تأثیر کاربرد پاکلوبوترازول و بنزیل آمینوپورین در دو مرحله رشدی، بر عملکرد و شکستن خواب ریزغده‌های سیب‌زمینی

بیژن سعادتیان[۱]، محمد کافی[۱*]، محمد بنایان اول[۱] و جعفر نباتی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۷/۱۰)

چکیده

با توجه به اهمیت تولید و خواب ریزغده سیب‌زمینی، پژوهشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارها شامل محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌ها در دو مرحله رشد فیزیولوژیک (آغازش استولون و آغازش غده‌دهی) و سطوح تنظیم‌کننده رشد (شاهد، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین) بودند. نتایج نشان داد که تیمارهای پاکلوبوترازول، صفات تعداد ریزغده در بوته، وزن ریزغده و طول و قطر ریزغده را به طور معنی‌داری کاهش دادند. بنزیل آمینوپورین تأثیر معنی‌داری بر تیمارهای یاد شده نداشت. همچنین، بین سطوح غلظت پاکلوبوترازول از نظر صفت عملکرد ریزغده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کاربرد غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول در هر دو مرحله آغازش استولون و غده‌دهی، به‌طور معنی‌داری زمان رسیدن به ۵، ۱۰، ۵۰ ، ۹۰ و ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی را نسبت به شاهد افزایش داد و بیشترین تأثیر آن بر صفات یاد شده در مرحله آغازش غده‌دهی بود. در مقابل، کاربرد تیمارهای بنزیل آمینوپورین در مرحله آغازش غده‌دهی، تمامی صفات جوانه‌زنی را به طور معنی‌داری کاهش داد، ولی تفاوتی بین غلظت‌های مختلف مشاهده نشد.

کلمات کلیدی: تعداد ریزغده در بوته، جوانه‌زنی، رقم آگریا، محلول‌پاشی، وزن ریزغده

مقدمه

سیب‌زمینی یکی از مهمترین محصولات غده‌ای در جهان به‌شمار می‌رود و پس از گندم، برنج و ذرت، مقام چهارم را از نظر تولید در جهان به خود اختصاص داده است (۱). تولید سیب‌زمینی به طور معمول از طریق کشت غده‌های بذری انجام می‌پذیرد. در بسیاری از نقاط ایران، به طور سنتی، برای تکثیر و تولید سیب‌زمینی از غده‌های بذری تأیید نشده از نظر عاری بودن از ویروس‌ها و عوامل بیماری‌زا استفاده می‌شود. این روش دارای معایبی از قبیل سرعت تکثیر کم، بازدهی کم و خطر انتقال بیماری‌ها و آفات مختلف به نسل‌های بعدی است (۳).

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد.

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.kafi@um.ac.ir

امروزه، از روش‌های ریزازدیادی برای تکثیر گیاهچه‌های سیب‌زمینی استفاده می‌شود که بسیار انعطاف‌پذیر بوده و منجر به تولید تعداد زیادی ریزغده سیب‌زمینی عاری از بیماری می گردد (۳، ۲۰ و ۲۵). در این روش، تولید غده‌های عاری از ویروس با اطمینان ۱۰۰ درصدی انجام می‌گیرد (۳ و ۱۵). همچنین، حمل و نقل و انبارداری آسان، امکان تولید در تمام طول سال در زمان و مکان‌های مختلف در کنار نیاز به فضای کم برای تکثیر، به عنوان فواید تکثیر سریع و تولید ریزغده‌ها شناخته شده‌اند (۱۰، ۲۲ و ۲۸).

افزایش تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی از طریق استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد به منظور بهبود بهره‌وری، مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر، اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر فرایند غده‌زایی به رقم، نوع تیمار، غلظت و مرحله رشد گیاه بستگی دارد (۷، ۹ و ۱۷). در بین تنظیم‌کننده‌های رشد، سیتوکنین‌ها و تریازولی به نام پاکلوبوترازول در غده‌زایی سیب‌زمینی بیشتر از سایر مواد مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۷). بیوسنتز جیبرلیک اسید شامل سه مرحله تولید ترپنویید ایزوپنتونیل پیروفسفات، تولید GA_{12} و GA_{53} و تولید سایر GA ها از GA_{12} و GA_{53} در محیط سیتوسول است. پاکلوبوترازول با ممانعت از تولید ترپنویید ایزوپنتونیل پیروفسفات در مرحله اول بیوسنتز جیبرلیک اسید، از تولید انواع GA ها در داخل گیاه ممانعت می‌نماید (۲۷). تحقیقات نشان داده که پاکلوبوترازول به طور معنی‌داری موجب بهبود غده‌زایی سیب‌زمینی در محیط آزمایشگاهی شده است (۱۳ و ۲۳). سیتوکنین‌ها به عنوان هورمون‌های القاکننده‌ی غده‌زایی معرفی شده‌اند، زیرا محتوای سیتوکنین‌ها در شرایط القاء روزهای کوتاه نسبت به شرایط روزبلند در بوته‌های سیب‌زمینی بیشتر است (۱۱ و ۱۸). به اعتقاد کالدز (۹)، سیتوکنین‌ها مانند بنزیل آمینوپورین (BAP) و بنزیل آدنین (BA) بر تقسیم و تمایز سلولی اثر می‌گذارند. از این رو، این تنظیم‌کننده‌ها قابلیت استفاده در شرایط گلخانه و مزرعه برای افزایش تعداد غده‌های بالفعل در سیب‌زمینی را دارند.

نتایج تحقیقات محققین نشان داده که کاربرد برگی بنزیل آمینوپورین در مراحل مختلف رشد، سبب افزایش معنی‌دار تعداد کل غده شده و بیشترین تعداد غده تولیدی در تیمار بنزیل آمینوپورین استفاده شده در ۵۴ روز پس از سبز شدن بوته‌ها و مصادف با شروع رشد غده‌ها به‌دست آمده است (۹). در مقابل، آزمایش‌های مقدماتی باندارا و تانینو (۸) نشان دادند که بهترین زمان کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی سیتوکنین و پاکلوبوترازول در ابتدای مرحله تشکیل استولون است. در ادامه، نتایج حاصل از مطالعه انجام شده نشان داد که محلول‌پاشی پاکلوبوترازول ممانعت‌کنندگی کامل بر رشد ساقه در بوته‌های سیب‌زمینی پدید آورد و سبب تحریک تشکیل غده‌ها در سیب‌زمینی شد (۷). در تحقیقی دیگر، بوته‌های هر دو واریته آتلانتیک (Atlantic) و نوروالی (Norvaly) سیب‌زمینی تحت تیمار محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، تعداد ریزغده بیشتری تولید کردند. همچنین، محلول‌پاشی پاکلوبوترازول، درصد ریزغده‌های کوچک را افزایش داد (۱۷). تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد تنها به تولید غده منتهی نمی‌شود. بلکه امکان وجود اثرهای ثانویه آنها بر کیفیت غده‌های بذری سیب‌زمینی، مانند خواب آنها، نیز وجود دارد.

خواب غده در سیب‌زمینی، مانند سایر گیاهان، یک فرایند طبیعی به‌شمار می‌رود (۱۷)، که به طور متوسط بین ۳ الی ۵ ماه در ارقام مختلف متغیر است (۴). قبل از شکسته شدن خواب، تغییرات در ریزغده‌های سیب‌زمینی به صورت فیزیکی و بیوشیمیایی است و هیچ تغییر مورفولوژیک، حتی هنگام قرار گرفتن در شرایط مطلوب، در آن مشاهده نمی‌شود (۲). با توجه به این که تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی به عنوان بذر کلاس برتر در تمامی طول سال قابل انجام است، لذا وجود خواب در جوانه‌های ریزغده‌های سیب‌زمینی یکی از عوامل محدود کننده کشت آن پس از برداشت غده در مزرعه به‌شمار می‌رود (۶). از سوی دیگر، اثبات شده که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد در فرایند تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی بر خواب غده‌ها تأثیرگذار خواهد بود (۱۷ و ۲۶). در این رابطه، نتایج سایر محققین نشان

داده است که غـده‌هـای سـیب‌زمینـی بـه‌دسـت آمـده از تیمـار جیبرلیـک اسـید، دوره خـواب کوتـاه‌تـری نسـبت بـه تیمـار پـاکلوبوترازول داشـتند. بـه طـوری کـه در ارقـام آتلانتیـک و نوروالی، دوره خواب به ترتیب ۳۰ الی ۸۰ و ۲۸ الی ۵۳ درصد نسبت به تیمار شاهد کمتر بود. در مقابل، دوره خـواب در غـده های به‌دست آمده از تیمار محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در ارقـام آتلانتیک و نوروالی به ترتیب بین صفر الی ۱۰ و صـفر الـی ۲۰ درصد در تیمار دمای اتاق نسبت به شاهد افزایش داشت (۱۷).

با توجه به محدودیت زمانی برای کشت مزرعه‌ای ریزغـده ها که در تمام طول سال در شرایط گلخانه‌ای تولید شده‌انـد، در فصل بهار و همچنین نقش تنظیم‌کننـده‌هـای رشـد در تولیـد و خواب ریزغده‌های سیب‌زمینی، هدف از ایـن تحقیـق، بررسـی نقش تنظیم‌کننده‌های رشد بنزیل آمینوپورین و پاکلوبوترازول بر میزان تولید ریزغده‌های سـیب‌زمینـی و اثـر آنهـا بـر خـواب و خصوصیات جوانه‌زنی آنها بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طـرح پایـه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و هر تکـرار شـامل چهـار گیاهچـه در گلخانـه تحقیقـاتی دانشـکده کشـاورزی، دانشـگاه فردوسی مشهد، در سال ۱۳۹۲ اجـرا شـد. تیمارهـای آزمایشـی شامل محلول‌پاشـی تنظـیم‌کننـده‌هـا در مراحـل مختلـف رشـد (آغازش استولون (۴۰ روز پس از انتقال گیاهچه‌هـا) و آغـازش غـده‌دهـی (۵۵ روز پـس از انتقـال گیاهچـه‌هـا)) و تیمارهـای تنظیم‌کننده رشـد در پـنج سـطح (آب مقطـر+ مویـان (شـاهد)، غلظـت‌هـای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلـی‌گـرم در لیتـر پـاکلوبوترازول و غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم درلیتر بنزیل آمینوپورین) بود. به منظور افزایش کارایی محلول‌پاشـی، از مویـان سـیتوگیت بـا غلظـت دو در هـزار (۲۱) اسـتفاده شـد. تنظـیم‌کننـده‌هـای پاکلوبوترازول و بنزیل آمینوپورین بـا کـدهای تولیـد ۴۶۰۴۶ و B۳۴۰۸ از شرکت سیگما تهیه شد. غلظت‌های پاکلوبوترازول و بنزیل آمینوپورین بر اساس نتایج لیم و همکاران (۱۷) و کالـدز (۹) انتخاب شد.

رقم آگریا یکی از ارقام مهم سیب‌زمینـی در ایـران اسـت و همچنان در بسیاری از مناطق سـیب‌زمینـی کـاری مـورد توجـه کشاورزان قرار دارد. لذا، در این تحقیق، گیاهچه‌های مورد نیـاز از طریق کشت گره از رقم آگریـا در محـیط کشـت موراشـیک اسکوگ (MS) و شرایط درون شیشه‌ای، تهیه شـد. پـس از ۲۵ روز، گیاهچه‌های عاری از عوامل بیماری‌زا و یک اندازه انتخاب و پس از زدودن بقایای محیط کشـت از ریشـه‌هـا بـا شستشـو توسط آب، به گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر انتقال یافتنـد. بسـتر مـورد اسـتفاده شـامل پرلیت، کوکوپیت و ماسه به نسبت‌های ۴:۳:۳ بود. نیمی از بستر در زمان انتقال و نیم دیگر آن در دو مرحلـه ۱۵ و ۳۰ روز پـس از انتقال، به منظور خاک‌دهی بوته اسـتفاده شـد. در طـول دوره آزمایش، گیاهچه‌های سیب‌زمینـی بـا محلـول غـذایی هوگلنـد تغییریافته (جدول ۱) تغذیه شدند. محلول‌دهی هر هفته یک‌بـار و با حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر به ازای هر گلدان انجام شد. به غیـر از محلول‌دهی، هفته‌ای دو بار نیز گیاهچـه‌هـا بـا آب مقطـر و بـه مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر با فاصـله دو روز یـک‌بـار آبیـاری شـدند. اسیدیته محلول غذایی توسط اسید سـولفوریک و هیدروکسـید سدیم ۰/۱ مولار در حد ۵/۶ تنظیم گردیـد. آزمـایش در فصـل زمستان انجام شد. دمای روز و شب گلخانه به ترتیـب ۲±۲۴ و ۲±۱۸ درجه سلسیوس و شدت نور گلخانـه بـه طـور متوسـط ۱۰۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه بود و در روزهـای ابری به طور مصنوعی نور گلخانه تـأمین شـد. رطوبـت نسـبی گلخانه در حدود ۴۰٪ تنظیم شده بود (۱۲).

در هـر دو مرحلـه از رشـد گیاهچـه‌هـای سـیب‌زمینـی، محلول‌پاشی تیمارهای تنظیم‌کننده‌های رشد در سـاعات پایـانی روز و در داخل محفظه تهیه شده با استفاده از اسپری به صورت دستی انجام شد. محلول‌پاشی بـه گونـه‌ای صـورت گرفـت کـه تمامی سطح گیاه خـیس شـده و قطـرات آب از بـرگ‌هـای آن جاری شد.

جدول ۱. فرمول شیمیایی و غلظت نمک‌های مورد استفاده برای تهیه محلول غذایی هوگلند تغییرشکل یافته

ترکیب شیمیایی	نام ماده	ماده مورد نیاز برای ۱۰۰ لیتر محلول غذایی (گرم)
NH_4NO_3	نیترات آمونیوم	۸۰
$Ca(NO_3)_2$	نیترات کلسیم	۱۱۸
KNO_3	نیترات پتاسیم	۴۹
$MgSO_4$	سولفات منیزیم	۵۰/۵
KH_2PO_4	پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات	۶/۸
H_3BO_3	اسید بوریک	۰/۲۸۶
$MnCl_2$	کلرید منگنز	۰/۱۸۱
$ZnSO_4$	سولفات روی	۰/۰۲۲
$CuSO_4$	سولفات مس	۰/۰۰۵
Na_2MoO_4	سدیم مولیبدنات	۰/۰۱۲
Na-Fe-EDTA	کلات آهن	۴/۲

پس از طی ۱۰۵ روز از انتقال گیاهچه‌ها به گلخانه، برداشت اندام هوایی و غده‌های سیب‌زمینی انجام گرفت. سپس، وزن ریزغده‌های به‌دست آمده با ترازوی دارای دقت درحد یک هزارم گرم تعیین گردید. طول و قطر ریزغده‌ها نیز توسط کولیس اندازه‌گیری شد. در ادامه، ریزغده‌ها به داخل پاکت‌های کاغذی منتقل و به مدت ۱۵ روز در دمای اتاق ۲±۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفت تا ترمیم زخم‌های ایجاد شده در زمان برداشت انجام گیرد. سپس پاکت‌ها در سردخانه با دمای ۸ درجه سلسیوس و در شرایط تاریکی نگهداری شدند. پس از طی دو ماه، به منظور بررسی شکستن خواب، ریزغده‌ها به خارج از سردخانه منتقل شده و در دمای اتاق ۲±۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. بررسی جوانه‌زنی غده‌ها هر دو روز یک‌بار انجام شد. از زمان مشاهده اولین جوانه‌زنی، ثبت تعداد ریزغده‌های جوانه‌زده آغاز شد و به عنوان مبنای زمانی آغاز آزمایش تست جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی در نظر گرفته شد. بررسی جوانه‌زنی تا جوانه‌زنی تمام ریزغده‌ها ادامه یافت. معیار شکستن خواب، ظهور یک جوانه بلندتر از دو میلی‌متر در ریزغده بود (۱۷).

به منظور تعیین صفات زمان رسیدن به ۵، ۱۰، ۵۰، ۹۰ و ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی (به‌ترتیب D05، D10، D50، D90 و D95) از برنامه Germin (که توسط آقای دکتر افشین سلطانی عضو هیئت علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان نوشته شده) استفاده شد. این برنامه، پارامترهای یاد شده را برای هر تکرار و هر تیمار غده‌های بذری از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. سرعت جوانه‌زنی از طریق معادله ۱ به‌دست آمد (۲۴):

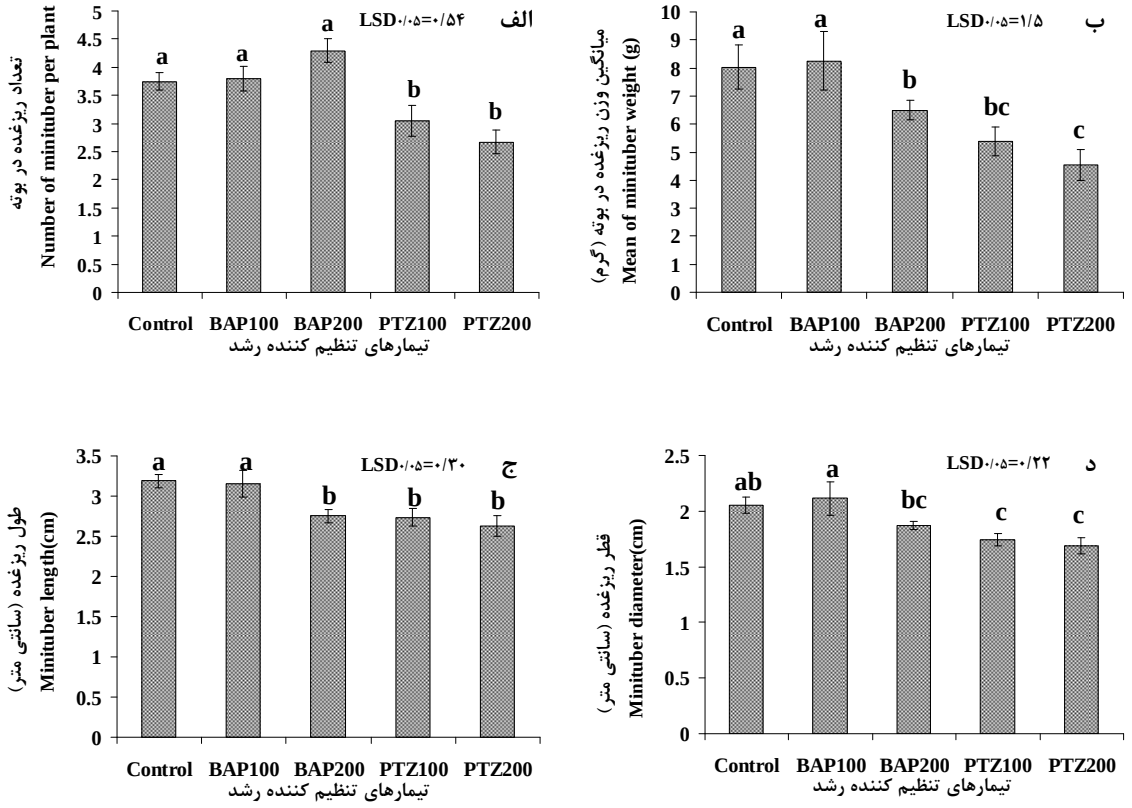
$$R50 = 1 / D50 \qquad [۱]$$

در این معادله، R50 سرعت جوانه‌زنی (ساعت/۱) و D50 زمان رسیدن به ۵۰٪ حداکثر جوانه‌زنی است.

تجزیه واریانس داده‌ها و همبستگی بین صفات توسط نرم افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده (PLSD) و در سطح ۵٪ صورت گرفت. رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

اثر اصلی تیمارهای محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد روی



شکل ۱. اثر تیمارهای بنزیل امینوپورین (BAP) و پاکلوبوترازول (PTZ) بر صفات تعداد ریزغده در بوته (الف)، میانگین وزن ریزغده (ب)، طول ریزغده (ج) و قطر ریزغده (د) سیب‌زمینی. خطوط عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد تیمارها می‌باشند

صفت تعداد ریزغده در بوته معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۱$) بود (جدول ۱). در مقابل، اثر اصلی مرحله رشدی و اثرهای متقابل مرحله رشدی و تیمارهای محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در صفت یاد شده معنی‌دار نبود (جدول ۲). تیمارهای غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین در مقایسه با تیمار شاهد تأثیر معنی‌داری بر صفت تعداد ریزغده در بوته نداشتند (شکل ۱- الف). اگرچه بین سطوح غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول از نظر تعداد ریزغده در بوته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما در مقایسه با تیمار شاهد، محلول‌پاشی هر دو غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول به ترتیب با ۱۸/۹ و ۲۸/۹ درصد کاهش، تأثیر معنی‌داری بر صفت تعداد ریزغده در بوته داشت (شکل ۱- الف).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر اصلی تیمارهای تنظیم‌کننده رشد بر صفات طول و قطر ریزغده‌های سیب‌زمینی معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۱$) بود (جدول ۲). تیمار محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین در مقایسه با شاهد تأثیر معنی‌داری بر طول ریزغده‌های سیب‌زمینی نداشت. هرچند تیمارهای ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین و ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول از نظر صفت طول ریزغده تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، اما در مقایسه با شاهد صفت مذکور را به ترتیب ۱۳/۷، ۱۴/۳ و ۱۷/۶ درصد کاهش دادند و از این نظر اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان دادند (شکل ۱- ج).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌ها در مراحل مختلف رشدی بر تعداد، طول، قطر، وزن و خصوصیات جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب زمینی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		میانگین تعداد ریزغده در بوته	میانگین طول ریزغده	میانگین قطر ریزغده	میانگین وزن ریزغده	سرعت جوانه‌زنی (R50)	مدت زمان رسیدن به ۵٪ جوانه‌زنی (D05)	مدت زمان رسیدن به ۱۰٪ جوانه‌زنی (D10)	مدت زمان رسیدن به ۵۰٪جوانه‌زنی (D50)	مدت زمان رسیدن به ۹۰٪جوانه‌زنی (D90)	مدت زمان رسیدن به ۹۵٪جوانه‌زنی (D95)
تکرار	۲	۱/۴۰۸**	۰/۴۷**	۰/۲۴۹*	۲۰/۶**	۰/۰۰۰۰۰۰۵ns	۱۲ns	۲۰ns	۱۳۹ns	۳۹ns	۱/۸ns
مرحله رشدی	۱	۰/۰۰۲ns	۰/۰۲ns	۰/۰۰۰۳ns	۰/۸ns	۰/۰۰۰۱۵۱۰**	۴۷۰**	۲۷۰**	۲۵۶۵**	۲۹ns	۵۵/۵**
غلظت تنظیم‌کننده رشد	۴	۲/۵۱۸**	۰/۴۱**	۰/۲۱۰۶**	۱۵/۸**	۰/۰۰۰۱۳۱۷**	۱۹۶۴**	۳۹۰۰**	۱۲۰۴۳**	۱۷۷۶۱**	۱۶۱۰۵/۳**
مرحله رشدی× غلظت تنظیم‌کننده رشد	۴	۰/۱۶۳ns	۰/۰۱ns	۰/۰۰۸۳ns	۰/۴ns	۰/۰۰۰۰۶۵۸**	۷۰۲*	۶۷۱**	۲۱۷۵**	۱۶۷۹**	۱۵۹۷/۸**
خطا	۱۸	۰/۲۰۲	۰/۰۶	۰/۰۳۱۹	۱/۵	۰/۰۰۰۰۰۱۲	۸/۲	۱۶	۸۴	۱۰۴	۱۱۲
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۲/۸	۸/۶	۹/۴	۱۹/۱	۱۰/۶	۱۵/۰	۱۲/۳	۷/۶	۴/۲	۴/۰

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

مشابه تغییرات طول ریزغده‌های سیب‌زمینی، قطر آنها نیز تحت تأثیر تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به شاهد کاهش یافت و تفاوت آماری بین دو غلظت پاکلوبوترازول از این نظر مشاهده نشد (شکل ۱- د). هیچیک از سطوح غلظت بنزیل آمینوپورین تغییر معنی‌داری در صفت قطر ریزغده‌های تولیدی ایجاد نکرد (شکل ۱- د).

از نظر میانگین وزن ریزغده، تنها اثر تیمارهای محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود (جدول ۲). بیشترین میانگین وزن ریزغده در تیمارهای شاهد و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین به‌دست آمد (شکل ۱- ب). با افزایش غلظت بنزیل آمینوپورین، میانگین وزن ریزغده‌ها در مقایسه با هر یک از تیمارهای فوق‌الذکر به ترتیب ۱۹/۳ و ۲۱/۳ درصد کاهش نشان داد. بین تیمارهای ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول تفاوت معنی‌داری از نظر وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی مشاهد نشد (شکل ۱- ب). هرچند تفاوت معنی‌داری بین سطوح غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول وجود نداشت، اما کمترین وزن ریزغده‌های تولیدی در بیشترین غلظت پاکلوبوترازول به‌دست آمد (شکل ۱- ب).

علاوه بر اثرهای اصلی مرحله رشدی و تیمارهای تنظیم‌کننده رشد، اثرهای متقابل آنها نیز بر صفت سرعت جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود (جدول ۲). بیشترین سرعت جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی در تیمارهای محلول‌پاشی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین و در مرحله آغازش غده به‌دست آمد و بین دو تیمار یاد شده تفاوتی از این نظر مشاهده نشد (جدول ۳). کمترین مقادیر سرعت جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی در تیمارهای محلول‌پاشی پاکلوبوترازول به‌دست آمد و بین غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول و مرحله پاشش تفاوت معنی‌داری از این نظر وجود نداشت (جدول ۳).

اثر اصلی تیمارهای تنظیم‌کننده رشد بر مدت زمان رسیدن به ۵ (D05)، ۱۰ (D10)، ۵۰ (D50)، ۹۰ (D90) و ۹۵ (D95) معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود (جدول ۲). به غیر از صفت مدت زمان رسیدن به ۹۰٪ جوانه‌زنی، در سایر صفات اثر اصلی مرحله رشدی نیز معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود. همچنین، اثرهای متقابل تیمارهای تنظیم‌کننده رشد و مرحله رشدی بر تمامی صفات فوق‌الذکر معنی‌دار (p≤۰/۰۱) شد (جدول ۲). در هر یک از تیمارهای مرحله رشدی، مدت زمان رسیدن به ۵٪ حداکثر جوانه‌زنی در غلظت‌های بنزیل آمینوپورین تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد (جدول ۳). مصرف برگی غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول در هر دو مرحله رشدی، موجب افزایش معنی‌دار مدت زمان رسیدن به ۵٪ حداکثر جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی شد و بیشترین مدت زمان رسیدن به ۵٪ حداکثر جوانه‌زنی در تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و در مرحله آغازش غده به‌دست آمد (جدول ۳). تیمار محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین در مرحله آغازش استولون نسبت به شاهد به طور معنی‌داری زمان رسیدن به ۱۰٪ حداکثر جوانه‌زنی را کاهش داد. همچنین، اعمال تیمارهای محلول‌پاشی با غلظت های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین در مرحله آغازش غده، اثر کاهشی معنی‌داری بر مدت زمان رسیدن به ۱۰٪ حداکثر جوانه‌زنی داشت (جدول ۳). در هر دو مرحله رشدی، کاربرد غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول، زمان رسیدن به ۱۰٪ حداکثر جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی را به طور معنی‌داری افزایش داد و بیشترین تأثیر از نظر آماری مربوط به بیشترین غلظت پاکلوبوترازول در مرحله آغازش غده بود (جدول ۳). زمان رسیدن به ۵۰٪ حداکثر جوانه‌زنی تحت تأثیر تیمارهای بنزیل آمینوپورین در مرحله آغازش استولون قرار نگرفت (جدول ۳). اما کاربرد برگی تیمارهای یاد شده در مرحله آغازش غده به طور معنی‌داری زمان رسیدن به ۵۰٪ حداکثر جوانه‌زنی را در مقایسه با شاهد کاهش داد (جدول ۳). کاربرد غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول در هر دو مرحله

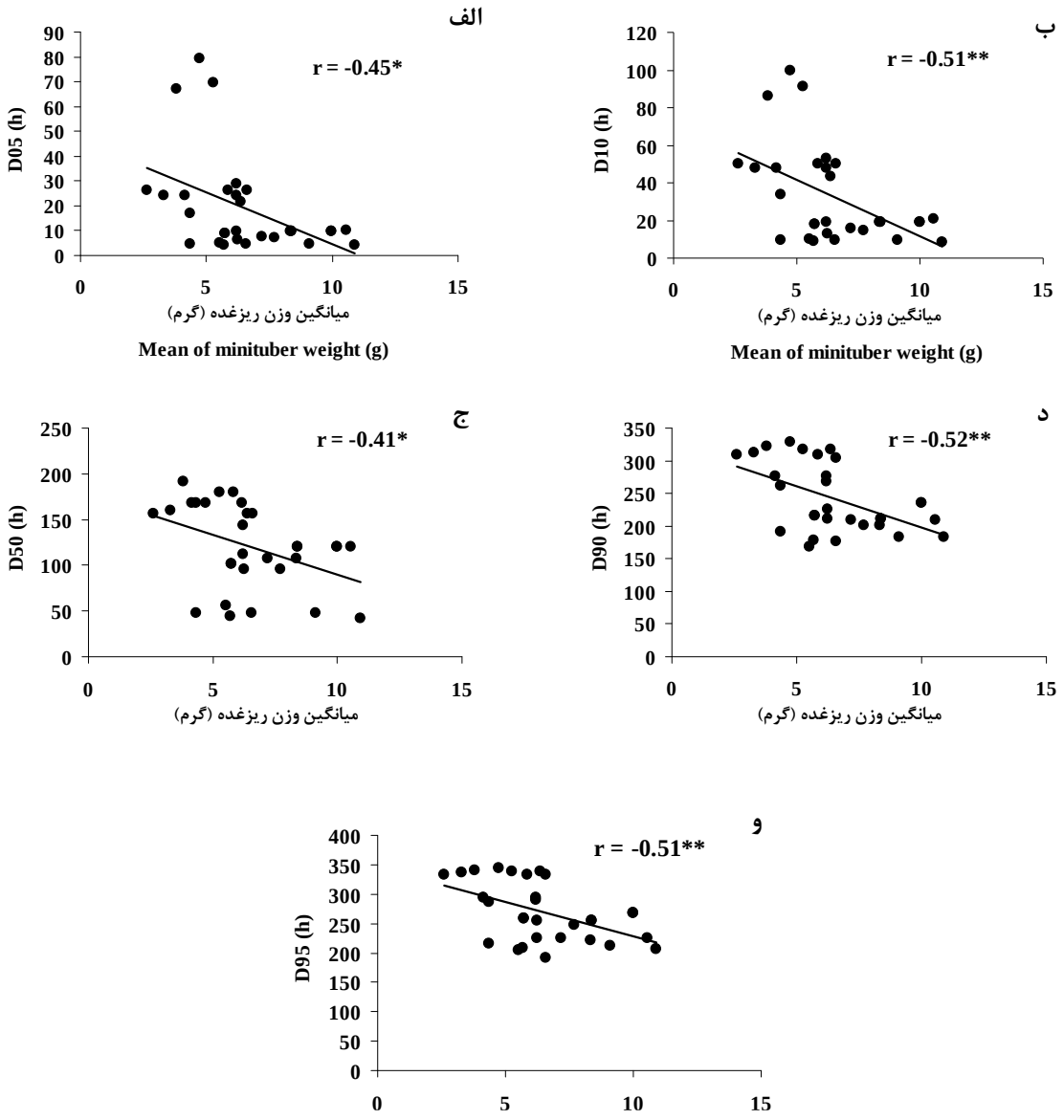
جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تنظیم‌کننده و مرحله رشدی سیب‌زمینی بر تولید و خصوصیات جوانه‌زنی ریزغده‌ها

مرحله رشد	تیمار تنظیم کننده رشد	سرعت جوانه‌زنی ریزغده (۱/ ساعت)	میانگین مربعات				
			مدت زمان رسیدن به ۵٪ جوانه‌زنی (D05)	مدت زمان رسیدن به ۱۰٪ جوانه‌زنی (D10)	مدت زمان رسیدن به ۵۰٪ جوانه‌زنی (D50)	مدت زمان رسیدن به ۹۰٪ جوانه‌زنی (D90)	مدت زمان رسیدن به ۹۵٪ جوانه‌زنی (D95)
آغازش استولون	صفر (آب مقطر+ مویان)	۰/۰۰۸۸	۹/۴	۱۸/۸	۱۱۴/۰	۲۲۰/۸	۲۶۰/۴
	بنزیل آمینوپورین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۰/۰۰۸۸	۹/۹	۱۹/۷	۱۱۳/۳	۲۰۷/۲	۲۲۳/۶
	بنزیل آمینوپورین ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۰/۰۱۰۰	۷/۱	۱۴/۳	۱۰۰/۰	۲۱۲/۰	۲۴۲/۰
	پاکلوبوترازول۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۰/۰۰۶۳	۲۳/۲	۴۴/۸	۱۶۰/۰	۲۶۸/۸	۲۹۰/۴
	پاکلوبوترازول۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۰/۰۰۶۲	۲۵/۶	۴۹/۶	۱۶۰/۰	۲۹۶/۴	۳۲۰/۴
آغازش غده	صفر (آب مقطر+ مویان)	۰/۰۰۸۸	۹/۴	۱۸/۸	۱۱۴/۰	۲۲۰/۸	۲۶۰/۴
	بنزیل آمینوپورین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۰/۰۲۱۲	۴/۶	۹/۲	۴۶/۰	۱۸۵/۶	۲۱۱/۲
	بنزیل آمینوپورین ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۰/۰۲۰۴	۴/۸	۹/۶	۴۹/۵	۱۷۳/۹	۲۰۱/۶
	پاکلوبوترازول۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۰/۰۰۶۱	۲۴/۰	۴۷/۲	۱۶۵/۳	۳۱۲/۴	۳۳۶/۰
	پاکلوبوترازول۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۰/۰۰۵۶	۷۲/۰	۹۲/۴	۱۸۰/۰	۳۲۲/۴	۳۴۱/۲
	LSD (٪۵)	۰/۰۰۱۹	۴/۹	۶/۹	۱۵/۷	۱۷/۵	۱۸/۲

رشدی سیب‌زمینی، موجب افزایش معنی‌دار زمان رسیدن به ۵۰٪ حداکثر جوانه‌زنی ریزغده‌ها گردید و بیشترین مقادیر صفت یاد شده در مرحله آغازش غده به‌دست آمد (جدول ۳). زمان رسیدن به ۹۰٪ حداکثر جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی با کاربرد غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین در مرحله آغازش غده نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد. اما از این نظر تفاوتی بین دو تیمار یاد شده وجود نداشت (جدول ۳). در حالی که استفاده از غلظت‌های مشابه بنزیل آمینوپورین در مرحله آغازش استولون تأثیری بر زمان رسیدن به ۹۰٪ حداکثر جوانه‌زنی نداشت (جدول ۳). اگرچه تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در هر دو مرحله آغازش استولون و غده سبب افزایش معنی‌دار زمان رسیدن به ۹۰٪ حداکثر جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد، اما تأثیر آن بر این صفت در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله آغازش غده نسبت به غلظت های مشابه در مرحله آغازش استولون به ترتیب ۱۶/۲ و ۸/۸ درصد بیشتر بود (جدول ۳). کاربرد تیمارهای غلظت بنزیل آمینوپورین در هر دو مرحله آغازش استولون زمان رسیدن به ۹۵٪ حداکثر جوانه‌زنی را به طور معنی‌داری تسریع کرد و در این بین، تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین در مرحله آغازش غده در مقایسه با دو تیمار مرحله آغازش استولون به طور معنی‌داری کمترین مقدار زمان رسیدن به ۹۵٪ حداکثر جوانه‌زنی را دارا بود (جدول ۳). اگرچه با افزایش غلظت پاکلوبوترازول در مرحله آغازش استولون، زمان رسیدن به ۹۵٪ حداکثر جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی افزایش معنی‌داری نشان داد، اما محلول‌پاشی هر دو غلظت پاکلوبوترازول در مرحله آغازش غده بیشترین تأثیر را بر صفت زمان رسیدن به ۹۵٪ حداکثر جوانه‌زنی به همراه داشت (جدول ۳). همبستگی منفی و معنی‌داری بین زمان‌های رسیدن به ۵، ۱۰، ۵۰، ۹۰ و ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی و وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی مشاهده شد (شکل ۲). این نتایج نشان‌دهنده آن بود که با کاهش وزن ریزغده‌ها، شکستن خواب آنها کندتر شده است.

بحث

نتایج آزمایش حاضر نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر صفات مرتبط با عملکرد ریزغده‌های سیب‌زمینی رقم آگریا می‌باشد. در سایر مطالعات نیز مصرف تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی با تأثیر بر تعادل هورمونی گیاه و تغییر تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف، نقش تعیین‌کننده‌ای در تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی داشتند (۸ و ۱۷). نتایج بررسی‌های مختلف دلالت بر تأثیر بنزیل آمینوپورین بر تعداد ریزغده‌های تولید شده در شرایط کشت درون شیشه‌ای سیب‌زمینی نسبت به شاهد داشتند (۵ و ۱۴). در آزمایش‌های گلخانه‌ای نیز کاربرد برگی بنزیل آمینوپورین در مراحل مختلف رشد، تعداد کل غده را به طور معنی‌داری افزایش داد و بیشترین تعداد غده تولیدی در تیمار کاربرد بنزیل آمینوپورین مصادف با پایان آغازش غده و شروع رشد غده به‌دست آمد (۹). اما در این تحقیق، بنزیل آمینوپورین تأثیر مثبت معنی‌داری بر صفات تعداد ریزغده، میانگین وزن ریزغده و طول و قطر ریزغده‌های سیب‌زمینی در شرایط گلخانه‌ای نداشت و حتی در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اثر آن بر میانگین وزن و طول ریزغده منفی بود. به اعتقاد محققین، فاکتورهای رقم، غلظت، روش و زمان اعمال تیمارهای تنظیم‌کننده رشد نقش تعیین‌کننده‌ای در اثربخشی آنها دارد (۵، ۸، ۹ و ۱۷). از این رو، به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر هر یک از عوامل بیان شده یا مجموعه‌ای از آنها موجب عدم اثربخشی مثبت تیمارهای بنزیل آمینوپورین بر صفات مرتبط با عملکرد ریزغده‌های سیب‌زمینی رقم آگریا شده است. با توجه به اینکه یکی از مهمترین تأثیرات تنظیم‌کننده‌های رشد، تأثیر بر تعادل هورمونی گیاه و تغییر تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف است (۵، ۸ و ۱۷)، لذا، نتایج مرتبط با عملکرد ریزغده نشان‌دهنده آن است که غلظت زیاد بنزیل آمینوپورین، تعادل تخصیص مواد فتوسنتزی را بین غده‌های تشکیل شده و سایر اندام‌های گیاهی



شکل ۲. همبستگی صفات زمان‌های رسیدن به ۵ (الف)، ۱۰ (ب)، ۵۰ (ج)، ۹۰ (د) و ۹۵ (و) درصد جوانه‌زنی نهایی با وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی

برهم زده که در نهایت سبب افت وزن و اندازه ریزغده آنها گردیده است (نتایج مربوط به اندام هوایی نشان داده نشده است).

یافته‌های این پژوهش حاکی از تأثیر منفی غلظت‌های پاکلوبوترازول بر صفات تعداد ریزغده‌های رقم آگریا بود. اما برخی از تحقیقات پیشین در شرایط کنترل شده نشان داده که کاربرد غلظت‌های مناسب پاکلوبوترازول سبب بهبود غده‌زایی سیب‌زمینی شده است (۱۳، ۱۹ و ۲۳). حتی نتایج در شرایط

گلخانه‌ای نیز نشان داده که محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با ممانعت کنندگی کامل بر رشد ساقه در بوته‌های ارقام مختلف سیب‌زمینی سبب تحریک تشکیل ریزغده‌ها در سیب‌زمینی شده است (۸ و ۱۷). به اعتقاد محققین، پاکلوبوترازول با کاهش رشد رویشی و تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به اندام‌های زیر زمینی، از جمله استولون‌ها، سبب تحریک رشد غده و افزایش تعداد مخزن‌های فتوسنتزی می‌گردند (۷ و ۱۷).

اگرچه در این تحقیق از غلظت‌ها و مراحل پاشش مشابه با برخی از مطالعات استفاده شد (۱۷)، اما نتایج حاصل از نظر صفت تعداد ریزغده تولیدی کاملاً متفاوت بود. در توجیه این پیشامد می‌توان اختلاف در واکنش ارقام، به همراه شرایط رشدی، را از جمله دلایل آن ذکر نمود. به گونه‌ای که در این آزمایش، شرایط موجود سبب تأثیر بیش از حد پاکلوبوترازول بر گیاهچه‌ها شده و به دنبال آن تغییر تعادل هورمونی بر رشد و تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های هوایی و زیرزمینی سیب‌زمینی شرایطی را به وجود آورده که بین مقصدهای بالقوه ذخیره مواد فتوسنتزی (استولون‌ها) رقابت شدیدی روی داده و در نتیجه تعداد استولون و در نهایت تعداد ریزغده‌های تشکیل شده کاهش یافته است. همانند نتایج تحقیق حاضر، در تمامی مطالعات انجام شده پیرامون اثر کاربرد پاکلوبوترازول، کاهش وزن و ابعاد ریزغده‌های سیب‌زمینی گزارش شده است (۷ و ۱۷).

نتایج این آزمایش حاکی از تأثیر محلول‌پاشی بنزیل آمینوپورین در مرحله آغازش غده‌ها بر افزایش سرعت جوانه زنی و کاهش زمان‌های رسیدن به ۵، ۱۰، ۵۰، ۹۰ و ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی بود. مطابق با یافته‌های حاضر، استفاده از سایر سیتوکنین‌های رایج مانند زآتین نیز افزایش معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی داشت (۲). نتایج نشان‌دهنده آن بود که جذب سیتوکنین‌ها و انتقال آنها تنها زمانی اتفاق می‌افتد که یک مقصد مهم مانند یک غده در حال رشد وجود داشته باشد (۱۶). لذا، یکی از دلایل عدم تأثیر بنزیل آمینوپورین در زمان استولون‌دهی بر خصوصیات جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی می‌تواند توانایی کمتر گیاه در جذب و انتقال این هورمون باشد و به دنبال آن در مرحله غده‌دهی، بنزیل آمینوپورین کمتری به غده‌های در حال تشکیل انتقال یافته و به دنبال آن تأثیر معنی‌داری بر تعادل هورمونی ریزغده‌ها در زمان خواب نداشته است. از سوی دیگر، به دلیل فاصله زمانی طولانی‌تر محلول‌پاشی در مرحله استولون‌دهی تا برداشت ریزغده‌ها، امکان تقلیل محتوای بنزیل آمینوپورین جذب شده توسط گیاه تحت تأثیر فرایندهای متابولیسم وجود خواهد داشت.

منطبق با نتایج آزمایش، در تحقیقی، محلول‌پاشی پاکلوبوترازول، دوره خواب ریزغده‌های ارقام سیب‌زمینی را ۱۰ الی ۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد و تأثیر محلول‌پاشی در مرحله آغازش غده بیشتر از آغازش استولون بود (۱۷). در آزمایشی دیگر نیز دوره خواب ریزغده‌های حاصل از تیمار پاکلوبوترازول و به دنبال آن مدت زمان جوانه‌زنی افزایش نشان داد (۸). عنوان شده که پاکلوبوترازول با انتقال به غده‌های سیب‌زمینی و از طریق توقف مسیر سنتز جیبرلیک اسید و کاهش کاتابولیسم آبسیزیک اسید، خواب غده‌ها را افزایش می دهد (۲۶). همچنین، یافته‌ها نشان داده که پاکلوبوترازول یک ممانعت کننده اختصاصی مرحله اول از سه مرحله بیوسنتز جیبرلیک اسید است (۲۷). از آنجا که جیبرلیک اسید نقش مؤثر و مثبتی بر شکستن خواب و جوانه‌زنی سیب‌زمینی دارد (۲ و ۱۷)، لذا، در این آزمایش نیز احتمالاً پاکلوبوترازول با تأثیر منفی بر بیوستنز جیبرلیک اسید و برهم زدن تعادل هورمونی ریزغده های سیب‌زمینی به نفع بازدارنده‌های رشد، نقش مؤثری در کاهش سرعت جوانه‌زنی و افزایش مدت زمان رسیدن به ۵، ۱۰، ۵۰، ۹۰ و ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی داشته است. همچنین، تأثیر منفی محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در مرحله آغازش غده در مقایسه با آغازش استولون بر خصوصیات شکستن خواب همانند مدت زمان رسیدن به ۵، ۱۰، ۵۰، ۹۰ و ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی بیشتر بود، که از این نظر با یافته های سایر محققین مطابقت داشت (۱۷). احتمالاً به دلیل توسعه

بیشتر اندام هوایی گیاه در مرحله آغازش غده نسبت به آغازش استولون و مدت زمان کمتر بین محلول‌پاشی در مرحله آغازش غده تا برداشت نسبت به تیمار مرحله آغازش استولون، سبب شده تا غلظت پاکلوبوترازول در ریزغده‌های تولیدی افزایش یابد و به دنبال آن اثر بازدارندگی بر سنتز جیبرلین تشدید شده و به دنبال آن خواب غده افزایش یابد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی غلظت های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول تأثیر منفی بر صفات تعداد ریزغده در بوته، میانگین وزن ریزغده و طول و قطر ریزغده‌های سیب‌زمینی داشت. در مقابل، کاربرد غلظت-های مشابه بنزیل آمینوپورین در صفات یاد شده تأثیر معنی‌داری در پی نداشت. اثر محلول‌پاشی هر دو تنظیم‌کننده رشد بر خصوصیات شکستن خواب و جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی در مرحله آغازش غده بیشتر از مرحله آغازش استولون بود. کاربرد غلظت‌های پاکلوبوترازول در هر دو مرحله رشدی موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی و افزایش مدت زمان رسیدن به ۵، ۱۰، ۵۰، ۹۰ و ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی شد. در مقابل، هر دو غلظت بنزیل آمینوپورین تنها در صورت کاربرد در مرحله آغازش غده تأثیر معنی‌داری بر صفات جوانه‌زنی داشتند و موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی و کاهش مدت زمان رسیدن به ۵، ۱۰، ۵۰، ۹۰ و ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی گردیدند. با توجه به نتایج حاصل، به نظر می‌رسد که کاربرد پاکلوبوترازول در غلظت‌های مورد استفاده به دلیل اثرهای منفی بر عملکرد و افزایش مدت زمان خواب غده‌های بذری سیب‌زمینی راهکار مناسبی برای بهبود راندمان تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی نبود. هرچند بنزیل آمینوپورین در عملکرد ریزغده سیب‌زمینی تأثیری نداشت، اما در فرایند شکستن خواب بذرهای تولیدی نقش مؤثری ایفا نمود. بهترین زمان استفاده از بنزیل آمینوپورین برای تسریع جوانه‌زنی و شکستن خواب ریزغده‌های تولیدی، مرحله آغازش غده بود. همچنین، به دلیل عدم تفاوت معنی‌دار بین سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین در صفات جوانه‌زنی، تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر آن از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بود.

منابع مورد استفاده

۱. خواجه‌پور، م. ر. ۱۳۸۵. گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی، اصفهان.

۲. ساسانی، ر.، ح. ر. خزاعی و ا. نظامی. ۱۳۸۸. بررسی هورمون‌های جیبرلین، بنزیل آدنین و زآتین و درجه حرارت بر شکست خواب ریزغده سیب‌زمینی. نشریه علوم باغبانی ۲۳(۲): ۶۱-۶۷.

۳. سعادتیان، ب. و م. کافی. ۱۳۹۴. بررسی نقش تغذیه‌ای نانوذرات سیلیسیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و تولید ریزغده سیب‌زمینی. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی ۲۲(۱): ۱۷۳-۱۹۰

۴. سلیمی، خ.، م. حسینی، ر. توکل افشاری و ج. گوهری. ۱۳۸۹. بررسی واکنش ارقام و اندازه‌های مختلف ریزغده‌های سیب‌زمینی به تیمارهای خواب‌شکنی. مجله علوم گیاهان زراعی ایران ۴۱ (۱): ۱۶۳-۱۶۹

5. Ahmadzadeh Ghavidel, R., A.R. Bolandi, H. Hamidi and S. Foroghian. 2012. Effects of plant growth regulators and photoperiod on *in vitro* microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.). Afr. J. Biotech. 11(53): 11585-11590.
6. Alexopoulos, A.A., K.A. Akoumianakis, S.N. Vemmos and H.C. Passam. 2007. The effect of postharvest application of gibberellic acid and benzyl adenine on the duration of dormancy of potatoes produced by plants grown from TPS. Postharvest Biol. Technol. 46: 54-62.

7. Balamani, V. and B.W. Poovaiah, 1985. Retardation of shoot growth and promotion of tuber growth of potato plants by paclobutrazol. Am. Potato J. 62: 333-338.
8. Bandara, P.M.S. and K.K. Tanino. 1995. Paclobutrazol enhances minituber production in Norland potatoes. J. Plant Growth Regul. 14: 151-155.
9. Caldiz, D.O. 1996. Seed potato (*Solarium tuberosum* L.) yield and tuber number increase after foliar applications of cytokinins and gibberellic acid under field and glasshouse conditions. J. Plant Growth Regul. 20: 185-188.
10. Farran, I. and A.M. Mingo-Castel. 2006. Potato minituber production using aeroponics: Effect of plant density and harvesting intervals. Am. J. Potato Res. 83: 47-53.
11. Forsline, P.L. and A.R. Langille. 1975. Endogenous cytokinins in *Solanum tuberosum* as influenced by photoperiod and temperature. Physiol. Plant. 34: 75-77.
12. Haghighi, M. and M. Pessarakli. 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Sci. Hort. 161: 111-117.
13. Harvey, B.M.R., S.H. Crothers, N.E. Evans and C. Selby. 1991. The use of growth retardants to improve microtuber formation by potato (*Solanum tuberosum*). Plant Cell Tissue Organ Cult. 27: 59-64.
14. Hussain, I., Z. Chaudhry, A. Muhammad, R. Asghar, S.M. Saqlan Naqavi and H. Rashed. 2006. Effect of chlorocholine chloride sucrose and BAP on *in vitro* tuberization in potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Cardinal). Pak. J. Bot. 38(2): 275-282.
15. Kanwal, A., A. Ali and K. Shoaib. 2006. *In vitro* microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivar Kuroda- A new variety in Pakistan. Int. J. Agric. Biol. 8(3): 337-340.
16. Lang, D.J. and A.R. Langille. 1982. Evidence of absorption and translocation of foliar applied kinetin-8-Cl4 in the potato plant. Am. Potato J. 59: 547-550.
17. Lim, T.H., S.Y. Cheol, S.P. Choi and S. Dhital. 2004. Application of gibberellic acid and paclobutrazol for efficient production of potato (*Solanum tuberosum* L.) minitubers and their dormancy breaking under soilless culture system. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 45(4): 189-193.
18. Mauk, C.S. and A.R. Langille. 1978. Physiology of tuberization in *Solanum tuberosum* L. Cis-zeatin riboside in the potato plant: Its identification and changes in endogenous levels as influenced by temperature and photoperiod. Plant Physiol. 62: 438-442.
19. Maleki Lajayer, H., B. Esmaielpour and E. Chamani. 2011. Hinokitiol and activated charcoal influence the microtuberization and growth of potato (*Solanum tuberosum* cv. Agria) plantlets *in vitro*. Austal. J. Crop Sci. 5(11): 1481-1485.
20. Ozturk, G. and Z. Yildirim, 2010. A comparison of field performances of minitubers and microtubers used in seed potato production. Turk. J. Field Crops 15(2): 141-147.
21. Rashed Mohassel, M.H., A. Aliverdi and S. Rahimi. 2011. Optimizing dosage of sethoxydim and fenoxaprop-p-ethyl with adjuvants to control wild oat. Ind. Crops Prod. 34: 1583-1587.
22. Ritter, E., B. Angulo, P. Riga, C. Herran, J. Relloso and M. San Jose. 2001. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. Potato Res. 44: 127-135.
23. Simko, I. 1993. Effects of kinetin, paclobutrazol and their interactions on the microtuberization of potato stem segments cultured *in vitro* in the light. Plant Growth Regul. 12: 23-27.
24. Soltani, A., S. Galeshi, E. Zeinali and N. Latifi. 2002. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Sci. Technol. 30: 51-60.
25. Struik, P.C. 2007. The canon of potato science: 25, Minituber. Potato Res. 50: 305-308.
26. Tekalign, T. and P.S. Hames. 2005. Response of potato grown in a hot tropical lowland to applied paclobutrazol. II: Tuber attributes. New Zealand J. Crop Hort. Sci. 33: 43-51.
27. Vreugdenhil, D. and L.I. Sergeeva. 1999. Gibberellins and tuberization in potato. Potato Res. 42: 471-481.
28. Vreugdenhil, D. 2007. The canon of potato science: 39, Dormancy. Potato Res. 50: 371-373.