

## تأثیر محلول پاشی عنصر روی و هورمون اکسین بر تغییرات هورمونی و رشد گیاه ذرت (*Zea mays L.*)

بهنام زند<sup>۱</sup>، علی سروش‌زاده<sup>۱\*</sup>، فائزه قناتی<sup>۲</sup> و فواد مرادی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، کرج، ایران

<sup>۲</sup> گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۳</sup> بخش تحقیقات فیزیولوژی مولکولی، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی، کرج، ایران

### چکیده

پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی عنصر روی و تنظیم کننده رشد اکسین (ایندول بوتریک اسید) بر غلظت دو هورمون اکسین و آبسزیک اسید در دو بخش هوایی و ریشه گیاه ذرت انجام شد. آزمایش در قالب بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار و هشت تیمار محلول پاشی در مرحله رشد رویشی (شامل ترکیبات مختلف عنصر روی و تنظیم کننده رشد اکسین) در سال ۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ورامین به اجرا درآمد. نتایج نشان داد که نوع ترکیبات عنصر روی و تنظیم کننده اکسین موجب افزایش غلظت هورمون های اکسین و آبسزیک اسید در هر دو بخش هوایی و ریشه شد. همچنین وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی افزایش یافت. از نتایج مهم این تحقیق این است که در اثر تیمارهای محلول پاشی، تغییرات غلظت دو هورمون اکسین و آبسزیک اسید در بخش هوایی گیاه (برگ‌ها) به طور موازی صورت گرفت. مشابه این حالت در غلظت دو هورمون در ریشه با ضریب همبستگی پایین تر و غیرمعنی دار نیز مشاهده گردید.

**واژه‌های کلیدی:** وزن خشک ریشه، طول ریشه، وزن خشک بخش هوایی، نسبت هورمون‌ها

### مقدمه

روی است (Malakouti and Tehrani, 2001). میزان

شدت واکنش گیاهان به شرایط کمبود عنصر روی بر حسب جنس، گونه و حتی رقم گیاه متفاوت است و در میان گیاهان زراعی به طور مشخص برنج، ذرت و لوبیا به عنوان حساس‌ترین گیاهان به کمبود این عنصر شناخته شده‌اند (Alloway, 2004). در مطالعه‌ای در

عنصر روی یکی از عناصر ضروری است که کمبود آن در ایران عمدتاً ناشی از آهکی بودن خاک‌های زراعی، اسیدیته بالا، حضور بی کربنات فراوان در آب های آبیاری، مصرف زیاد و بیش از نیاز کودهای فسفاته و عدم رواج مصرف کودهای محتوی عنصر

(Gallavotti *et al.*, 2008).

در گیاهان مختلف از جمله ذرت اغلب برای جبران کمبود عنصر روی از ترکیبات سولفات روی ( $ZnSO_4$ ) و کلات روی ( $Zn\ EDTA$ ) استفاده می‌شود که در این بین، استفاده از سولفات روی به علت ارزان‌تر بودن در اولویت است (Zand *et al.*, 2010). با وجود این که پیش از این نقش عنصر روی در سازوکار اکسین در گیاهان مختلف گزارش شده است اما در مورد تأثیر محلول‌پاشی ترکیبات مختلف عنصر روی و ماده تنظیم‌کننده رشد اکسین بر تغییرات غلظت اکسین و سایر هورمون‌های و رابطه آنها با رشد گیاهان مطالعات زیادی صورت نگرفته است. به همین علت، در پژوهش حاضر تأثیر محلول‌پاشی سولفات روی ( $ZnSO_4$ ) و کلات روی ( $Zn\ EDTA$ ) بر رشد گیاه ذرت و تغییرات غلظت اکسین و آبسزیک اسید مورد توجه قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال ۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ورامین اجرا گردید. بذور گیاه ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴، در سطل‌هایی با حجم تقریبی ۴۰ لیتر که محتوی خاک با مشخصات فیزیکی و شیمیایی ذکر شده در جدول ۱ کاشته شدند. سطل‌ها در شرایط گلخانه‌ای با دامنه درجه حرارتی روز و شب به ترتیب در حدود ۳۰ و ۱۷ درجه سانتیگراد و طول روز به مدت کمتر از ۱۲ ساعت با استفاده از منبع روشنایی مصنوعی (لامپ‌های فلورسنت) نگهداری شدند. آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و محلول‌پاشی ۸ تیمار (جدول ۲) از ترکیبات مختلف عنصر روی و ماده تنظیم‌کننده رشد اکسین بود.

شرایط کمبود عنصر روی در دو گیاه ذرت و نخود چنین گزارش شد که فعالیت آنزیم‌های کربوکسیلاسیون از جمله: کربنیک انیدراز، ریبولوز ۱ و ۵-دی فسفات کربوکسیلاز و اکسیژناز (روبیسکو) متوقف شد و میزان کلروفیل و سرعت فتوسنتز در فتوسیستم II و میزان پروتئین کل محدود گردید (Salama *et al.*, 2006). تغذیه گیاه نعا با غلظت‌های مختلف عنصر روی موجب کاهش میزان مونوترپن‌های اکسیژنه در اسانس این گیاه شد (Zare Dehabadi *et al.*, 2010). از سوی دیگر، این عنصر برای سنتز تریتوفان که پیش‌ماده هورمون اکسین است مورد نیاز است (Heldt, 2005). هورمون اکسین در گیاه نقش محوری در تنظیم فرآیندهای مختلف فیزیولوژیک از جمله ریشه‌زایی و به ویژه ریشه‌های فرعی به عهده دارد (Marschner, 1995). بررسی‌های انجام شده اثر هورمون‌های گروه اکسین و عنصر روی بر ریشه‌زایی و رشد بخش‌های گیاهان را ثابت کرده است. در بررسی آثار کمبود عنصر روی بر نسبت وزن خشک بخش‌های هوایی به ریشه در ژنوتیپ‌های برنج چنین مشخص شد که نسبت وزن خشک بخش‌های هوایی به ریشه، حساس‌ترین شاخص در ارزیابی ژنوتیپ‌ها جهت تحمل به تنش عنصر روی است (Sudhalakshmi *et al.*, 2007). در مطالعه‌ای دیگر چنین مشاهده شد که اتیلن، رشد ریشه‌ها را از طریق اثر بر بیوسنتز و توزیع اکسین تنظیم می‌نماید (Ruzicka *et al.*, 2007). در بررسی روابط بین انتقال اکسین و تولید انشعابات بخش‌های هوایی در گیاه ذرت چنین نتیجه گرفته شد که تولید این انشعابات در ذرت طی نمو رویشی و زایشی از آثار فعالیت ناقلان در سازوکار حرکت قطبی اکسین است

ماده‌ای چسبنده و مومی به نام توپین ۲۰ با نسبت ۰/۵ درصد حجمی استفاده گردید. ماده تنظیم کننده رشد ایندول بوتریک اسید از شرکت سیگما و از الکل جهت تهیه محلول ایندول بوتریک اسید استفاده شد. محلول پاشی تیمارهای مختلف عنصر روی در ساعات اولیه صبح و محلول پاشی تنظیم کننده اکسین در آستانه غروب خورشید و حداقل شدت روشنایی صورت گرفت.

سی روز پس از اعمال تیمارها، بوته‌ها به طور کامل به همراه ریشه از خاک خارج شد. بخش هوایی و ریشه در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد در داخل آون تا زمانی که وزن نمونه‌ها ثابت گردد نگهداری شدند. وزن خشک نمونه‌ها به تفکیک اندازه گیری شد.

برای تعیین طول ریشه‌ها از رابطه ۱ استفاده شد (Alizadeh, 2004):

$$0/89 [ \text{وزن ریشه‌ها (میلی گرم)} ] = \text{طول ریشه‌ها (سانتی متر)}$$

### استخراج، خالص سازی و اندازه گیری ایندول

۳- استیک اسید (IAA) و آبسزیک اسید (ABA) (Yokota et al., 1994): برای این منظور از نمونه‌های برگ نگهداری شده در دمای ۸۰- درجه سانتیگراد استفاده گردید. ۲ گرم از نمونه منجمد شده، به وسیله نیتروژن مایع و هاون چینی ساییده شده و در لوله‌های مخروطی ۵۰ میلی لیتری ریخته شد و پس از افزودن ۴۰ میلی لیتر محلول متانول ۸۰ درصد حاوی ۰/۲۵ میلی گرم بر میلی لیتر بوتیلاتد هیدروکسی تولوئن و ۰/۵ میلی گرم بر میلی لیتر سدیم آسکوربات به آن، به مدت ۱۶ ساعت در تاریکی و در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شد تا عمل انحلال به خوبی صورت گیرد. سپس نمونه‌ها با

### جدول ۱- مشخصات فیزیکی شیمیایی خاک

عمق (سانتی متر)	۳۰-۰
اسیدیته کل اشباع	۷/۶
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۳
مواد خنثی شونده (T.N.V)	۱۷
کربن آلی (درصد)	۰/۷۲
بافت خاک	لومی-رسی
فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)	۱۰/۶
پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	۳۰۰
آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)	۴/۴
منیزیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	۱۱/۵
منگنز (میلی گرم بر کیلوگرم)	۰/۴۲
مس (میلی گرم بر کیلوگرم)	۰/۵

### جدول ۲- تیمارهای محلول پاشی استفاده شده

شماره تیمار	تیمار محلول پاشی
۱	سولفات روی (۲۵ درصد) + اکسین (۱۰ میلی گرم بر لیتر) + توپین ۲۰
۲	سولفات روی (۲۵ درصد) + توپین ۲۰
۳	کلات روی (۱۵ درصد) + اکسین (۱۰ میلی گرم بر لیتر) + توپین ۲۰
۴	کلات روی (۱۵ درصد) + توپین ۲۰
۵	اکسین (۱۰ میلی گرم بر لیتر) + توپین ۲۰
۶	ماده مومی (مویان) + توپین ۲۰
۷	آب
۸	بدون محلول پاشی

محلول پاشی در سه نوبت با فواصل زمانی دو روز در مرحله ظهور برگ چهاردهم بر اساس تقسیم بندی مراحل فنولوژیک ذرت انجام شد (Hanway, 1971). محلول پاشی عنصر روی برای هر دو نوع ترکیب با غلظت عنصر روی در محلول به صورت ۵ در هزار و غلظت ایندول بوتریک اسید نیز ۱۰ میلی گرم در لیتر در نظر گرفته شد. محلول پاشی عنصر روی و ایندول بوتریک اسید به صورت جداگانه توسط دستگاه محلول پاش ۱۰۰ لیتری انجام شد. به منظور افزایش مدت زمان ماندگاری ترکیبات مختلف محلول پاشی روی بوته‌ها از

نسبت ۵۰:۵۰ در طول موج ۲۵۷ نانومتر، بررسی شد و غلظت IAA و ABA با استفاده از غلظت‌های مختلف استانداردهای این دو ماده (۲۰ و ۴۰ و ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ میکرو مول) تعیین شد. نتایج در نرم‌افزار MSTAT-C تحلیل آماری و برای انجام مقایسه بین میانگین‌ها از روش دانکن استفاده شد.

### نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی بر کلیه صفات مطالعه شده به غیر از نسبت غلظت اکسین به غلظت آبسزیک اسید برگ، معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج جدول ۴ نشان داد که بالاترین غلظت عنصر روی ناشی از محلول‌پاشی کلات روی به همراه اکسین و پس از آن محلول‌پاشی کلات روی به تنهایی بود. از نظر میانگین غلظت این عنصر در برگ ترکیب سولفات روی و اکسین و مصرف سولفات روی بدون اکسین با قرار گرفتن در گروه‌بندی جداگانه بالاترین سطوح غلظت را نشان دادند. این نتایج گویای اثربخشی ترکیب کلات روی نسبت به منبع سولفات روی است (جدول ۴).  
Salardini و Mojtabehi (۱۹۹۴) مقدار عنصر روی در ماده خشک گیاه ذرت را در حالت کمبود بین ۰-۱۰، در حالت کم ۱۱-۲۰، در حد کافی ۲۱-۷۰ و در مقادیر زیاد بین ۷۱-۱۵۰ قسمت در میلیون گزارش نموده‌اند. بنابراین، با در نظر گرفتن مقادیر فوق چنین مشاهده می‌شود که تیمار محلول‌پاشی کلات روی و اکسین به همراه ماده مومی مویان ۲۰ با میانگین ۲۴/۰۴ قسمت در میلیون سطوح مکفی عنصر روی را در گیاه تأمین نموده

کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف شد و رسوبات باقیمانده روی فیلتر سه بار با محلول استخراج شسته شدند. حدوداً دو سوم متانول نمونه‌ها توسط دستگاه لیوفلایزر (مدل Virtis، شرکت SP Industries Inc، آمریکا) حذف شد. به محلول باقیمانده به مقدار هم حجم آن بافر فسفات اضافه و اسیدیته آن با هیدروکسید پتاسیم ۰/۲ نرمال در سطح ۸/۵ تنظیم شد. در ادامه، به محلول موجود ۵ تا ۸ میلی‌لیتر اتیل استات اضافه و مخلوط شد و بخش آلی (اتیل استات) دور ریخته شد. این عمل دو بار دیگر نیز تکرار شد. با توجه به این اصل که اسیدهای ضعیف نظیر IAA و ABA در اسیدیته قلیایی در فاز غیر آلی حل میشوند، در این مرحله ترکیباتی که در اسیدیته قلیایی در فاز آلی حل می‌شوند از محلول حذف گردیدند. سپس، اسیدیته بخش غیر آلی توسط کلریدریک اسید ۰/۲ نرمال در حدود دو تا سه تنظیم شد و دو بار دیگر اتیل استات به محلول باقی مانده اضافه شد. با این تفاوت که این بار در هر دو مرحله اتیل استات در ظرف جداگانه نگهداری شد و بخش غیر آلی دور ریخته شد. شایان ذکر است که با اسیدی شدن محلول، IAA و ABA در فاز آلی حل شده، در این شرایط ترکیبات محلول در فاز غیر آلی حذف شدند. در ادامه، اتیل استات توسط دستگاه لیوفلایزر کاملاً تبخیر شد و باقیمانده بلافاصله در ۲ میلی‌لیتر متانول حل و از فیلتر یک بار مصرف عبور داده شد. محلول به دست آمده توسط دستگاه HPLC (مدل UV Detector 2500Pump 1000، شرکت Knauer، ساخت آلمان) با استفاده از ستون C<sub>18</sub> و شدت جریان ۰/۸ میلی‌لیتر در ثانیه با حلال استیک اسید ۰/۱ نرمال و متانول ۸۰ درصد به

محلول پاشی اکسین به تنهایی (تیمار ۵) تأثیر معنی داری بر افزایش غلظت اکسین در برگ نسبت به غلظت اکسین در برگ در گیاهان شاهد (تیمارهای ۶، ۷ و ۸ که به ترتیب محلول پاشی توین ۲۰، آب و بدون محلول پاشی است) نداشت (جدول ۴). غلظت اکسین در برگ گیاهانی که تنها با اکسین محلول پاشی (تیمار ۵) شده بودند مشابه با گیاهانی که با سولفات روی یا کلات روی بدون اکسین محلول پاشی (به ترتیب تیمارهای ۲ و ۴) شده بودند بود. در صورتی که محلول پاشی سولفات روی یا کلات روی همراه با اکسین نسبت به تیمارهای شاهد (تیمارهای ۶، ۷ و ۸ به ترتیب: محلول پاشی توین ۲۰، آب و بدون محلول پاشی) موجب افزایش معنی دار در غلظت اکسین در برگ شد. این امر نشان دهنده تأثیر ترکیبات روی بر سنتز هورمون اکسین است.

است و در مقابل، سه تیمار توین ۲۰، محلول پاشی با آب و عدم محلول پاشی با مقادیر کمتر از ۱۰ قسمت در میلیون عنصر روی گیاه را با کمبود این عنصر مواجه ساخته است. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، در خصوص تعیین مرز بین سطوح کمبود، کم، کافی و زیاد بودن عنصر روی منابع مختلف، می توان نتیجه گرفت که ترکیب کلات روی و اکسین به همراه ماده توین ۲۰ از لحاظ تأمین این عنصر در پیکره گیاه در مقایسه با شاهد بسیار کارآمد بوده است. در این رابطه، Marschner (۱۹۹۵) غلظت بحرانی عنصر روی را ۱۵ تا ۲۰ میلی گرم روی در هر کیلوگرم وزن خشک برگ و در مقابل، حدود ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی گرم در هر کیلوگرم را طیف سمی این عنصر تعیین نموده است.

بررسی صفات اشاره شده در جدول ۳ نشان داد که

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی عنصر روی و تنظیم کننده رشد اکسین. \*\*، \* و ns به ترتیب معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد و غیر معنی دار.

میانگین مربعات صفات (MS)											
منبع تغییرات	درجه آزادی	غلظت روی در برگ	آکسین در برگ	آبسزیک اسید در برگ	آکسین در ریشه	آبسزیک اسید در ریشه	نسبت آکسین به آبسزیک اسید در برگ	نسبت آکسین به آبسزیک اسید در ریشه	وزن خشک بخش هوایی	وزن خشک ریشه	طول ریشه
تکرار	۲	۰/۱۲۴ <sup>ns</sup>	۲۵۳۴/۸ <sup>ns</sup>	۲۸۹/۹ <sup>ns</sup>	۳۸/۱ <sup>ns</sup>	۷/۳۹ <sup>ns</sup>	۲۰/۹ <sup>ns</sup>	۶/۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۳۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۵ <sup>ns</sup>	۶۵/۲ <sup>ns</sup>
محلول پاشی	۷	۹۸/۴۸ <sup>**</sup>	۵۱۴۳۳/۸ <sup>**</sup>	۴۴۱/۱ <sup>**</sup>	۵۲۸۲/۱ <sup>**</sup>	۴۲/۰۱ <sup>*</sup>	۲/۲ <sup>ns</sup>	۵۷/۷ <sup>**</sup>	۰/۰۵۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۴۴ <sup>*</sup>	۵۳/۷۴ <sup>*</sup>
خطای آزمایش	۱۴	۰/۰۷۶	۵۵۱/۳	۵۶/۹	۲۵/۱	۶/۴	۸/۴	۶/۵	۰/۱۰	۰/۰۰۹	۱۱/۰۲
ضرب تغییرات (درصد)	-	۱/۹۵	۷/۹۵	۲۵/۱۸	۳/۶۹	۱۸/۲۹	۲۷/۶۱	۲۳/۹۵	۴۴/۷۳	۳۱/۸	۳۱/۹

جدول ۴- میانگین اثر تیمارهای محلول‌پاشی. (۱) سولفات روی + اکسین + توپین (۲۰؛ ۲) سولفات روی + توپین (۲۰؛ ۳) کلات روی + اکسین + توپین (۲۰؛ ۴) کلات روی + توپین (۲۰؛ ۵) اکسین + توپین (۲۰؛ ۶) توپین (۲۰؛ ۷) آب؛ (۸) بدون محلول‌پاشی. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

شماره تیمار	غلظت روی (قسمت در میلیون)	غلظت اکسین در برگ (میکرومول بر گرم وزن تازه)	غلظت آبسیزیک اسید در برگ (میکرومول بر گرم وزن تازه)	غلظت اکسین در ریشه (میکرومول بر گرم وزن تازه)	اسید در ریشه (میکرومول بر گرم وزن تازه)	نسبت اکسین به آبسیزیک اسید در ریشه	وزن خشک ریشه (گرم در هر سانتی متر پوته)	طول ریشه (سانتی متر)
۱	۱۵/۲۶c	۴۸۸/۴a	۴۷/۰۸a	۱۶۳/۸ab	۸/۵bc	۱۹/۲۷ab	۰/۶۳a	۲۲/۱۵a
۲	۱۴/۹۹c	۴۱۳/۱abc	۴۲/۱۳ab	۱۶۵/۸a	۱۰/۵bc	۱۵/۷۹bc	۰/۶۵a	۲۲/۸۵a
۳	۲۴/۰۴a	۴۳۸/۲ab	۴۱/۰۴ab	۱۶۱/۸abc	۶/۵c	۲۴/۸۹a	۰/۴۵ab	۱۵/۸۲b
۴	۱۹/۶۵b	۳۷۲/۷bc	۴۰/۷۹ab	۱۵۱/۶bc	۱۴/۶۶ab	۱۰/۳۴cd	۰/۲۸b	۹/۸۴c
۵	۱۳/۹۶d	۳۳۳/۳cd	۳۷/۶ab	۱۴۸/۶c	۱۲/۷۶abc	۱۱/۶۵cd	۰/۴۵ab	۱۵/۸۲b
۶	۷/۹۸f	۲۸۹/۳d	۲۵/۱۹b	۱۵۵/۱abc	۱۴/۲۳ab	۱۰/۹۰cd	۰/۲۳b	۸/۰۸c
۷	۸/۹۸e	۳۴۷/۶cd	۴۵/۵۴a	۱۶۱/۶abc	۱۷/۲۴a	۹/۳۸cd	۰/۴۰ab	۱۴/۰۶b
۸	۸/۲۴f	۳۴۶/۷cd	۵۰/۵۳a	۱۶۳/۶ab	۱۹/۲۴a	۸/۵۱d	۰/۲۳b	۸/۰۸c

عنصر روی جهت سنتز اکسین (تنظیم‌کننده رشد) ایندول استیک اسید (IAA) مورد نیاز است. توقف رشد و کوچکی برگ مشخص‌ترین علائم قابل مشاهده کمبود عنصر روی است که نتیجه اخلاص در سازوکار اکسین است، به ویژه سطوح پایین IAA ممکن است ناشی از ساخته نشدن IAA یا افزایش تخریب IAA باشد. شواهد فراوانی وجود دارد که عنصر روی برای سنتز تریپتوفان (پیش‌ماده بیوسنتز IAA) مورد نیاز است. از جمله این مشاهدات، افزایش میزان تریپتوفان در دانه‌های برنج پس از مصرف عنصر روی در گیاهان رشد نموده در خاک آهکی است (Brown et al., 1993؛ Taiz and Zeiger, 2002؛ Heldt, 2005).

در رابطه با غلظت اکسین در ریشه جدول ۴ نشان می‌دهد که محلول‌پاشی اکسین به تنهایی (تیمار ۵) تأثیر معنی‌داری بر افزایش غلظت اکسین در ریشه نسبت به غلظت اکسین در ریشه در گیاهان شاهد (به ترتیب تیمارهای ۶ و ۷) نداشت و حتی نسبت به تیمار ۸ (بدون محلول‌پاشی) نیز کاهش معنی‌داری داشت. محلول‌پاشی

کلات روی بدون اکسین یا همراه با اکسین (به ترتیب تیمارهای ۳ و ۴) نسبت به محلول‌پاشی اکسین به تنهایی (تیمار ۵) تأثیر معنی‌داری بر غلظت اکسین در ریشه نداشتند. محلول‌پاشی سولفات روی به تنهایی یا همراه با اکسین (به ترتیب تیمارهای ۲ و ۱) نسبت به تیمارهای شاهد (تیمارهای ۶، ۷ و ۸) تأثیر معنی‌داری بر غلظت اکسین در ریشه گیاهان نداشت، اما نسبت به گیاهان محلول‌پاشی شده با اکسین به تنهایی (تیمار ۵) به طور معنی‌داری سبب افزایش غلظت اکسین در ریشه شد. این امر نشان دهنده تأثیر محلول‌پاشی ترکیبات عنصر روی بر انتقال هورمون اکسین است. در خصوص تأثیر نوع ترکیبات عنصر روی بر انتقال اکسین در پیکره گیاه سازوکار مشخصی ارایه نشده است، اما به نظر می‌رسد از جمله عوامل مؤثر بر انتقال اکسین، غلظت آن در گیاه است که خود غلظت تابعی از غلظت عنصر روی در گیاه است که ساخت اکسین را تنظیم می‌کند. بخشی از غلظت‌های اکسین در برگ‌ها به علت فرآیندهای سازوکاری تنظیم‌کننده اکسین در گیاه است

است. اصولاً انتقال اکسین قطبی است و جهت آن عمدتاً از بالا به پایین است و میزان غلظت آن به طور ویژه بستگی به وضعیت رشد اندام گیاهی نیز دارد (Taiz and Zeiger, 2002). میانگین غلظت این هورمون در برگ و ریشه در تحقیق حاضر نیز مؤید این مطلب است. بررسی روابط بین انتقال اکسین و تولید انشعابات بخش هوایی در گیاه ذرت نشان داد که تولید این انشعابات در ذرت طی نمو رویشی و زایشی انجام شد که بیانگر اثر تنظیمی و فعالیت ناقلان در سازوکار حرکت قطبی اکسین است و می‌تواند توجیه کننده نقش اکسین در افزایش وزن خشک بخش هوایی و ریشه‌ها در این مطالعه باشد (Gallavotti et al., 2008). نکته مهم در این میان مشاهده تغییرات تقریباً موازی غلظت دو هورمون اکسین و آبسزیک اسید در برگ است، در حالی که این روند در ریشه مشاهده نمی‌شود. در این خصوص LaMotte و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی روابط کمی بین دو هورمون IAA و ABA در برگ‌های در حال رشد گیاه زینتی حسن یوسف (*Coleus blumei*) کاهش موازی غلظت این دو هورمون را گزارش نموده‌اند که این نتیجه با یافته‌های مطالعه حاضر تا حدود بسیاری مطابقت دارد.

با توجه به افزایش غلظت اکسین در ریشه، نسبت دو هورمون اکسین و آبسزیک اسید در ریشه بیش از بخش هوایی شد که این افزایش نسبت به نفع اکسین در ریشه می‌تواند عامل اصلی افزایش وزن خشک و طول ریشه در همین تیمارها باشد که در جدول ۴ قابل مشاهده است. در تأیید این نکته Schiefelbein (۲۰۰۳) اعمال تیمار هورمون اکسین را در تشکیل ریشه‌های جانبی و نابجا مؤثر می‌داند و همچنین در مطالعات ژنتیک مولکولی Fukaki و همکاران (۲۰۰۷) روی

که عامل مهمی برای تنظیم اکسین آزاد بوده است. در خصوص انتقال IAA از بخش هوایی (ناشی از محلول یا بیوسنتز طبیعی IAA) دو سیستم اصلی شناخته شده است: الف) سیستم انتقال یک طرفه، قطبی و انرژی‌خواه و ب) سیستم انتقال غیرقطبی و غیرفعال از طریق آوند آبکش (Taiz and Zeiger, 2002). به نظر می‌رسد با توجه به روند تقریباً مشابهی که در غلظت‌های IAA برگ و ریشه مشاهده می‌شود می‌بایست سازوکاری سریع در انتقال این هورمون در گیاه نقش داشته باشد. بر اساس جدول ۴ محلول پاشی ترکیبات مختلف سولفات یا کلرات روی یا اکسین تأثیری بر غلظت آبسزیک اسید در برگ و در ریشه گیاهان نسبت به گیاهان شاهد (تیمارهای ۶، ۷ و ۸) نداشت.

همان‌طور که اشاره شد تیمارهایی که بیشترین سطح غلظت IAA را در برگ‌ها ایجاد کرده‌اند بیشترین سطح غلظت این هورمون را در ریشه‌های جانبی نیز نشان دادند. زیرا با توجه به نمونه‌برداری انجام شده حدود سه ساعت پس از محلول پاشی، سیستم انتقال غیرفعال از طریق آوند آبکش محتمل‌ترین راه است. بنابراین به نظر می‌رسد نتایج بررسی حاضر وجود سیستم انتقال غیرقطبی و غیرفعال اکسین از طریق آوند آبکش را که Taiz و Zeiger (۲۰۰۲) به آن اشاره کرده بودند را تأیید می‌کند. احتمالاً اکسین ساخته شده در برگ‌های بالغ یا جذب شده از طریق محلول پاشی، به صورت غیرقطبی که نسبت به انتقال قطبی انتقالی سریع‌تر محسوب می‌گردد از طریق آوندهای آبکش به سایر قسمت‌های گیاه منتقل شده است. در خصوص گیاهچه‌های ذرت، حرکت غیرقطبی از طریق آوند آبکش، مسؤل صدور و توزیع IAA ترکیبی از گیاهک جوانه زده به نوک کولتوپتیل شناخته شده

جهش‌یافته‌های گیاه آراییدوبسیس (*Arabidopsis thaliana* L. Heynh) چنین نتیجه گرفته شد که برای القای تشکیل ریشه‌های جانبی بین جریان درون و برون سلولی اکسین، بایستی تعادل برقرار باشد. از این رو، نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر مشابه پژوهش‌های اشاره شده نقش اساسی اکسین در القای ریشه زایی را مورد تأکید قرار می‌دهد.

داده‌های جدول مقایسه میانگین اثر محلول پاشی عنصر روی بر صفات مختلف ریشه (جدول ۴) نیز گویای آثار بارز دو ترکیب حاوی عنصر روی یعنی سولفات و کلرات روی بود، به ویژه آن که تأثیرات سولفات و کلرات روی بر وزن خشک ریشه مشابه بود و در یک گروه قرار گرفتند، اما در مورد صفت طول ریشه ترکیب سولفات روی نسبت به کلرات روی و سایر تیمارها یعنی محلول‌پاشی با آب و بدون محلول‌پاشی دارای برتری بود.

گزارش‌های ارائه شده در رابطه با اثر تحریک‌آمیز رشد ریشه ناشی از اکسین متناقض هستند. آنچه که از جمع‌بندی این پژوهش‌ها قابل برداشت است توجه به سطوح غلظت تنظیم‌کننده رشد اکسین در ریشه است. بدین نحو که تحریک رشد ریشه توسط اکسین دارای یک حد بحرانی غلظت است. به طوری که غلظت‌های اندک اکسین به مقادیری در حدود  $10^{-10}$  تا  $10^{-9}$  مولار، رشد ریشه‌های سالم را افزایش، اما غلظت‌های بیش از  $10^{-6}$  مولار از رشد ریشه جلوگیری می‌کند (Taiz and Zeiger, 2002). به هر حال، اکسین ریشه اغلب در اندام‌های هوایی ساخته و به ریشه منتقل می‌گردد، بنابراین این احتمال وجود دارد که با انجام محلول‌پاشی اکسین و جذب توسط بخش هوایی بخشی از آن به ریشه‌های گیاه منتقل شده است. با وجود آن

که غلظت‌های بالاتر از حدود بحرانی اکسین (تقریباً  $10^{-8}$  مولار) مانع از طویل شدن ریشه‌های اولیه می‌شود. اما تشکیل ریشه‌های فرعی و نابجا توسط مقادیر زیاد تنظیم‌کننده رشد اکسین تحریک می‌گردد (Taiz and Zeiger, 2002). این ریشه‌های فرعی و نابجا معمولاً در ناحیه‌ای بالاتر از ناحیه طویل شدن تارهای کشنده یافت می‌شوند و از گروه‌های کوچکی از سلول‌های دایره محیطه یا ریشه‌زا منشأ می‌گیرند که این سلول‌ها توسط اکسین به تقسیم سلولی تحریک می‌شوند. سلول‌های در حال تقسیم شدن به تدریج ریشه را تشکیل می‌دهند و ریشه‌های جانبی از میان لایه کورتکس و اپیدرم ریشه رشد می‌کند (Taiz and Zeiger, 2002).

به نظر می‌رسد یکی از آثار محلول‌پاشی تیمارهای حاوی اکسین، افزایش وزن خشک ریشه ناشی از افزایش طول ریشه و در نتیجه افزایش ذخیره ماده خشک است. همبستگی زیاد بین این دو صفت در جدول ۵ دلیلی بر این موضوع است. در واقع، از طریق طول ریشه‌ها، حجم ریشه در واحد حجمی خاک افزایش می‌یابد.

در بررسی اثر عنصر روی و اکسین بر تشکیل ریشه‌های نابجا و رشد آن در گیاه برنج گزارش شده است که مصرف عنصر روی به تنهایی تأثیری بر تعداد ریشه در گیاه ندارد و علت آن این است که مراحل ریشه‌دهی شامل دو مرحله اصلی است: الف) مرحله تشکیل آغازی‌های ریشه و ب) مرحله طویل شدن. از این رو، تشکیل آغازی‌های ریشه نتیجه عمل اکسین و طویل شدن ریشه نتیجه عمل عنصر روی است (Inoue et al., 2006). در مقابل، نتایج پژوهش حاضر وجود اثر متقابل میان عنصر روی و محلول‌پاشی اکسین را نشان نداد و اثر هر یک از آنها به طور جداگانه قابل



مشاهده بود.

تحریک رشد طولی ریشه و افزایش وزن خشک ریشه شده است اما در بخش هوایی (برگ‌ها) تعادل هورمونی طوری بوده است که در وزن خشک بخش هوایی نسبت به شاهد افزایشی مشاهده نشد. در خصوص افزایش عملکرد ماده خشک با مصرف سه نوع کود ریزمغذی، علت‌های مختلفی ذکر شده که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوستتر اکسین در حضور عنصر روی اشاره کرد (Sharafi *et al.*, 2002).

در مطالعه نقش صفات مرفولوژیک ریشه در رشد گیاه جو در خاک‌های مبتلا به کمبود عنصر روی چنین نتیجه‌گیری شد که نمو و توسعه ریشه‌های موین تحت تأثیر وضعیت عنصر روی قرار نگرفته است (Genc *et al.*, 2000). بر اساس گزارش موجود، بدیهی است جذب بهتر عنصر روی از محلول خاک همبستگی بالایی با سطح تماس بیشتر ریشه دارد و در این میان نقش ریشه‌های موین حایز اهمیت است (Genc *et al.*, 2000).

بر اساس جدول ۵ چنین مشاهده می‌شود که بین غلظت اکسین و آبسزیک اسید رابطه مثبت و معنی‌داری با ضریب نسبتاً بالا مشاهده می‌گردد که نشان‌دهنده تغییرات موازی غلظت این دو هورمون در بخش هوایی گیاه (برگ‌ها) است.

چنین وضعیتی در گیاه حسن یوسف گزارش شده است (LaMotte *et al.*, 2002). در نتایج مشابه، Peres و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تجمع آبسزیک اسید و اکسین در ریشه در حال رشد گیاه *Catasetum fimbriatum* در محیط کشت محتوی سوکروز و مانیتول، افزایش موازی در میزان آبسزیک اسید و اکسین در جهت افزایش قند را گزارش نموده‌اند و همبستگی میان طولی شدن ریشه و نسبت ABA/IAA

Yokoyama (۲۰۰۶) در مطالعه تأثیر فیزیولوژیک عنصر روی بر رشد اندام‌های جدید در گیاهان عالی به نقش این هورمون در ریشه‌زایی اشاره می‌کند و از سوی دیگر اضافه می‌نماید که اثر افزایشی عنصر روی بر عمل اکسین در ریشه‌زایی گیاه تاکنون ناشناخته باقی مانده است. وی چنین نتیجه‌گیری نمود که عنصر روی بدون کاربرد اکسین هیچ تأثیر معنی‌داری بر وزن بخش هوایی و ریشه نداشته است که مطالعه حاضر در بخش ریشه نشان داد که عنصر روی حتی در غیاب اکسین نیز اثر افزایشی در وزن خشک و طول ریشه داشت اما همچنین وزن تر و خشک بخش هوایی تحت تأثیر هیچ یک از دو تیمار محلول پاشی عنصر روی و اکسین قرار نگرفته است.

Yokoyama و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر عنصر روی بر تشکیل کالوس و ریشه‌های به وجود آمده از القای اکسین در بذور برنج به نقش فیزیولوژیک اکسین در تشکیل کالوس و ریشه به ویژه در شرایطی که غلظت بالایی از عنصر روی و اکسین در محیط کشت باشد تأکید کرده‌اند. آنها همچنین به ارتباط مستقیم عنصر روی با نقش فیزیولوژیک اکسین نیز اشاره کرده‌اند. در این رابطه، به نقش اکسین در تشکیل آغازی‌های ریشه و نقش عنصر روی در طولی شدن ریشه اشاره شده است که می‌تواند عامل اصلی انگیزش افزایش وزن خشک و طول ریشه در تحقیق حاضر باشد (Inoue *et al.*, 2006).

با بررسی اثر محلول پاشی سولفات روی به همراه اکسین و ماده توین ۲۰ در ریشه چنین مشاهده شد که میزان غلظت ABA کاهش و غلظت IAA افزایش یافته است. پس تعادل بین ABA و IAA در ریشه موجب



که تعیین کننده نمو گیاه است، بسیار پیچیده می باشد (Vanstraelen, and Benkova, 2012).

### نتیجه گیری

محلول پاشی عنصر روی و تنظیم کننده رشد اکسین بر غلظت اکسین و آبسزیک اسید در برگ و ریشه اثر داشت اما نسبت اکسین به آبسزیک اسید را تنها در ریشه تحت تأثیر قرار داد، همچنین بر صفات وزن خشک ریشه و طول آن اثر داشت. از سوی دیگر، تغییرات دو هورمون به صورت همسو بود که برخی نتایج پیشین وجود چنین تغییراتی را تأیید کرده بودند، اما استدلال سازوکار حرکت یک طرفه تاکنون ناشناخته باقی مانده است و به بررسی های بیشتری نیاز دارد.

### سپاسگزاری

نگارندگان از همکاری ها و زحمات کارکنان مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران در خصوص اجرای مطالعات گلخانه ای و همکاران بخش فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهی پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی به خاطر مساعدت ها و همکاری های لازم در اجرای مراحل سنجش های هورمونی بافت های گیاهی صمیمانه سپاسگزاری نمایند.

میزان غلظت آبسزیک اسید در برگ نیز با غلظت اکسین در ریشه اثر مثبت، معنی دار و با ضریب بالایی را نشان می دهد که تأیید دیگری است بر وجود روابط مثبت و موازی غلظت اکسین و آبسزیک اسید هم در بخش هوایی (برگ ها) و هم در بخش ریشه. برخلاف انتظار، همبستگی افزایش غلظت آبسزیک اسید در برگ با وزن خشک و همچنین طول ریشه مثبت بود که با توجه به تغییرات موازی آبسزیک اسید و اکسین در بخش هوایی و ریشه قابل انتظار بود. افزایش موازی دو هورمون اکسین و آبسزیک اسید در بخش های هوایی و ریشه، آنها را به یک مخزن قوی مبدل ساخته است که نتیجه آن افزایش انباشتگی مواد فتوسنتزی در این اندام ها است (Peres et al., 2009؛ LaMotte et al., 2002).

در نتیجه ای مشابه Cakmak و همکاران (۱۹۸۹) در بررسی اثر وضعیت تغذیه ای عنصر روی بر رشد، سوخت و ساز پروتئین و سطح IAA و سایر هورمون های گیاهی بر لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) به تغییرات همسو و کاهش هورمون های IAA و ABA در بخش هوایی اشاره شد. البته، قضاوت درباره سازوکار اثر متقابل هورمون ها بسیار دشوار است و بر اساس مشاهدات Nahodil (۲۰۱۰) در رابطه با برهمکنش آنها گزارش های متناقضی ارائه شده است. از سوی دیگر، روابط و برهمکنش هورمون های گیاهی

### منابع

- Alizadeh, A. (2004) Water, soil and plant relationships. Emam Reza University Press, Mashhad (in Persian).
- Alloway, B. J. (2004) Zinc in soils and crop nutrition. 1<sup>st</sup> edition, International Zinc Association, (IZA), Brussels.
- Brown, P. H., Cakmak, I. and Zhang, Q. (1993) Form and function of zinc in plants. In: Zinc in soils and plants. (Ed. Robson, A. D.) 90-106. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

- Cakmak, I., Marschner, H. and Bangerth, F. (1989) Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Experimental Botany* 40(3): 405-412.
- Fukaki, H., Okushima, Y. and Tasaka, M. (2007) Auxin-mediated lateral root formation in higher plants. *International Review of Cytology* 256: 111-137.
- Gallavotti, A., Yang, Y., Schmidt, R.J. and Jackson, D. (2008) The relationship between auxin transport and maize branching. *Plant Physiology* 147: 1913-1923.
- Genc, Y., McDonald, G. K. and Graham, R. D. (2000) Effect of seed zinc content on early growth of barley (*Hordeum vulgare* L.) under low and adequate soil zinc supply. *Australian Journal of Agricultural Research* 51: 37-45.
- Hanway, J. J. (1971) How a corn plant develops. Iowa State University Cooperative Extension Service Special Report 48, Iowa City.
- Heldt, H. W. (2005) *Plant biochemistry*. 3<sup>rd</sup> edition, Elsevier Academic Press, San Diego.
- Inoue, A., Udonishi, K., Saeki, Y., Nagatomo, Y. and Akao, S. (2006) Effect of zinc and auxin on the formation of adventitious roots and its growth in rice plants. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, University of Miyazaki* 52(1.2): (57-64).
- LaMotte, C., Li, X., Jacobs, W. and Epstein, E. (2002) Quantitative relationship between indole-3-acetic acid and abscisic acid during leaf growth in *Coleus blumei*. *Journal of Plant Growth Regulation* 36: 19-25.
- Malakouti, M. J. and Tehrani, M. M. (2001) *Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products. micro-nutrients with macro-nutrients*. 2<sup>nd</sup> edition. Tarbiat Modarres University Press, Tehran (in Persian).
- Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. 2<sup>nd</sup> edition. Academic Press, London.
- Nahodil, D. (2010). *Hormone interactions and regulation of seedling growth*. PhD thesis, University of Tasmania, Australia.
- Peres, L. E. P., Zsogon, A. and Kerbauy, G. B. (2009) Abscisic acid and auxin accumulation in *Catsetum fimbriatum* roots growing *in vitro* with high sucrose and mannitol content. *Biologia Plantarum* 53(3): 560-564.
- Ruzicka, K., Ljung, K., Vanneste, S., Podhorska, R., Beeckman, T., Friml, J. and Benkova, E. (2007) Ethylene regulates root growth through effects on auxin biosynthesis and transport-dependent auxin distribution. *The Plant Cell* 19: 2197-2212.
- Salama, Z. A., EloFouly, M. M., Lazova, G. and Popova, L. P. (2006) Carboxylating enzymes and carbonic anhydrase functions were suppressed by zinc deficiency in maize and chickpea plants. *Acta Physiologiae Plantarum* 28(5): 445-451.
- Salardini, A. A. and Mojtahedi, M. (1994) *Principles of plant nutrition, fundamental aspects*, Tehran University Press, Tehran.
- Schiefelbein, J. (2003) Cell-fate specification in the epidermis: a common patterning mechanism in the root and shoot. *Current Opinion in Plant Biology* 6: 74-78.
- Sharafi, S., Tajbakhsh, M., Majidi, M. and Pourmirza, A. (2002) Effect of iron and zinc fertilizer on yield and yield components of two forage corn cultivars in Urmia. *Soil and Water* 12: 85-94 (in Persian).
- Sudhalakshmi, C., Krishnasamy, R. and Rajarajan, A. (2007) Influence of zinc deficiency on shoot/root

- dry weight ratio of rice genotypes. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 3(4): 295-298.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2002) *Plant physiology*. 3<sup>rd</sup> edition. Sinauer Associates, Sunderland.
- Vanstraelen, M. and Benkova, E. (2012) Hormonal interactions in the regulation of plant development. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* 28: 463-487.
- Yokota, T., Nahayama, M., Harasawa, I. and Kawabe, S. (1994) Polyamines, indole-3 acetic acid and abscisic acid in rice phloem sap. *Journal of Plant Growth Regulation* 15: 125-128.
- Yokoyama, M. (2006) Physiological studies of zinc on the growth of new organs in higher plants. *Bulltin of Miyazaki Agricultural Research Institute* 41: 1-39.
- Yokoyama, M., Shibahara, R. and Takagi, H. (2008) Effect of zinc on auxin- induced callus formation and auxin-induced root formation in rice [*Oryza sativa*] seeds. *Bulltin of Miyazaki Agricultural Research Institute* 43: 1-7.
- Zand, B., Sorooshzadeh, A., Ghanati, F. and Moradi, F. (2010) Effect of zinc and auxin foliar application on some anti-oxidant enzymes activity in corn leaf. *Iranian Journal of Plant Biology* 2(3): 35-48 (in Persian).
- Zare Dehabadi, S., Asrar Z. and Mehrabani, M. (2010) Biochemical changes in terpenoid compounds of *Mentha spicata* essential oils in response to excess zinc supply. *Iranian Journal of Plant Biology* 2(3): 25-34 (in Persian).
- Zengin, F. K. (2006) The effect of  $Co^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  on the contents of protein, abscisic acid, proline and chlorophyll in bean (*Phaseolus vulgaris* cv. Strike) seedlings. *Journal of Environmental Biology* 27(2): 441-448.



## **Effect of zinc (Zn) and auxin (IBA) foliar application on phytohormonal variation and growth of corn (*Zea mays* L.)**

**Behnam Zand<sup>1</sup>, Ali Sorooshzadeh<sup>1\*</sup>, Faezeh Ghanati<sup>2</sup> and Foad Moradi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Plant Biology, Faculty of Biological Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Department of Molecular Physiology, Institute of Agriculture Biotechnology, Karaj, Iran

### **Abstract**

In order to assess corn responses to zinc compounds and auxin (Indole Butyric Acid) foliar application in shoots and roots, a pot experiment was carried out in randomized complete block design in three replications. Results showed that, zinc and auxin increased auxin and abscisic acid concentration both in shoots and roots. Also, fresh and dry weight of shoot and root increased model to foliar application, because protein synthesis was increased. On the other hand, according to unusual case, auxin and ABA showed positive parallel variation both in shoot and root, but this relation was more noticable in shoots.

**Key words:** Root dry weight, Root length, Shoot dry weight, Hormone ratio

---

\* Corresponding Author: soroosh@modares.ac.ir