نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دهم، شماره چهارم، زمستان ۹۶
۷۵-۹۰
http://ejcp.gau.ac.ir

بهبود جوانه‌زنی، استقرار و عملکرد گیاهان سیب‌زمینی حاصل از ریزغده‌های تیمارشده توسط بنزیل‌آمینوپورین و آبسیزیک‌اسید

محمدجواد احمدی‌لاهیجانی[۱]، *محمد کافی[۲]، احمد نظامی[۲]، جعفر نباتی[۳] و جان اروین[۴]

[۱]دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد، [۲]استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد، [۳]استادیار، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، [۴]استاد، گروه باغبانی، دانشگاه مینه‌سوتا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: سیب‌زمینی به‌عنوان چهارمین گیاه زراعی مهم جهان مطرح است. از آنجایی‌که تکثیر سیب‌زمینی غالبا به‌صورت رویشی و از طریق غده می‌باشد، لذا افزایش تولید ریزغده‌های بذری با کیفیت و عاری از ویروس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هورمون‌های گیاهی دامنه وسیعی از فرایندهای رشد و تشکیل غده در سیب‌زمینی را کنترل می‌کنند. با توجه به کوچک و ضعیف بودن ریزغده‌ها و مشکلات استقرار بوته‌ها در شرایط مزرعه، پژوهش‌های بیشتر جهت بهبود استقرار و عملکرد بوته‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین، این پژوهش به‌منظور بررسی امکان بهبود جوانه‌زنی ریزغده‌ها و استقرار گیاهچه دو رقم ریزغده سیب‌زمینی (آگریا و فونتانه) توسط کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد (بنزیل‌آمینوپورین- BAP و آبسیزیک‌اسید- ABA) انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در دو مرحله در دانشگاه فردوسی مشهد طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. در مرحله اول، محلول‌پاشی گیاهان مادری در دو مرحله غده‌دهی و استولن‌دهی توسط تنظیم‌کننده‌های‌رشد (BAP، ABA و BAP+ABA، ۵۰ میکرو مولار) در شرایط کنترل شده انجام گرفت. در مرحله دوم، غده‌های حاصل از مرحله اول از لحاظ ویژگی‌های جوانه‌زنی، استقرار و عملکرد در شرایط مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش اول به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی و آزمایش دوم به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام پذیرفت. ویژگی‌های از قبیل تعداد جوانه در ریزغده، طول جوانه، روز تا ظهور گیاهچه، درصد ظهور گیاهچه، تعداد ساقه در بوته، ویژگی‌های مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد مورد ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌ها: کاربرد BAP در مرحله غده‌دهی باعث افزایش طول جوانه‌ها به میزان ۵۱ و ۵۹ درصد به‌ترتیب در رقم آگریا و فونتانه در مقایسه با گیاهان شاهد شد. همچنین، کوتاه‌ترین روز تا ظهور گیاهچه در مقایسه با گیاهان شاهد در این تیمار مشاهده شد. رابطه خطی معنی‌داری بین طول جوانه و روز تا ظهور گیاهچه (R^2=۰/۸۸) مشاهده شد. درصد ظهور گیاهچه و تعداد بوته مستقرشده با کاربرد BAP یا ABA افزایش یافت، اما تأثیر تیمارهای مختلف بر ارقام سیب‌زمینی متفاوت بود. بیشترین درصد ظهور گیاهچه در تیمار کاربرد ABA در مرحله استولن‌دهی ثبت گردید که

*مسئول مکاتبه: m.kafi@um.ac.ir

به‌طور میانگین ۳۹ درصد بیش از مقدار آن در گیاهان شاهد بود. همچنین، رقم فونتانه ۱۵ درصد ظهور گیاهچه بیشتر از آگریا داشت. در رقم آگریا کاربرد BAP+ABA در مرحله غده‌دهی باعث افزایش تعداد جوانه‌ها به میزان ٤٠ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد شد، در حالی‌که بیشترین تعداد جوانه در غده در رقم فونتانه در تیمار BAP در مرحله غده‌دهی مشاهده شد که ۳۸ درصد بیش از گیاهان شاهد بود. رابطه خطی معنی‌داری بین تعداد جوانه روی غده مادری و تعداد غده تولیدی در نسل بعد (R^2=۰/۵۳) مشاهده شد. در هر دو رقم، گیاهان تیمار BAP+ABA در مرحله غده‌دهی بیشترین تعداد غده در بوته را تولید کردند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که کاربرد BAP موجب افزایش طول جوانه‌ها و کاهش تعداد روز تا ظهور گیاهچه شد، در حالی‌که، ABA باعث بهبود درصد ظهور و استقرار گیاهچه شد. از آنجایی‌که رشد جوانه‌ها تا حد زیادی متکی به غده مادری است، به‌نظر می‌رسد که هر دوی BAP و ABA موجب بهبود قدرت مقصدهای فیزیولوژیک یعنی غده‌ها شده و غده‌های قوی‌تر انرژی بیشتری برای حمایت جوانه‌ها در مراحل بعدی رشد در مزرعه را فراهم می‌کنند. بر اساس نتایج این تحقیق، کاربرد تنظیم‌کننده‌های‌رشد موجب افزایش تعداد جوانه روی غده‌های ارقام سیب‌زمینی آگریا و فونتانه شده که به نوبه خود منجر به تولید تعداد ساقه بیشتر و در نهایت، موجب افزایش تعداد غده در گیاه می‌شود، هرچند که این اثرات بین دو رقم یکسان نبود و فونتانه همواره غده بیشتری تولید نمود.

واژه‌های کلیدی: سیتوکینین، روزتا ظهور گیاهچه، طول جوانه، ظهور گیاهچه، هورمون‌های گیاهی

مقدمه

سیب‌زمینی با تولید سالانه ۳۸۵ میلیون تن و عملکرد ۲۰ تن در هکتار به‌عنوان چهارمین گیاه زراعی مهم در جهان شناخته می‌شود (٦). سیب‌زمینی غالبا به‌صورت رویشی از طریق غده تکثیر می‌شود. ریزغده‌ها بذرهای سیب‌زمینی کوچکی هستند که بعد از تطابق از گیاهان ریز ازدیاد شده در شرایط آزمایشگاهی تولید می‌شوند و در تراکم زیاد در گلخانه در بستر کشت و یا در گلدان‌های حاوی بسترهای مختلف کشت کاشته می‌شوند. اندازه ریزغده‌ها از ۵ تا ۲۵ میلی‌متر است و وزن آن‌ها از ۰/۱ تا ۱۰ گرم متغیر است (٢٤). تولید ریزغده‌ها از گیاهچه‌های درون آزمایشگاهی اجازه تکثیر سریع‌تر غده‌های بذری، برنامه‌ریزی بهتر و کاهش تعداد نسل‌های مزرعه را می‌دهد (۵).

ریزغده‌ها معمولا دوره خواب طولانی‌تری نسبت به غده‌های سیب‌زمینی دارند که می‌تواند بر استقرار گیاه در مزرعه تعیین کننده باشد. برای تولیدکنندگان غده بذری سیب‌زمینی جوانه‌زنی سریع و یکنواخت غده‌ها پیش‌نیاز استقرار مناسب گیاهان سالم می‌باشد. رشد جوانه‌ها می‌تواند توسط بسیاری از تیمارهای شیمیایی، هورمونی و فیزیکی تحریک شود. بسته به زمان اعمال تیمار، این مواد می‌توانند به‌صورت مستقیم خواب غده را پایان دهند و موجب رشد جوانه‌ها شوند (۳۱). نشان داده شده است که سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها باعث اتمام خواب و شروع رشد جوانه می‌شود (۷، ۲۰ و ۳۰). ساتل (۲۰۰۸) گزارش کرد که کاربرد سیتوکینین مصنوعی موجب اتمام خواب غده و شروع رشد فعال جوانه‌ها می‌شود (۳۱). هارتمن و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که کاربرد بنزیل آمینوپورین موجب القای شکستن خواب غده‌ها شد ولی رشد جوانه‌ها را تحت تأثیر قرار نداد (۷). کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد به‌طور گسترده‌ای برای تغییر ویژگی‌های جوانه‌زنی و شکستن خواب

غده‌ها استفاده می‌شوند. در بین هورمون‌های مختلف، آبسیزیک اسید (ABA) و سیتوکینین (CK) علاوه‌بر تنظیم فرایندهای مرتبط با پیری، در شکل‌گیری قدرت مبدأ و مقصد و نیز تنظیم خواب و اتمام آن نقش اساسی دارند (٢٧).

گزارش‌هایی مبنی‌بر تأثیر سیتوکینین برافزایش غده‌زایی وجود دارد (١٨ و ٢٢). سیتوکینین به‌عنوان محرک تقسیم سلولی شناخته شده است (٢١). روسو (٢٠٠٨) گزارش کرد که غلظت‌های کم سیتوکینین در القای رشد بیشتر جوانه در غده‌های سیب‌زمینی نسبت به غلظت‌های بیشتر مؤثرتر بوده است (٢٢). سیتوکینین‌ها در کوتاه‌تر کردن دوره خواب جوانه‌ها نسبت به جیبرلین‌ها مؤثرترند اما رشد جوانه‌ها را کمتر از جیبرلین تحریک می‌کنند (٢٢). آبسیزیک اسید در شروع و بقای خواب غده‌ها نقش دارند (٣٢). محتوای آبسیزیک اسید غده‌ها طی انبارداری کاهش می‌یابد اما همبستگی بین سطوح آبسیزیک اسید و رفتار جوانه‌ها در رقم‌های مختلف سیب‌زمینی مشاهده نشده است (١ و ٢٨). آبسیزیک اسید به‌عنوان یک کند کننده رشد گیاهی، اثرات مثبتی بر شروع و انگیزش غده‌دهی دارد (٢٨). ABA موجب پویایی کربوهیدرات‌های ذخیره‌شده در ساقه و برگ گیاهان شده و منجر به انتقال و تجمع این کربوهیدرات‌ها در اندام‌های زایشی مانند بذرها و اندام‌های ذخیره‌ای می‌شود و به روند تجمع کربوهیدرات‌ها در این اندام‌ها سرعت می‌بخشد (٣٤ و ٣٥).

جوانه‌زنی می‌تواند توسط کاربرد مواد شیمیایی (قبل یا بعد از برداشت) تحریک شود (٢٧). هنگامی‌که خواب غده شکسته می‌شود، جوانه‌های روی بذر شروع به رشد می‌کنند. با شروع جوانه‌زنی، غده‌ها تبدیل به یک منبع برای تأمین رشد و نمو جوانه‌ها می‌شوند که این همراه با تغییرات ساختاری و متابولیک و تغییر در الگوی بیان ژن‌ها است (٣ و ٣٦). رشد این جوانه‌ها متکی به تأمین انرژی، مواد غذایی و سایر مواد موردنیاز برای رشد توسط غده مادری است (٢٦). درون هر غده، جوانه‌ها برای منابع در دسترس رقابت می‌کنند، به‌ویژه وقتی‌که غده مادری کوچک باشد، همان‌طور که در مورد ریزغده‌ها مشاهده می‌شود. رشد گیاه سیب‌زمینی از ریزغده‌ها در مزرعه تا حد زیادی تحت تأثیر الگوی رشد جوانه‌های مستقر شده طی انبارداری غده‌ها قرار می‌گیرد (٢٧).

پژوهش‌های زیادی در مورد اثر تیمارهای شیمیایی بر شکست خواب و اثرات آن بر ویژگی‌های جوانه‌های تولیدی انجام‌شده است، اما اطلاعات کمی در مورد نحوه رفتار غده‌های حاصل از این تیمارها در شرایط مزرعه وجود دارد. همچنین، اطلاعات کمی در مورد تأثیر محلول‌پاشی گیاه مادری و اثرات آن بر ویژگی‌های رشدی غده‌های تولیدی وجود دارد؛ بنابراین، این پژوهش باهدف: ١- بررسی امکان محلول‌پاشی گیاه مادری و تأثیر آن بر ویژگی‌های رشدی غده‌ها و جوانه‌های روی غده، ٢- بررسی تأثیر تیمارهای هورمونی به کار رفته بر میزان استقرار گیاهچه‌های حاصل از غده‌های نسل اول در شرایط مزرعه و ٣- بررسی رشد و عملکرد غده‌های تولیدی نسل اول در شرایط مزرعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش اول: با استفاده از روش کشت بافت در شرایط درون شیشه، ریزازدیادی انجام گرفت و گیاهچه‌های با اندازه یکسان در شرکت فناوران بذر یکتا فعال در مشهد تولید شد. برای این منظور از محیط کشت پایه MS (Murashige and Skoog) استفاده شد (١٥). تهیه محیط کشت MS بر اساس غلظت‌های نمک میکرو، ماکرو و ویتامین بدون هورمون با ٣٠ گرم بر لیتر ساکارز و pH حدود ٥/٨ صورت گرفت. گیاهچه‌ها در جعبه‌های مکعبی به ابعاد

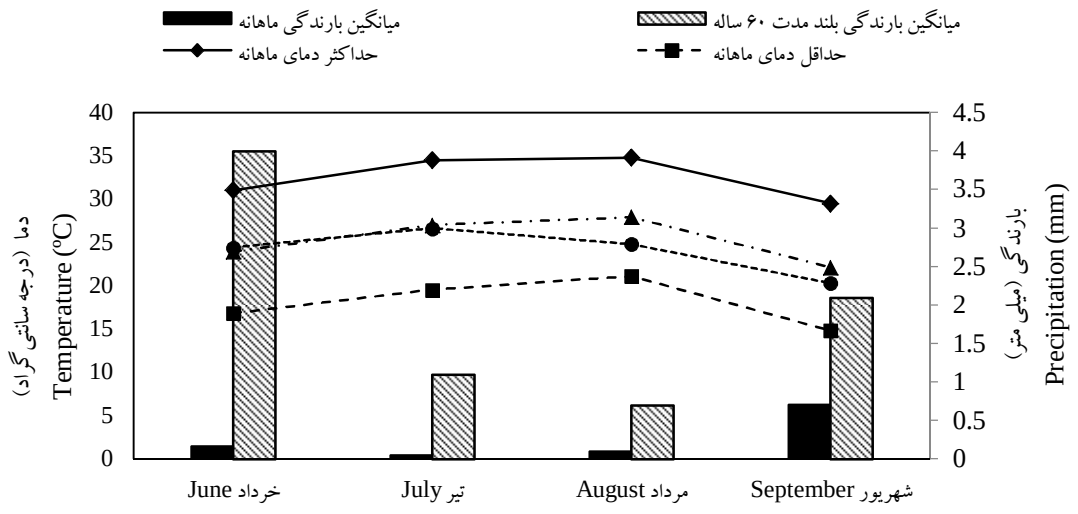
۳۰×۳۰×۳۰ سانتی‌متر و بستر کاشت پرلیت: کوکوپیت به نسبت ۱:۱ (حجمی) در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در اواسط شهریورماه ۱۳۹۳ کشت شدند. طول دوره روشنایی و تاریکی به‌ترتیب ۱۲/۱۲ ساعت، دمای روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد با دامنه تغییر ۲± و رطوبت نسبی محیط ۵۰ درصد با دامنه تغییر ۵± تنظیم شد. محلول غذایی هوگلند به‌صورت هفتگی جهت تغذیه گیاهان مورد استفاده قرار گرفت (۹). طی دوره رشد، خاک‌دهی بوته‌ها جهت پوشاندن گره‌های پایین ساقه در دو نوبت؛ ۳۰ و ۵۰ روز پس از کاشت، انجام شد. هیچ‌گونه آفت یا بیماری طی زمان انجام آزمایش مشاهده نشد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار اجرا و برای هر تکرار تعداد ۱۲ گیاهچه (چهار عدد در هر جعبه) در نظر گرفته شد. فاکتور اول به دو رقم سیب‌زمینی و فاکتور دوم به هفت تیمار هورمونی اختصاص داده شد.

جهت اعمال تیمارهای هورمونی، از غلظت ۵۰ میکرومولار برای هر دو تنظیم‌کننده رشد (BAP:6-Benzylaminopurine, Sigma) BAP و ABA (2-cis, 4-trans-Abscisic acid, Sigma) به‌صورت محلول‌پاشی استفاده شد. از تیپول (Riedel-de Haën) با نسبت ۰/۵ درصد (v/v) به‌عنوان مویان استفاده شد. گیاهان شاهد نیز با آب مقطر همراه با تیپول ۰/۵ درصد (v/v) محلول‌پاشی شدند. به‌منظور اطمینان از جذب محلول توسط گیاهان، عمل محلول‌پاشی تا خیس شدن کامل گیاه انجام شد. پاشش هورمون‌ها به‌منظور جلوگیری از تجزیه سریع توسط نور در اواخر دوره روشنایی روز که نور مستقیم آفتاب وجود نداشت، انجام شد.

تیمارهای تنظیم‌کننده رشد در هفت سطح و دو مرحله اعمال شدند که شامل: BAP اوایل مرحله استولون‌دهی، ABA اوایل مرحله استولون‌دهی، BAP+ABA در اوایل مرحله استولون‌دهی، BAP در اوایل مرحله غده‌دهی، ABA اوایل مرحله غده‌دهی، BAP+ABA در اوایل مرحله غده‌دهی، و شاهد، محلول‌پاشی با آب مقطر بود.

غده‌ها ۱۲۰ روز پس از کاشت به‌وسیله دست برداشت شدند. پس از برداشت، ریزغده‌ها توسط آب شسته شده و به‌مدت ٢٤ ساعت در معرض هوا خشک شدند و سپس، در تاریکی و در دمای ١±٤ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۸۵ درصد قرار گرفتند. غده‌ها پس از ۱۵ هفته از تاریکی خارج‌شده و دو هفته قبل از کاشت در دمای محیط در معرض نور مصنوعی قرار گرفتند. وجود یک جوانه با حداقل طول دو میلی‌متر در حداقل ۸۰ درصد غده‌ها به‌عنوان مبنای جوانه‌زنی و پایان دوره خواب غده لحاظ شد. تعداد جوانه‌های فعال‌شده و طول جوانه‌ها اندازه‌گیری شد.

آزمایش دوم: غده‌های حاصل از مرحله اول آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ٣٦ درجه و ۱۵ دقیقه و ارتفاع ۹۹۹ متر از سطح دریا در خرداد ماه ١٣٩٤ کشت شدند. ویژگی‌های آب و هوایی محل آزمایش در شکل ۱ نشان داده‌شده است. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول شامل دو رقم سیب‌زمینی و عامل دوم شامل غده‌های حاصل از تیمارهای هورمونی آزمایش اول (هفت تیمار) بود.



شکل ۱- مشخصات آب و هوایی محل انجام آزمایش.

Figure 1. Weather characteristics of the experimental field.

غده‌های یکنواخت (قطر ۲۵-۱۵ میلی‌متر) در روی ردیف‌هایی با فاصله ۷۵ سانتی‌متر، فاصله بوته روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر و عمق پنج سانتی‌متر در کرت‌های مربعی با ابعاد ۱/۲ مترمربع در اول خرداد ماه کشت شدند. میزان کودهای موردنیاز بر اساس نتایج آزمون خاک به‌صورت نیتروژن از منبع اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) که نیمی هم‌زمان با کاشت و بقیه به‌صورت سرک چهار هفته پس از سبز شدن و قبل از خاک‌دهی، فسفر از منبع فسفات آمونیوم $(NH_4)_2 HPO_4$ (۹۰ کیلوگرم در هکتار) هم‌زمان با کاشت و پتاسیم از منبع نیترات پتاسیم KNO_3 (۱۰۰ کیلو در هکتار) هم‌زمان با کاشت تأمین شد. قطعه زمین مورد استفاده قبل از کاشت به‌مدت دو سال آیش بود. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. آبیاری به‌صورت نشتی و به‌صورت هفتگی انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت یک‌بار سم‌پاشی با علف‌کش سنکور (پودر وتابل ۷۰ درصد) به‌میزان یک کیلوگرم در هکتار قبل از جوانه زدن بذر علف‌های هرز و دو بار به‌صورت وجین دستی صورت گرفت. طی زمان آزمایش آفات و بیماری مشاهده نشد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۳۰ سانتی‌متری.

Table 1. Physicochemical characteristics of the soil in depth of 30 cm.

بافت Texture	Clay loam
هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (EC) ($dS.m^{-1}$)	1.11
اسیدیته کل pH	7.55
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Available Potassium ($mg.kg^{-1}$)	125
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Available Phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	9
نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	0.12
کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	1.26

روز تا ظهور گیاهچه به‌صورت تعداد روز از زمان کاشت تا ظهور حداقل ۵۰ درصد گیاهچه‌ها محاسبه شد. بوته‌های سبز شده از کل غده‌های کاشته شده یک تیمار به‌عنوان درصد گیاهچه‌های جوانه‌زده و مستقرشده در نظر گرفته شد. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، بوته‌ها توسط دست و با رعایت اثر حاشیه از سطح یک مترمربع جهت اندازه‌گیری عملکرد برداشت شدند. سه بوته در هر تکرار برای محاسبه سطح برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و ویژگی‌های مربوط به غده استفاده شد. سطح برگ سبز هر تیمار با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ (Li-3100 area meter, LI-COR, Lincoln, NE) اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک، اندام‌های هوایی تا دستیابی به وزن ثابت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند. تعداد غده در هر بوته، عملکرد غده و متوسط وزن هر غده اندازه‌گیری شد. متوسط وزن غده در هر بوته از نسبت وزن غده‌های هر بوته به تعداد آن‌ها تعیین گردید.

داده‌های حاصل پس از اطمینان از نرمال بودن، به‌وسیله نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تعداد جوانه در ریزغده تحت تأثیر معنی‌دار رقم، تنظیم‌کننده رشد و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). رقم‌ها پاسخ متفاوتی به تیمارهای هورمونی به کار رفته از خود نشان دادند. در آگریا، غده‌های حاصل از کاربرد BAP+ABA در مرحله غده‌دهی تعداد جوانه بیشتری در ریزغده نسبت به گیاهان شاهد تولید کردند، درحالی‌که، تیمار BAP در مرحله غده‌دهی موجب افزایش معنی‌دار تعداد جوانه در ریزغده در فونتانه نسبت به گیاهان شاهد شد (جدول ۲). طول جوانه‌ها تحت تأثیر معنی‌دار رقم و تنظیم‌کننده رشد قرار گرفت. فونتانه جوانه‌های بلندتری نسبت به آگریا تولید کرد. به‌طورکلی، کاربرد BAP در مرحله غده‌دهی موجب افزایش طول جوانه‌ها در هر دو رقم (۵۱ و ۵۹ درصد به‌ترتیب در آگریا و فونتانه) نسبت به گیاهان شاهد شد (جدول ۲).

سیتوکینین‌ها به‌عنوان محرک تقسیم سلولی شناخته می‌شوند. ساتل (۱۹۹۸) نشان داد که کاربرد سیتوکینین منجر به اتمام خواب و افزایش جوانه‌زنی غده‌های سیب‌زمینی شد (۲۹). تحریک افزایش طول جوانه‌ها توسط کاربرد BAP احتمالا در نتیجه تحریک تقسیم سلولی و رشد آن‌ها می‌باشد. سلول‌های جدید احتمالا به‌عنوان مقصد جدید کربوهیدرات‌ها عمل کرده و منجر به افزایش رشد جوانه‌ها می‌شوند. سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها ممکن است که به‌واسطه از بین بردن رسوب کالوز از پلاسمودسماتاهای بلوک شده به مواد فتوسنتزی اجازه حرکت به‌سوی سلول‌های مریستمی در حال خواب را بدهد و موجب تحریک آغازش رشد آن‌ها شود (۲۱).

BAP و ABA به‌طور مؤثری موجب تحریک تولید جوانه روی غده شدند، اما اثرات آن‌ها بین رقم‌ها متفاوت بود. تفاوت‌های معنی‌داری بین رقم‌های سیب‌زمینی از نظر استقرار گیاهچه در گلخانه، پوشش کانوپی، تعداد و عملکرد ریزغده‌ها و پاسخ به تنظیم‌کننده‌های رشد گزارش شده است (۱۱، ۱۲). کاربرد BAP در مرحله غده‌دهی در رقم فونتانه موجب افزایش معنی‌دار تعداد جوانه در غده شد، هرچند که در رقم آگریا اثرات مثبت آن مشاهده نشد. حساسیت به کاربرد هورمون‌های گیاهی بستگی به فرایندهایی شامل جذب، متابولیسم و درک پیام‌های دریافتی دارد (٤). در پژوهش حاضر مشاهده شد که به‌طورکلی، سطح برگ رقم فونتانه بیش از رقم آگریا بود. تفاوت بین رقم‌ها در پژوهش حاضر در پاسخ به

کاربرد تنظیم کننده‌های رشد می‌تواند به‌دلیل تفاوت در مورفولوژی گیاه مانند سطح برگ به‌عنوان سطح جذب هورمون و یا برخی سازوکارهای جذب و متابولیسم دورنی گیاه باشد. سلیمی و همکاران (۲۰۱۰) تفاوت پاسخ بین رقم‌های سیب‌زمینی در اثر کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد را به‌دلیل برخی عوامل داخلی غده دانستند (۲۳).

جدول ۲- تأثیر کاربرد بنزیل آمینوپورین و آبسیزیک اسید بر تعداد جوانه در ریزغده، طول جوانه و روز تا ظهور گیاهچه دو رقم سیب‌زمینی.

Table 2. Effect of application of benzylaminopurine and abscisic acid on number of sprouts, length of sprouts, and day to emergence of two potato cultivars.

تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulator	تعداد جوانه در ریزغده Number of sprout per minituber		طول جوانه (میلی‌متر) Length of sprouts (mm)		روز تا ظهور گیاهچه Day to emergence	
	آگریا Agria	فونتانه Fontane	آگریا Agria	فونتانه Fontane	آگریا Agria	فونتانه Fontane
شاهد Control	2.0 bc	2.7 bc	3.8 de	3.7 d	15 a	14 b
BAP S	1.8 bc	2.3 c	7.4 ab	8.5 ab	11 c	10 c
ABA S	2.2 bc	1.9 c	3.2 e	3.8 d	15 a	15 ab
BAP+ABA S	2.7 ab	4.2 ab	5.5 cd	6.6 bc	14 b	13 b
BAP T	1.4 c	4.4 a	7.9 a	9.3 a	11 c	10 c
ABA T	1.4 c	2.1 c	3.7 de	3.7 d	15 a	16 a
BAP+ABA T	3.4 a	4.2 ab	5.9 bc	5.6 cd	13 bc	13 b

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS		میانگین مربعات MS		میانگین مربعات MS	
تکرار (بلوک) Replication (Block)	2	0.39	ns	0.34	ns	0.16	ns
رقم Cultivar (C)	1	10.30	**	3.09	*	2.38	ns
تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulator (PGR)	6	3.67	**	25.90	**	27.40	**
رقم × تنظیم‌کننده رشد C×PGR	6	1.57	**	0.69	ns	1.26	ns
خطا Error	26	0.57		0.33		0.73	
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)			21.7		13.3		6.5

ABA S: آبسیزیک اسید در مرحله استولون‌دهی، BAP S: بنزیل آمینوپورین در مرحله استولون‌دهی، ABA T: آبسیزیک اسید در مرحله غده‌دهی، BAP T: بنزیل آمینوپورین در مرحله غده‌دهی. حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌های یک تیمار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد هستند. ns: غیرمعنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

BAP s: Benzylaminopurine at stolonization, BAP t: Benzylaminopurine at tuberization, ABA s: Abscisic acid at stolonization, ABA t: Abscisic acid at tuberization. Means with the same letters are not significantly different using Tukey test in 5% probability. ns: not statistically significant. * Statistically significant at P≤0.01. ** Statistically significant at P≤0.001.

تعداد روز تا ظهور گیاهچه تحت تأثیر معنی‌دار کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد قرار گرفت (جدول ۲). کاربرد BAP در مرحله غده‌دهی و استولن‌دهی باعث ظهور گیاهچه‌ها به‌مدت ۱۱ و ۱۰ روز پس از کاشت به‌ترتیب در رقم آگریا و فونتانه شد، که به‌طور متوسط چهار روز سریع‌تر از گیاهان شاهد بود. کاربرد ABA

در هر دو مرحله غده‌دهی و استولن‌دهی به‌طور متوسط موجب افزایش تعداد روز تا ظهور گیاهچه نسبت به تیمار BAP شد، هرچند که با گیاهان شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

درصد ظهور گیاهچه نیز تحت تأثیر معنی‌دار رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد قرار گرفت. مشابه تعداد بوته، بیشترین درصد ظهور گیاهچه در تیمار کاربرد ABA در مرحله استولن‌دهی ثبت گردید که به‌طور میانگین ۳۹ درصد بیش از گیاهان شاهد بود. همچنین، رقم فونتانه درصد ظهور گیاهچه (۱۵ درصد) بیش از آگریا داشت. در رقم آگریا، تیمار کاربرد ABA در مرحله غده‌دهی با ۸۵ درصد ظهور گیاهچه، ٤٤ درصد بیش از گیاهان شاهد سبز شدگی داشت، درحالی‌که، در رقم فونتانه بیشترین درصد ظهور گیاهچه به‌میزان ۱۰۰ درصد از تیمار کاربرد ABA در مرحله استولن‌دهی به‌دست آمد که ۳۸ درصد بیش از گیاهان شاهد بود (جدول ۳).

نسبت آبسیزیک اسید به جیبرلین در محیط رشد غده سیب‌زمینی، عامل تعیین‌کننده زمان و درصد جوانه‌زنی است. در پژوهش حاضر مشاهده شد که غده‌های حاصل از گیاهان تیمار شده با ABA درصد ظهور گیاهچه و تعداد بوته مستقرشده بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشتند. غده‌های حاصل از کاربرد ABA جوانه‌های کوتاه‌تری نسبت به سایر غده‌ها تولید کردند که احتمالا نشان‌دهنده خواب طولانی‌تر این غده‌ها است. آبسیزیک اسید با القای خواب طولانی‌تر در دوره انبارداری باعث نزدیک‌تر شدن شکست خواب به زمان کاشت غده‌ها شده و از تخریب یا پوسیدگی جوانه‌های روی بذر حین انبارداری ممانعت می‌کند. همچنین، آبسیزیک اسید با القای تحمل به تنش‌ها ازجمله تنش خشکی، می‌تواند به بهبود جوانه‌زنی کمک کند. رینوزو و همکاران (۲۰۱۱) عنوان داشتند که ABA با القای خواب به بذرها مانع جوانه‌زنی زودهنگام در شرایط تنش شده و بذرها و جوانه‌ها را در این شرایط حفاظت می‌کند (۱۹). از طرفی، ABA با تحریک انتقال مواد پرورده به سمت غده‌ها موجب افزایش محتوای نشاسته و کربوهیدرات غده‌ها می‌شود (۳۵). بنابراین، این غده‌ها با دارا بودن مواد پرورده بیشتر انرژی لازم جهت تولید جوانه‌های بیشتر، رشد بهتر جوانه‌ها و استقرار بهتر بوته را فراهم می‌کنند.

نتایج این پژوهش نیز نشان داد که همبستگی معنی‌داری (R^2=۰/۸۸) بین طول جوانه و تعداد روز تا ظهور گیاهچه وجود داشت (شکل ۲الف). لومن (۱۹۹٤) گزارش کرد که اگر ریزغده‌های با طول جوانه بلندتر (تا ۸ میلی‌متر) کاشته شوند، زمان ظهور گیاهچه کوتاه‌تر می‌شود (۱۳). ساتل (۲۰۰۸) گزارش کرد که برخلاف جیبرلین که باعث رشد بیش از حد جوانه‌ها می‌شود و احتمال آسیب‌دیدگی و شکستگی آن‌ها زیاد است، سیتوکینین‌ها باعث به‌وجود آمدن جوانه‌هایی کوتاه‌تر، ضخیم‌تر و تنومندتر می‌شود که موجب کارایی بهتر در مزرعه می‌گردد (۳۱). کاربرد سیتوکینین موجب افزایش طول جوانه‌ها تا ۹ میلی‌متر شد که منجر به شکنندگی و آسیب‌پذیری جوانه‌ها و کاهش تعداد روز تا ظهور جوانه شد. از طرفی، جوانه‌های حاصل از کاربرد ABA در هر دو مرحله استولن‌دهی و غده‌دهی موجب کاهش طول جوانه‌های روی غده و افزایش درصد ظهور و استقرار گیاهچه شد. سلیمی و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که کاربرد جیبرلین موجب افزایش زیاد طول جوانه‌ها شده و باعث شکنندگی و آسیب‌پذیری آن به‌ویژه در زمان کاشت شده و از ارزش ریزغده می‌کاهد، اما کاربرد کربن‌دی‌سولفید باعث افزایش کنترل‌شده طول جوانه‌ها شد (۲۳).

جدول ۳- تأثیر کاربرد بنزیل آمینوپورین و آبسیزیک اسید بر درصد ظهور گیاهچه، تعداد بوته و تعداد ساقه دو رقم سیب‌زمینی.

Table 3. Effect of application of benzylaminopurine and abscisic acid on emergence percentage, plant number, and stem number per plant of two potato cultivars.

تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulator		درصد ظهور گیاهچه Emergence percentage		بوته در مترمربع Plant per m^2		تعداد ساقه در بوته Stem per plant	
		آگریا Agria	فونتانه Fontane	آگریا Agria	فونتانه Fontane	آگریا Agria	فونتانه Fontane
شاهد Control		47.6 ^{c}	61.8 ^{b}	3.3 ^{c}	4.3 ^{b}	2.2 ^{ab}	3.3 ^{a}
BAP S		66.6 $^{a-c}$	85.7 ^{ab}	4.6 $^{a-c}$	6.0 ^{a}	1.6 ^{ab}	2.0 ^{b}
ABA S		80.9 ^{ab}	100.0 ^{a}	5.6 ^{ab}	7.0 ^{a}	1.7 ^{ab}	1.6 ^{b}
BAP+ABA S		80.9 ^{ab}	85.7 ^{ab}	5.6 ^{ab}	6.0 ^{a}	2.5 ^{ab}	3.9 ^{a}
BAP T		52.3 ^{bc}	66.6 ^{b}	3.6 ^{bc}	4.6 ^{b}	1.1 ^{b}	4.1 ^{a}
ABA T		85.7 ^{a}	80.9 ^{ab}	6.0 ^{a}	5.6 ^{ab}	1.1 ^{b}	1.7 ^{b}
BAP+ABA T		52.3 ^{bc}	71.4 ^{b}	3.6 ^{bc}	5.0 ^{b}	3.1 ^{a}	3.7 ^{a}
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS		میانگین مربعات MS		میانگین مربعات MS	
بلوک Block	2	938.1	**	4.59	**	0.44	ns
رقم Cultivar (C)	1	1572.5	**	7.71	**	10.30	**
تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulator (PGR)	6	1166.5	**	5.71	**	5.33	**
رقم × تنظیم‌کننده رشد C×PGR	6	123.1	ns	0.60	ns	1.44	**
خطا Error	26	116.3		0.56		0.34	
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)			14.8		14.8		22.7

ABA S: آبسیزیک اسید در مرحله استولون‌دهی، BAP S: بنزیل آمینوپورین در مرحله استولون‌دهی، ABA T: آبسیزیک اسید در مرحله غده‌دهی، BAP T: بنزیل آمینوپورین در مرحله غده‌دهی. حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌های یک تیمار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد هستند. ns: غیرمعنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

BAP s: Benzylaminopurine at stolonization, BAP t: Benzylaminopurine at tuberization, ABA s: Abscisic acid at stolonization, ABA t: Abscisic acid at tuberization. Means with the same letters are not significantly different using Tukey test in 5% probability. ns: not statistically significant. * Statistically significant at P≤0.01. ** Statistically significant at P≤0.001.

تعداد بوته تحت تأثیر معنی‌دار رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین تعداد بوته در تیمار کاربرد ABA در مرحله استولن‌دهی مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری (۳۹ درصد) بیش از گیاهان شاهد بود. تعداد بوته در رقم فونتانه به‌طور معنی‌داری (۱۵ درصد) بیش از رقم آگریا بود. در رقم آگریا بیشترین تعداد بوته در تیمار کاربرد ABA در مرحله غده‌دهی مشاهده شد که به‌میزان ٤٤ درصد بیش از گیاهان شاهد بود، در حالی‌که در رقم فونتانه کاربرد ABA در مرحله استولن‌دهی بیشترین تعداد بوته را تولید کردند که ۲۷ درصد بیش از گیاهان شاهد بود (جدول ۳). تعداد ساقه در بوته تحت تأثیر معنی‌دار رقم، تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). رقم

فونتانه به‌طور متوسط ۳۲ درصد ساقه بیشتری در بوته نسبت به آگریا تولید کرد. در رقم آگریا، کاربرد BAP+ABA در مرحله غده‌دهی با میانگین ۳/۱ ساقه در بوته، به‌طور متوسط ۲۹ درصد ساقه بیشتری نسبت به گیاهان شاهد تولید کرد، اما در رقم فونتانه کاربرد BAP در مرحله غده‌دهی با میانگین ٤/۱ ساقه در بوته، ۱۸ درصد ساقه بیشتری نسبت به شاهد تولید کرد (جدول ۳).

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که همبستگی مثبتی (R^2=۰/۵۳) بین تعداد جوانه در غده و تعداد غده حاصل از کاشت آن وجود دارد (شکل ۲ ب). سیتوکینین‌ها با تأثیر بر تشکیل جوانه‌های جانبی موجب بهبود جوانه‌زنی می‌شوند (۳۳). زمان جوانه‌زنی، تعداد ساقه‌های اصلی و فرعی، شروع غده‌دهی، سرعت پر شدن غده و توزیع تعداد و اندازه غده‌های تولیدی تحت تأثیر تعداد و اندازه جوانه‌های روی غده‌های بذری در زمان کاشت قرار می‌گیرند (۲۵). هاورکورت و همکاران (۱۹۹۰) نیز عنوان کردند که تعداد غده‌های تولیدی سیب‌زمینی با افزایش تعداد جوانه‌های روی غده بذری افزایش یافت (۸). این یافته‌ها نشان می‌دهد که غده‌های با تعداد بیشتر جوانه پس از کاشت تعداد بیشتری غده در نسل بعد تولید می‌کنند. هاورکورت و همکاران (۱۹۹۰) رابطه خطی معنی‌داری بین تعداد جوانه‌های روی غده‌های بذری و تعداد ساقه، تعداد استولن‌ها و غده‌ها و تعداد جوانه‌های روی غده و تعداد غده‌های تولیدی مشاهده کردند (۸). آن‌ها تفاوت بین تعداد جوانه روی غده بذری را عمدتا ناشی از تفاوت شرایط پیش جوانه‌زنی و یا تفاوت رقم‌ها دانستند. قرار دادن غده‌ها در محلول ۲۰ پی‌پی‌ام بنزیل‌آدنین موجب شکستن غالبیت جوانه انتهایی و افزایش جوانه‌ها به ازای هر غده شد (۲۷).

سطح برگ تحت تأثیر معنی‌دار رقم، تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ٤). بیشترین سطح برگ در بوته در رقم آگریا در تیمار کاربرد BAP+ABA در مرحله غده‌دهی مشاهده شد که ٤٤ درصد بیش از گیاهان شاهد بود، درحالی‌که، در رقم فونتانه بیشترین میزان این صفات در کاربرد ABA در مرحله غده‌دهی مشاهده شد که ۳۷ درصد بیش از گیاهان شاهد بود (جدول ٤). وزن خشک اندام‌های هوایی تحت تأثیر معنی‌دار تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل تنظیم‌کننده رشد و رقم قرار گرفت (جدول ٤). بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی در رقم آگریا در تیمار کاربرد BAP+ABA در مرحله غده‌دهی ثبت شد، که به‌طور میانگین ۱۵ درصد بیش از گیاهان شاهد بود. در مورد رقم فونتانه، کاربرد ABA در مرحله غده‌دهی بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی را ثبت کردند که ۲۹ درصد بیش از گیاهان شاهد همین رقم بود.

جدول ٤- تأثیر کاربرد بنزیل آمینوپورین و آبسیزیک اسید بر سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی گیاهچه دو رقم سیب‌زمینی.

Table 4. Effect of application of benzylaminopurine and abscisic acid on leaf area and shoot dry weight of two potato cultivars.

تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulator	سطح برگ در بوته (سانتی‌متر در بوته) Leaf area (cm^2 $plant^{-1}$)		وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) Shoot dry weight (g $plant^{-1}$)	
	آگریا Agria	فونتانه Fontane	آگریا Agria	فونتانه Fontane
شاهد Control	530 ^{c}	677 $^{b-d}$	18.3 ^{b}	16.7 $^{a-c}$
BAP S	675 ^{de}	491 $^{b-e}$	12.8 $^{b-d}$	13.3 ^{bc}
ABA S	385 ^{f}	331 ^{e}	107.0 ^{cd}	8.5 ^{c}
BAP+ABA S	507 ^{ef}	471 $^{c-e}$	8.9 ^{d}	13.3 ^{bc}
BAP T	744 ^{cd}	8.7 ^{ab}	17.9 ^{bc}	13.4 ^{ab}
ABA T	906 ^{a}	1090 ^{a}	15.8 $^{b-d}$	23.6 ^{a}
BAP+ABA T	946 ^{a}	785 $^{a-c}$	21.6 ^{b}	17.0 $^{a-c}$

منابع تغییرات S.O.V	df	میانگین مربعات MS		میانگین مربعات MS	
بلوک Block	2	48942	ns	33.00	*
رقم Cultivar (C)	1	439776	*	18.50	ns
تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulator (PGR)	6	407256	**	173.30	**
رقم × تنظیم‌کننده رشد C×PGR	6	218674	**	83.70	**
خطا Error	26	25867		9.16	
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)			22.3		18.3

تعداد غده تحت تأثیر معنی‌دار رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد قرار گرفت (جدول ٥). رقم فونتانه با میانگین ٥/٨ غده در بوته به‌طور متوسط ١/٦ عدد یا به‌عبارتی ٢٦ درصد غده بیشتر در بوته نسبت به آگریا تولید کرد. در هر دو رقم، گیاهان تیمار BAP+ABA در مرحله غده‌دهی بیشترین تعداد غده در بوته را تولید کردند که در رقم آگریا و فونتانه این تعداد به‌ترتیب به میزان ٣٩ و ٢٢ درصد بیش از گیاهان شاهد بود (جدول ٥). از نظر میانگین وزن تک غده بین رقم‌ها، تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل آن‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. رقم آگریا با میانگین وزن تک غده ٤٦ گرم، به‌طور متوسط ٢٣ درصد و ١٠/٧ گرم غده‌های سنگین‌تری نسبت به رقم فونتانه تولید کرد. در رقم آگریا کاربرد BAP در مرحله استولن‌دهی بیشترین میانگین وزن غده را دارا بود که به میزان ١٦ درصد بیش از شاهد بود. در این شرایط کاربرد BAP+ABA در مرحله غده‌دهی کمترین وزن غده را داشتند. در رقم فونتانه نیز گیاهان تیمار BAP+ABA در مرحله استولن‌دهی بیشترین میانگین وزن غده را نسبت به سایر تیمارها و گیاهان شاهد تولید کردند که به میزان ٣١ درصد بیش از گیاهان شاهد بود (جدول ٥).

عملکرد غده در واحد سطح به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد قرار گرفت (جدول ٥). بیشترین عملکرد غده در رقم آگریا در تیمارهای BAP و BAP+ABA در مرحله استولن‌دهی مشاهده شد که به‌ترتیب ٢٥ و ٢١ درصد بیش از گیاهان شاهد بود، هرچند که این تفاوت‌ها از نظر آماری با گیاهان

شاهد معنی‌دار نبود. در رقم فونتانه نیز تیمار BAP+ABA در مرحله استولن‌دهی بیشترین عملکرد غده را تولید کرد که به میزان ۳۳ درصد بیش از گیاهان شاهد بود (جدول ۵). بررسی شاخص برداشت نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای تنظیم‌کننده رشد و اثر متقابل تنظیم‌کننده رشد و رقم وجود داشت (جدول ۵). در این بین در رقم آگریا، کاربرد BAP+ABA در مرحله استولن‌دهی با شاخص برداشت ۸۰ درصد به‌طور متوسط ۳۳ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد شاخص برداشت بیشتری داشت. در رقم فونتانه نیز تیمار ABA در مرحله استولن‌دهی با شاخص برداشت ۸۰ درصد، ۱۲ درصد افزایش در شاخص برداشت نسبت به گیاهان شاهد داشت (جدول ۵).

جدول ۵- تأثیر کاربرد بنزیل آمینوپورین و آبسیزیک اسید بر تعداد غده، میانگین وزن غده، عملکرد غده و شاخص برداشت دو رقم سیب‌زمینی.

Table 5. Effect of application of benzylaminopurine and abscisic acid on tuber number, mean tuber weight, yield, and harvest index of two potato cultivars.

تنظیم‌کننده‌رشد Plant growth regulator	تعداد غده در بوته Tuber per plant		میانگین وزن غده (گرم) Mean tuber weight (g)		عملکرد غده (گرم در مترمربع) Tuber yield (g m^{-2})		شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	
	آگریا Agria	فونتانه Fontane	آگریا Agria	فونتانه Fontane	آگریا Agria	فونتانه Fontane	آگریا Agria	فونتانه Fontane
شاهد Control	3.4 ^{b}	5.2 ^{ab}	53.5 ^{ab}	33.9 ^{ab}	1646 $^{a-c}$	1587 ^{bc}	53 ^{c}	70 $^{a-c}$
BAP S	3.9 ^{b}	5.1 ^{ab}	64.2 ^{a}	44.9 ^{ab}	2218 ^{a}	1996 ^{ab}	76 ^{a}	76 ^{ab}
ABA S	3.3 ^{b}	4.2 ^{b}	44.1 ^{bc}	39.4 ^{a}	1271 ^{c}	1466 ^{c}	70 ^{ab}	80 ^{a}
BAP+ABA S	5.6 ^{a}	5.5 ^{ab}	41.6 ^{bc}	49.2 ^{a}	2092 ^{ab}	2387 ^{a}	80 ^{a}	76 ^{ab}
BAP T	3.3 ^{b}	6.2 ^{ab}	42.2 ^{bc}	31.1 ^{ab}	1168 ^{c}	1700 ^{bc}	60 ^{bc}	63 $^{b-d}$
ABA T	4.8 ^{ab}	6.1 ^{ab}	37.9 ^{bc}	24.4 ^{b}	1578 $^{a-c}$	1309 ^{c}	63 ^{bc}	50 ^{d}
BAP+ABA T	5.7 ^{a}	6.7 ^{a}	28.7 ^{c}	24.1 ^{b}	1456 ^{bc}	1408 ^{c}	56 ^{c}	60 ^{cd}

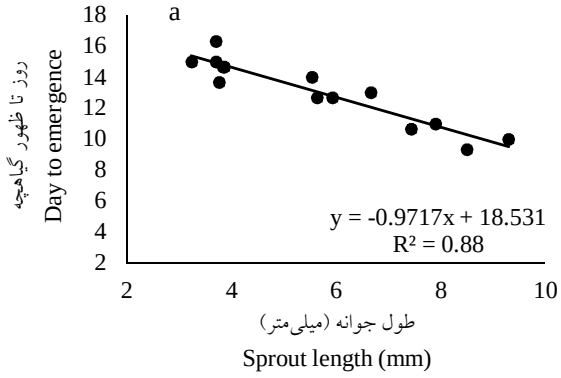
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS		میانگین مربعات MS		میانگین مربعات MS		میانگین مربعات MS	
بلوک Block	2	2.82	ns	65.5	ns	164145	ns	0.001	ns
رقم Cultivar (C)	1	17.40	**	906.2	**	34408	ns	0.005	ns
تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulator (PGR)	6	4.27	**	533.3	**	771985	**	0.052	**
رقم × تنظیم‌کننده رشد C×PGR	6	1.23	ns	137.8	*	128916	ns	0.013	**
خطا Error	26	0.66		70.9		102489		0.002	
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)			16.4		21.0		19.2		7.3

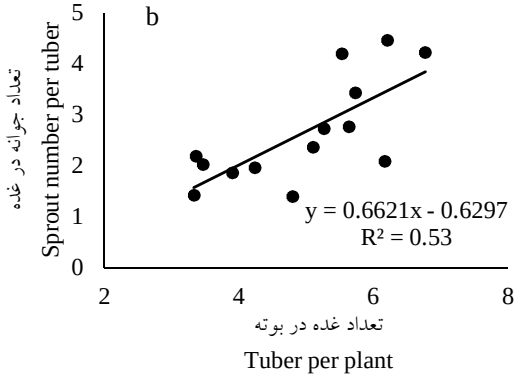
ABA S: آبسیزیک اسید در مرحله استولون‌دهی، BAP S: بنزیل آمینوپورین در مرحله استولون‌دهی، ABA T: آبسیزیک اسید در مرحله غده‌دهی، BAP T: بنزیل آمینوپورین در مرحله غده‌دهی. حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌های یک تیمار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد هستند. ns: غیرمعنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

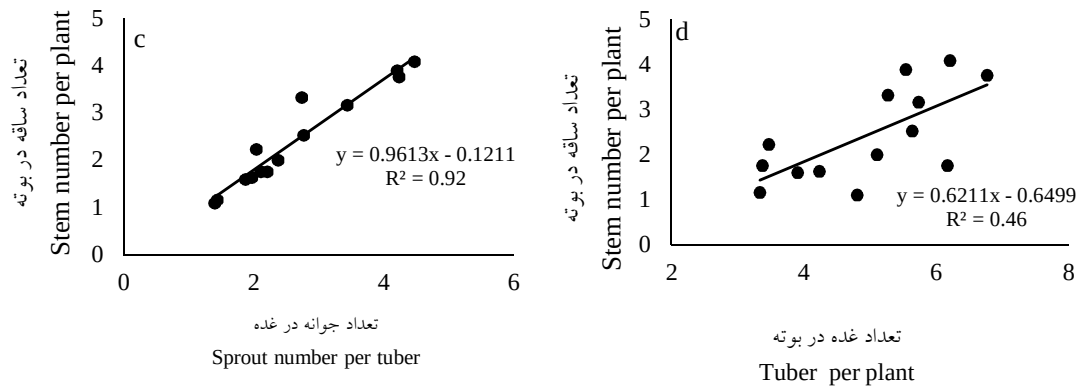
BAP s: Benzylaminopurine at stolonization, BAP t: Benzylaminopurine at tuberization, ABA s: Abscisic acid at stolonization, ABA t: Abscisic acid at tuberization. Means with the same letters are not significantly different using Tukey test in 5% probability. ns: not statistically significant. * Statistically significant at P≤0.01. ** Statistically significant at P≤0.001.

تعداد جوانه روی ریزغده با تعداد ساقه در بوته رابطه مثبت و معنی‌داری (R^2=۰/۹۲) نشان داد (شکل ۲ج). کاربرد BAP+ABA در مرحله غده‌دهی منجر به افزایش تعداد جوانه‌ها در غده مادری، تعداد ساقه و تعداد غده در بوته در هر دو رقم سیب‌زمینی شد. نتایج نشان می‌دهد که تعداد جوانه بیشتر در غده مادری باعث افزایش تعداد غده تولیدی در نسل بعد شد. ناولس و ناولس (٢٠٠٦) گزارش کردند که با افزایش تعداد ساقه در گیاه، تعداد غده افزایش و میانگین وزن غده کاهش یافت (١٠). در پژوهش حاضر مشاهده شد که افزایش تعداد ساقه در بوته با افزایش تعداد غده در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (شکل ۲د). بلاور و همکاران (٢٠١٣) گزارش کردند که کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد موجب تسریع ظهور گیاهچه‌ها، افزایش تعداد ساقه و غده در گیاه و کاهش میانگین وزن غده‌ها در سیب‌زمینی می‌شود (٢).

با شکستن خواب غده، رشد جوانه‌ها متکی به تأمین انرژی، مواد غذایی و سایر مواد موردنیاز برای رشد از طرف غده مادری می‌باشند (٢٦). در هر غده، جوانه‌ها برای منابع در دسترس رقابت می‌کنند، به‌ویژه وقتی غده مادری مانند ریزغده‌ها کوچک هستند. سبز شدن و استقرار گیاه سیب‌زمینی در مزرعه وابسته به الگوی رشد جوانه‌های مستقرشده روی غده بذری در زمان انبارداری است (٢٥). سیتوکینین‌ها عمدتا در تقسیم سلولی و افزایش قدرت مقصدهای فیزیولوژیک نقش دارند (٣٧). علاوه بر این، برخی پژوهشگران نشان دادند که طی شروع غده‌دهی، سیتوکینین آنزیم‌های بیوسنتز نشاسته را فعال می‌کند که منجر به تجمع آن و افزایش ظرفیت مقصد غده‌های در حال رشد سیب‌زمینی می‌شود (١٤). به نظر می‌رسد که کاربرد سیتوکینین در گیاهان مادری با تحریک تقسیم سلولی در غده‌ها، موجب پدید آمدن غده‌هایی قوی‌تر و با محتوای کربوهیدرات بیشتر شده که با حمایت بهتر جوانه‌ها، موجب پدید آمدن جوانه‌های بیشتر و قوی‌تر شده و گیاهان قوی‌تری تولید می‌شوند که این موجب استقرار بهتر و افزایش عملکرد غده می‌شود. پاسپیسیلوا و همکاران (٢٠٠٥) عنوان کردند که پیش تیمار گیاه با ABA موجب افزایش محتوای سیتوکینین می‌شود (١٧). پاسپیسیلوا و باتکووا (٢٠٠٤) گزارش کردند که کاربرد هم‌زمان ABA+BA اثرات مثبت بیشتری نسبت به کاربرد هر یک از این هورمون‌ها به تنهایی در چغندرقند شد (١٦). احتمالا، اثرات مثبت مربوط به کاربرد همزمان BAP+ABA بر تعداد ساقه در بوته و عملکرد و اجزای عملکرد به‌دلیل اثرات هم‌افزایی کاربرد همزمان این تنظیم‌کننده‌های رشد بوده است.







شکل ۲- رابطه بین طول جوانه و روز تا ظهور گیاهچه (a)، تعداد جوانه در غده و تعداد غده (b)، تعداد جوانه در غده و تعداد ساقه در بوته (c) و تعداد ساقه و تعداد غده در بوته (d) دو رقم ریزغده سیب‌زمینی (آگریا و فونتانه) در اثر کاربرد بنزیل‌آمینوپورین و آبسیزیک‌اسید.

Figure 2. Relationship between length of sprout and day to emergence (a), number of sprout and number of tuber (b), number of sprout and number of stem (c), and number of stem and number of tuber (d) of potato minituber cultivar (Agria and Fontane) as affected by benzylaminopurine and abscisic acid.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که کاربرد BAP و ABA می‌تواند به‌طور مؤثری فرایند تولید جوانه روی بذر و استقرار گیاه در مزرعه را بهبود ببخشد. به‌طورکلی، به نظر می‌رسد که BAP با افزایش تعداد و طول جوانه‌ها موجب کاهش زمان ظهور گیاهچه‌ها، و از طرفی، ABA موجب کاهش طول جوانه‌های روی غده و بهبود درصد ظهور و استقرار گیاهچه‌ها در شرایط مزرعه می‌شود. از آنجایی‌که رشد جوانه‌ها تا حد زیادی متکی به تامین انرژی مورد نیاز از طرف غده مادری است، به‌نظر می‌رسد که هر دوی BAP و ABA موجب بهبود قدرت مقصدهای فیزیولوژیک یعنی غده‌ها شده و غده‌های قوی‌تر انرژی بیشتری برای حمایت جوانه‌ها در مراحل بعدی رشد در مزرعه را فراهم می‌کنند. در نهایت، این اثرات وابسته به رقم است و مطالعه بیشتر در جهت درک بهتر مزایا و معایب استفاده هر یک از این تنظیم‌کننده‌های رشد به منظور بهبود تولید جوانه در غده، استقرار بوته و تولید ریزغده توصیه می‌شود.

منابع

1. Biemelt, S., Hajirezaei, M., Hentschel, E., and Sonnewald, U. 2000. Comparative analysis of abscisic acid content and starch degradation during storage of tubers harvested from different potato varieties. Potato Res., 43: 371-382.
2. Blauer, J.M., Knowles, L.O., and Knowles, N.R. 2013. Manipulating stem number, tuber set and size distribution in specialty potato cultivars. Am. J. Potato Res., 90: 470-496
3. Davies, P.J. 2010. Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action! Springer Science and Business Media. 835p.
4. Ewing, E.E. 1995. The role of hormones in potato (*Solanum tuberosum L.*) tuberization. P 698-724, In: Davies P.J. (ed.), Plant Hormones, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
5. Farran, I., and Mingo-Castel, A.M. 2006. Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. Am. J. Potato Res., 83: 47-53.
6. FAOSTAT. 2014. Agriculture organization of the united nations. www.fao.org.

7. Hartmann, A., Senning, M., Hedden, P., Sonnewald, U., and Sonnewald, S. 2011. Reactivation of meristem activity and sprout growth in potato tubers require both cytokinin and gibberellin. Plant Physiol., 155: 776-796.
8. Haverkort, A., Van de Waart, M., and Bodlaender, K. 1990. Interrelationships of the number of initial sprouts, stems, stolons and tubers per potato plant. Potato Res., 33: 269-274.
9. Hoagland, D.R., and Arnon, D.I. 1950. The Water-culture Method for Growing Plants Without Soil. Circular. California Agricultural Experiment Station., 347p.
10. Knowles, N.R., and Knowles, L.O. 2006. Manipulating stem number, tuber set, and yield relationships for northern-and southern-grown potato seed lots. Crop Sci., 46: 284-296.
11. Kumar, D., Singh, V., and Singh, B. 2011. Growth and yield of potato plants developed from *in vitro* plantlets in nethouse. Potato J., 38: 143-148.
12. Kumar, D., Singh, V., Singh, R., Singh, B., and Naik, P. 2007. Performance of *in vitro* plantlets for production of minitubers in vector free environment. Potato J., 34: 131-132.
13. Lommen, W.J. 1994. Effect of weight of potato minitubers on sprout growth, emergence and plant characteristics at emergence. Potato Res., 37: 315-322.
14. Mingo-Castel, A.M., Young, R.E., and Smith, O. 1976. Kinetin-induced tuberization of potato *in vitro*: on the mode of action of kinetin. Plant cell physiol., 17: 557-570.
15. Murashige, T., and Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant., 15: 473-497.
16. Pospíšilová, J., and Baťková, P. 2004. Effects of pre-treatments with abscisic acid and/or benzyladenine on gas exchange of French bean, sugar beet, and maize leaves during water stress and after rehydration. Biol. Plant., 48: 395-399.
17. Pospisilova, J., Vagner, M., Malbeck, J., Travnickova, A., and Batkova, P. 2005. Interactions between abscisic acid and cytokinins during water stress and subsequent rehydration. Biol. Plant., 49: 533-540.
18. Ramawat, K.G., and Merillon, J.M. 2013. Bulbous Plants: Biotechnology. CRC Press. 450p.
19. Reinoso, H., Travaglia, C., and Bottini, R. 2011. ABA Increased Soybean Yield by Enhancing Production of Carbohydrates and Their Allocation in Seed. INTECH Open Access Publisher.
20. Rentzsch, S., Podzimska, D., Voegele, A., Imbeck, M., Müller, K., Linkies, A., and Leubner-Metzger, G. 2012. Dose-and tissue-specific interaction of monoterpenes with the gibberellin-mediated release of potato tuber bud dormancy, sprout growth and induction of α-amylases and β-amylases. Planta., 235: 137-151.
21. Romanov, G. 2009. How do cytokinins affect the cell? Russ. J. Plant Physiol., 56: 268-290.
22. Rossouw, J.A. 2008. Effect of cytokinin and gibberellin on potato tuber dormancy. M.Sc. Thesis. University of Pretoria.
23. Salimi, K., Tavakol-Afshari, R., Hosseini, M., and Struik, P. 2010. Effects of gibberellic acid and carbon disulphide on sprouting of potato minitubers. Sci. Hortic., 124: 14-18.
24. Struik, P. 2007a. The canon of potato science: 25. Minitubers. Potato Res., 50: 305-308.
25. Struik, P., and Lommen, W. 1999. Improving the field performance of micro-and minitubers. Potato Res., 42: 559-568.
26. Struik, P.C. 2007b. Above-ground and below-ground plant development. P 219-236. In: Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, Ch., Govers, F., Mackerron, D., Taylor, M., and Ross, H. (eds). Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives., 856p.
27. Struik, P.C., and Wiersema, S.G. 2007. Seed Potato Technology. Wageningen Academic Pub., 383p.
28. Suttle, J.C. 1995. Postharvest changes in endogenous ABA levels and ABA metabolism in relation to dormancy in potato tubers. Physiol. Plant., 95: 233-240.
29. Suttle, J.C. 1998. Postharvest changes in endogenous cytokinins and cytokinin efficacy in potato tubers in relation to bud endodormancy. Physiol. Plant., 103: 59-69.

30. Suttle, J.C. 2007. Dormancy and sprouting. P 287-305. In: Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, Ch., Govers, F., Mackerron, D., Taylor, M., and Ross, H. (eds). Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives., 856p.
31. Suttle, J.C. 2008. Effects of synthetic phenylurea and nitroguanidine cytokinins on dormancy break and sprout growth in Russet Burbank minitubers. Am. J. Potato Res., 85: 121-128.
32. Suttle, J.C., Abrams, S.R., De Stefano-Beltrán, L., and Huckle, L.L. 2012. Chemical inhibition of potato ABA-8'-hydroxylase activity alters *in vitro* and *in vivo* ABA metabolism and endogenous ABA levels but does not affect potato microtuber dormancy duration. J. Exp. Bot., 63: 5717-5725.
33. Tanaka, M., Takei, K., Kojima, M., Sakakibara, H., and Mori, H. 2006. Auxin controls local cytokinin biosynthesis in the nodal stem in apical dominance. Plant J., 45: 1028-1036.
34. Travaglia, C., Cohen, A.C., Reinoso, H., Castillo, C., and Bottini, R. 2007. Exogenous abscisic acid increases carbohydrate accumulation and redistribution to the grains in wheat grown under field conditions of soil water restriction. J. Plant Growth Regul., 26: 285-289.
35. Travaglia, C., Reinoso, H., Cohen, A., Luna, C., Tommasino, E., Castillo, C., and Bottini, R. 2010. Exogenous ABA increases yield in field-grown wheat with moderate water restriction. J. Plant Growth Regul., 29: 366-374.
36. Viola, R., Pelloux, J., Van der Ploeg, A., Gillespie, T., Marquis, N., Roberts, A.G., and Hancock, R.D. 2007. Symplastic connection is required for bud outgrowth following dormancy in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. Plant Cell Environ., 30: 973-983.
37. Vreugdenhil, D. 2004. Comparing potato tuberization and sprouting: Opposite phenomena? Am. J. Potato Res., 81: 275-280.