Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 48, No 3, Autumn 2017 (811-824)
DOI: 10.22059/ijfcs.2017.216939.654186

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۶ (ص ۸۲۴-۸۱۱)

بررسی تأثیر اندول استیک اسید و آبسیزیک اسید بر غده‌زائی در گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*)

محمدرضا هادی*
استادیار گروه زیست شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۳۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/٦)

چکیده

در این پژوهش تأثیر هورمون‌های اندول استیک اسید (IAA) و آبسیزیک اسید (ABA) بر غده‌زائی در سیب‌زمینی رقم آگریا (Agria) در شرایط گلخانه‌ای بررسی شد. ریز غده‌های بدون عامل‌های بیماریزا به گلدان‌هایی با خاک مناسب و ضدعفونی شده منتقل شدند. گیاهچه‌ها در طرح فاکتوریل در مرحلهٔ ۷-۸ برگی با غلظت‌های ۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار IAA و ۰، ۲/۵ و ۵ میکرومولار ABA محلول‌پاشی شدند. نتایج نشان داد، با کاربرد IAA سطح برگ کاهش ولی با کاربرد ABA سطح برگ افزایش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش غلظت هر دو هورمون شمار برگ و شمار غده افزایش پیدا می‌کند. افزون بر این با افزایش غلظت ABA، وزن غده و وزن اندام‌های هوائی کاهش پیدا می‌کند. نتایج نشان داد، با افزایش IAA، سبزینهٔ (کلروفیل) کل و کاروتنوئیدها افزایش ولی با افزایش ABA، میزان آن‌ها کاهش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش IAA، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز در برگ گیاهان یک روند کاهشی دارند درصورتی‌که با افزایش ABA روند فعالیت این آنزیم‌ها افزایشی است. به نظر می‌رسد که تأثیر هورمون‌های اکسین و آبسیزیک اسید روی غده‌زائی در سیب‌زمینی به‌صورت متضاد باشد، هرچند این تأثیر ناهمسازی (آنتی‌گونیستی) به‌صورت کامل (۱۰۰درصد) نیست و به غلظت هورمون‌های به‌کاررفته و شرایط و مراحل رشد و اندام‌های مورد بررسی در گیاه بستگی دارد.

واژه‌های کلیدی: آبسیزیک اسید، اکسین، سیب‌زمینی، سبزینه، غده‌زائی، کاروتنوئید.

The effects of indole acetic acid and abscisic acid on the tuberization in potato (*Solanum tuberosum*)

Mohammad Reza Hadi*
Assistant Professor, Department of Biology, Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Marvdasht, Iran
(Received: Oct. 21, 2016 - Accepted: Dec. 26, 2016)

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the effects of indole acetic acid (IAA) and abscisic acid (ABA) on the tuberization in potato (CV. Agria) under greenhouse conditions. The potato mini-tubers (without any infection) were planted in pots containing pasteurized soil. The 4 weeks-old plants (7-8 leaves) were treated by spraying the foliage with 0, 5 and 10 µM (IAA) and with 0, 2.5 and 5 µM ABA weekly for 3 weeks. The results showed that application of IAA decreased the leaf area, but application of ABA increased the leaf area. With increasing concentrations of both hormones also increased the leaves numbers and tubers numbers. In addition, by increasing the concentration of ABA reduced the shoot weight and tuber weight. The results showed that total chlorophyll and carotenoids increased in leaves with increase in IAA applied, but they are reduced by increasing ABA levels. Also, by increasing IAA, polyphenol oxidase and peroxidase activities in leaf is a downward trend, while with increasing ABA, the activity of these enzymes is a upward trend. It seems that the influences of hormones auxin and abscisic acid on the tuberization in potato as an antagonistic effect however, this effect is not completely (100%) and depends on applied concentrations of hormones, conditions and growth stages and plant organs examined.

Keywords: Auxin, abscisic acid, chlorophyll, carotenoids, tuberization, Potato (*Solanum tuberosum*).

* Corresponding author E-mail: hadi_mohammadreza@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) یکی از مهم‌ترین منبع‌های تغذیهٔ انسان و چهارمین محصول کشاورزی جهان پس از برنج، گندم و ذرت است. تأثیر تیمارهای برگی از جمله تیمارهای هورمونی در افزایش محصول و نیز افزایش آن محصول ثابت شده است. اکسین نخستین هورمون گیاهی است و از جمله مهم‌ترین ترکیب‌های آن در گیاهان، اندول‌استیک اسید (IAA) بوده که به تریپتوفان همانند است و از آن ساخته (سنتز) می‌شود و نقش مهمی در تنظیم طویل شدن یاخته دارد (Hadi, 2013). اکسین تأثیر مختلفی روی رشد و نمو گیاه دارد و آزمایش‌های غده‌زائی در شرایط آزمایشگاهی با کاربرد بیرونی اکسین نقش آن را در فرآیند غده‌زائی تائید می‌کنند (Roumeliotis *et al.*, 2012).

اکسین بیرونی به‌شدت طویل شدن دستک (استولون)ها را مهار می‌کند (Ewing, 1995; Romanov *et al.*, 2000) و موجب تشکیل غده‌های کوچک می‌شود (Davies, 2013) درصورتی‌که هورمون آبسیزیک اسید از راه بی‌اثر کردن فعالیت هورمون جیبرلین غده‌زائی را تحریک می‌کند (Jackson & Prat, 1996)، هرچند طول دستک را کاهش می‌دهد (Xu *et al.*, 1998). تشکیل غده در گیاه سیب‌زمینی که ژن جیبرلین اکسیداز را به میزان زیاد بیان می‌کند، با تأخیر صورت می‌گیرد و برعکس تاریخت‌شدگی با ژن پادسو جیبرلین اکسیداز، غده‌ای‌شدن را تحریک می‌کند (Carrera *et al.*, 2000). تشکیل غده‌ها در روزهای کوتاه با کاهش میزان GA1 همراه است (Hadi, 2013). نشان داده شده است که جوانهٔ انتهائی، رشد را نه تنها با زیست‌ساخت (بیوسنتز) مستقیم اکسین، بلکه با زیست‌ساخت القائی هورمون جیبرلین نوع GA1 توسط هورمون اکسین نیز تحریک می‌کند (Ross & O'Nill, 2001). رشد و نمو در گیاه تحت تأثیر عامل‌های مختلف و با عمل هماهنگ تنظیم‌کننده‌های مثبت و منفی مهار می‌شود و مواد ترپنوئیدی مانند آبسیزیک اسید به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های منفی طبیعی در گیاهان معرفی شده‌اند (Raghavendra *et al.*, 2010). آبسیزیک اسید از مسیر زیست‌ساخت کاروتنوئیدها در گیاهان به وجود می‌آید و بسیاری از جنبه‌های رشد و نموی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و به‌طورمعمول با برهمکنش متضادی با اکسین، سیتوکینین، جیبرلین، اتیلن و برازینواستروئیدها عمل می‌کند (Hadi, 2014). به‌طوری‌که هورمون‌های آبسیزیک اسید و اکسین برای تنظیم دهانهٔ روزنه‌ای اثر متقابل یا برهمکنش متضادی با هم دارند و در گیاهان علف تال (آرابیدوپسیس)، برهمکنش این دو هورمون در رشد ریشه و جوانه‌زنی بذر تأثیر داشته است. تشکیل غده در سیب‌زمینی فرآیندی است که در روزهای کوتاه امکان‌پذیر است و با کاربرد بیرونی یا افزایش میزان جیبرلین درونی متوقف می‌شود (Hadi, 2013). از سویی ژن‌های درگیر در تجزیهٔ جیبرلین مانند ژن مربوط به آنزیم جیبرلین اکسیداز که یک آنزیم کلیدی در مسیر زیست‌ساخت جیبرلین است، در فرآیند کاربرد بیرونی اکسین در مراحل پیش از توسعهٔ غده یک تنظیم بالادستی را ارائه می‌دهند که منجر به کاهش سریع در میزان جیبرلین فعال می‌شود و به‌موجب آن تورم نوک دستک آسان می‌شود یعنی غده‌زائی صورت می‌گیرد (Roumeliotis *et al.*, 2012). هدف از این بررسی ارزیابی تأثیر اندول استیک اسید و آبسیزیک اسید بر غده‌زائی در گیاه سیب‌زمینی بود.

مواد و روش‌ها

در آغاز شمار صد عدد از ریزغده‌های سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) رقم آگریا (Agria) نسل اول که گاهی به آن سوپرالیت (Super Elite) گفته می‌شود (ریزغده‌های ناشی از گیاهچه‌های بدون هرگونه بیماری به‌دست‌آمده از کشت بافت) از گروه بیوتکنولوژی سیب‌زمینی دانشگاه اصفهان تهیه شد. پس از تهیهٔ ریزغده‌های سیب‌زمینی رقم آگریا، برای تسریع در جوانه‌زنی ریزغده‌ها از تیمار هورمون جیبرلین استفاده شد. روش کار بدین‌صورت بود که ریزغده‌های سیب‌زمینی رقم آگریا پس از شستشو با آب مقطر در محلول ۲ppm (۲ میلی‌گرم جیبرلین خالص در ۱ لیتر آب مقطر) به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد. سپس ریزغده‌های سیب‌زمینی تیمارشده با

Archive of SID

www.SID.ir

هورمون جیبرلین در دمای آزمایشگاه (دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس) برای جوانه‌زنی قرار داده شد. یک هفته پس از تیمار با هورمون جیبرلین، ریزغده‌های یکسان و جوانه‌زده برای کاشت انتخاب شد. برای کاشت این ریزغده‌ها از گلدان‌های سفالی به حجم ۳ لیتر استفاده شد (Balali *et al.*, 2008). شمار ۵۰ عدد از این گلدان‌ها حاوی خاک ضد عفونی‌شده برای این منظور استفاده شد و در خاک هرکدام از این گلدان‌ها یک ریزغدهٔ سیب‌زمینی جوانه‌زده (دارای اسپرات) قرار داده شد. آن‌گاه گلدان‌ها برای رشد در شرایط گلخانه‌ای که میانگین دمای آن در روز ۳±۲۳ C و در شب ۳±۱۶ C بود، تحت نور طبیعی قرار داده شدند. سپس شمار ۲۷ عدد از گیاهچه‌هایی که اندازهٔ آن‌ها یکسان بود، برای اجرای طرح آزمایش انتخاب شد. دو هفته پس از سازگاری گیاهچه‌های سیب‌زمینی در شرایط گلخانه‌ای، گیاهان در مرحلهٔ ۸-۷ برگی با طرح فاکتوریل که در آن عامل اول هورمون اکسین (IAA ایندو استیک اسید) در سه سطح یا غلظت (۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار)، عامل دوم هورمون آبسیزیک اسید (ABA) در سه سطح یا غلظت (۰، ۲/۵ و ۵ میکرومولار) به‌صورت کامل تصادفی در سه تکرار هر هفته (درمجموع سه هفته) به میزان ۱۰ میلی‌لیتر از محلول مورد نظر روی برگ‌های یک گلدان محلول‌پاشی انجام شد. همچنین غلظت ۰ به‌عنوان شاهد به‌صورت ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر محلول‌پاشی شد. فاصلهٔ میانگره، سطح برگ، شمار برگ (همهٔ برگ‌های گیاهچه در یک گلدان)، شمار غده (همهٔ غده‌های موجود از گیاهچه در یک گلدان)، وزن غده (همهٔ غده‌های موجود از گیاهچه در یک گلدان) و وزن تر اندام‌های هوائی (کل گیاهچه در یک گلدان) و همچنین میزان سبزینهٔ (کلروفیل) کل (a+b)، کاروتنوئیدها و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز در برگ گیاهان سیب‌زمینی رقم آگریا به‌عنوان فراسنجهٔ (پارامتر) رشد اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ از هر بوته بزرگ‌ترین برگ انتخاب شد و با استفادهٔ اندازه‌گیری طول و عرض برگ، اندازهٔ سطح هر برگ برحسب سانتی‌متر مربع محاسبه شد.

فاصلهٔ بین میانگره‌ها در هر بوته با استفاده از خط‌کش سانتی‌متری انجام شد. شمار برگ‌ها و غده‌ها (پس از برداشت) در هر گلدان محاسبه شد و وزن غده‌ها و وزن تر اندام‌های هوائی با ترازوی دقیق برحسب گرم اندازه‌گیری شد. میزان سبزینه و کاروتنوئید برگ با روش Lichenthaler & Wellburn (1983) اندازه‌گیری شد (به نقل از: Jia *et al.*, 2011). تهیهٔ عصارهٔ آنزیمی و اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز بر پایهٔ روش Mac-Adam *et al.* (1992) صورت گرفت. همچنین فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز بر پایهٔ روش Raymond *et al.* (1993) اندازه‌گیری شد. سپس تجزیه‌وتحلیل داده‌ها بر پایهٔ نرم‌افزار آماری SPSS و مقایسهٔ میانگین‌ها بر پایهٔ آزمون دانکن (در سطح ۵درصد) صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس برای صفات مورد ارزیابی در جدول ۱ نشان می‌دهد، تأثیر تیمار اکسین روی سطح برگ، شمار برگ، شمار غده، میزان سبزینه، کاروتنوئید، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز در برگ سیب‌زمینی رقم آگریا در سطح ۱درصد معنی‌دار بود. هرچند که تیمار اکسین روی میزان فاصلهٔ میانگره، وزن غده و وزن اندام‌های هوائی تأثیر معنی‌داری نداشت. همچنین تأثیر تیمار آبسیزیک اسید روی همهٔ صفات مورد ارزیابی در سیب‌زمینی رقم آگریا معنی‌دار بود. هرچند که این تأثیر روی سطح برگ، شمار برگ، وزن اندام‌های هوائی، میزان سبزینه، کاروتنوئید، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز در سطح ۱درصد معنی‌دار بود ولی روی فاصلهٔ میانگره، شمار غده و وزن غده در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. افزون بر این، اثر متقابل تیمار هورمون‌های اکسین و آبسیزیک اسید روی سطح برگ، شمار غده، در سطح ۱درصد و روی شمار برگ، وزن غده و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در سطح ۵درصد معنی‌دار بود و روی دیگر صفات مورد ارزیابی تأثیر معنی‌داری نداشت.

تأثیر تیمار هورمون اکسین (اندول استیک اسید=IAA)

کاربرد اکسین تأثیر معنی‌داری روی سطح برگ در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که کمترین میزان سطح برگ (۹/۴۳۱ سانتی‌متر مربع) در غلظت ۱۰ میکرومولار اکسین به دست آمد و بیشترین میزان آن

Archive of SID

www.SID.ir

(۱۳/۹۳۰ سانتی‌متر مربع) در شاهد مشاهده می‌شود و یک روند کاهشی در سطح برگ با افزایش غلظت هورمون اکسین نیز مشاهده می‌شود (جدول۲). در این رابطه Keller *et al.* (2004) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند، در گیاهان لوبیا و علف تال با کاربرد هورمون اکسین میزان سطح برگ کاهش پیدا می‌کند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

از سوی دیگر، کاربرد هورمون اکسین تأثیر معنی‌داری روی شمار برگ در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان میانگین شمار برگ (۱۶/۳۳) در غلظت ۱۰ میکرومولار اکسین به دست آمده است (جدول۲). در این رابطه Mikitzel & Knowles (1990) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند که با کاربرد اکسین در گیاهان سیب‌زمینی شمار برگ افزایش پیدا می‌کند که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان می‌دهد. از سوی دیگر، کاربرد اکسین تأثیر معنی‌داری روی شمار غده در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان میانگین شمار غده (۶/۳۳) در غلظت ۱۰ میکرومولار اکسین به دست آمده است (جدول ۲). در این رابطه Roumeliotis *et al.* (2012) نیز گزارش کرده‌اند، کاربرد هورمون اکسین در سیب‌زمینی باعث افزایش غده‌زائی (افزایش شمار دستک) می‌شود که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان می‌دهد.

جدول ۱. تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد ارزیابی. IAA تیمار اندول استیک اسید، ABA تیمار آبسیزیک اسید، IAA*ABA اثر متقابل این دو هورمون، df ضریب آزادی، IN فاصلهٔ میانگره، LA سطح برگ، LN شمار برگ، TN شمار غده، TW وزن غده، SW وزن اندام‌های هوائی، Chl. میزان سبزینهٔ کل، Car. میزان کاروتنوئید، Per. فعالیت آنزیم پراکسیداز، Pol. فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز. نشانه‌های ** و * به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۱درصد و ۵درصد و علامت ns معنی‌دار نبودن (not significant = ns) را نشان می‌دهند.

Table 1. Analysis of variance (mean square) for traits assessment. Indol acetic acid treatment (IAA), absesic acid treatment (ABA), intractions of indol acetic acid with absesic acid (IAA*ABA), internode (IN), leaf area (LA), leaf number (LN), tuber number (TN), tuber weight (TW), shoot weight (SW), chlorophyll (Chl.), carotenoid (Car.), peroxidase activity (Per.) and polyphenoloxidase activity (Pol.) Symptoms ****** and ***** in table are showing significantly different at 1% and 5% level respectively and ns= not significant.

Treatments	df	IN	LA	LN	TN	TW
IAA	2	0.078 ^{ns}	50.632 **	56.148 **	9.333 **	8.080 ^{ns}
ABA	2	0.180 *	27.395 **	31.593 **	4.000 *	20.490 *
IAA*ABA	4	0.006 ^{ns}	141.463 **	13.259 *	3.833 **	17.895 *
Error	18	0.042	4.250	4.222	0.704	4.464

Treatments	df	SW	Chl.	Car.	Per.	Pol.
IAA	2	1.891 ^{ns}	0.449 **	31.048 **	0.047 **	0.005 **
ABA	2	5.783 **	0.277 **	11.666 **	0.030 **	0.003 **
IAA*ABA	4	0.215 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.072 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.002 *
Error	18	0.796	0.012	0.131	0.002	0.001

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین‌های صفات مورد ارزیابی در گیاهان سیب‌زمینی تحت تیمارهای اکسین. LA سطح برگ برحسب سانتی‌مترمربع (cm^2)، LN شمار برگ در یک گلدان، TN شمار غده در یک گلدان، Chl. میزان سبزینهٔ کل برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، Car. میزان کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، Per. فعالیت آنزیم پراکسیداز برحسب تغییر جذب در ۴۳۶ نانومتر در دقیقه، Pol. فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز برحسب تغییر جذب در ۴۳۰ نانومتر در دقیقه. حرف‌های همسان در کنار مقادیر میانگین‌ها در هر ستون نبود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵درصد بر پایهٔ آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

Table 2. Mean comparisons among traits assessment in potato plants under auxin treatment. Leaf area, LA; leaf number, LN; tuber number, TN; chlorophyll, Chl.; carotenoid, Car.; peroxidase activity, Per. and polyphenoloxidase activity (Pol.). Values within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level, using Duncan multiple range test.

Auxin treatment	LA (cm^2)	LN (per pot)	TN (per pot)	Chl. (mg/gFW)
0 µM IAA	13.93 a	13.00 b	4.33 b	1.76 b
5 µM IAA	12.98 a	11.44 b	5.00 b	2.13 a
10 µM IAA	9.43 b	16.33 a	6.33 a	2.15 a

auxin treatment	Car. (mg/gFW)	Per. (absorption changes in 436 nm per min)	Pol. (absorption changes in 430 nm per min)
0 µM IAA	8.06 b	0.308 a	0.144 a
5 µM IAA	11.17 a	0.184 b	0.107 b
10 µM IAA	11.37 a	0.180 b	0.101 b

Archive of SID

www.SID.ir

از سوی دیگر، کاربرد هورمون اکسین تأثیر معنی‌داری روی سبزینه در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان میانگین سبزینه (۲/۱۵۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در غلظت ۱۰ میکرومولار اکسین به دست آمده است و کمترین میزان آن نیز در شاهد (۱/۷۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) مشاهده شد. افزون بر این یک روند افزایشی در میزان سبزینه با افزایش غلظت هورمون اکسین نیز مشاهده می‌شود (جدول ۲). هرچند که چگونگی سازوکار تأثیر آن روی میزان سبزینه کمتر بررسی شده است با این وجود، Su *et al.* (2015) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند، با کاربرد هورمون اکسین میزان سبزینهٔ کل را در گیاهان گوجه‌فرنگی افزایش پیدا می‌کند که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان می‌دهد (جدول ۲). همچنین کاربرد هورمون اکسین تأثیر معنی‌داری روی میزان کاروتنوئیدها در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان میانگین کاروتنوئیدها (۱۱/۳۷۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در غلظت ۱۰ میکرومولار اکسین به دست آمده است و کمترین میزان آن در شاهد (۸/۰۶۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) مشاهده شد.

افزون بر این یک روند افزایشی در میزان کاروتنوئیدها با افزایش غلظت هورمون اکسین نیز مشاهده می‌شود (جدول ۲). هرچند که چگونگی سازوکار تأثیر آن روی میزان کاروتنوئیدها کمتر بررسی شده است با این وجود، Su *et al.* (2015) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند، با کاربرد هورمون اکسین میزان کاروتنوئیدها را در گیاهان گوجه‌فرنگی افزایش پیدا می‌کند که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان می‌دهد. از سوی دیگر، کاربرد اکسین تأثیر معنی‌داری روی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که کمترین میزان میانگین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۱۸۰ تغییر جذب در ۴۳۶ نانومتر در دقیقه) در غلظت ۱۰ میکرومولار اکسین به دست آمده است و بیشترین میزان آن نیز در شاهد (۰/۳۰۸ تغییر جذب در ۴۳۶ نانومتر در دقیقه) مشاهده شد. افزون بر این یک روند کاهشی در میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز با افزایش غلظت هورمون اکسین نیز مشاهده می‌شود (جدول ۲). به نظر می‌رسد که کاربرد هورمون اکسین در غلظت‌های ۵ و ۱۰ میکرومولار تأثیر معنی‌داری در کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاهان سیب‌زمینی داشته است. در این رابطه George *et al.* (2008) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند، هورمون اکسین (IAA) در گیاهان باعث کاهش در میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌شود و به نظر می‌رسد که کاهش فعالیت آنزیم همراه با کاهش زیست‌ساخت اکسین طبیعی باشد که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان می‌دهد. همچنین کاربرد اکسین تأثیر معنی‌داری روی میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که کمترین میزان میانگین فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (۰/۱۰۱ تغییرات جذب در ۴۳۰ نانومتر در دقیقه) در غلظت ۱۰ میکرومولار اکسین به دست آمده است و بیشترین میزان آن در شاهد (۰/۱۴۴ تغییرات جذب در ۴۳۰ نانومتر در دقیقه) مشاهده شد. افزون بر این یک روند کاهشی در میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز با افزایش غلظت هورمون اکسین نیز مشاهده می‌شود (جدول ۲). به نظر می‌رسد که کاربرد هورمون اکسین در غلظت‌های ۵ و ۱۰ میکرومولار تأثیر معنی‌داری در کاهش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در گیاهان سیب‌زمینی داشته است. در این رابطه در نتایج پژوهشی گزارش شده است، ترکیب‌های اکسینی باعث مهار آنزیم پلی فنل اکسیداز (آنزیمی که باعث تجزیهٔ ترکیب‌های فنلی در گیاه می‌شود) شده و از این‌رو باعث بهبود ریشه‌زایی و رشد قلمه در گیاهان می‌شود (George *et al.*, 2008) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

تأثیر تیمار هورمون آبسیزیک اسید (ABA)

کاربرد هورمون آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی فاصلهٔ میانگره در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان میانگین فاصلهٔ میانگره (۰/۷۱سانتی‌متر) در غلظت ۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به‌دست آمد و کمترین میزان آن (۰/۴۵سانتی‌متر) در غلظت ۲/۵ میکرومولار آبسیزیک

Archive of SID

www.SID.ir

اسید مشاهده می‌شود (جدول ۳). در رابطه با تأثیر هورمون آبسیزیک اسید روی فاصلهٔ میانگره در گیاهان اطلاعات دقیقی نیست ولی در نتایج پژوهشی گزارش شده است، نبود نور باعث افزایش فاصلهٔ میانگره در گیاهان می‌شود و مثال بارز آن افزایش فاصلهٔ میانگره در گندم یا برنج رشد یافته در تاریکی است (Kurotani *et al.*, 2015) و اینکه آیا هورمون آبسیزیک اسید می‌تواند نقش کمبود نور را بازی کند هنوز مشخص نیست ولی مشخص شده است که در نبود نور میزان هورمون آبسیزیک اسید در گیاه افزایش پیدا می‌کند. از این‌رو به نظر می‌رسد که کاربرد آبسیزیک اسید باعث افزایش فاصلهٔ میانگره در گیاهان می‌شود و نتایج این تحقیق با آن به‌کلی همخوانی نشان می‌دهد (جدول ۳). از سویی چون پاسخ رشد و نمو گیاه به کاربرد آبسیزیک اسید و اکسین در تنش‌های غیر زیستی متضاد است (Popko *et al.*, 2010). از این‌رو به نظر می‌رسد که کاربرد اکسین باید باعث کاهش فاصلهٔ میانگره در گیاه شود، درصورتی‌که نتایج در این تحقیق این‌چنین نیست و نتایج نشان دادهٔ کاربرد اکسین روی فاصلهٔ میانگره معنی‌دار نیست و حتی اثر متقابل تیمار اکسین با هورمون آبسیزیک اسید نیز روی فاصلهٔ میانگره معنی‌دار نبود (جدول ۱). از این‌رو به نظر می‌رسد که پاسخ رشد و نمو گیاه به کاربرد آبسیزیک اسید و اکسین همیشه و در همه حال متضاد نیست و به شرایط و مراحل رشد و نموی گیاه و همچنین به غلظت‌های به‌کاررفته هر دو هورمون بستگی دارد. همچنین کاربرد هورمون آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی سطح برگ در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان میانگین سطح برگ (۱۴/۰۳سانتی‌متر مربع) در غلظت ۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و کمترین میزان آن (۱۰/۷۱سانتی‌متر مربع) در شاهد مشاهده می‌شود و یک روند افزایشی در سطح برگ با افزایش غلظت هورمون آبسیزیک اسید نیز مشاهده می‌شود (جدول۳). در این رابطه Travaglia *et al.* (2009) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند، آبسیزیک اسید باعث افزایش سطح برگ در گیاه سویا می‌شود که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. اما اطلاعات موثقی در مورد کاربرد هورمون آبسیزیک اسید روی سطح برگ در گیاه سیب‌زمینی وجود ندارد، هرچند که اشاره‌شده کاربرد بیرونی هورمون آبسیزیک اسید رشد اسپورات را در سیب‌زمینی کاهش می‌دهد (Vreugdenhil *et al.*, 2011). از سوی دیگر، کاربرد هورمون آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی شمار برگ در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان میانگین شمار برگ (۱۴/۸۸) در غلظت ۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و کمترین میزان آن (۱۱/۴۴) در غلظت ۲/۵ میکرومولار آبسیزیک اسید مشاهده می‌شود (جدول ۳).

در این رابطه Hu *et al.* (2013) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند، کاربرد هورمون آبسیزیک اسید روی شمار برگ در گیاه *Leymus chinensis* (یک نوع علف از خانوادهٔ گندمیان) تأثیر نداشته است. ولی Battal *et al.* (2003) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند، کاربرد هورمون آبسیزیک اسید در گیاه ذرت شمار برگ گیاه را افزایش می‌دهد. که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان می‌دهد (جدول ۳). اما اطلاعات موثقی در مورد کاربرد هورمون آبسیزیک اسید روی شمار برگ در گیاه سیب‌زمینی یافت نشد. همچنین کاربرد هورمون آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی شمار غده در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان میانگین شمار غده (۵/۸۸) در غلظت ۲/۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و کمترین میزان آن در شاهد (۴/۵۵) مشاهده می‌شود (جدول۳). در این رابطه Xu *et al.* (1998) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند، کاربرد هورمون آبسیزیک اسید باعث القاء غده‌زائی (افزایش شمار غده) و کاهش طول دستک‌ها در گیاهان سیب‌زمینی می‌شود که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان می‌دهد. از سوی دیگر، کاربرد هورمون آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی وزن غده در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که کمترین میزان میانگین وزن غده (۱۲/۶۳ گرم در گلدان) در غلظت ۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و بیشترین میزان آن در

Archive of SID

www.SID.ir

شاهد (۱۵/۵۲ گرم در گلدان) مشاهده می‌شود (جدول۳). در این رابطه گزارش شده است که افزایش غلظت آبسیزیک اسید درونی باعث کاهش وزن غده در سیب‌زمینی می‌شود (Suttle & Hultstrand, 1994) و با این فرض که کاربرد آبسیزیک اسید بیرونی باعث افزایش آبسیزیک اسید درونی می‌شود، از این‌رو نتایج آنان با نتایج این تحقیق همخوانی نشان می‌دهد. همچنین کاربرد هورمون آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی وزن اندام‌های هوائی در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که کمترین میزان میانگین وزن اندام‌های هوائی (۴/۸۳ گرم) در غلظت ۲/۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و بیشترین میزان آن در شاهد (۶/۴۰ گرم) مشاهده می‌شود (جدول۳). در این رابطه Vreugdenhil *et al.* (2011) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند، کاربرد هورمون آبسیزیک اسید در گیاهان سیب‌زمینی باعث کاهش وزن تر کل گیاه می‌شود که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان می‌دهد (جدول ۳). از سویی چون هورمون اکسین و اثر متقابل اکسین و آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی وزن اندام‌های هوائی در گیاه سیب‌زمینی ندارد (جدول ۱). از این‌رو به نظر می‌رسد که تأثیر و دخالت هورمون آبسیزیک اسید روی بخش اندام‌های هوائی گیاه سیب‌زمینی بیشتر از تأثیر هورمون اکسین بر این بخش از گیاه باشد. از سوی دیگر، کاربرد هورمون آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی میزان سبزینهٔ کل برگ در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که کمترین میزان میانگین سبزینهٔ کل (۱/۹۱۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در غلظت ۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و بیشترین میزان آن در شاهد مشاهده شد (جدول۳).

به نظر می‌رسد، کاربرد هورمون آبسیزیک اسید در غلظت‌های ۲/۵ و ۵ میکرومولار تأثیر بازدارندگی در تولید سبزینه در گیاهان سیب‌زمینی داشته است. هرچند که چگونگی سازوکار تأثیر آن روی میزان سبزینه کمتر بررسی شده است با این وجود، Haisel *et al.* (2006) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند، با کاربرد آبسیزیک اسید (ABA) در گیاهان میزان سبزینهٔ کل کاهش پیدا می‌کند. همچنین Marcińska *et al.* (2013) گزارش کرده‌اند که با کاربرد ABA در گیاهان گندم میزان سبزینه و کاروتنوئیدها کاهش پیدا می‌کند که با نتایج این تحقیق نیز همخوانی نشان می‌دهد (جدول ۳). از سوی دیگر در گیاه لوبیا (bean) کاربرد آبسیزیک اسید باعث کاهش هدایت روزنه‌ای در برگ و کاهش نورساخت (فتوسنتز) در گیاه می‌شود، ولی برعکس کاربرد هورمون اکسین باعث افزایش هدایت روزنه‌ای در برگ و افزایش نورساخت (افزایش سبزینه) در گیاه می‌شود (Pospíšilová, 2003) و نتیجه‌گیری شده است که اثر متقابل این دو هورمون روی هدایت روزنه‌ای و نورساخت برگ در گیاه بستگی به غلظت‌های به‌کاررفته از آن دو هورمون و شرایط و مراحل رشد در آن گیاه داشته باشد. همچنین در نتایج پژوهشی گزارش شده است، کاربرد هورمون آبسیزیک اسید باعث پیری بخش هوائی (کاهش سبزینه) در گیاه لاله (tulip) می‌شود درصورتی‌که کاربرد هورمون اکسین تأثیر ضد پیری (افزایش سبزینه) در این گیاه دارد (Kawa-Miszczak *et al.*, 2003). از این‌رو به نظر می‌رسد که اثر هورمون اکسین و هورمون آبسیزیک اسید روی میزان سبزینهٔ برگ در گیاه سیب‌زمینی به‌صورت متضاد باشد، ولی چون اثر متقابل هورمون‌های اکسین و آبسیزیک اسید روی میزان سبزینه در این تحقیق معنی‌دار نیست (جدول۱) از این‌رو نمی‌توان با قاطعیت این موضوع را بیان کرد. همچنین کاربرد آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی میزان کاروتنوئیدهای برگ در گیاهان سیب‌زمینی داشته است، به‌طوری‌که کمترین میزان میانگین کاروتنوئیدها (۹/۵۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در غلظت ۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و بیشترین میزان آن در شاهد مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که کاربرد آبسیزیک اسید تأثیر بازدارندگی در تولید کاروتنوئیدها در گیاهان سیب‌زمینی داشته است. در رابطه با تأثیر اکسین و آبسیزیک اسید روی میزان کاروتنوئیدها در گیاه سیب‌زمینی اطلاعات دقیقی وجود ندارد. با این وجود، در نتایج پژوهشی گزارش شده، کاربرد هورمون اکسین

Archive of SID

www.SID.ir

در گیاهان گوجه‌فرنگی افزایش میزان کاروتنوئیدها را فراهم می‌کند (Su *et al.*, 2015) که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان می‌دهد (جدول ۲). از سوی دیگر، با کاربرد آبسیزیک اسید در گیاهان مختلف (Haisel *et al.*, 2006) و حتی در گیاهان سیب‌زمینی (Vreugdenhil *et al.*, 2011) و گیاهان گندم (Marcińska *et al.*, 2013) میزان ترکیب‌های کاروتنوئیدها در آن‌ها کاهش پیدا می‌کند که با نتایج این تحقیق نیز همخوانی نشان می‌دهد (جدول ۳).

از این‌رو به نظر می‌رسد که تأثیر هورمون اکسین و آبسیزیک اسید روی ترکیب‌های کاوتنوئیدی به‌صورت متضاد باشد، ولی چون اثر متقابل هورمون‌های اکسین و آبسیزیک اسید روی ترکیب‌های کاروتنوئیدی در این تحقیق معنی‌دار نبود (جدول ۱) این موضوع را نمی‌توان با قاطعیت بیان کرد ولی گزارش شده است که هورمون آبسیزیک اسید در تداخل با هورمون اکسین در چیرگی انتهائی گیاه نقش ایفا می‌کند (Cline & Oh, 2006). همچنین ترکیب‌های آبسیزیک اسید در پلاستیدها جایی که مسیر زیست‌ساخت کاروتنوئیدها است (Hadi, 2012)، در یاخته تولید می‌شوند (Auldridge *et al.*, 2006). اینکه هورمون اکسین در تولید ترکیب‌های آبسیزیک اسید یا ترکیب‌های کاروتنوئیدی تأثیر دارد یا نه؟ هنوز مشخص نشده است. از سوی دیگر، کاربرد آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاهان سیب‌زمینی داشته است، به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۲۶۳ تغییرات جذب در ۴۳۶ نانومتر در دقیقه) در غلظت ۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و کمترین میزان آن در شاهد (۰/۱۵۷ تغییرات جذب در ۴۳۶ نانومتر در دقیقه) مشاهده شد (جدول ۳). در رابطه با تأثیر اکسین و آبسیزیک اسید روی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه سیب‌زمینی اطلاعات دقیقی وجود ندارد. با این وجود در این رابطه Vreugdenhil *et al.* (2011) و همچنین Mora-Herrera & Lopez-Delgado (2007) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند، با کاربرد ABA در گیاهان سیب‌زمینی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش پیدا می‌کند که با نتایج این تحقیق نیز همخوانی نشان می‌دهد (جدول ۳). افزون بر این چون کاربرد هورمون اکسین در گیاهان باعث کاهش در میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌شود (George *et al.*, 2008) و نتایج این تحقیق با آن همخوانی نشان می‌دهد (جدول ۲). از این‌رو به نظر می‌رسد که تأثیر هورمون‌های اکسین و آبسیزیک اسید روی فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌صورت متضاد باشد، ولی چون اثر متقابل هورمون‌های آبسیزیک اسید و اکسین روی فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه سیب‌زمینی در این تحقیق معنی‌دار نبود (جدول ۱) این موضوع را نمی‌توان با قاطعیت بیان کرد. با این وجود گزارش شده است که آبسیزیک اسید در گیاهان از اکسیداسیون ترکیب‌های کاروتنوئیدی به وجود می‌آید و در آن آنزیم‌های پراکسیدازی دخالت دارد و فعالیت این آنزیم‌ها از راه هورمون اکسین تحریک می‌شود (Hansen & Grossmann, 2000). همچنین کاربرد آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (۰/۱۲تغییرات جذب در ۴۳۰ نانومتر در دقیقه) در غلظت ۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و کمترین میزان آن در شاهد (۰/۰۹ تغییرات جذب در ۴۳۰ نانومتر در دقیقه) مشاهده شد (جدول ۳).

در این رابطه Nassar & Adss (2016) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند، کاربرد آبسیزیک اسید باعث افزایش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در گیاهان سیب‌زمینی می‌شود که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان می‌دهد.

اثر متقابل اکسین و آبسیزیک اسید

کاربرد همزمان اکسین و آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی سطح برگ در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان میانگین سطح برگ (۲۲/۶۰ سانتی‌متر مربع) در غلظت ۰ میکرومولار اکسین همزمان با غلظت ۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و کمترین میزان آن (۵/۸۶ سانتی‌متر مربع) در غلظت ۰ میکرومولار اکسین همزمان با غلظت ۲/۵ میکرومولار آبسیزیک اسید مشاهده می‌شود (بخش A در شکل ۱).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین‌های صفات مورد ارزیابی در گیاهان سیب‌زمینی تحت تیمارهای آبسیزیک اسید (ABA). IN فاصلهٔ میانگره برحسب سانتی‌متر، LA سطح برگ برحسب سانتی مترمربع (cm^2)، LN شمار برگ در یک گلدان، TN شمار غده در یک گلدان، TW وزن غده برحسب گرم در یک گلدان، SW وزن بخش هوائی گیاه برحسب گرم در یک گلدان، .Chl میزان سبزینهٔ کل برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، .Car میزان کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، .Per فعالیت آنزیم پراکسیداز برحسب تغییرات جذب در ۴۳۶ نانومتر در دقیقه، .Pol فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز برحسب تغییرات جذب در ۴۳۰ نانومتر در دقیقه. حرف‌های همسان در کنار مقادیر میانگین‌ها در هر ستون نبود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵درصد بر پایهٔ آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

Table 3. Mean comparisons among traits assessment in potato plants under absisic acid (ABA) treatment. IN, Internode; LA, Leaf area; LN, leaf number; TN, tuber number; TW, tuber weight; SW, shoot weight; Chl., chlorophyll; Car., carotenoid; Per., peroxidase activity and Pol., polyphenoloxidase activity. Values within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level, using Duncan multiple range test.

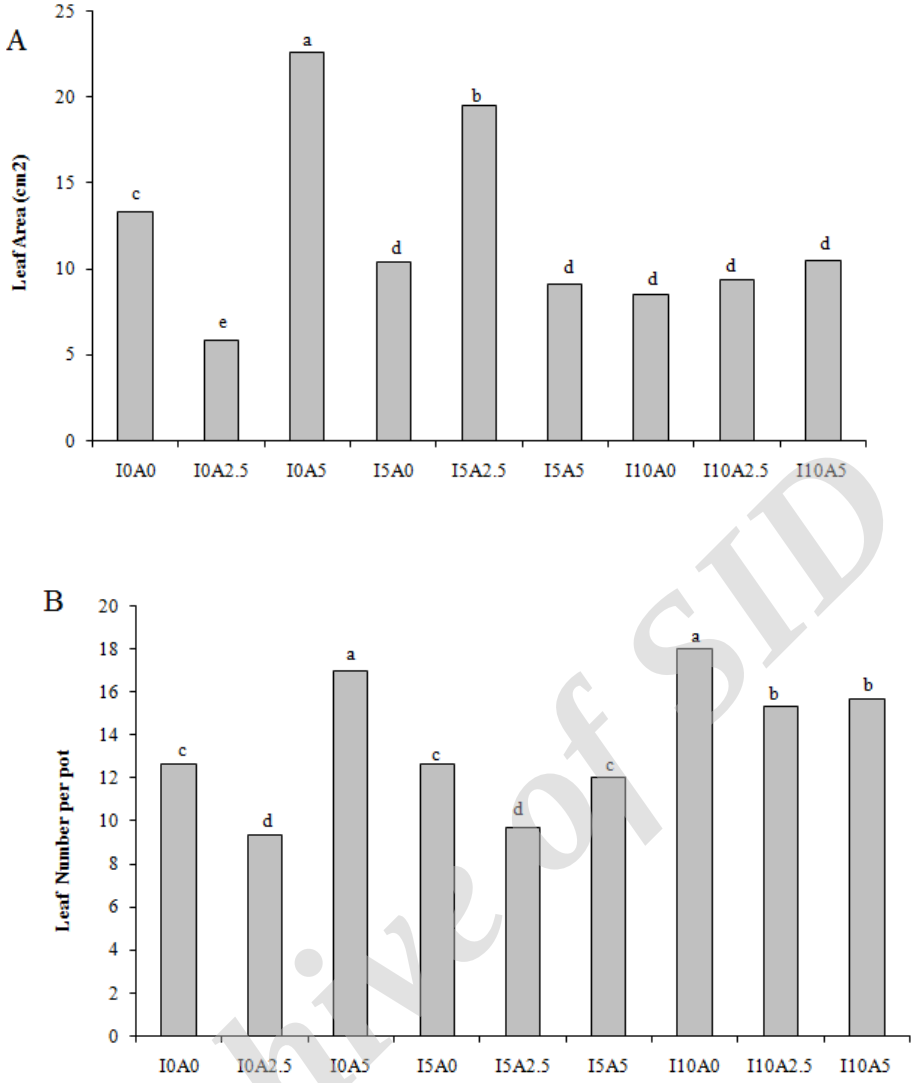
ABA treatment	IN (cm)	LA (cm^2)	LN (per pot)	TN (per pot)	TW (g per pot)
0 µM ABA	0.68 a	10.71 b	14.44 a	4.55 b	15.52 a
2.5 µM ABA	0.45 b	11.55 b	11.44 b	5.88 a	14.83 a
5 µM ABA	0.71 a	14.03 a	14.88 a	5.22 ab	12.63 b

ABA treatment	SW (g per pot)	Chl. (mg/gFW)	Car. (mg/gFW)	Per. (absorption changes in 436 nm per min)	Pol. (absorption changes in 436 nm per min)
0 µM ABA	6.40 a	2.221 a	11.51 a	0.157 b	0.09 b
2.5 µM ABA	4.83 b	1.918 b	9.58 b	0.251 a	0.12 a
5 µM ABA	5.32 b	1.916 b	9.51 b	0.263 a	0.12 a

در رابطه با تأثیر اکسین و آبسیزیک اسید روی سطح برگ در گیاهان سیب‌زمینی اطلاعات دقیقی در دست نیست ولی چون با کاربرد اکسین در گیاهان علف تال میزان سطح برگ کاهش پیدا می‌کند (Keller *et al.*, 2004) و با کاربرد آبسیزیک اسید در گیاه سویا، سطح برگ افزایش پیدا می‌کند (Travaglia *et al.*, 2009) و نتایج این تحقیق با آن همخوانی نشان می‌دهد (جدول ۳). از این‌رو به نظر می‌رسد که تأثیر اکسین و آبسیزیک اسید روی سطح برگ در گیاه سیب‌زمینی در این رقم با این شرایط رشد و غلظت‌های به‌کاررفته متضاد باشد که با نتایج اثر متقابل آن‌ها (بخش A در شکل ۱) نیز همخوانی نشان می‌دهد. همچنین کاربرد همزمان اکسین و آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی شمار برگ در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان میانگین شمار برگ (۱۸/۰۰) در غلظت ۱۰ میکرومولار اکسین همزمان با غلظت ۰ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و کمترین میزان آن (۹/۳۳) در غلظت ۰ میکرومولار اکسین همزمان با غلظت ۲/۵ میکرومولار آبسیزیک اسید مشاهده می‌شود (بخش B در شکل ۱). در رابطه با اثر متقابل کاربرد هورمون‌های آبسیزیک اسید و اکسین روی رشد و نمو (شمار برگ) گیاه سیب‌زمینی هیچ‌گونه اطلاعاتی تاکنون گزارش نشده است ولی در نتایج پژوهشی گزارش شده است، پاسخ رشد و نمو گیاه سپیدار (poplar) به کاربرد هورمون‌های آبسیزیک اسید و اکسین در تنش‌های غیر زیستی متضاد است (Popko *et al.*, 2010). با این وجود به نظر می‌رسد که تأثیر اکسین و آبسیزیک اسید روی رشد و نمو گیاهان در همه شرایط یکسان نیست. زیرا بررسی اثر متقابل این هورمون‌ها روی شمار برگ در گیاه سیب‌زمینی (بخش B در شکل ۱) در این تحقیق نشان می‌دهد، کاربرد همزمان این دو هورمون تأثیر همدیگر را تقویت نمی‌کنند، زیرا بیشترین شمار برگ در گیاهان سیب‌زمینی در بالاترین غلظت از هر دو هورمون وجود ندارد. به‌ویژه اینکه گزارش شده است که کاربرد بیرونی هورمون آبسیزیک اسید رشد جوانه‌های موجود در غدهٔ سیب‌زمینی را کاهش می‌دهد (Vreugdenhil *et al.*, 2011). از این‌رو به نظر می‌رسد، تأثیر این دو هورمون روی شمار برگ به‌صورت متضاد یا ناهمسازی (آنتاگونیستی) نیست، هرچند تأثیر این دو هورمون به‌صورت همسازی (گونیستی) هم نیست یعنی تأثیر همدیگر را تقویت نمی‌کنند بلکه این تأثیر به شرایط و مراحل رشد و نمو و غلظت‌های به‌کاررفته از این دو هورمون بستگی دارد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. اثر متقابل بین سطوح تیمارهای آبسیزیک اسید (A0؛ ۰ میکرومولار یا شاهد، A2.5؛ ۲/۵ میکرومولار، A5؛ ۵ میکرومولار) و سطوح تیمارهای اندول استیک اسید (I0؛ ۰ میکرومولار یا شاهد، I5؛ ۵ میکرومولار، I10؛ ۱۰ میکرومولار) روی سطح برگ برحسب سانتی‌متر مربع (شکل A) و روی شمار برگ در هر گلدان (شکل B) در گیاهان سیب‌زمینی. حرف‌های همسان روی ستون‌های بار نبود اختلاف معنی‌دار را در سطح ۵درصد در آزمون دانکن نشان می‌دهد.

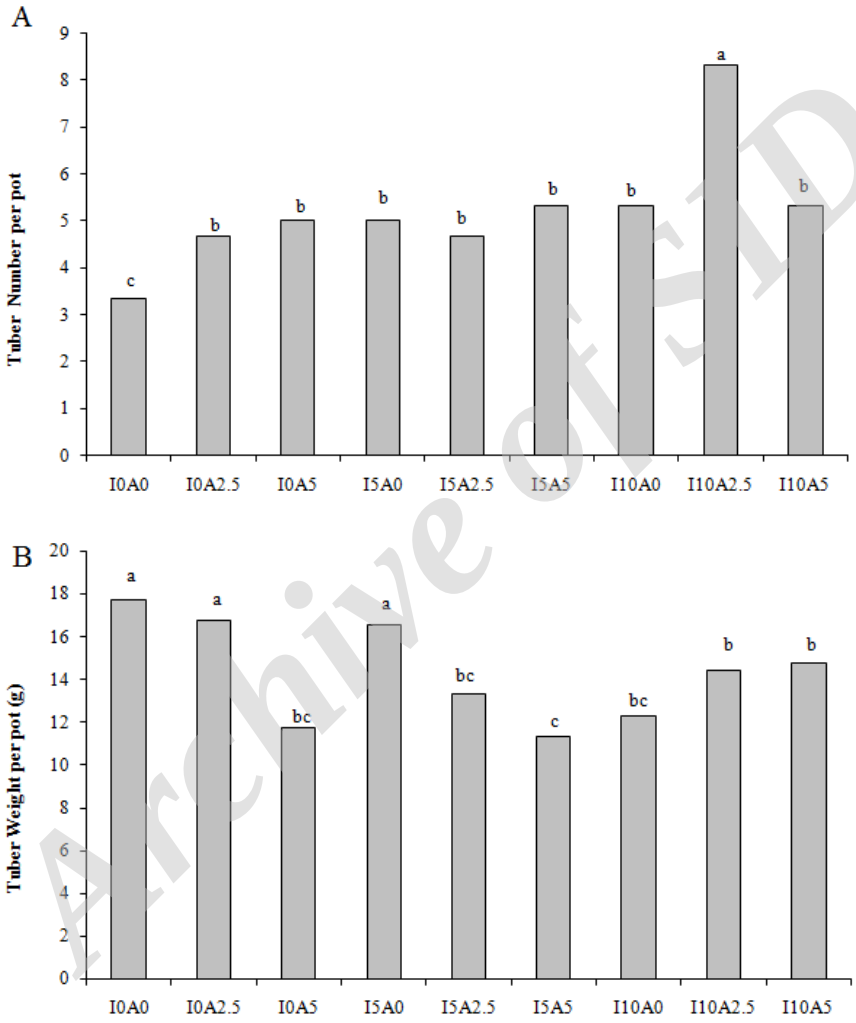
Figure 1. Interaction between levels of absisic acid (ABA) treatments (A0; 0 µM or control, A2.5; 2.5 µM and A5; 5 µM) and levels of indol acetic acid (IAA) treatments (I0; 0 µM or control, I5; 5µM, I10; 10µM) on leaf area (cm^2), LA (fig. A) and leaf number (per pot), LN (fig. B) in potato plants. Values of letters (a, b,…) on each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level, using Duncan multiple rang test.

از سوی دیگر، کاربرد همزمان اکسین و آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی شمار غده در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان میانگین شمار غده (۸/۳۳ در گلدان) در غلظت ۱۰ میکرومولار اکسین همزمان با غلظت ۲/۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و کمترین میزان آن (۳/۳۳ در گلدان) در غلظت ۰ میکرومولار اکسین همزمان با غلظت ۰ میکرومولار آبسیزیک اسید مشاهده می‌شود (بخش A در شکل ۲). در رابطه با اثر متقابل کاربرد هورمون‌های آبسیزیک اسید و اکسین روی شمار غده در گیاه سیب‌زمینی هیچ‌گونه اطلاعاتی تاکنون گزارش نشده است، ولی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، تأثیر این دو هورمون روی شمار غده در گیاه سیب‌زمینی به‌صورت همسازی نیست یعنی تأثیر

Archive of SID

www.SID.ir

همدیگر را تقویت نمی‌کنند، زیرا بیشترین شمار غده در بالاترین غلظت از هر دو هورمون به دست نیامده است. از این‌رو به نظر می‌رسد، تأثیر این هورمون‌ها روی شمار غده در گیاه سیب‌زمینی به شرایط و مراحل رشد و نمو گیاه و همچنین به غلظت‌های به‌کاررفته از این هورمون‌ها بستگی دارد. همچنین کاربرد همزمان اکسین و آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی وزن غده در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان میانگین وزن غده (۱۷/۷) در غلظت ۰ میکرومولار اکسین همزمان با غلظت ۰ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و کمترین میزان آن (۱۱/۷۶) در غلظت ۰ میکرومولار اکسین همزمان با غلظت ۵ میکرومولار آبسیزیک اسید مشاهده می‌شود (بخش B در شکل۲).



شکل ۲. اثر متقابل بین سطوح تیمارهای آبسیزیک اسید (A0؛ ۰ میکرومولار یا شاهد، A2.5؛ ۲/۵ میکرومولار، A5؛ ۵ میکرومولار) و سطوح تیمارهای اندول استیک اسید (I0؛ ۰ میکرومولار یا شاهد، I5؛ ۵ میکرومولار، I10؛ ۱۰ میکرومولار) روی شمار غده در گلدان (شکل A) و روی وزن غده در هر گلدان برحسب گرم (شکل B) در گیاهان سیب‌زمینی. حرف‌های همسان روی ستون‌های بار نبود اختلاف معنی‌دار را در سطح ۵درصد در آزمون دانکن نشان می‌دهد.

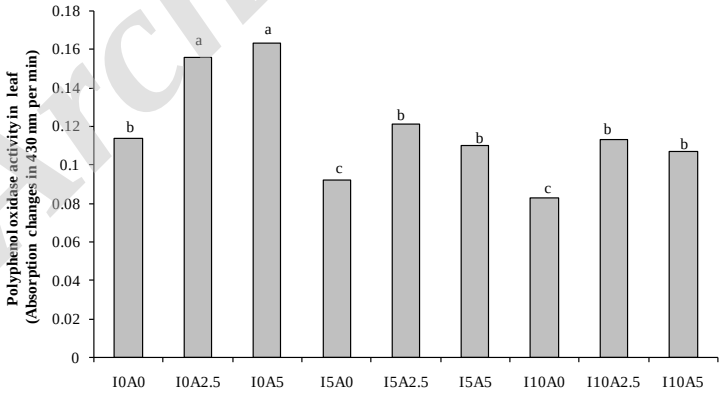
Figure 2. Interaction between levels of absisic acid (ABA) treatments (A0; 0 µM or control, A2.5; 2.5 µM and A5; 5 µM) and levels of indol acetic acid (IAA) treatments (I0; 0 µM or control, I5; 5µM, I10; 10µM) on tuber number (per pot), TN (fig. A) and tuber weight (g per pot), TW (fig. B) in potato plants. Values of letters (a, b,…) on each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level, using Duncan multiple rang test.

Archive of SID

www.SID.ir

در رابطه با اثر متقابل کاربرد هورمون‌های آبسیزیک اسید و اکسین روی وزن غده در گیاه سیب‌زمینی هیچ‌گونه اطلاعاتی تاکنون گزارش نشده است. با این وجود در نتایج پژوهشی گزارش شده است، در گیاه علف تال کاربرد هورمون اکسین تشکیل ریشهٔ جانبی را تحریک می‌کند، ولی کاربرد هورمون آبسیزیک اسید بازدارندهٔ تشکیل ریشه‌های جانبی می‌شود و از این‌رو اثر متقابل این دو هورمون الگوی ریشه در گیاه علف تال را تعیین می‌کنند (Suzuki *et al.*, 2001).

از این‌رو به نظر می‌رسد که اثر متقابل این دو هورمون الگوی وزن غده در سیب‌زمینی را نیز تعیین می‌کند. از سوی دیگر، کاربرد همزمان هورمون‌های اکسین و آبسیزیک اسید تأثیر معنی‌داری روی میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در گیاهان سیب‌زمینی داشته است به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (۰/۱۶۳ تغییرات جذب در ۴۳۰ نانومتر در دقیقه) در غلظت ۰ میکرومولار اکسین همزمان با غلظت ۵ میکرومولار آبسیزیک اسید به دست آمد و کمترین میزان آن (۰/۰۸۳ تغییرات جذب در ۴۳۰ نانومتر در دقیقه) در غلظت ۱۰ میکرومولار اکسین همزمان با غلظت ۰ میکرومولار آبسیزیک اسید مشاهده می‌شود (شکل ۳). در رابطه با تأثیر اکسین و آبسیزیک اسید و اثر متقابل آن‌ها روی میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در گیاه سیب‌زمینی اطلاعات دقیقی وجود ندارد. با این وجود چون کاربرد ترکیب‌های اکسینی باعث مهار آنزیم پلی فنل اکسیداز می‌شود و از این‌رو باعث بهبود ریشه‌زایی و رشد قلمه در گیاهان می‌شود (George *et al.*, 2008) و نتایج این تحقیق با آن‌ها همخوانی دارد (جدول ۲). از سویی چون کاربرد آبسیزیک اسید در گیاهان گوجه‌فرنگی (Song *et al.*, 2011) و در گیاهان سیب‌زمینی (Nassar & Adss, 2016) باعث افزایش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز می‌شود و نتایج این تحقیق با آن‌ها همخوانی نشان می‌دهد (جدول ۳). از این‌رو به نظر می‌رسد، تأثیر هورمون اکسین و آبسیزیک اسید روی فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز به‌صورت متضاد باشد هرچند تأثیر این تضاد به‌صورت ۱۰۰درصد نیست ولی بررسی اثر متقابل این دو هورمون روی فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (شکل ۳) نشان می‌دهد که در بیشینه غلظت از این دو هورمون فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در برگ گیاه سیب‌زمینی همانند تیمار شاهد است.



شکل ۳. اثر متقابل بین سطوح تیمارهای آبسیزیک اسید (A0؛ ۰ میکرومولار یا شاهد، A2.5؛ ۲/۵ میکرومولار، A5؛ ۵ میکرومولار) و سطوح تیمارهای اندول استیک اسید (I0؛ ۰ میکرومولار یا شاهد، I5؛ ۵ میکرومولار، I10؛ ۱۰ میکرومولار) روی فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (برحسب جذب تغییر آن در طول‌موج ۴۳۰ نانومتر در دقیقه) در گیاهان سیب‌زمینی. حرف‌های همسان روی ستون‌های بار نبود اختلاف معنی‌دار را در سطح ۵درصد در آزمون دانکن نشان می‌دهد.

Figure 3. Interaction between levels of absisic acid (ABA) treatments (A0; 0 µM or control, A2.5; 2.5 µM and A5; 5 µM) and levels of indol acetic acid (IAA) treatments (I0; 0 µM or control, I5; 5µM, I10; 10µM) on polyphenoloxidase activity (absorption changes in 430 nm per min) in potato plants. Values of letters (a, b,…) on each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level, using Duncan multiple rang test.

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

درمجموع با بررسی همهٔ فراسنجه‌های اندازه‌گیری‌شده در این تحقیق مشخص می‌شود، هورمون‌های اکسین و آبسیزیک اسید روی غده‌زائی در گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا تأثیر دارند و به نظر می‌رسد که تأثیر هورمون‌های اکسین و آبسیزیک اسید روی غده‌زائی در سیب‌زمینی به‌صورت متضاد باشد، هرچند این تأثیر تضادی به‌صورت ۱۰۰ درصدی نیست و به غلظت هورمون‌های به‌کاررفته و شرایط و مراحل رشد گیاه بستگی دارد. افزون بر این در غده‌زائی سیب‌زمینی به‌احتمال دیگر هورمون‌های گیاهی مانند هورمون جیبرلین نیز دخالت دارند و شاید هورمون اکسین با تأثیر روی آنزیم‌های پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز و کاهش فعالیت آن‌ها میزان هورمون جیبرلین (GA1) کمتری تولید شود و از این‌رو باعث افزایش غده‌زائی در سیب‌زمینی شود.

از سوی دیگر شاید هورمون آبسیزیک اسید با تأثیر روی فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز و افزایش فعالیت آن‌ها به‌احتمال باعث افزایش میزان هورمون جیبرلین (GA1) و از این‌رو باعث کاهش غده‌زائی در سیب‌زمینی می‌شود.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت به خاطر حمایت‌های مالی و از مدیر گروه پژوهشی بیوتکنولوژی سیب‌زمینی دانشگاه اصفهان به خاطر همکاری و در اختیار قرار دادن امکانات لازم برای انجام تحقیق، تشکر و قدردانی می‌گردد.

REFERENCES

1. Auldridge, M. E., Block, A., Vogel, J. T., Dabney-Smith, C., Mila, I., Bouzayen, M., Magallanes-Lundback, M., DellaPenna, D., McCarty, D. R. & Klee, H. J. (2006). Characterization of three members of the *Arabidopsis* carotenoid cleavage dioxygenase family demonstrates the divergent roles of this multifunctional enzyme family. *The Plant Journal*, 45(6), 982-993.
2. Balali, G. R., Hadi, M. R., Naderi, A. G., Eslami, A. H., Yavari, P. & Bidram, H. (2008). Effect of pot size, date of planting and germplasm on mini tuber production of potato. *African Journal of Biotechnology*, 7(9), 1265-1270.
3. Battal, P., Turker, M. & Tileklioğlu, B. (2003). Effects of different mineral nutrients on abscisic acid in maize (*Zea mays*). *In Annales Botanici Fennici*, 40, 301-308.
4. Carrera, E., Bou, J., Garcia-Martinez, J. L. & Prat, S. (2000). Changes in GA 20-oxidase gene expression strongly affect stem length, tuber induction and tuber yield of potato plants. *Plant Journal*, 22, 247-256.
5. Cline, M. G. & Oh, C. (2006). A reappraisal of the role of abscisic acid and its interaction with auxin in apical dominance. *Annals of botany*, 98(4), 891-897.
6. Davies, P. (2013). Plant hormones: physiology, biochemistry and molecular biology. Springer Science & Business Media.
7. Ewing, E. E. (1995). The role of hormones in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuberization. In Plant hormones (pp. 698-724). Springer Netherlands.
8. George, E. F., Hall, M. A. & De Klerk, G. J. (2008). *Plant growth regulators I: introduction; auxins, their analogues and inhibitors. In Plant propagation by tissue culture* (pp. 175-204). Springer Netherlands.
9. Hadi, M. R. (2012) *Plant Metabolism (Vol. 1).* Islamic Azad University Press, Marvdasht Branch (Sciences and Research Branch), 1-376. (in Farsi)
10. Hadi, M. R. (2013) *Mechanism of Plant Hormones Action (Vol. 1)*. Islamic Azad University Press, Marvdasht Branch (Sciences and Research Branch), 1-371. (in Farsi)
11. Hadi, M. R. (2014) *Mechanism of Plant Hormones Action (Vol. 2).* Isfahan Negar Press, Negar khane 24, 1-386. (in Farsi)
12. Haisel, D., Pospíšilová, J., Synková, H., Schnablová, R. & Baťková, P. (2006). Effects of abscisic acid or benzyladenine on pigment contents, chlorophyll fluorescence, and chloroplast ultrastructure during water stress and after rehydration. *Photosynthetica*, 44(4), 606-614.
13. Hansen, H. & Grossmann, K. (2000). Auxin-induced ethylene triggers abscisic acid biosynthesis and growth inhibition. *Plant Physiology*, 124(3), 1437-1448.
14. Hu, Y. J., Shi, L. X., Sun, W. & Guo, J. X. (2013). Effects of abscisic acid and brassinolide on photosynthetic characteristics of *Leymus chinensis* from Songnen Plain grassland in Northeast China. *Botanical Studies*, 54(1), 1.
15. Jackson, S. D. & Prat, S. (1996). Control of tuberisation in potato by gibberellins and phytochrome B. *Physiologia Plantarum*, 98(2), 407-412.

Archive of SID

www.SID.ir

16. Jia D., Fan L., Liu G., Shen J., Liu C. & Yuan, Y. (2011). Effects of Genotypes and Bagging Practice on Content of b-Carotene in Apple Fruits. *Journal of Agricultural Science*, 3(4), p196.
17. Kawa-Miszczak, L., Wegrzynowicz-Lesiak, E. & Saniewski, M. (2003). Retardation of tulip shoots senescence by auxin. In: Proceedings of *VIII International Symposium on Postharvest Physiology of Ornamental Plants*, 669, 183-190.
18. Keller, C. P., Stahlberg, R., Barkawi, L. S. & Cohen, J. D. (2004). Long-term inhibition by auxin of leaf blade expansion in bean and *Arabidopsis*. *Plant physiology*, 134(3), 1217-1226.
19. Kurotani, K. I., Hattori, T. & Takeda, S. (2015). Overexpression of a CYP94 family gene CYP94C2b increases internode length and plant height in rice. *Plant Signaling and Behavior*, 10(7), e1046667.
20. Lichenthaler, H. K. & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem Soc Trans*, 603, 591-592.
21. Mac-Adam, J. W., Nelson C. J. & Sharp R. E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiology*, 99(3), 872-878.
22. Marcińska, I., Czyczyło-Mysza, I., Skrzypek, E., Grzesiak, M.T., Janowiak, F., Filek, M., Dziurka, M., Dziurka, K., Waligórski, P., Juzoń, K. & Cyganek, K. (2013). Alleviation of osmotic stress effects by exogenous application of salicylic or abscisic acid on wheat seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(7), 13171-13193.
23. Mikitzel, L. J. & Knowles, N. R. (1990). Effect of potato seed-tuber age on plant establishment and amelioration of age-linked effects with auxin. *Plant physiology*, 93(3), 967-975.
24. Mora-Herrera, M. E. & Lopez-Delgado, H. A. (2007). Freezing tolerance and antioxidant activity in potato microplants induced by abscisic acid treatment. *American Journal of Potato Research*, 84(6), 467-475.
25. Nassar, A. M. & Adss, I. A. (2016). 2, 4-Dichlorophenoxy acetic acid, abscisic acid, and hydrogen peroxide induced resistance-related components against potato early blight (*Alternaria solani*, Sorauer). *Annals of Agricultural Sciences*. In perss.
26. Popko, J., Hänsch, R., Mendel, R. R., Polle, A. & Teichmann, T. (2010). The role of abscisic acid and auxin in the response of poplar to abiotic stress. *Plant Biology*, 12(2), 242-258.
27. Pospíšilová, J. (2003). Interaction of cytokinins and abscisic acid during regulation of stomatal opening in bean leaves. *Photosynthetica*, 41(1), 49-56.
28. Raghavendra, A. S., Gonugunta, V. K., Christmann, A. & Grill, E. (2010). ABA perception and signalling. *Trends in plant science*, 15(7), 395-401.
29. Raymond, J., Rakariyatham, N. & Azanza J. L. (1993). Purification and some properties of polyphenoloxidase from sunflower seeds. *Phytochemistry*, 34, 927-931.
30. Ross, J. and O'Neill, D. (2001). New interactions between classical plant hormones. *Trends in Plant Science*, 6, 2-4.
31. Romanov, G. A., Aksenova, N. P., Konstantinova, T. N., Golyanovskaya, S. A., Kossmann, J. & Willmitzer, L. (2000). Effect of indole-3-acetic acid and kinetin on tuberisation parameters of different cultivars and transgenic lines of potato in vitro. *Plant growth regulation*, 32(2-3), 245-251.
32. Roumeliotis, E., Kloosterman, B., Oortwijn, M., Kohlen, W., Bouwmeester, H. J., Visser, R. G. & Bachem, C. W. (2012). The effects of auxin and strigolactones on tuber initiation and stolon architecture in potato. *Journal of Experimental Botany*, 63, 4539-4547.
33. Song, W., Ma, X., Tan, H. & Zhou, J. (2011). Abscisic acid enhances resistance to *Alternaria solani* in tomato seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(7), 693-700.
34. Su, L., Diretto, G., Purgatto, E., Danoun, S., Zouine, M., Li, Z., Roustan, J. P., Bouzayen, M., Giuliano, G. & Chervin, C. (2015). Carotenoid accumulation during tomato fruit ripening is modulated by the auxin-ethylene balance. *BMC Plant Biology*, 15(1) p. 114, (1-12).
35. Suttle, J. C. & Hultstrand, J. F. (1994). Role of endogenous abscisic acid in potato microtuber dormancy. *Plant Physiology*, 105(3), 891-896.
36. Suzuki, M., Kao, C. Y., Cocciolone, S. & McCarty, D. R. (2001). Maize VP1 complements *Arabidopsisabis* and confers a novel ABA/auxin interaction in roots. *The Plant Journal*, 28(4), 409-418.
37. Travaglia, C., Reinoso, H. & Bottini, R. (2009). Application of abscisic acid promotes yield in field-cultured soybean by enhancing production of carbohydrates and their allocation in seed. *Crop and Pasture Science*, 60(12), 1131-1136.
38. Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F., Taylor, M. A., MacKerron, D. K. & Ross, H. A. (2011). *Potato biology & biotechnology: advances & perspectives*. Elsevier.
39. Xu, X., van Lammeren, A. A., Vermeer, E. & Vreugdenhil, D. (1998). The role of gibberellin, abscisic acid, and sucrose in the regulation of potato tuber formation *in vitro*. *Plant Physiology*, 117(2), 575-584.

Archive of SID

www.SID.ir