌طوری‌که بیشترین میزان پرولین (۳/۲۸ و ۳/۰۵ میکرومول بر گرم وزن تر) به‌ترتیب در غلظت‌های ۲۴۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ مترمربع مشاهده شد (شکل ۲-۲). تنش شوری غلظت پرولین برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد کمترین پرولین

(۲/۴۰ میکرومول بر گرم وزن تر) در شاهد و بیشترین آن در شرایط تنش و در شوری‌های ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بود (شکل ۳-۲). تجمع زیاد پرولین، گیاه را قادر می‌سازد که پتانسیل اسمزی را حفظ کند. همچنین می‌تواند به‌عنوان یک جاروب‌کننده گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن<sup>۱</sup> (ROS) و یک محافظ مولکولی برای حفظ ساختار پروتئینی باشد (Verbruggen & Hermans, 2008). بنابر یافته‌های این پژوهش، کاربرد ترینگزپاک اتیل در شرایط تنش باعث افزایش محتوای پرولین در چمن‌های فستوکا پابلند<sup>۲</sup> (Etemadi et al., 2015) و پوآ (Arghavani et al., 2012) شد.

### پتاسیم اندام‌های هوایی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، میزان جذب پتاسیم تحت تأثیر تیمار ترینگزپاک اتیل قرار گرفت. در تیمار ۲۴۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ مترمربع بیشترین میزان پتاسیم جذب‌شده در نمونه‌های مورد آزمایش مشاهده شد (جدول ۳). افزون بر این در نمونه در شرایط تنش شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین میزان پتاسیم (۵۲/۴۳ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد (جدول ۴).

### سدیم اندام‌های هوایی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، سدیم اندام‌های هوایی با اعمال تیمار ترینگزپاک اتیل افزایش نشان داد. تیمار شاهد با دیگر تیمارها به‌جز تیمار ۶۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ مترمربع اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۳). با اعمال شوری غلظت یون سدیم اندام‌های هوایی افزایش نشان داد. بیشترین میزان از این صفت در تیمار شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر (۶۱/۴۱ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) مشاهده شد (جدول ۴).

### نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌های هوایی

مقایسه میانگین‌ها نشان داد، با اعمال تیمار ترینگزپاک اتیل نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌های هوایی افزایش داشت و تنها در تیمار ۲۴۰ میلی‌گرم

1. Reactive oxygen species

2. *Festuca arundinacea* L.

تأثیر بیشترین غلظت ترینگزاپک اتیل قرار گرفته و تیمار ۲۴۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ مترمربع اختلاف معنی‌داری با شاهد و غلظت‌های ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ مترمربع داشت (جدول ۳). با اعمال تیمار شوری نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه‌ها افزایش یافت و پایین‌ترین نسبت در تیمار شاهد بود (جدول ۴).

با افزایش میزان شوری، مقدار پتاسیم اندام‌های هوایی در چمن آگروستیس افزایش یافت (جدول ۴). با افزایش جذب مقدار پتاسیم، باز و بسته شدن روزنه‌ها بهبود یافته و آنزیم‌های فعال‌شونده با پتاسیم فعالیت مناسبی یافته و نقل‌وانتقال در آوندهای آبکشی گیاه نیز مختل نمی‌شود. در نتایج بررسی دیگری پیشنهاد شده است، بالا بودن پتاسیم در شاخساره نسبت به ریشه در شرایط تنش شوری نوعی پاسخ گیاه نسبت به تجمع سدیم زیاد در برگ است. در بافت‌های گیاهی، زیاد بودن نسبت پتاسیم به سدیم به‌عنوان یکی از سازوکارهای فیزیولوژیک مهم در ایجاد تحمل به شوری در برخی گونه‌های گیاهی مورد توجه قرار گرفته است (Chen *et al.*, 2009). در تأیید این موضوع بایستی توجه داشت، اگرچه در این آزمایش نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌های هوایی چمن آگروستیس افزایش داشت (جدول ۴) ولی شوری نیز موجب افزایش پتاسیم در اندام‌های هوایی چمن شد (جدول ۴).

در ۱۰۰ مترمربع ترینگزاک اتیل، افزایش نسبت سدیم به پتاسیم نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شوری نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌های هوایی افزایش یافت و بیشترین نسبت در تیمار ۱۵ دسی زیمنس بر متر وجود داشت (جدول ۴).

#### پتاسیم ریشه

نتایج نشان داد، غلظت پتاسیم ریشه در تیمارهای شوری ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمار شاهد بود ولی بین تیمار شوری ۵ دسی زیمنس و شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

#### سدیم ریشه

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، میزان غلظت یون سدیم ریشه تنها در تیمار ۲۴۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ مترمربع تفاوت معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). همچنین با اعمال شوری غلظت یون سدیم در ریشه افزایش یافت، ولی بین تیمارهای شوری ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و تنها تیمار شاهد با تیمارهای شوری بالا اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۴).

#### نسبت سدیم به پتاسیم ریشه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد، این نسبت تنها تحت

جدول ۳. مقایسه میانگین تأثیر ترینگزاپک اتیل بر میزان سدیم و پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) اندام‌های هوایی و ریشه و نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌های هوایی و ریشه چمن آگروستیس

Table 3. Mean comparison of trinexapac-ethyl on leaf and root Na and K concentration (mg/g DW), leaf Na/K and root Na/K rates of creeping bentgrass

Trinexapac-ethyl (mg.100 m <sup>2</sup> )	Leaf K	Leaf Na	Leaf Na/K	Root Na	Root Na/K
0	35.35 c	38.13 c	1.05 b	110.50 b	15.5 b
60	39.10 bc	42.03 c	1.04 b	110.03 b	16.46 b
120	41.63 ab	47.41 b	1.11 b	111.80 b	16.36 b
240	43.44 a	54.21 a	1.23 a	124.03 a	20.17 a

جدول ۴. جدول مقایسه میانگین تأثیر شوری بر میزان سدیم و پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) اندام‌های هوایی و ریشه و نسبت سدیم به پتاسیم اندام‌های هوایی و ریشه چمن آگروستیس

Table 4. Mean comparison of salinity on leaf and root Na and K concentration (mg/g DW), leaf Na/K and root Na/K rates of creeping bentgrass

Salinity (ds/m)	Leaf K	Leaf Na	Leaf Na/K	Root K	Root Na	Root Na/K
Control	28.46 d	21.14 d	0.74 c	9.19 a	75.54 b	8.81 c
5	35.03 c	43.45 c	1.24 ab	8.08 a	126.51 a	16.11 b
10	43.61 b	55.78 b	1.28 a	6.07 b	129.08 a	21.56 a
15	52.43 a	61.41 a	1.17 a	5.74 b	125.23 a	22.01 a



افزایش معنی داری در میزان غلظت پرولین و قندهای محلول شد به احتمال این میزان افزایش باعث افزایش تجمع یون سدیم در بافت‌های گیاهی نیز شده است. در تأیید این مطلب کاربرد ترینگزاپک اتیل با غلظت ۱/۷ گرم در ۱۰۰ مترمربع در چمن پوا نیز سبب افزایش غلظت پرولین و قندهای غیر ساختاری شده و در گیاهانی که کمترین تجمع پرولین و قندها را داشتند میزان غلظت یون سدیم نیز کمتر بود (Arghavani et al., 2012).

#### نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی می‌توان گفت چمن آگروستیس گرایش خوبی به تراکم یون پتاسیم در اندام‌های هوایی دارد و در رویارویی با غلظت‌های مختلف شوری، میزان رشد خود را کاهش می‌دهد تا بتواند شوری را پشت سر بگذارد و با انباشتن کاتیون‌های کانی در اندام‌های هوایی موجب سازگاری و آسانگری جذب آب در گیاه می‌شود. بنابر نتایج این تحقیق به‌نظر می‌رسد در پتانسیل‌های رطوبتی ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر، آگروستیس با سازوکار افزایش اسمولیت‌ها (پرولین و قندهای محلول) و با مشارکت در تنظیم اسمزی باعث حفظ تمامیت یاخته می‌شود. همچنین میزان سدیم و پتاسیم با کاربرد ترینگزاپک اتیل به‌شدت تنظیم می‌شود که می‌تواند به‌دلیل تنظیم شدید انتقال نمک از ریشه توسعه‌یافته در نتیجه کاربرد ترینگزاپک اتیل به اندام‌های هوایی باشد، به‌طوری‌که مشاهده می‌شود کاربرد غلظت ۱۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ مترمربع می‌تواند شرایط رشدی و فیزیولوژیکی چمن آگروستیس را در شرایط تنش شوری بهبود بخشد.

با مقایسه جدول‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، در چمن آگروستیس نسبت سدیم به پتاسیم در اندام‌های هوایی کمتر و در ریشه بیشتر است. در واقع انتقال کمتر یون سدیم از ریشه به اندام‌های هوایی و در عوض انتقال بیشتر یون پتاسیم به ساقه موجب کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در اندام‌های هوایی و همچنین تجمع بیشتر یون سدیم در ریشه موجب افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه شده است. بنابر گزارش‌های پیشین ریشه گیاه پاسپالوم<sup>۱</sup> نیز گرایش به جذب یون پتاسیم و انتقال آن به اندام‌های هوایی به‌صورت انتخابی دارد (Chen et al., 2009). در این آزمایش نتایج نشان‌دهنده وجود پتاسیم کمتر در ریشه نسبت به شاخساره بودند (جدول ۴). با توجه به اینکه تبادل سدیم و پتاسیم در ریشه انجام می‌گیرد، این احتمال وجود دارد که تأثیر تنش شوری بر کاهش پتاسیم ریشه ناشی از افزایش این تبادل در ریشه باشد. همچنین با توجه به اینکه در نتایج بررسی‌های دیگر گزارش شده است، بخش زیادی از سدیم برگ‌ها با بافت آوند آبکش به ریشه انتقال می‌یابد (Duran et al., 2003)، افزایش غلظت یون سدیم ریشه که در ریشه چمن آگروستیس وجود داشت، افزون بر جذب توسط ریشه، می‌تواند در نتیجه انتقال سدیم از برگ نیز باشد که سازوکار تبادل پتاسیم و سدیم در ریشه را تحت تأثیر قرار داده و در کاهش بیشتر یون پتاسیم ریشه مؤثر باشد. نتایج این آزمایش در مورد تغییر نسبت پتاسیم به سدیم چمن آگروستیس با نتایج گزارش شده در زمینه گیاه پاسپالوم همخوانی دارد (Chen et al., 2009). کاربرد غلظت‌های ۲۴۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ مترمربع ترینگزاپک اتیل باعث

#### REFERENCES

1. Arghavani, M., Kafi, M., Babalar, M., Naderi, R., Hoque, M. A. & Murata, Y. (2012). Improvement of salt tolerance in kentucky bluegrass by trinexapac-ethyl. *HortScience*, 47(8), 1163-1170.
2. Baldwin, C. M., Liu, H., McCarty, L. B., Bauerle, W. L. & Toler, J. E. (2006). Effects of trinexapac-ethyl on the salinity tolerance of two ultradwarf bermudagrass cultivars. *HortScience*, 41(3), 808-814.
3. Bates, L., Waldren, R. & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
4. Bian, X., Merewitz, E. & Huang, B. (2009). Effects of trinexapac-ethyl on drought responses in creeping bentgrass associated with water use and osmotic adjustment. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(5), 505-510.

1. *Paspalum vaginatum* L.

5. Böhm, W. (2012). *Methods of studying root systems* (Vol. 33): Springer Science & Business Media.
6. Chen, J., Yan, J., Qian, Y., Jiang, Y., Zhang, T., Guo, H., ... Liu, J. (2009). Growth responses and ion regulation of four warm season turfgrasses to long-term salinity stress. *Scientia Horticulturae*, 122(4), 620-625.
7. Duran, V., Raya, A. M. & Aguilar, J. (2003). Salt tolerance of mango rootstocks (*Magnifera indica* L. cv. Osteen). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(1), 68-78.
8. Ervin, E & Koski, A. (2001). Kentucky bluegrass growth responses to trinexapac-ethyl, traffic, and nitrogen. *Crop Science*, 41(6), 1871-1877.
9. Etemadi, N., Sheikh-Mohammadi, M.-H., Nikbakht, A., Sabzalian, M. R. & Pessaraki, M. (2015). Influence of trinexapac-ethyl in improving drought resistance of wheatgrass and tall fescue. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(3), 1-17.
10. Hellebust, J. A. & Craigie, J. (1978). *Handbook Of Physiological Methods. Physiological and Biochemical Methods*: Cambridge University Press.
11. Hossain, A., Sears, R., Cox, T. & Paulsen, G. (1990). Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science*, 30(3), 622-627.
12. Hua, X.-J., Van de Cotte, B., Van Montagu, M. & Verbruggen, N. (1997). Developmental regulation of pyrroline-5-carboxylate reductase gene expression in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 114(4), 1215-1224.
13. McCann, S. E. & Huang, B. (2007). Effects of trinexapac-ethyl foliar application on creeping bentgrass responses to combined drought and heat stress. *Crop Science*, 47(5), 2121-2128.
14. McCullough, P. E., Liu, H., McCarty, L. B. & Whitwell, T. (2004). Response of TifEagle bermudagrass to seven plant growth regulators. *HortScience*, 39(7), 1759-1762 .
15. Nakashima, K., Satoh, R., Kiyosue, T., Yamaguchi-Shinozaki, K. & Shinozaki, K. (1998). A gene encoding proline dehydrogenase is not only induced by proline and hypoosmolarity, but is also developmentally regulated in the reproductive organs of Arabidopsis. *Plant Physiology*, 118(4), 1233-1241 .
16. Parida, A. K. & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324-349 .
17. Pessaraki, M. (2007). *Handbook of turfgrass management and physiology*: CRC press.
18. Roohollahi, I. & Kafi, M. (2010). Salinity and trinexapac-ethyl effects on seed reserve utilization and seedling growth of two *lolium perenne* cultivars. In: *Proceedings of the XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People*, 22 august, Lisbon, Portugal, 938, 153-160.
19. Roohollahi, I., Kafi, M. & Naderi, R. (2010). Drought reaction and rooting characteristics in response to plant growth regulators on *Poa pratensis* cv. Barimpala. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(1), 285-288 .
20. Sairam, R. & Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science-bangalore*, 86(3), 407-421 .
21. Sakihama, Y., Cohen, M. F., Grace, S. C. & Yamasaki, H. (2002). Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenolics-induced oxidative damage mediated by metals in plants. *Toxicology*, 177(1), 67-80.
22. Sánchez, F. J., Manzanares, M. a., de Andres, E. F., Tenorio, J. L. & Ayerbe, L. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*, 59(3), 225-235 .
23. Smart, R. E. & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*, 53(2), 258-260 .
24. Uddin, M. K. & Juraimi, A. S. (2013). Salinity tolerance turfgrass: history and prospects. *The Scientific World Journal*, 1-6.
25. Verbruggen, N. & Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*, 35(4), 753-759.
26. Wilson, B. C. & Jacobs, D. F. (2004). Electrolyte leakage from stem tissue as an indicator of hardwood seedling physiological status and hardiness. In: *Proceedings of the Fourteenth Central Hardwood Forest Conference*, 16-19 march, Wooster, Ohio, USA, 373-381.
27. Xu, C. & Huang, B. (2012). Proteins and metabolites regulated by trinexapac-ethyl in relation to drought tolerance in Kentucky bluegrass. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31(1), 25-37.