نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد 15، شماره 4، زمستان 1396، ص. 797-786

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 4, Winter. 2018, p. 786-797

ارزیابی اثر زمان و غلظت محلول‌پاشی پاکلوبوترازول بر تولید و خصوصیات جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*)

بیژن سعادتیان[1]- محمد کافی[2*]- محمد بنایان اول[2]- جعفر نباتی[3]

تاریخ دریافت: 1394/11/03
تاریخ پذیرش: 1395/03/29

چکیده

یکی از راه‌های افزایش تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد است که نقش مؤثری نیز بر خواب غده‌ها دارند. بدین منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال 1393 اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در دو مرحله آغازش استولون و آغازش غده و شش سطح غلظت (صفر، 20، 40، 60، 80 و 100 میلی‌گرم در لیتر) بود. نتایج بیانگر تأثیر منفی غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول بر صفات تعداد، طول، قطر و وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی بود. در تیمار محلول‌پاشی غلظت 20 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول در زمان آغازش استولون، بیشترین تعداد ریزغده در بوته به‌دست آمد، اما در سایر سطوح تأثیر پاکلوبوترازول بر صفات یاد شده منفی بود. به‌طور کلی تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی مرحله آغازش غده بر صفات تعداد، طول، قطر و وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی، کمتر از آغازش استولون بود. افزایش غلظت پاکلوبوترازول خواب ریزغده‌های سیب‌زمینی را طولانی‌تر و سرعت جوانه‌زنی را کاهش داد. کاربرد پاکلوبوترازول در مرحله آغازش غده بازدارندگی بیشتری بر جوانه‌زنی ریزغده‌ها داشت. به‌طوری‌که در بالاترین غلظت پاکلوبوترازول، مدت زمان رسیدن به 5، 10، 50، 90 و 95 درصد جوانه‌زنی در تیمار محلول‌پاشی آغازش غده نسبت به آغازش استولون به‌ترتیب 11، 13، 17، 19 و 17 درصد افزایش نشان داد. به‌طورکلی محلول‌پاشی پاکلوبوترازول، تأثیر منفی بر تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی و جوانه‌زنی آنها داشت.

واژه‌های کلیدی: اندازه غده، تنظیم‌کننده‌ی رشد، خواب غده، رقم اگریا

مقدمه

امروزه آلودگی غده‌های سیب‌زمینی به انواع ویروس و بیماری‌ها، خطر کاهش انبارداری و عدم امکان استفاده از محصول به‌منظور کشت بعدی را سبب شده است (Ozturk and Yildirim, 2010). از این رو توجه به تکنیک‌های نوین به‌منظور تولید غده‌های بذری عاری از ویروس و سایر عوامل بیماری‌زا جهت افزایش سلامت غده، افزایش تولید و بهره‌وری از شرایط محیطی و قابلیت انبارداری در سیب‌زمینی بیش از پیش ضروری است (Saadatian Vreugdenhil, 2007; and Kafi, 2015).

تولید غده‌های بذری سالم سیب‌زمینی از طریق ریز ازدیادی و کشت بافت در شرایط کنترل‌شده یک روش بسیار موفق در این زمینه است (Ozturk and Yildirim, 2010; Struik, 2007). از مزایای این روش می‌توان به انعطاف‌پذیری و راندمان بالای تولید در واحد سطح و زمان، قابلیت تولید در طول سال و ضریب اطمینان بالا از نظر سلامت بذر اشاره کرد (Kanwal *et al.*, 2006; Ozturk and Yildirim, 2010; Vreugdenhil, 2007; Saadatian and Kafi, 2015). در این روش ابتدا بافت مریستمی از غده‌های مادری سالم در محیط کشت پرورش و تمایزیافته و در نهایت گیاهچه‌های عاری از بیماری تولید شده به بسترهای کشت گلخانه‌ای جهت تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی منتقل می‌گردند (Ritter *et al.*, 2001; Farran and Mingo-Castel, 2006) و در سراسر جهان به‌عنوان پل ارتباطی بین تکثیر سریع گیاهچه‌های درون شیشه‌ای براساس قلمه‌های گرهی و تکثیر مزرعه‌ای غده‌های بذری سیب‌زمینی به‌شمار می‌رود (Struik, 2007). ریزغده‌ها برای تولید بذر کلاس برتر (Super) سیب‌زمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Ozturk and Yildirim, 2010; Saadatian and Kafi, 2015).

1- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
2- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
3- استادیار، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: m.kafi@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v15i4.53270

اگرچه تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی در شرایط کشت هیدروپونیک و با استفاده از محلول‌های غذایی به‌عنوان یک روش مطلوب برای تولید غده‌های بذری به‌شمار می‌رود (Lim *et al.*, 2004; Saadatian and Kafi, 2015). اما با توجه به هزینه‌های اولیه بسیار بالای آن، افزایش راندمان تولید در واحد سطح و زمان مورد توجه است (Bandara *et al.*, 1998; Lim *et al.*, 2004; Saadatian and Kafi, 2015). یکی از روش‌های پیش‌رو جهت تحقق اهداف یاد شده، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است. این مواد با تأثیر بر تعادل هورمونی گیاه و تغییر در تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف، نقش تعیین‌کننده‌ای در تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی دارند (Bandara and Tanino, 1995; Bandara *et al.*,1998; Lim *et al.*, 2004; Alexopoulos *et al.*, 2007). اما در کاربرد این مواد پارامترهای بسیاری از قبیل نوع ماده، غلظت، زمان و رقم بسیار تعیین‌کننده است (Bandara and Tanino, 1995; Harvey *et al.*,1991; Bandara*et al.*, 1998; Lim *et al.*, 2004; Alexopoulos *et al.*, 2007).

در بین تنظیم‌کننده‌های رشد تریازول پاکلوبوترازول در غده‌زایی سیب‌زمینی مورد استفاده قرار گرفته است (Balamani and Poovaiah, 1985; Lim *et al.*,2004). ملکی لجایر و همکاران (Maleki Lajayer *et al.*, 2011) در کشت درون شیشه‌ای سیب‌زمینی به‌منظور تولید میکروتیوبر دریافتند که غلظت‌های چهار میکرومول پاکلوبوترازول و یک میکرومول آبسیزیک اسید تشکیل غده را در شرایط نوری فراهم نمود و مقدار آن را افزایش داد. تحقیقات دیگر نیز نشان داده که پاکلوبوترازول به‌طور معنی‌داری موجب بهبود غده‌زایی سیب‌زمینی در محیط آزمایشگاهی (Harvey *et al.*, 1991; Simko, 1993) و گلخانه‌ای (Balamani and Poovaiah, 1985; Bandara and Tanino, 1995; Lim *et al.*, 2004) شده است.

خواب بذر یکی از عوامل محدودکننده جوانه‌زنی و رشد گیاه و سازوکاری برای حفظ بقا به‌شمار می‌رود، اما شکستن آن برای ادامه نسل ضروری است. خواب غده سیب‌زمینی مانند سایر گیاهان یک فرآیند طبیعی در سیب‌زمینی به‌شمار می‌رود (Lim *et al.*, 2004). دوره خواب غده‌های سیب‌زمینی از چند هفته تا چندین ماه متغیر است و بستگی به رقم، شرایط کشت مانند تناوب نوری، دما و مواد غذایی و شرایط انبارداری (Claassens and Vreugdenhil, 2000) و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد (Bandara and Tanino, 1995; Bandara *et al.*, 1998; Claassens and Vreugdenhil, 2000; Lim *et al.*, 2004; Alexopoulos *et al.*, 2007; Tekalign and Hames, 2004; Tekalign and Hames, 2005) دارد. زمانی‌که غده‌ها برای مصرف خوراکی در نظر گرفته می‌شوند یک دوره طولانی خواب برای افزایش عمر انبارداری مناسب است. اما در مورد ریزغده‌ها که به‌عنوان بذر مصرف می‌شوند و بین تولید آن‌ها در گلخانه و کاشت در مزرعه در غالب موارد زمان محدودی وجود دارد، اطلاع از دوره خواب امری ضروری خواهد بود (Alexopoulos *et al.*, 2007). خواب غده‌های بذری سیب‌زمینی عدم یکنواختی در جوانه‌زنی و سبز شدن را نیز به همراه دارد (Lim *et al.*, 2004). نتایج برخی مطالعات از تأثیر کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد از جمله پاکلوبوترازول در فرآیند تولید ریزغده بر خواب آن حکایت دارد (Bandara and Tanino, 1995; Lim *et al.*, 2004; Tekalign and Hames, 2004; Tekalign and Hames, 2005).

با توجه به مطالب بیان شده، لزوم استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد برای تغییر در تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی امری اجتناب‌ناپذیر است. از سویی دیگر کاربرد مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی امکان تأثیر بر فرآیندهای مرتبط با خواب و جوانه‌زنی ریزغده‌ها را داراست. لذا در این تحقیق ضمن بررسی اثر غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول در مراحل رشدی مختلف بر تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی رقم آگریا، فرآیند جوانه‌زنی و طول دوره خواب آنها نیز مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال 1393 اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در دو مرحله آغازش استولون (35 روز پس از انتقال گیاهچه‌ها) و آغازش غده (50 روز پس از انتقال گیاهچه‌ها) و سطوح غلظت آن (شاهد (بدون محلول‌پاشی)، 20، 40، 60، 80 و 100 میلی‌گرم در لیتر) بود. به‌منظور افزایش کارایی محلول‌پاشی از مویان سیتوگیت با غلظت دو در هزار (Rashed Mohassel *et al.*, 2011) استفاده شد. هر تکرار شامل چهار گیاهچه بود.

گیاهچه‌های مورد نیاز از طریق کشت بافت با استفاده از کشت گره از رقم آگریا در محیط کشت موراشیک اسکوگ (MS) و شرایط درون شیشه‌ای، تهیه شد. پس از 25 روز گیاهچه‌های عاری از عوامل بیماری‌زا و یک اندازه انتخاب و پس از زدودن بقایای محیط کشت از ریشه‌ها با شستشو توسط آب، به گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه 12 سانتی‌متر و ارتفاع 30 سانتی‌متر انتقال یافتند. بستر مورد استفاده شامل پرلیت، کوکوپیت و ماسه به نسبت‌های 4:3:3 بود. نیمی از بستر در زمان انتقال و نیم دیگر آن در دو مرحله 15 و 30 روز پس از انتقال، به‌منظور خاک‌دهی بوته استفاده شد. در طول دوره آزمایش گیاهچه‌های سیب‌زمینی با محلول غذایی هوگلند تصحیح شده (جدول 1) تغذیه شدند. محلول‌دهی هر هفته یک بار و با حجم 100 میلی‌لیتر به‌ازای هر گلدان انجام شد. به غیر از محلول‌دهی، هفته‌ای دو بار نیز گیاهچه‌ها با آب مقطر و به مقدار 100 میلی‌لیتر با فاصله دو

روز یکبار و توسط بشر مدرج آبیاری شدند اسیدیته محلول در حد 5/6 تنظیم گردید. دمای روز و شب گلخانه به‌ترتیب 2±24 و 2±18 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی در حدود 40 درصد تنظیم شده بود (Haghighi and Pessarakli, 2013). در هر دو مرحله از رشد گیاهچه‌های سیب‌زمینی، محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول در ساعات پایانی روز و در داخل محفظه تهیه شده با استفاده از اسپری به‌صورت دستی انجام شد. محلول‌پاشی به گونه‌ای صورت گرفت که تمامی سطح گیاه خیس شده و قطرات آب از برگ‌های آن جاری شود.

جدول 1- ترکیبات شیمیایی و غلظت‌های مورد استفاده برای محلول غذایی هوگلند تصحیح شده

Table 1- Chemical component and concentrations used for corrected Hoagland solution

ترکیب شیمیایی Chemical component	نام ماده Material name	گرم برای 100 لیتر g for 100 liter
NH_4NO_3	نیترات آمونیوم	80
$Ca(NO_3)_2$	نیترات کلسیم	118
KNO_3	نیترات پتاسیم	49
$MgSO_4$	سولفات منیزیم	50.5
KH_2PO_4	پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات	6.8
H_3BO_3	اسید بوریک	0.286
$MnCl_2$	کلرید منگنز	0.181
$ZnSO_4$	سولفات روی	0.022
$CuSO_4$	سولفات مس	0.005
Na_2MoO_4	سدیم مولیبدنات	0.012
Na-Fe-EDTA	کلات آهن	4.2

پس از طی 95 روز از انتقال گیاهچه‌ها به محیط گلخانه، برداشت اندام هوایی و ریزغده‌های 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 در دمای اتاق 2±20 به مدت دو هفته قرار گرفت تا ترمیم زخم‌های ایجاد شده در طی برداشت انجام گیرد. سپس ریزغده‌ها به محیط خنک با دمای 2±8 و رطوبت نسبی 10 درصد انتقال یافتند. پس از طی دو ماه به‌منظور بررسی شکستن خواب، جوانه‌زنی ریزغده‌ها هر دو روز یک بار مورد بررسی قرار گرفت. از زمان مشاهده اولین جوانه‌زنی (سه ماه پس از برداشت)، ثبت تعداد ریزغده‌های جوانه‌زده آغاز و به‌عنوان مبنای زمانی آغاز آزمایش تست جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی در نظر گرفته شد. آزمایش پس از جوانه‌زنی تمام ریزغده‌ها پایان یافت. معیار شکستن خواب ظهور یک جوانه بلندتر از دو میلی‌متر در ریزغده بود (Lim *et al.*, 2004).

به‌منظور تعیین صفات زمان رسیدن به پنج درصد حداکثر جوانه‌زنی (D05)، زمان رسیدن به 10 درصد حداکثر جوانه‌زنی (D10)، زمان رسیدن به 50 درصد حداکثر جوانه‌زنی (D50)، زمان رسیدن به 90 درصد حداکثر جوانه‌زنی (D90) و زمان رسیدن به 95 درصد حداکثر جوانه‌زنی (D95) از برنامه Germin[1] استفاده شد. این برنامه در محیط Excel و توسط ابزار macro نوشته شده است. این برنامه پارامترهای یاد شده را برای هر تکرار و هر تیمار غده‌های بذری از طریق درون‌یابی معادلات تعریف شده، منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان را محاسبه می‌کند و نقاط مورد نظر را در خروجی برنامه ارائه می‌دهد. سرعت جوانه‌زنی از طریق معادله (1) به‌دست آمد (Soltani *et al.*, 2002).

$$R50 = 1/D50 \qquad \text{معادله (1)}$$

در این معادله R50: سرعت جوانه‌زنی (ساعت/1) و D50: زمان رسیدن به 50 درصد حداکثر جوانه‌زنی است.

تجزیه واریانس داده‌ها و همبستگی بین صفات توسط نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده (FLSD) و در سطح پنج درصد صورت گرفت. رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

اثر غلظت و زمان محلول‌پاشی پاکلوبوترازول بر تعداد ریزغده در بوته

تأثیر غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول و اثرات متقابل غلظت و مرحله رشدی در صفت تعداد غده در بوته معنی‌دار ($p\leq0/01$) بود. درحالی‌که اثر اصلی مرحله رشدی بر صفت یاد شده تأثیر معنی‌داری ($p\geq0/05$) نداشت (جدول 2). تیمار کاربرد غلظت 20 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول در مرحله آغازش استولون، موجب تولید بالاترین تعداد

1- این برنامه توسط دکتر افشین سلطانی عضو هیأت علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان نوشته شده است.

ریزغده شد (جدول 3). اما با افزایش غلظت از 20 میلی‌گرم در لیتر به‌تدریج تأثیر منفی محلول‌پاشی پاکلوبوترازول مشاهده شد. به‌طوری‌که در غلظت‌های 60، 80 و 100 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول، تعداد غده در بوته نسبت به شاهد به‌ترتیب 35، 42 و 42 درصد کاهش نشان داد (جدول 3). اگرچه کاربرد تیمارهای 20 و 40 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به شاهد در مرحله آغازش غده تأثیر معنی‌داری بر تعداد ریزغده تولیدی نداشت، اما با افزایش غلظت پاکلوبوترازول در این مرحله رشدی، تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری نقصان یافت (جدول 3). بین غلظت‌های پاکلوبوترازول در دو مرحله رشدی اختلاف وجود داشت. به‌طوری‌که تیمارهای 60، 80 و 100 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول به‌کار رفته در مرحله آغازش استولون، نسبت به کاربرد این تیمارها در مرحله آغازش غده به‌ترتیب 34/6، 24/9 و 16/3 درصد ریزغده کمتری تولید کردند (جدول 3).

اثر غلظت و زمان محلول‌پاشی پاکلوبوترازول بر طول و قطر ریزغده

اثر اصلی غلظت پاکلوبوترازول و مرحله رشدی و اثرات متقابل آنها در صفات طول و قطر ریزغده‌های سیب‌زمینی معنی‌دار ($p\leq0/01$) بود (جدول 2). بیشترین مقادیر صفات طول و قطر ریزغده‌ها در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول 2). با افزایش غلظت پاکلوبوترازول در هر مرحله رشدی، طول و قطر ریزغده‌های سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول 3). محلول‌پاشی غلظت‌های 20، 40، 60، 80 و 100 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول در مرحله آغازش استولون در مقایسه با شاهد میانگین طول ریزغده سیب‌زمینی را به‌ترتیب 10/4، 22/1، 25، 28/2 و 26/6 درصد کاهش داد. تأثیر منفی کاربرد پاکلوبوترازول در مرحله آغازش غده بر طول ریزغده‌ها کمتر از آغازش استولون بود. به‌طوری‌که اثر کاهشی محلول‌پاشی غلظت‌های 20، 40، 60، 80 و 100 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول در مرحله آغازش غده بر میانگین طول ریزغده‌ها به‌ترتیب 5/9، 12/9، 20/3، 16/5 و 17/3 درصد بود (جدول 3). قطر ریزغده نیز همچون طول آن با افزایش غلظت پاکلوبوترازول در هر مرحله رشدی کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول 3). در هر یک از سطوح غلظت 20 و 40 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول، قطر ریزغده‌های حاصل از کاربرد در مرحله آغازش غده به‌طور معنی‌داری بیشتر از کاربرد پاکلوبوترازول در مرحله آغازش استولون بود (جدول 3). اما در سایر سطوح، تفاوت آماری بین میانگین‌ها وجود نداشت (جدول 3).

اثر غلظت و زمان محلول‌پاشی پاکلوبوترازول بر وزن ریزغده

هرچند تیمار مرحله رشدی تأثیر معنی‌داری بر وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی نداشت، اما اثر اصلی غلظت‌های پاکلوبوترازول معنی‌دار ($p\leq0/01$) بود. همچنین اثرات متقابل مرحله رشدی و غلظت نیز معنی‌دار ($p\leq0/05$) شد (جدول 2). کاربرد غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول در هر مرحله رشدی تأثیر منفی بر میانگین وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی داشت. در هریک از سطوح 20 و 40 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول، میانگین وزن ریزغده‌های حاصل از محلول‌پاشی در مرحله آغازش غده به‌طور معنی‌داری بالاتر از آغازش استولون بود. اما در سایر سطوح تفاوتی بین تیمارهای دو مرحله پاشش مشاهده نشد. با کاربرد پاکلوبوترازول در هر دو مرحله رشدی، کمترین مقادیر میانگین وزن ریزغده‌ها در غلظت‌های 80 و 100 میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد (جدول 3).

در آزمایش حاضر پاکلوبوترازول تأثیر معنی‌داری بر صفات تعداد، طول، قطر و وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی داشت و در غالب تیمارها سبب کاهش صفات یاد شده گردید. در ادامه همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات یاد شده مشاهده شد (جدول 4). به‌عبارت دیگر به‌طور کلی، صفات تعداد، طول، قطر و وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی روند کاهشی مشابهی با افزایش غلظت کاربرد پاکلوبوترازول داشتند. برخلاف نتایج حاضر، در سایر مطالعات با کاربرد سطوح مختلف غلظت‌های پاکلوبوترازول حتی در سطوح بین150 الی 450 میلی‌گرم در لیتر در هر دو مرحله آغازش استولون و غده، تعداد ریزغده‌های سیب‌زمینی افزایش نشان داد (Balamani and Poovaiah, 1985; Bandara and Tanino, 1995; Lim *et al.*, 2004) حتی یافته‌های آزمایشگاهی نیز مؤید تأثیر مثبت پاکلوبوترازول بر غده‌زایی سیب‌زمینی بوده است (Harvey *et al.*, 1991; Simko, 1993; Maleki Lajayer *et al.*, 2011). در حالی‌که در این آزمایش چنین نتایجی مشاهده نشد. به اعتقاد محققان تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد به عوامل متعددی از جمله رقم و شرایط رشدی از جمله محیط کشت و حجم فضای در دسترس اندام زیرزمینی بستگی دارد (Bandara *et al.*, 1998; Lim *et al.*, 2004). لذا به‌نظر می‌رسد احتمالاً هر یک از این عوامل به‌تنهایی یا به‌صورت توأم بر تیمار پاکلوبوترازول اثرگذار بوده و درنهایت نتایج متناقض با مطالعات پیشین به‌دست آمده است. از سویی دیگر، غده‌زایی سیب‌زمینی توسط توازن مثبت یا منفی ایجاد شده بین تنظیم‌کننده‌های رشد کنترل می‌گردد (Lim *et al.*, 2004). همچنین عنوان شده که پاکلوبوترازول با توقف مرحله اول بیوسنتز جیبرلیک اسید که نقش منفی بر غده‌زایی دارد، موجب افزایش تعداد ریزغده‌های سیب‌زمینی می‌گردد (Tekalign and Hames, 2004; Tekalign and Hames, 2005).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کاربرد غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول در مراحل مختلف رشدی بر تعداد، طول، قطر، وزن و خصوصیات جوانه‌زنی ریز غده‌های سیب‌زمینی

Table 2- Analyze of variance (Mean squares) of paclubutrazol and growth stage effect on number, length, diameter, weight and germination characters of potato minitubers

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares								
		تعداد ریزغده در بوته Number of minituber per plant	طول ریزغده Minituber length	قطر ریزغده Minituber diameter	میانگین وزن ریز غده Mean of minituber weight	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	D05	D10	D50	D90	D95
تکرار Replication	3	0.171^{ns}	0.073**	0.007^{ns}	0.378*	0.00000003^{ns}	71^{ns}	64^{ns}	250^{ns}	127^{ns}	118.9^{ns}
مرحله رشد Growth stage (S)	1	0.293^{ns}	0.401**	0.189**	0.279^{ns}	0.00000064**	10674**	9339**	10442**	20750**	22205**
پاکلوبوترازول Paclobutrazol (P)	5	8.729**	0.812**	0.453**	14.4**	0.00008314**	57015**	67159**	125886**	119603**	122845**
S×P	5	0.721**	0.043**	0.065**	0.28*	0.00000004^{ns}	477*	472**	1601**	2669**	2440**
خطا Error	33	0.099	0.010	0.012	0.088	0.00000003	145.4	117	119	171	173
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	7.0	3.7	5.8	4.1	4.0	6.9	5.5	3.6	3.1	3.0

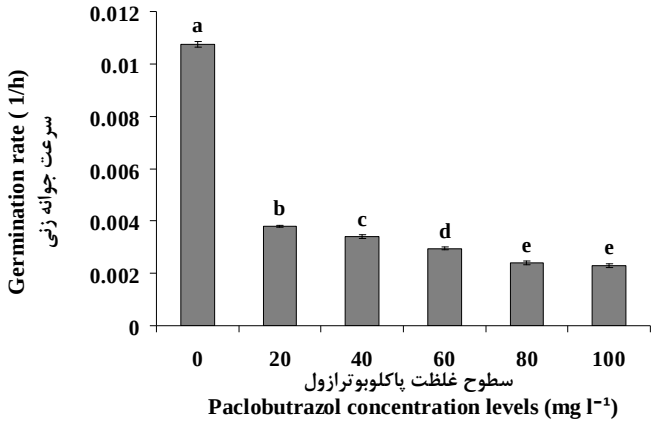
ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns, * and ** not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

در ادامه نیز نتایج مؤید نقش مؤثر جیبرلیک اسید در رشد و ایجاد اندام‌های هوایی تولیدکننده مواد فتوسنتزی است (Balamani and Poovaiah, 1985; Tekalign and Hames, 2005). لذا با توجه به این مطالب، احتمالاً در گیاهچه‌های رقم آگریا که در این آزمایش استفاده شده، محتوای جیبرلیک اسید و سایر تحریک‌کننده‌های رشد گیاهی در سطح پایینی قرار داشته است. لذا پاکلوبوترازول با برهم زدن بیش از حد توازن تنظیم‌کننده‌های رشد و تأثیر منفی بسیار زیاد بر محتوای هورمون‌های رشد از جمله جیبرلیک اسید، بسیاری از فعالیت‌های بیوشیمایی مانند تولید مواد پرورده گیاهی و نقل و انتقالات آنها را تحت تأثیر قرار داده و در نهایت گیاه به دلیل ضعف در تأمین انرژی مورد نیاز برای اندام‌های مختلف، قادر به تولید غده نبوده است. در مطالعات پیشین، کابرد سطوح مختلف پاکلوبوترازول در شرایط مختلف وزن، طول و قطر ریزغده‌های تولیدی را کاهش داده است (Harvey *et al.*,1991; Simko, 1993; Bandara *et al.*, 1998; Lim *et al.*, 2004) که با نتایج به‌دست آمده در آزمایش حاضر مطابقت دارد. به اعتقاد محققان، حتی در شرایط مطلوب پاکلوبوترازول تأثیری بر عملکرد کل غده نداشته و تنها موجب افزایش تعداد و کاهش وزن غده می‌گردد (Bandara and Tanino, 1995). لذا به‌نظر می‌رسد که کاهش وزن غده تحت تأثیر پاکلوبوترازول یک امر اجتناب‌ناپذیر بوده و قابلیت تأثیر بر درصد غده‌های بازارپسند را نیز داراست (Lim *et al.*, 2004).

اثر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول بر سرعت جوانه‌زنی ریزغده

اثرات اصلی مرحله رشدی و سطوح مختلف غلظت پاکلوبوترازول بر سرعت جوانه‌زنی ریزغده‌ها معنی‌دار ($p\leq0/01$) بود. اما اثرات متقابل آنها بر صفت یاد شده معنی‌دار نشد (جدول 2). کاربرد پاکلوبوترازول حتی در پایین‌ترین غلظت نیز تأثیر منفی شدیدی بر سرعت جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی داشت (شکل 1). با افزایش غلظت پاکلوبوترازول از 20 تا 80 میلی‌گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری سرعت جوانه‌زنی کاهش نشان داد. اما بین دو سطح 80 و 100 میلی‌گرم در لیتر تفاوت آماری وجود نداشت (شکل 1).



شکل 1- اثر محلول‌پاشی سطوح مختلف غلظت‌های پاکلوبوترازول بر سرعت جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی
Figure 1- Effect of paclobutrazol concentration levels on potato minituber germination

اثر غلظت و زمان محلول‌پاشی بر مدت زمان رسیدن به 5، 10، 50، 90 و 95 درصد حداکثر جوانه‌زنی

اثرات اصلی مرحله رشدی و غلظت پاکلوبوترازول بر صفات مدت زمان رسیدن به 5، 10، 50، 90 و 95 درصد حداکثر جوانه‌زنی معنی‌دار ($p\leq0/01$) بود. همچنین اثرات متقابل آنها نیز بر صفات یاد شده معنی‌دار شد (جدول 2). در هر دو مرحله رشدی، با افزایش غلظت پاکلوبوترازول زمان رسیدن به 5، 10، 50، 90 و 95 درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد (جدول 3). زمان رسیدن به پنج درصد جوانه‌زنی در هریک از تیمارهای 20، 40، 60، 80 و 100 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول در مرحله آغازش استولون در مقایسه با تیمارهای مشابه مرحله آغازش غده به‌ترتیب 15/5، 17/1، 18، 10 و 11/2 درصد کمتر بود (جدول 3). در هریک از سطوح غلظت پاکلوبوترازول، مدت زمان رسیدن به 10 درصد جوانه‌زنی در مرحله آغازش غده به‌طور معنی‌داری بیشتر از مرحله آغازش استولون بود (جدول 3). به‌طوری‌که بیشترین زمان لازم برای رسیدن به 10 درصد جوانه‌زنی در تیمار 100 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول و در مرحله

آغازش غده به‌دست آمد (جدول 3). زمان رسیدن به 50 درصد جوانه‌زنی تحت تأثیر غلظت‌های 20، 40، 60، 80 و 100 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول در مرحله آغازش استولون نسبت به شاهد به‌ترتیب 1/8، 2، 2/6، 3/2 و 3/4 برابر افزایش نشان داد (جدول 3). اما تأثیر محلول‌پاشی تیمارهای یاد شده در مرحله آغازش غده بیشتر بود، به‌طوری‌که در مقایسه با شاهد به‌ترتیب رشدی 1/8، 2/3، 2/7، 3/7 و 4 برابری مشاهد شد (جدول 3). هرچند در اثر پاشش غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول در هر دو مرحله رشدی زمان رسیدن به 90 درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت، اما در هر سطح غلظت تفاوت معنی‌داری بین دو مرحله رشدی مشاهده شد و بیشترین مقادیر صفت یاد شده در مرحله آغازش غده به‌دست آمد (جدول 3). زمان رسیدن به 95 درصد حداکثر جوانه‌زنی در غلظت‌های پاکلوبوترازول به‌کار رفته در مرحله آغازش استولون نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد. اما تأثیر سطوح مشابه پاکلوبوترازول در مرحله آغازش غده بر زمان رسیدن به 95 درصد جوانه‌زنی بیشتر بود. به‌طوری‌که در هریک از سطوح 20، 40، 60، 80 و 100 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول، صفت یاد شده در مرحله آغازش غده نسبت به آغازش استولون به‌ترتیب 4، 11، 6، 15 و 16 درصد افزایش نشان داد (جدول 3).

براساس یافته‌های این آزمایش، پاکلوبوترازول علاوه بر افزایش طول دور خواب ریزغده‌های سیب‌زمینی مدت زمان شکستن خواب را افزایش و سرعت جوانه‌زنی را کاهش داد. مشابه نتایج به‌دست آمده، گزارش لیم و همکاران (Lim *et al.*, 2004) نیز نشان داد که دوره خواب در ریزغده‌های به‌دست آمده از تیمار محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در ارقام سیب‌زمینی بین 10 الی 20 درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. در آزمایشی دیگر نیز دوره خواب ریزغده‌های سیب‌زمینی حاصل از تیمار پاکلوبوترازول 22 درصد بیشتر شد (Bandara and Tanino, 1995). از مهمترین دلایل افزایش دوره خواب بر اثر کاربرد تیمارهای مختلف پاکلوبوترازول، توقف مسیر سنتز جیبرلیک اسید (Vreugdenhil and Sergeeva, 1999; Tekalign and Hames, 2004; Tekalign and Hames, 2005) و کاهش کاتابولیسم آبسیزیک اسید در غده‌ها عنوان شده است (Tekalign and Hames, 2005). با توجه به مطالب بیان شده، به‌نظر می‌رسد در این آزمایش نیز پاکلوبوترازول از طریق انتقال به غده‌های در حال تشکیل باعث برهم خوردن توازن هورمون‌های بازدارنده و تحریک‌کننده به نفع بازدارنده‌های رشد و جوانه‌زنی مانند آبسیزیک اسید شده و از این طریق طول دوره خواب ریزغده‌های سیب‌زمینی را افزایش داده است (Vreugdenhil and Sergeeva, 1999; Tekalign and Hames, 2004).

همان‌طور که نتایج نشان داده، سرعت جوانه‌زنی با هریک از صفات وزن، طول و قطر ریزغده‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول 4). لذا غده‌های بزرگتر خواب کمتری داشته و در مقابل غده‌های کوچکتر که تحت تأثیر پاکلوبوترازول به‌دست آمده بودند، دارای خواب بیشتر و سرعت جوانه‌زنی کمتری بودند. همچنین سرعت جوانه‌زنی با زمان‌های رسیدن به 5، 10، 50، 90 و 95 درصد جوانه‌زنی همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد (جدول 4). به‌عبارت دیگر، کاهش سرعت جوانه‌زنی زمان رسیدن به 5، 10، 50، 90 و 95 درصد جوانه‌زنی را افزایش داده است. همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری بین طول، قطر و وزن ریزغده‌ها با صفات زمان رسیدن به 5، 10، 50، 90 و 95 درصد جوانه‌زنی وجود داشت (جدول 4). از این نتایج می‌توان دریافت که مراحل جوانه‌زنی ریزغده‌های بزرگتر سریعتر بوده است.

در این آزمایش به‌طور کلی اثر بازدارندگی غلظت‌های پاکلوبوترازول به‌کار رفته در مرحله آغازش استولون در مقایسه با تیمارهای مشابه مرحله آغازش غده بر صفات تعداد و طول ریزغده بیشتر بود. در مقابل، افزایش بیشتر صفات مدت زمان رسید به 5، 10، 50، 90 و 95 درصد جوانه‌زنی بر اثر کاربرد پاکلوبوترازول در مرحله آغازش غده نسب به مرحله آغازش استولون به‌خصوص در غلظت‌های بالا کاملاً مشهود بود (جدول 3). لذا با توجه به یافته‌های حاضر و مطالبی که پیشتر عنوان شد، می‌توان اینگونه بیان داشت که مرحله استولون‌دهی به‌دلیل تعیین پتانسیل بالقوه تولید ریزغده از طریق استولون‌زایی نقش بسیار مهمی بر تعداد ریزغده‌های تولیدی خواهد داشت. لذا تأثیر بازدارندگی پاکلوبوترازول بر سیب‌زمینی در این مرحله، امکان کاهش قدرت استولون‌زایی و به دنبال آن تعداد ریزغده بالفعل را فراهم می‌نماید. اما در مرحله آغازش غده به جهت تعیین بخش اعظمی از مکان‌های بالقوه تولید ریزغده در مرحله استولون-دهی، تأثیر منفی پاکلوبوترازول بر تعداد ریزغده کمتر خواهد بود. در مورد اختلاف مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی حاصل از محلول‌پاشی در دو مرحله رشدی، می‌توان این‌گونه بیان داشت که کاربرد پاکلوبوترازول در مرحله آغازش غده، به‌دلیل وجود مخازن ذخیره مواد پرورده و افزایش جریان مواد از بخش هوایی به سمت غده‌ها، موجب افزایش تجمع پاکلوبوترازول در ریزغده سیب‌زمینی شده است (Harvey *et al.*,1991; Simko, 1994; Vreugdenhil and Sergeeva, 1999; Tekalign and Hames, 2004; Tekalign and Hames, 2005). همچنین فاصله زمانی کمتر بین اعمال تیمار تا برداشت احتمالاً موجب کاهش متابولیسم پاکلوبوترازول در غده‌ها و سایر اندام‌های گیاهی نسبت به تیمار آغازش استولون شده است و از آن‌جا که پاکلوبوترازول به‌عنوان ممانعت‌کننده بیوسنتز جیبرلیک اسید و تحریک جوانه‌زنی به‌شمار می-رود (Simko, 1994; Vreugdenhil and Sergeeva, 1999; Tekalign and Hames, 2004; Vreugdenhil, 2007)، لذا افزایش بیشتر مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی ریزغده‌های حاصل از مرحله آغازش غده نسبت به مرحله آغازش استولون دور از انتظار نخواهد بود.

جدول ۳- مقایسه میانگین کاربرد غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول در مراحل رشدی مختلف سیب‌زمینی بر تعداد، طول، قطر، وزن و خصوصیات جوانه‌زنی ریزغده‌ها

Table 3- Means comparison of interaction paclobutrazol concentration and growth stage of potato on number, length, diameter, weight and germination characters of minitubers

مرحله رشد Growth stage	غلظت پاکلوبوترازول Paclobutrazol concentration (mg l^{-1})	صفات Trials: تعداد ریزغده در بوته Number of minituber per plant	طول ریزغده Minituber length	قطر ریزغده Minituber diameter	میانگین وزن غده Mean of minituber weight	D05	D10	D50	D90	D95
آغازش استولون Stolen initiation	Zero	5.50	3.44	2.27	9.54	48.55	53.4	92.2	210.2	227.1
	20	6.00	3.08	2.03	7.67	106.8	134.1	263.0	398.4	427.2
	40	5.50	2.68	1.67	6.88	135.3	161.4	282.9	415.2	441.6
	60	3.56	2.58	1.63	6.68	178.2	202.8	328.0	462.0	493.8
	80	3.19	2.47	1.71	6.10	222.6	246.6	391.0	483.2	502.6
	100	3.19	2.56	1.64	6.09	296.4	295.2	403.5	508.2	529.2
آغازش غده Tuber initiation	Zero	5.50	3.40	2.13	9.45	48.45	53.5	94.2	208.8	226.4
	20	5.12	3.20	2.30	8.47	143.9	158.7	262.5	419.2	443.7
	40	5.44	2.96	2.04	7.25	170.1	194.7	308.0	456.0	489.6
	60	4.25	2.71	1.66	6.76	222.0	247.4	352.8	482.0	522.0
	80	3.81	2.84	1.80	6.04	257.1	274.2	447.0	557.4	581.4
	100	3.75	2.81	1.78	5.90	298.2	332.4	473.0	603.3	616.5
LSD (0.05)		0.45	0.15	0.16	0.43	17.3	15.5	15.7	18.8	18.9

جدول ٤- همبستگی صفات عملکرد و جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی

Table 4- Correlation of between yield trials and germination of potato minituber

	صفات Trials	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	تعداد ریزغده در بوته Number of minutuber per plant	1									
2.	طول ریزغده Minutuber length	0.64**	1								
3.	قطر ریزغده Minutuber diameter	0.61**	0.88**	1							
4.	میانگین وزن ریزغده Mean of minutuber weight	0.67**	0.90**	0.81**	1						
5.	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	0.53**	0.76**	0.62**	0.88**	1					
6.	D05	-0.79**	-0.72**	-0.65**	-0.89**	-0.82**	1				
7.	D10	-0.77**	-0.74**	-0.66**	-0.91**	-0.85**	0.99**	1			
8.	D50	-0.71**	-0.75**	-0.66**	-0.93**	-0.91**	0.96**	0.97**	1		
9.	D90	-0.64**	-0.71**	-0.61**	-0.90**	-0.94**	0.94**	0.95**	0.98**	1	
10.	D95	-0.63**	-0.72**	-0.62**	-0.90**	-0.95**	0.93**	0.94**	0.98**	0.99**	1

ns،* و** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns, * and ** not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که کاربرد غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول در دو مرحله رشدی آغازش استولون و غده تأثیر منفی بر صفات تعداد، طول، قطر و میانگین وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی داشت. تنها تیمار 20 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول در مرحله آغازش استولون صفت تعداد ریزغده در بوته را به‌طور معنی‌داری افزایش داد که آن هم با کاهش معنی‌دار میانگین وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی تولید شده همراه بود. در صفات میانگین وزن و قطر ریزغده‌های سیب‌زمینی، تأثیر تیمارهای 80 و 100 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول به‌کار برده شده در هر دو مرحله رشد یکسان بود و بیشترین کاهش را نشان داد. اما در سطوح پایین‌تر غلظت، در غالب موارد برتری با تیمارهای اعمال شده در مرحله آغازش غده بود. کاربرد غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول در مرحله آغازش استولون نسبت به آغازش غده به‌خصوص در غلظت‌های بالا بیشترین تأثیر منفی را بر صفات تعداد و طول ریزغده در پی داشت. اگرچه به‌طور کلی تأثیر تیمارهای کاربرد پاکلوبوترازول در مرحله آغازش غده بر عملکرد غده کمتر بود، اما سبب افزایش صفات مدت زمان رسیدن به 5، 10، 50، 90 و 95 درصد جوانه‌زنی ریزغده‌های سیب‌زمینی نسبت به مرحله آغازش استولون شد و تأثیر آن به‌خصوص در صفات 50، 90 و 95 درصد جوانه‌زنی بیشتر آشکار گردید. این نتایج نشان‌دهنده اثر بیشتر کاربرد پاکلوبوترازول در مرحله آغازش غده بر خواب ریزغده‌های سیب‌زمینی است. با توجه به نتایج به‌دست آمده کاربرد پاکلوبوترازول در غلظت‌های مورد استفاده و مراحل رشدی مختلف نتوانست به نحو مطلوب سبب افزایش عملکرد ریزغده‌های سیب‌زمینی رقم آگریا گردد و حتی بر فرآیند شکستن خواب آن نیز تأثیر منفی داشت. لذا توصیه می‌شود در آزمایشات بعدی مراحل رشدی استفاده از پاکلوبوترازول تغییر یابد و غلظت‌های بسیار پایین آن نیز مورد مطالعه قرار گیرد و یا از بازدارنده‌های رشدی ضعیف‌تر با اثرات جانبی کمتر برای افزایش تولید ریزغده‌ها استفاده شود.

References

1. Alexopoulos, A. A., Akoumianakis, K. A., Vemmos, S. N., and Passam, H. C. 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 Biology and Technology 46: 54-62.
2. Balamani, V., and Poovaiah, B. W. 1985. Retardation of shoot growth and promotion of tuber growth of potato plants by paclobutrazol. American Potato Journal 62: 333-338.
3. Bandara, P. M. S., and Tanino, K. K. 1995. Paclobutrazol enhances minituber production in norland potatoes. Journal of Plant Growth Regulator 14: 151-155.
4. Bandara, M. S., Tanino K. K., and Waterer, D. R. 1998. Effect of pot size and timing of plant growth regulator treatments on growth and tuber yield in greenhouse-grown norland and russet burbank potatoes. Journal of Plant Growth Regulator 17: 75-79.
5. Claassens, M. M. J., and Vreugdenhil, D. 2000. Is dormancy breaking of potato tubers the reverse of tuber initiation?. Potato Research 43: 347-369.
6. Farran, I., and Mingo-Castel, A. M. 2006. Potato minituber production using aerophonics: effect of plant density and harvesting intervals. American Journal Potato Research 83: 47-53.
7. Haghighi, M., and Pessarakli, M. 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientia Horticulture 161: 111-117.
8. Harvey, B. M. R., Crothers, S. H., Evans, N. E., and Selby, C. 1991. The use of growth retardants to improve microtuber formation by potato (*Solanurn tuberosurn*). Plant Cell Tissue Organ Culture 27: 59-64.
9. Kanwal, A., Ali, A., and Shoaib, K. 2006. *In Vitro* Microtuberization of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivar Kuroda- A New Variety in Pakistan. International Journal of Agriculture and Biology 8 (3): 337-340.
10. Lim, T. H., Cheol, S. Y., Choi, S. P., and Dhital, S. 2004. Application of giberelic acid and paclobutrazol for efficient production of potato (*Solanum tuberosum* L.) minitubers and their dormancy breaking under soilless culture system. Journal of Korea Society Horticulture Science 45 (4): 189-193.
11. Maleki Lajayer, H., Esmaielpour, B., and Chamani, E. 2011. Hinokitiol and activated charcoal influence the microtuberization and growth of potato (*solanum tuberasum* cv. Agria) plantlets *in vitro*. Australian Journal of Crop Science 5 (11): 1481-1485.
12. Ozturk, G., and Yildirim, Z. 2010. A Comparison of field performances of minitubers and micro tubers used in seed potato production. Turkish Journal of Field Crops 15 (2): 141-147.
13. Rashed Mohassel, M. H., Aliverdi, A., and Rahimi, S. 2011. Optimizing dosage of sethoxydim and fenoxaprop-p-ethyl with adjuvants to control wild oat. Industrial Crops and Products 34: 1583-1587.
14. Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herran, C., Rellosoand J., and San Jose, M. 2001. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. Potato Research 44: 127-135.

15. Saadatian, B., and Kafi, M. 2015. Study of nutritional role of silicon nano-particles on physiological characteristics of minituber potato production. Journal of Plant Production Research 22: 173-189. (in Persian with English abstract).
16. 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 Regulator 12: 23-27.
17. Simko, I. 1994. Effects of paclobutrazol on in vitro formation of potato micro-tubers and their sprouting after storage. Biology of Plant 36 (1): 15-20.
18. Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E., and Latifi, N. 2002. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Science Technology 30: 51-60.
19. Struik, P. C. 2007. The canon of potato science: 25, Minituber. Potato Research 50: 305-308.
20. Vreugdenhil, D., and Sergeeva, L. I. 1999. Gibberellins and tuberization in potato. Potato Research 42: 471-481
21. Vreugdenhil, D. 2007. The canon of potato science. 39. Dormancy. Potato Research 50: 371-373.
22. Tekalign, T., and Hames, P. S. 2004. Response of potato grown under non-inductive condition to paclobutrazol: shoot growth, chlorophyll content, net photosynthesis, assimilate partitioning, tuber yield, quality and dormancy. Plant Growth Regulate 43: 227-236.
23. Tekalign, T., and Hames, P. S. 2005. Response of potato grown in a hot tropical lowland to applied paclobutrazol. II: Tuber attributes. New Zealand Journal of Crop Horticultural Science 33:43-51.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 4, Winter. 2018, p. 786-797

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد 15، شماره 4، زمستان 1396، ص. 797-786

Assessment of Paclobutrazol's Time and Concentration of Foliar Application on Production and Germination of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Mini-tube

B. Saadatian[1]- M. Kafi[2*]- M. Banayan aval[2]- J. Nabati[3]

Received: 23-01-2016
Accepted: 18-06-2016

Introduction

Health and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) seeds are important in the potato seed production technology. Moreover, the basic seed materials must be free of pathogens. Therefore tissue culture techniques are used at this stage in the laboratory to produce disease free seeds. Mini-tubers can be produced after acclimatization from plantlets as tissue culture which are planted at high densities in the greenhouse in beds or containers using different substrate mixtures, or even in hydroponic culture. Foliar application of growth regulators is a way to increase potato mini-tuber production. Growth regulators influence on potato mini-tuber dormancy. Triazoles, a family which Paclobutrazol belongs to them, have both fungitoxic and plant growth regulatory effects. In addition, they can also protect plants against various stresses. Therefore, the triazoles have been characterized as plant multi-protestants. Paclobutrazol changes the relationship between source and sink and by this way, affects plant production. Also, it can inhibit giberellic acid biosynthesis. Some morphological changes observed in paclobutrazol-treated plants include the inhibition of plant growth, decreased inter-nodal elongation and increased root to shoot ratios. Time of paclobutrazol foliar application is an important factor which changes plant characters (Lim *et al.*, 2004). This study implemented to evaluate foliar application of paclobutrazol concentrations at different time on production and mini-tuber dormancy.

Materials and Methods

The factorial experiment based on randomized complete block design with four replications was conducted at the faculty of agriculture's research greenhouse, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, in 2013. Plantlets of Agria cv. produced from nodal tissue culture in Murashinge and Skoog (MS) medium. After 25 days, plantlets of free disease and uniform exported to plastic pots with 12 cm diameter and 30 cm height. Perlite, cocopite and sand with 3:3:4 ratios, formed the substrate. Potato plantlets were fed with corrected Hoagland solution. Treatments were foliar application of paclobutrazol at two growth stages (stolen initiation and tuber initiation) and six concentrations (control, 20, 40, 60, 80 and 100 mg l^{-1}). Foliar application of mentioned concentrations implemented in the final hours of day. After 95 days from transplanting, number of mini-tuber in plant, mini-tuber length, mini-tuber diameter and mean of mini-tuber weight were measured. Then, mini-tubers saved to fridge with 8±2ºC and 10% relative humidity. Two months later, mini-tuber's germination was measured. Finally, time of achievement to 5, 10, 50, 90 and 95 germination percentage was measured with Germin program. Beside that, rate of germination was calculated with equation 1:

$$R50 = 1/D50 \quad (1)$$

R50 and D50: rate of germination (1/h) and time of achievement to 50% germination, respectively.

Analysis of variance and correlation between trials was done with SAS 9.1 Software. Means comparison measured with least significant difference test (LSD) at 5% probability level.

Results and Discussion

The main effects and interactions of paclobutrazol foliar application and growth stages, on number of mini-tuber in plant, mini-tuber length, mini-tuber diameter, mean of mini-tuber weight and time of achievement to 5, 10, 50, 90 and 95 germination percentage trials were significant. But interaction between foliar application and growth stages was not significant at germination rate trial. The effect of foliar application on maintained trials in tuber initiation stage was lower than stolen initiation. Increase in paclobutrazol concentration increased mini-tuber dormancy and reduced germination rate. Paclobutrazol application in tuber initiation stage had more inhibition on mini-tuber germination. With increase in paclobotrazol concentration, time of achievement to 5, 10,

1- Ph.D Student of Crop physiology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Assistant Professor, Research Institute of Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.kafi@um.ac.ir)

50, 90 and 95% germination were 11, 13, 17, 19 and 17% in comparison between foliar application growth stages (tuber initiation compared to stolen initiation).Significant negative correlation obtained between number of mini-tuber in plant, mini-tuber length, mini-tuber diameter, mean of mini-tuber weight trials with time of achievement to 5, 10, 50, 90 and 95 germination percentage..

Conclusions

Application of 20 mg l^{-1} paclobutrazol at stolen initiation, produced highest number of mini-tuber. But, maximum amount of mini-tuber length, mini-tuber diameter and mean of mini-tuber weight obtained in control treatment. Overall, in most cases paclobutrazol application had negative effect on production and germination of mini-tuber potatoes.

Keywords: Agria cv, Growth regulator, Tuber dormancy, Tuber size