

بررسی اثر پاکلوبوترازول در تولید ریزغده و خصوصیات رویشی سیب زمینی

(*Solanum tuberosum* L.) در سیستم هواکشت

محمد رضایی^۱، احمد معینی^{۲*}، حمید دهقانی^۳ و زهرا موحدی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- نویسنده مسوول: دانشیار گروه اصلاح نباتات بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
(moien_ahmad@yahoo.com)

۳- دانشیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۴- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۰

چکیده

به منظور بررسی تأثیر پاکلوبوترازول بر تولید ریزغده سیب زمینی در سیستم هواکشت، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با استفاده از سیب زمینی رقم ساوالان انجام شد. فاکتورهای مورد آزمایش شامل غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و زمان محلول پاشی اندام‌های هوایی (۳۰ و ۵۰ روز پس از انتقال گیاهان به سیستم هواکشت) بود. نتایج نشان داد که اثر متقابل پاکلوبوترازول در زمان اعمال تیمار برای متغیرهای تعداد، وزن تر و خشک ریزغده، ارتفاع گیاه و فاصله میانگره‌ای معنی دار بود. مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری مورد بررسی نشان داد که استفاده از ۵۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول، ۵۰ روز پس از انتقال گیاهان به سیستم هواکشت، بیشترین تعداد ریزغده (۶/۹)، وزن تر (۶۵ گرم) و وزن خشک ریزغده (۱۱ گرم)، وزن خشک ریشه (۳/۲ گرم) و قطر ساقه (۹/۰۳ میلی متر) را تولید نمود. بطور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از ۵۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول، در زمان شروع ریزغده‌زایی گیاهان در سیستم هواکشت، باعث تولید بیشترین تعداد ریزغده در گیاه و نیز بالاترین عملکرد ریزغده در واحد سطح شده است.

کلید واژه‌ها: سیب زمینی، هواکشت، پاکلوبوترازول، ریزغده و ساوالان

مقدمه

ویروس، استفاده از سیستم هواکشت است (نوگالید و همکاران^۴، ۲۰۰۵) که در نوع خود مدرن‌ترین روش محسوب می‌شود. سیستم هواکشت، یکی از روش‌های کشت بدون خاک در محیط‌های رشد کنترل شده است. در این روش قسمت‌های زیرزمینی گیاه در داخل یک محفظه تاریک قرار داشته و برای تغذیه، محلول غذایی بوسیله یک مه‌پاش در اختیار ریشه‌ها قرار می‌گیرد. سیستم هواکشت، هوادهی اطراف ریشه‌ها را بهینه می‌کند

ریزغده‌های سیب زمینی عاری از ویروس می‌توانند از کشت‌های با تراکم بالا در بسترهای مختلف کشت در شرایط گلخانه‌ای (وایرسما و همکاران^۱، ۱۹۸۷) بعد از گذراندن مرحله سازگار شدن و نیز در شرایط آب‌کشت تولید شوند (مورو و همکاران^۲، ۱۹۹۷؛ رولت و ستین^۳، ۱۹۹۹). از روش‌های دیگر برای تولید ریزغده عاری از

1- Wiersema *et al.*

2- Muro *et al.*

3- Rolot & Seutin

4- Nugaliyadde *et al.*

از بازدارنده‌های رشد گیاهی است که تولید اسید جیبرلیک را در گیاهان متوقف می‌کند (دیویس و همکاران^{۱۰}، ۱۹۸۸). تأثیر این ماده در مهار رشد ساقه در طیف گسترده‌ای از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (بالامانی و پووا^{۱۱}، ۱۹۸۵). در آزمایشی استفاده از ۶۷/۵ و ۹۰ میلی گرم ماده مؤثره پاکلوبوترازول در هر گیاه بصورت محلول پاشی برگی یا کاربرد خاکی، حدود ۴۶ تا ۶۳ درصد ارتفاع گیاه را در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش داد (تکالین و هامس^{۱۲}، ۲۰۰۴). تأثیر پاکلوبوترازول روی غده‌زایی سیب‌زمینی‌های رشد یافته در شرایط درون شیشه‌ای (هاروی و همکاران^{۱۳}، ۱۹۹۱) و گلخانه‌ای (باربارا و همکاران^{۱۴}، ۱۹۹۱) به زمان اعمال تیمار بستگی دارد. مطالعات نشان داده‌اند که پاکلوبوترازول غده‌زایی را در شرایط طبیعی کشت^{۱۵} و درون شیشه‌ای^{۱۶} افزایش داده است (بالامانی و پووا، ۱۹۸۵؛ باربارا و همکاران، ۱۹۹۱). تأثیر عوامل کند کننده رشد علاوه بر نوع آن، به عوامل دیگری مثل نوع گیاه، غلظت، زمان و تعداد دفعات کاربرد بستگی دارد (کرامر و برگن^{۱۷}، ۱۹۹۸).

با توجه به نیاز مستمر کشور به تولید ریزغده و نیز امکان پذیر کردن صادرات آن به کشورهای خارجی، ضرورت دارد که نسبت به بهینه سازی افزایش عملکرد در سیستم هواکشت اقدام نمود. لذا در پژوهش حاضر تأثیر پاکلوبوترازول و زمان اعمال آن در رشد و نمو اندام‌های هوایی و تولید ریزغده سیب‌زمینی در رقم ساوالان در شرایط هواکشت، بررسی شد.

و منجر به تولید بالای ریزغده در مقایسه با روش آب‌کشت می‌شود (سافر و بورگر^۱، ۱۹۸۸). از مزایای دیگر روش هواکشت می‌توان از محدود شدن آب مورد استفاده، بازیافت و استفاده مجدد از محلول غذایی و کنترل خوب ترکیب محلول غذایی و pH نام برد. امروزه، از سیستم هواکشت در تولید گیاهان زینتی و باغی مختلف استفاده شده است (بیدینگر و همکاران^۲، ۱۹۹۸؛ هی و لی^۳، ۱۹۹۸). برداشت ریزغده در سیستم هواکشت راحت و تمیز بوده و مدیریت اندازه غده در برداشت‌های متوالی امکان پذیر است (ریتر و همکاران^۴، ۲۰۰۱). بعضی از تحقیقات، تأخیر غده‌زایی در سیستم هواکشت به دلیل توسعه رشد رویشی را نیز گزارش کرده‌اند (ریتر و همکاران، ۲۰۰۱؛ فران و مینگوکاستل^۵، ۲۰۰۶). غده سیب‌زمینی یک ساقه تغییر شکل یافته است و شروع تشکیل آن بوسیله فاکتورهای محیطی متعددی شامل دوره‌ی نوری، دما و عناصر غذایی به خصوص نیتروژن (وینگک^۶، ۱۹۹۵) و فاکتورهای هورمونی کنترل می‌شود. تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی روی غده‌زایی سیب‌زمینی به نوع رقم سیب‌زمینی و شرایط محیطی وابسته است. علاوه بر عوامل محیطی ویژه، همانند دوره نوری کوتاه، شدت نور زیاد و مقدار نیتروژن پائین، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نیز نقش برجسته‌ای در کنترل غده‌زایی سیب‌زمینی دارند (ورودنهییل و استروک^۷، ۱۹۸۹). بعضی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی برای به تأخیر انداختن رشد ساقه و شروع رشد غده استفاده شده‌اند. پاکلوبوترازول^۸ اولین بار با استفاده از کاروماتوگرافی مایع و از عصاره غلیظ شده گیاهی، در سال ۱۹۸۰ بدست آمده و یکی از ترکیبات تریازول‌ها^۹

10- Davis *et al.*

11- Balamani & Poovaiah

12- Tekalign & Hammes

13- Harvey *et al.*14- Barbara *et al.*15- *in vivo*16- *in vitro*

17- Cramer & Bridgen

1- Soffer & Burger

2- Biddinger *et al.*

3- He & Lee

4- Ritter *et al.*

5- Farran & Mingo-castel

6- Ewing

7- Vreugdenhil & Struik

8- Paclobutrazol

9- Tryazole

مواد و روش‌ها

مقطر) و پاکلوبوترازول در دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و فاکتور دوم شامل زمان محلول پاشی اندام‌های هوایی در دو زمان (۳۰ و ۵۰ روز پس از انتقال گیاهان به سیستم هواکشت) بود. صفات اندازه‌گیری شده‌ی هر تکرار از میانگین سه گیاه بدست آمد. سپس تمام گیاهان ۱۰۰ روز پس از انتقال به سیستم هواکشت برداشت شده و صفات تعداد، وزن تر، وزن خشک و درصد ماده خشک ریزغده در هر گیاه و نیز طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه در هر گیاه و در نهایت ارتفاع گیاه، تعداد گره، فاصله میان گره‌ای و قطر ساقه در هر گیاه از میانگین سه گیاه برای هر تکرار اندازه‌گیری شد. برای صفت تعداد ریزغده در گیاه فقط ریزغده‌هایی با وزن بیشتر از سه گرم شمرده شدند. برای محاسبه وزن خشک ریزغده و ریشه، نمونه‌ها داخل آون به مدت ۴۸ ساعت در درجه حرارت ۷۵ درجه سلیسیوس قرار داده شدند. پس از اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها، درصد ماده خشک ریزغده از طریق تقسیم وزن خشک ریزغده به وزن تر ریزغده ضرب در صد محاسبه شد (خزایی و ارشدی، ۱۳۸۷). برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، از نرم افزار SAS استفاده شد و مقایسه میانگین به روش آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱- غلظت‌های مورد استفاده عناصر غذایی در سیستم

هواکشت			
عناصر غذایی	غلظت	عناصر غذایی	غلظت
	(میلی‌گرم در لیتر)		(میلی‌گرم در لیتر)
پتاسیم	۲۰۰	آهن	۱
نیتروژن	۱۹۰	منگنز	۰/۵
کلسیم	۱۵۰	بور	۰/۲۵
گوگرد	۷۰	روی	۰/۱۵
منیزیم	۴۵	مس	۰/۰۵
فسفر	۳۵	مولیبدن	۰/۰۵

آزمایش در پائیز سال ۸۹ با استفاده از رقم ساوالان (نیمه زودرس و مناسب کشت در کلیه مناطق کشت بهاره) در گلخانه شیشه‌ای دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران اجرا شد. ابتدا گیاهچه‌های سیب‌زمینی رقم ساوالان در شرایط درون شیشه‌ای از طریق کشت قطعات تک گره‌ای ساقه در محیط کشت MS (موراشیگ و اسکوگ^۱، ۱۹۶۲) حاوی ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر NAA در دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی تولید شدند. سپس گیاهچه‌های ۳۰ روزه برای سازگار شدن با محیط برون شیشه‌ای، در ظروف پلاستیکی ۱۵۰ میلی‌لیتری حاوی پیت ماس و پرلیت (۱:۱) کشت شدند و به مدت ۲۵ روز در اتاق رشد کنترل شده با ۱۶ ساعت روشنایی در دمای ۲۲ درجه سلیسیوس و ۸ ساعت تاریکی در دمای ۱۸ درجه سلیسیوس نگهداری شدند. سپس گیاهان سازگار شده به سیستم هواکشت واقع در گلخانه شیشه‌ای منتقل شدند. سیستم هواکشت مورد استفاده، از دو بخش تشکیل شده بود. در بخش بالایی، اندام‌های هوایی گیاه به فاصله ۱۳ × ۱۳ (تراکم ۶۰ بوته در متر مربع) قرار گرفته بودند و در بخش پائینی سیستم، ریشه‌های گیاهان آویزان بوده و نازل‌های مه پاش با فاصله زمانی هر ۲۰ دقیقه به مدت ۲۰ ثانیه محلول غذایی مورد نیاز گیاه را به ریشه‌ها اسپری می‌کردند. مازاد محلول غذایی مورد استفاده، بازیافت شده و مجدداً مورد استفاده قرار می‌گرفت. برای تأمین نیاز غذایی گیاهان در سیستم هواکشت از نمک‌های ماکرو $MgSO_4$ ، KNO_3 ، KH_2PO_4 ، $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ و NH_4NO_3 و نمک‌های میکرو H_3BO_3 ، $MnSO_4$ ، $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ ، $CuSO_4$ ، $ZnSO_4$ و $Fe EDDHA$ تهیه شده از شرکت مرک استفاده شد (جدول ۱). آزمایش به صورت فاکتوریل شامل دو فاکتور در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول در سه سطح شامل تیمار شاهد (محلول پاشی با آب

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. اثر متقابل پاکلوبوترازول در زمان اعمال تیمار برای صفت تعداد ریزغده در هر گیاه، در سطح احتمال یک درصد و برای صفت وزن تر و خشک ریزغده در هر گیاه، در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بودند (جدول ۲). میانگین ترکیب‌های تیماری مختلف برای صفت تعداد ریزغده در هر گیاه، نشان داد که بیشترین تعداد ریزغده (۶/۹) مربوط به استفاده از ۵۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول در زمان دوم اعمال تیمار و کمترین تعداد ریزغده (۳/۶) مربوط به تیمار شاهد (آب مقطر) در زمان دوم اعمال تیمار بوده است (جدول ۴). ترکیب تیماری ۵۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول در زمان دوم اعمال تیمار بیشترین وزن تر (۴۲ گرم) و بیشترین وزن خشک (۱۱ گرم) ریزغده را داشت؛ درحالی‌که بین بقیه ترکیبات تیماری اختلاف معنی داری مشاهده نشد. نتایج آزمایش‌های گلخانه‌ای تکالین و هامس (۲۰۰۴) نشان داده است که پاکلوبوترازول رشد گیاه را کند کرده و عملکرد غده و همچنین کیفیت سبزمینی رشد یافته در دماهای بالا و فتوپریود طولانی را افزایش داده است. در حقیقت کاربرد پاکلوبوترازول چه به صورت محلول پاشی برگی و چه به صورت استفاده پای بوته گیاه، وزن تر غده، مقدار ماده خشک، وزن مخصوص و دوره خواب غده‌ها را افزایش داده بود؛ درحالی‌که تعداد غده در گیاه کاهش داشت. دلیل کاهش تعداد غده می‌تواند مربوط به کم شدن تعداد استولون به خاطر کاهش بیوسنتز جیبرلین‌ها بوده باشد (تکالین و هامس، ۲۰۰۴). عمل جیبرلین‌ها در تنظیم تعداد استولون به خاطر نقش این مواد در شروع تشکیل استولون بوده است که بوسیله کومار و وارینگ^۱ (۱۹۷۲) گزارش شده است.

دلیل افزایش تعداد ریزغده در زمان دوم کاربرد تیمار پاکلوبوترازول در پژوهش حاضر، به خاطر کارایی

سیستم هواکشت در افزایش و تسریع رشد رویشی می‌شود که باعث شده بود حدود ۵۰ روز پس از انتقال گیاهان به سیستم هواکشت، گیاهان دارای تعداد کافی استولون با رشد خوب باشند و در نتیجه تعداد ریزغده افزایش یابد.

در تحقیقی، تیمار مواد گیاهی با پاکلوبوترازول منجر به کاهش طول ساقه و افزایش وزن خشک غده شده بود (بالامانی و پووا، ۱۹۸۵). همچنین در تحقیق دیگری، مواد تأخیر انداز رشد مثل کلرومکوات^۲ و دامینوزید^۳ تشکیل میکروتیوبر را تحریک کرده، اما باعث کاهش وزن تر آن‌ها شده بودند. با اینحال، آنسیمیدول^۴ و پاکلوبوترازول در غلظت‌های مورد نیاز برای تحریک غده‌زایی، تأثیر بازدارندگی بر روی رشد میکروتیوبرها نداشتند (باربارا و همکاران، ۱۹۹۱). پاکلوبوترازول به طور مؤثری از افزایش رشد رویشی جلوگیری کرده و باعث توزیع سوخت و ساز به طرف غده‌ها، افزایش عملکرد غده و بهبود کیفیت غده گیاه سبزمینی رشد یافته در دماهای بالا و فتوپریودهای طولانی می‌شود (تکالین و هامس، ۲۰۰۴). دلیل افزایش عملکرد غده به دلیل افزایش مقدار کلروفیل برگ، بالا رفتن میزان فتوسنتز و تأخیر در فرایند پیری در پاسخ به تیمار پاکلوبوترازول بوده است (تکالین و هامس، ۲۰۰۴). باندارا و تانینو^۵ (۱۹۹۵) گزارش کردند که پاکلوبوترازول تعداد غده در گیاه را بدون تأثیر بر روی وزن تر کل غده‌ها تقریباً دو برابر کرده است؛ در صورتیکه در پژوهش حاضر، زیاد شدن تعداد ریزغده در اثر کاربرد ۵۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول در زمان دوم اعمال تیمار، وزن تر و خشک ریزغده را نیز افزایش داده است که می‌تواند به دلیل فراهم بودن مواد غذایی مورد نیاز گیاهان در سیستم هواکشت و نیز به خاطر مزیت برداشت‌های مکرر ریزغده در این سیستم

2 Chloromequate

3 Daminozide

4 Ancymidol

5 Bandara & Tanino

1- Kumar & Wareing

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات پاکلوبوترازول و زمان اعمال آن در سیستم هواکشت روی صفات مربوط به ریزغده در سیب زمینی رقم ساوالان

میانگین مربعات (M.S.)						
منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد ریزغده در گیاه	وزن تر ریزغده در گیاه	وزن خشک ریزغده در گیاه	درصد ماده خشک ریزغده در گیاه	
تکرار	۲	۲/۳**	۰/۹**	۰/۰۱*	۲۱/۲**	
پاکلوبوترازول	۲	۷/۱**	۰/۴*	۰/۰۳*	۹/۰۵ ^{ns}	
زمان	۱	۲/۱*	۰/۳ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۴ ^{ns}	
پاکلوبوترازول × زمان	۲	۲/۳**	۰/۵*	۰/۰۲*	۳/۹ ^{ns}	
خطا	۱۰	۰/۳	۰/۱	۰/۰۰۳	۲/۳	
ضریب تغییرات		۱۱/۶	۸/۴	۲۴/۲	۹/۶	

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۰.۵٪ و ۰.۱٪.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات پاکلوبوترازول و زمان اعمال آن در سیستم هواکشت، روی صفات مربوط به ریشه و اندام‌های هوایی در سیب زمینی رقم ساوالان

میانگین مربعات (M.S.)							درجه آزادی	منابع تغییرات
فاصله میانگره‌ای	تعداد گره	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	طول ریشه		
۰/۹**	۵۸۶/۵**	۱۳۸۶۰/۷**	۲۴/۵**	۰/۲ ^{ns}	۰/۵ ^{ns}	۸۲۳/۸*	۲	تکرار
۰/۷*	۳۲/۲ ^{ns}	۲۵۶۳/۷**	۷/۲**	۰/۲ ^{ns}	۰/۵ ^{ns}	۷۴۸/۶*	۲	پاکلوبوترازول
۲/۵**	۱/۷ ^{ns}	۲۸۱۷/۵*	۵/۳*	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۲۴۹/۸ ^{ns}	۱	زمان
۰/۶*	۳۰/۵ ^{ns}	۱۳۳۶**	۰/۱ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۵۴/۷ ^{ns}	۲	پاکلوبوترازول × زمان
۰/۱	۲۰/۴	۹۸/۶	۰/۷	۰/۰۷	۰/۲	۱۴۰/۹	۱۰	خطا
۸/۹	۱۱/۹	۷/۵	۱۱/۰۵	۲۶	۱۲/۲	۱۴/۱		ضریب تغییرات

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۰.۵٪ و ۰.۱٪.

دوم اعمال تیمار (۳/۲ گرم) و کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول در زمان اول اعمال تیمار (۱/۵۷ گرم) تفاوت معنی داری وجود داشته است در صورتیکه بین بقیه ترکیب‌های تیماری اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۳). در آزمایشی (لاتیمر^۲، ۱۹۹۱)، محلول پاشی اندام هوایی گیاهان گل حنا و جعفری با پاکلوبوترازول باعث کاهش وزن خشک ریشه شد که با نتیجه استفاده از پاکلوبوترازول در زمان اول اعمال تیمار پژوهش حاضر مطابقت دارد. همچنین بر اساس نتایج مقایسه میانگین ترکیب‌های مختلف تیماری برای صفت قطر ساقه، بیشترین قطر ساقه (۹/۰۳ میلی متر) مربوط به کاربرد ۵۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول در زمان دوم اعمال تیمار و کمترین قطر ساقه (۵/۸ میلی متر) مربوط به کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول در زمان اول اعمال تیمار بوده است (جدول ۴). صفت ارتفاع گیاه، هم از نظر اثر فاکتورهای پاکلوبوترازول و زمان اعمال تیمار و هم از نظر اثر متقابل پاکلوبوترازول در زمان اعمال تیمار اختلاف معنی داری را نشان داد (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری مختلف، بیشترین ارتفاع گیاه (۱۵۷/۶ سانتی متر) مربوط به استفاده از تیمار شاهد (محلول پاشی اندام‌های هوایی گیاه با آب مقطر) در زمان اول اعمال تیمار و کمترین ارتفاع مربوط به استفاده از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول در زمان اول اعمال تیمار بوده است (جدول ۴). تأثیر پاکلوبوترازول روی کاهش ارتفاع گیاه را سایر محققین نیز گزارش کرده‌اند (فران و مینگوکاستل، ۲۰۰۶ و بالامانی و پووا، ۱۹۸۵). ترکیب‌های تیماری مختلف روی صفت تعداد گره در گیاه اثری نداشت. بطور کلی تعداد گره‌های ساقه اصلی سیب‌زمینی در بالای سطح خاک، برای هر رقم تقریباً ثابت است و تغییرات کمی در اثر تغییرات محیطی نشان می‌دهد (آلمکندر و استروک، ۱۹۹۶). اثر متقابل ترکیب‌های تیماری مختلف روی صفت فاصله میان‌گره‌ای دارای اختلاف معنی داری بودند

باشد. در جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، تفاوت معنی داری بین ترکیب‌های تیماری برای صفت درصد ماده خشک ریزغده مشاهده نشد؛ اما مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری تفاوت معنی داری را فقط بین دو تیمار ۵۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول (۱۷/۴ درصد) و شاهد (۱۳/۷ درصد) در زمان دوم اعمال تیمار نشان داد (جدول ۴). دلیل این موضوع توزیع متقارن میانگین ترکیب‌های تیماری در طرفین میانگین کل آزمایش می‌باشد. اثر فاکتور پاکلوبوترازول برای صفت طول ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. برای میانگین صفت وزن خشک ریشه هیچ اختلاف معنی دار مشاهده نشد. برای صفت قطر ساقه اثر فاکتورهای پاکلوبوترازول و زمان اعمال تیمار معنی دار بودند (جدول ۳). با توجه به توزیع متقارن میانگین ترکیب‌های تیماری نسبت به میانگین کل آزمایش در مورد صفت‌های طول ریشه، وزن خشک ریشه و قطر ساقه، که باعث شده بود در آزمون F اثر متقابل پاکلوبوترازول در زمان اعمال تیمار معنی دار نباشد، اما پس از مقایسه میانگین ترکیب‌های مختلف تیماری، نتایج مقایسه میانگین حروف متفاوتی را نشان داد. نتایج نشان داد که کمترین طول ریشه مربوط به کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول در زمان اول اعمال تیمار، با میانگین طول ۶۵ سانتی متر بوده است و بین بقیه ترکیب‌های تیماری تفاوت معنی داری وجود نداشت (جدول ۴). به طور کلی ترکیبات تریازولی سبب کاهش طول ریشه می‌شوند (دیویس و همکاران، ۱۹۸۸). ویلیامسون و همکاران^۱ (۱۹۸۶) نیز کاهش طول ریشه هلو را در اثر کاربرد پاکلوبوترازول و عدم تأثیر آن بر تعداد ریشه گزارش کردند. در پژوهش حاضر، اختلاف بین میانگین ترکیب‌های تیماری برای صفت وزن تر ریشه در گیاه مشاهده نشد. نتایج مقایسه میانگین ترکیب‌های مختلف تیماری برای صفت وزن خشک ریشه نشان داد که تنها بین کاربرد ۵۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول در زمان

فران و مینگوکاستل (۲۰۰۶) نیز بیشترین تعداد ریزغده (۸۰۲) در تراکم ۶۰ بوته در متر مربع در یک دوره ۵ ماهه بدست آمده بود.

بطور کلی با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر، استفاده از ۵۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول هم زمان با شروع ریزغده‌زایی گیاهان (حدوداً ۵۰ روز پس از انتقال گیاهان به سیستم هواکشت) باعث افزایش تولید ریزغده شده است. در صورت استفاده از سیستم هواکشت برای تولید ریزغده سیب‌زمینی، در مرحله شروع ریزغده‌زایی گیاهان که اندام‌های هوایی به اندازه کافی توسعه یافته‌اند، برای جلوگیری از افزایش بیش از حد ارتفاع گیاه و نیز افزایش تعداد ریزغده در گیاه، ضرورت دارد از ۵۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول استفاده شود.

و بر اساس نتایج مقایسه میانگین، کمترین فاصله میانگره‌ای مربوط به استفاده از دو غلظت پاکلوبوترازول در زمان اول اعمال تیمار به ترتیب با میانگین ۲/۵ و ۲/۹ سانتی‌متر بوده است. کاهش فاصله میانگره‌ای ایجاد شده می‌تواند به خاطر اثر بازدارندگی پاکلوبوترازول روی سنتز اسید جیبرلیک باشد.

در تحقیق حاضر میزان تولید ریزغده در متر مربع در سیستم هواکشت نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و پس از گذشت حدود ۱۰۰ روز از رشد گیاهان در سیستم هواکشت، بیشترین تعداد ریزغده (۴۱۵) با تراکم گیاهی ۶۰ بوته در متر مربع در اثر اعمال ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول در زمان دوم و کمترین تعداد ریزغده (۲۱۶) در اثر کاربرد تیمار شاهد (آب مقطر) در زمان دوم اعمال تیمار بدست آمد (جدول ۵). در آزمایشات

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات پاکلوبوترازول و زمان اعمال آن در سیستم هواکشت، روی صفات مورد مطالعه در سیب‌زمینی رقم ساوالان

فاصله میان گره‌ای (سانتی‌متر)	تعداد گره	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	طول ریشه (سانتی‌متر)	در صدد ماده خشک ریزغده در گیاه	وزن خشک ریزغده در گیاه (گرم)	وزن تر ریزغده در گیاه (گرم)	تعداد ریزغده در گیاه	زمان (روز)	پاکلوبوترازول (میلی‌گرم در لیتر)
۳/۸a	۴۰/۶a	۱۵۷/۶a	۷/۳bcd	۲/۷۵ab	۳۰/۰۳a	۸۲/۹ab	۱۵/۱ab	۴/۷b	۳۱/۳b	۴bc	۳۰	صفر
۳/۸a	۳۸/۳a	۱۵۰/ab	۸/۳ab	۲/۷ab	۳۵a	۹۰/۷a	۱۳/۷b	۳/۴b	۲۵/۷b	۳/۶c	۵۰	
۲/۹b	۳۹/۲a	۱۱۵/۵c	۷/۶abc	۲/۶ab	۴۰/۴a	۹۲/۸a	۱۵/۸ab	۴/۲b	۲۶/۸b	۴/۹b	۳۰	۵۰
۳/۸a	۳۸/۸a	۱۴۷/۳ab	۹/۰۳a	۳/۲a	۴۳/۸a	۹۴/۱a	۱۷/۴a	۱۱a	۶۵a	۶/۹a	۵۰	
۲/۵b	۳۴/۶a	۸۷d	۵/۸d	۱/۵۷b	۲۵/۱a	۶۵b	۱۶/۱ab	۳/۶b	۲۲/۲b	۴/۲bc	۳۰	۱۰۰
۳/۸a	۳۵/۴a	۱۳۸b	۶/۶cd	۱/۸۶ab	۲۲/۶a	۷۸/۳ab	۱۶/۸a	۴/۱b	۳۶b	۴/۵bc	۵۰	

*داده‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۰.۰۵٪ می‌باشند.

جدول ۵- متوسط تولید ریزغده (ریزغده/متر مربع) در رقم ساوالان در سیستم هواکشت تحت تأثیر ترکیبات تیماری پاکلوبوترازول و زمان کاربرد پاکلوبوترازول

تیمار	۳۰ روز پس از انتقال گیاهان به سیستم هواکشت	۵۰ روز پس از انتقال گیاهان به سیستم هواکشت
شاهد	۲۴۰bc	۲۱۶c
پاکلوبوترازول (۵۰ میلی‌گرم در لیتر)	۲۹۳/۲bc	۴۱۵a
پاکلوبوترازول (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)	۲۵۰bc	۲۷۳bc

*داده‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۰.۰۵٪ می‌باشند.

منابع

۱. خزایی، ح. ر. و ارشادی، م. ج. ۱۳۸۷. بررسی اثر مدیریت کود سرک نیتروژن با استفاده از کلروفیل متر بر عملکرد و خصوصیات کیفی سیب‌زمینی رقم آگریا در شرایط آب و هوایی مشهد. مجله علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲: ۴۹-۶۳.
2. Almekinders, C.J.M., and Struik, P.C. 1996. Shoot development and flowering in potato (*Solanum tuberosum* L.). American Journal of Potato Research, 39: 581-607.
3. Balamani, V., and Poovaiah, B.W. 1985. Retardation of shoot growth and promotion of tuber growth of potato plants by paclobutrazol. American Journal of Potato Research, 62: 363-369.
4. Bandara, P.M.S., and Tanino, K.K. 1995. Paclobutrazol enhances minituber production in Norland potatoes. Journal of Plant Growth Regulation, 14: 151-155.
5. Barbara, M.R.H., Crothers, S.H., Evans, N.E. and Selby, C. 1991. The use of growth retardants to improve microtuber formation by potato (*Solanum tuberosum*). Plant Cell Tissue and Organ Culture, 27: 59-64.
6. Biddinger, E.J., Liu, C.M., Joly, R.J., and Raghothama, K.G. 1998. Physiological and molecular responses of aeroponically grown tomato plants to phosphorous deficiency. American Journal of Society Horticultural Science, 123: 330-333.
7. Cramer, C.S., and Bridgen, M.P. 1998. Growth regulator effects on plant height of potted *Mussaenda Qeen Sirikit*. Hort Science, 33: 78-81.
8. Davis, T., Steffens, G.L., and Sankhla, N. 1988. Triazole plant growth regulators. Horticultural Review, 10: 63-96.
9. Ewing, E.E. 1995. The role of hormones in potato (*Solanum tuberosum* L.) Tuberization. In: Davies P (ed), Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology, 2nd edn. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp: 698-724
10. Farran, I., and Mingo-Castel, A.M. 2006. Potato minituber production using aeroponics: effects of plant density and harvesting intervals. American Journal of Potato Research, 83: 47-53.
11. Harvey, B.M.R., Crothers, S.H., Evans, N.E., and Selby, C. 1991. The use of growth retardants to improve micro tuber formation of potato (*Solanum tuberosum* L.). Plant Cell Tissue Organ Culture, 27: 59-64.
12. He, J., and Lee, S.K. 1998. Growth and photosynthetic responses of three aeroponically grown lettuce cultivar (*Lactuca sativa* L.) to different rootzone temperatures and growth irradiances under tropical aerial conditions. Journal of Horticultural Science, 73: 173-180.

13. Kumar, D., and Wareing, P.F. 1972. Factor controlling stolon development in potato plant. *New Phytologist*, 71: 639-648.
14. Latimer, J.G. 1991. Growth retardants affect landscape performance of zinnia, impatiens, and marigold. *Heretical Science*, 26: 557-560.
15. Murashige, T., and Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15: 473-497.
16. Muro, J., Diaz, V., Goni., J.L., and Lamsfus, C. 1997. Comparison of hydroponic culture and culture in a peat/sand mixture and the influence of nutrient solution and plant density on seed potato yields. *American Journal of Potato Research*, 40: 431-438.
17. Nugaliyadde, M.M., De Silva, H.D.M., Perera, R., Ariyaratna, D., and Sangakkara, U. R. 2005. An aeroponic system for the production of pre-basic seed potato. *Annals of the Sri Lanka Department of Agriculture*, 7: 199-288.
18. Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herran, C., Relloso, J., and San Jose, M. 2001. Comparison of hydroponics and aeroponics cultivation systems for the production of potato minitubers. *American Journal of Potato Research*, 44: 127-135.
19. Rolot, J.L., and Seutin, H. 1999. Soilless production of potato minitubers using hydroponic technique. *American Journal of Potato Research*, 42: 457-469.
20. SAS /STAT users guid 2004. SAS 9.1 for Windows update. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
21. Soffer, H., and Burger, D.W. 1988. Effects of dissolved oxygen concentration in aeroponics on the formation and growth of adventitious roots. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 113: 218-221.
22. Tekalign, T., and Hammes, 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. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43: 227-236.
23. Vreugdenhil, D., and Struik, P.C. 1989. An integrated view of the hormonal regulation of tuber formation in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Physiologia Plantarum*, 75: 525-531.
24. Wiersema, S.G., Cabello, R., Tovar, P., and Dodds, J.H. 1987. Rapid seed multiplication by planting into beds microtubers and in vitro plants. *American Journal of Potato Research*, 30: 117-120.
25. Williamson, J.G., Coston, D.C., and Grims, L.W. 1986. Growth responses of peach roots and shoots to soil and foliar-applied paclobutrazol. *Hort Science*, 21: 1001-1003.