نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶، ص. ۶۹۳-۶۸۳
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 31, No. 4, Winter 2018, P. 683-693
ISSN: 2008 - 4730

بررسی اثر منابع مختلف نوری بر ریخت‌شناسی و رشد گیاهچه‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه و تأثیر آن بر تولید ریزغده در گلخانه

جعفر نباتی[1*]- الهه برومند رضازاده[2]- محمد زارع مهرجردی[3]- محمد کافی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۸

چکیده

هدف این مطالعه استفاده از منابع نوری مختلف در راستای کاهش مصرف انرژی برای تولید گیاهچه‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه و اثر آن بر تولید ریزغده در گلخانه بود. مطالعه با استفاده از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با شش تکرار در شرایط درون شیشه و چهار تکرار در گلخانه انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل ارقام سیب‌زمینی (آگریا و ساوالان) و طیف‌های مختلف نور (قرمز، آبی، ترکیبی آبی- قرمز و نور سفید) با استفاده از دیودهای ساطع کننده نور و نور فلورسنت بود. نتایج نشان داد که طیف قرمز موجب افزایش ارتفاع گیاهچه در شرایط درون شیشه شد. طیف سفید و قرمز به ترتیب بیشترین و کمترین سطح برگ را در شرایط درون شیشه تولید کردند. کمترین تعداد گره در گیاهچه در طیف قرمز و بیشترین تعداد گره در طیف سفید مشاهده شد. بیشترین و کمترین فاصله میانگره به ترتیب مربوط به طیف قرمز و آبی بود. رقم آگریا نسبت به فونتانه از ارتفاع بوته بیشتری برخوردار بود از طرف دیگر رقم ساوالان سطح برگ بیشتری نسبت به آگریا تولید کرد. نتایج حاصل از بررسی گلخانه‌ای نشان داد که شرایط رشدی گیاهچه‌ها از نظر طیف‌های مختلف نوری قبل از انتقال به گلخانه، تأثیری بر تعداد ریزغده تولیدی نداشت اما وزن ریزغده در گیاهچه‌های رشد یافته در طیف قرمز کمتر از سایر تیمارها بود. به‌طور کلی استفاده از دیودهای ساطع کننده نور می‌تواند به‌عنوان منبع نوری مناسب، با صرفه‌جویی در مصرف انرژی، گیاهچه‌هایی قابل رقابت با نور فلورسنت در شرایط درون شیشه تولید کند.

واژه‌های کلیدی: آگریا، دیود، ساوالان، طیف نور، فلورسنت

مقدمه

سیب‌زمینی در معرض بیماری‌های باکتریایی، قارچی، میکرو پلاسمی و ویروسی قرار دارد که این امر موجب افت شدید عملکرد محصول در مناطق آلوده به این عوامل می‌شود (۲۸). مؤثرترین راه برای مبارزه با بیماری‌ها استفاده از غده‌های بذری گواهی شده است. برآورد شده است که استفاده از بذر سالم و عاری از عوامل بیماری‌زا، باعث افزایش حداقل ۳۰ درصدی محصول در مقایسه با کشت بذر معمولی می‌گردد. سیب‌زمینی از جمله گیاهانی است که به روش‌های مختلف کشت بافت به‌خوبی پاسخ داده و ریزازدیادی و ریزغده‌دهی سریع‌ترین راه برای تکثیر ارقام تولید کننده بذر و حفاظت از ژرم‌پلاسم آن‌ها می‌باشد (۴ و ۸). امروزه استفاده از روش کشت بافت در کشاورزی پیشرفته، گسترش زیادی پیدا کرده است و تکثیر درون شیشه گیاهان کمک زیادی به تولید نشاهای عاری از عوامل بیماری‌زا، مقاومت بالا و تکثیر تعداد زیاد نشاء در زمان کوتاه می‌کند (۳).

در تکثیر گیاهان در شرایط درون شیشه، تأثیر عوامل فیزیکی مانند نور و دما در رشد گیاهچه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده (۱۸) و شرایط نوری یکی از رایج‌ترین موضوعات مورد بحث در کشاورزی در محیط‌های کنترل شده می‌باشد (۱۸). کمّیت و کیفیت نور نقش مهمی در فتوسنتز، رشد و ریخت‌شناسی گیاهان ایفا کرده (۲ و ۱۸) و یکی از متغیرهای مؤثر در غلظت ترکیبات شیمیایی گیاه می‌باشد (۱۹).

اثبات شده است که نور قرمز و آبی از عوامل مهم در رشد گیاهان هستند (۲۶). نور آبی طویل شدن هیپوکوتیل را کاهش داده و تولید زیست‌توده را القاء می‌کند و در مقابل نور قرمز طویل شدن هیپوکوتیل را القاء کرده و سطح برگ را توسعه می‌دهد (۱۹). همچنین در دهه گذشته شواهدی یافت شده که نشان می‌دهد نور سبز نیز روی

۱- استادیار پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir)
۲ و ۴- دکتری زراعت و استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استادیار مجتمع آموزش عالی شیروان

DOI: 10.22067/jhorts4.v31i4.57458

ریخت‌شناسی گیاه و فیزیولوژی شامل رشد برگ، هدایت روزنه‌ای و رشد اولیه ساقه مؤثر بوده (۷ و ۱۴) و در تنظیم رشد گیاه نقش دارد (۱۴).

به‌طور معمول تأمین نور مناسب از گران‌ترین اجزای کشاورزی در محیط‌های کنترل شده بوده و بخش عمده هزینه‌های غیرنیروی انسانی در ریز ازدیادی مربوط به نیروی الکتریسیته (۶۵ درصد) می‌باشد (۴). عموماً در اتاق‌های رشد از لامپ‌های فلورسنت برای ریزازدیادی محصولات مختلف استفاده می‌شود. این نور دامنه وسیعی از طول‌موج‌ها (۷۵۰–۳۵۰ نانومتر) را شامل شده ولی ظاهراً باوجود ضروری بودن، دارای کیفیت پایینی برای رشد گیاه می‌باشد (۱۸). لامپ‌های فلورسنت همچنین مصرف انرژی بالایی داشته که این امر در نهایت موجب افزایش قیمت محصول تولیدی می‌شود (۲۳)؛ بنابراین نیاز به یک منبع نوری با کارایی بالا که نه‌تنها کیفیت گیاهچه‌های کشت بافتی را بهبود دهد، بلکه هزینه تولید هر گیاهچه را نیز به حداقل برساند، ضروری است. یکی از ساده‌ترین راه‌ها جهت جلوگیری از اتلاف انرژی، تغییر نوع لامپ‌های مورد استفاده است. در همین راستا دیودهای ساطع کننده نور (LEDs)[1] به‌عنوان منابع نوری جایگزین جهت رشد و نمو گیاهان در شرایط درون شیشه پیشنهاد شده‌اند (۶). مزیت این فنّاوری شدت نور بیشتر، مصرف انرژی کمتر (کاهش هزینه انرژی تا ۴۰ درصد)، طول عمر بیشتر در مقایسه با سایر سیستم‌های نوری و کنترل بهتر رنگ‌ها است (۶). از آنجایی که این لامپ‌ها برخلاف لامپ‌های فلورسنت و جیوه‌ای، فاقد گازهای سمی هستند، سازگار با محیط‌زیست نیز می‌باشند (۲۷). برخی از محققان از دیودهای ساطع کننده نور به دلیل مصرف جریان کمتر، اندازه کوچک‌تر، طول‌موج اختصاصی، ساختار محکم‌تر و طول عمر بیشتر به‌جای لامپ‌های فلورسنت استفاده کرده‌اند (۲۵). دیودهای ساطع کننده نور به‌عنوان یک منبع نوری مناسب برای فتوسنتز گیاهان و همچنین مطالعات فتوسنتزی مورد تأکید پژوهشگران بوده است (۲۴). اثر کیفیت طیف نور دیودهای ساطع کننده نور روی تجمع رنگ‌دانه‌ها در توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa*) نشان داد که ۱۶ ساعت روشنایی در ۲۰۰ میکرو مول در متر مربع در ثانیه تشعشع فعال فتوسنتزی با دیودهای ساطع کننده نور قرمز (۶۴۰ نانومتر) و آبی (۴۵۵ نانومتر) نور مناسبی برای رشد گیاهان است و این طیف نور تجمع کربوهیدرات‌ها را نیز افزایش می‌دهد (۲۰).

علی‌رغم اینکه کشت درون شیشه امکان تکثیر گیاه را در زمان کوتاه فراهم کرده است و منافع اقتصادی کلانی نیز به همراه دارد، اما هزینه‌های کشت بافت و تولید گیاهچه در شرایط آزمایشگاهی، بالا است. از طرفی با توجه به اثر نور بر رشد و ریخت‌شناسی گیاهچه‌ها در شرایط درون شیشه (۱۰)، این مطالعه با هدف بررسی اثر منابع نوری مختلف بر رشد گیاهچه‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه و تولید ریزغده این گیاهچه‌ها در شرایط گلخانه و امکان جایگزینی لامپ‌های فلورسنت با دیودهای ساطع کننده نور به‌منظور کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های تولید انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با شش تکرار در آزمایشگاه کشت بافت و چهار تکرار در گلخانه شرکت فناوران بذر یکتا در مشهد اجرا شد. عوامل مورد بررسی عبارت از: رقم سیب‌زمینی (آگریا و ساوالان) و طیف‌های مختلف نوری شامل طیف قرمز، آبی، ترکیبی آبی– قرمز و طیف سفید با استفاده از دیودهای ساطع کننده نور سفید و نور فلورسنت (به‌عنوان شاهد) بودند. شدت نور و نیز طول دوره روشنایی برای همه طیف‌ها یکسان بود (به ترتیب ۳۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه و ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی). مواد گیاهی اولیه شامل گیاهچه‌های استریل درون شیشه‌ای از پژوهشکده بیوتکنولوژی منطقه مرکزی کشور– اصفهان تهیه گردید. محیط کشت پایه، محیط MS (۱۷) حاوی سه درصد ساکاروز، ۰/۴ درصد آگار با اسیدیته (pH) ۵/۸ بود. در هر ظرف هشت ریز نمونه تک گره‌ای کشت شد. گیاهچه‌ها پس از ۲۱ روز نگهداری در شرایط نوری ذکر شده، از محیط خارج و توسط اسکنر Laser Jet M122nf MFP با وضوح ۳۰۰dpi تصویربرداری شدند. سپس با استفاده از نرم‌افزار JMVV1.27 تعداد گیاهچه‌های غیرطبیعی، ارتفاع گیاهچه، طول ریشه، قطر ساقه، تعداد گره و طول میانگره‌ها، تعداد شاخه جانبی و سطح برگ برای هر گیاهچه تعیین شد. تعداد سه عدد از گیاهچه‌ها برای تعیین درصد ماده خشک استفاده شد و دیگر گیاهچه‌های طبیعی باقیمانده از هر تیمار به گلخانه منتقل و در جعبه‌هایی با ابعاد ۴۰×۳۵×۳۵ سانتی‌متر کشت گردید. در طول دوره رشد گیاهچه‌های سیب‌زمینی با محلول غذایی هوگلند (۱۱) تغذیه شدند. محلول‌دهی هر هفته یک‌بار و با حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر به ازای هر جعبه انجام شد. اسیدیته محلول توسط اسیدسولفوریک (H_2SO_4) غلیظ و هیدروکسید سدیم (NaOH) ۰/۱ مولار در حد ۵/۶ با کمک pH متر تنظیم گردید. دمای روز و شب گلخانه به ترتیب ۲±۲۴ و ۲±۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی در حدود ۴۰ درصد تنظیم شده بود (۹).

گیاهان موردمطالعه پس از گذشت سه ماه و در پایان فصل رشد برداشت شده و میانگین ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن تر و درصد ماده خشک، تعداد و وزن ریزغده‌ها در پنج گروه وزنی کمتر از یک، ۵–۱، ۱۰–۵، ۱۵–۱۰ و بیش از ۱۵ گرم و نیز کل تعداد و وزن ریزغده‌ها اندازه‌گیری شد.

داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 آنالیز و

1- Light emitting diodes

مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

شرایط درون شیشه

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه گیاهچه‌های سیب‌زمینی نشان داد که گیاهچه‌های ارقام آگریا و ساوالان ازنظر ارتفاع گیاهچه تفاوت معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۱$) با یکدیگر داشتند و متوسط ارتفاع گیاهچه‌های رقم آگریا نسبت به ساوالان حدود دو سانتی‌متر بیشتر بود (جدول ۱). گیاهچه‌های رشد یافته در شرایط طیف قرمز و آبی به ترتیب از بیشترین و کمترین ارتفاع برخوردار بودند. تفاوت بین طیف آبی و ترکیب طیف آبی- قرمز به لحاظ آماری معنی‌دار ($P>۰/۰۵$) نبود (جدول ۱). برهمکنش عوامل مورد بررسی بر صفت ارتفاع بوته تفاوت معنی‌دار آماری ($P>۰/۰۵$) نشان نداد. مطالعه اثر طیف‌های مختلف نوری بر رشد گیاهچه‌های *Pelargonium* در شرایط درون شیشه نیز نشان داد که طیف قرمز به‌طور معنی‌داری موجب افزایش طول ساقه شد، درحالی‌که استفاده از دیودهای ساطع کننده طیف قرمز به‌عنوان منبع اصلی نور و لامپ فلورسنت به‌عنوان نور تکمیلی در شرایط یکسان تشعشع فعال فتوسنتزی نشان داد که خصوصیات ریخت‌شناسی گیاهچه‌ها بیشتر از خصوصیات رشدی (وزن خشک و سطح برگ) تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۶). نتایج مطالعه آکسنوا و همکاران (۱) در خصوص اثر طیف‌های مختلف نور بر رشد گیاهچه‌های سیب‌زمینی نیز حاکی از این بود که گیاهچه‌های رشد یافته در نور قرمز، ساقه بلندتر و نسبت ریشه به اندام هوایی بیشتری در مقایسه با نور آبی داشتند.

بین گیاهچه‌های دو رقم مورد مطالعه سیب‌زمینی از نظر طول ریشه اختلاف آماری معنی‌داری ($P>۰/۰۵$) وجود نداشت، اما بین طیف‌های مختلف نوری تفاوت معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۱$) بود. بیشترین و کمترین طول ریشه به ترتیب در تیمار ترکیبی نور آبی- قرمز و تیمار لامپ فلورسنت با اختلافی معادل ۲/۹۹ سانتی‌متر به دست آمد (جدول ۱).

ازن ظر قطر ساقه تفاوتی معنی‌داری ($P>۰/۰۵$) بین ارقام مورد بررسی مشاهده نگردید. در بین منابع مختلف نوری، قطر ساقه تنها در نور ساطع شده از دیود قرمز کمترین مقدار را دارا بود و با سایر منابع نوری اختلاف معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) داشت (جدول ۱).

مطالعات پیشین ثابت کرده است که ترکیب طیف قرمز و آبی منبع نوری مؤثری برای گیاهان زراعی است. طیف قرمز در تعیین نسبت طول اندام هوایی به ریشه، واکنش‌های فیتوکرم و تغییر در ریخت‌شناسی گیاه اهمیت دارد (۲۱). در مقابل طیف آبی در بیوسنتز کلروفیل، باز شدن روزنه‌ها، سنتز آنزیم‌ها، بلوغ کلروپلاست‌ها و فتوسنتز نقش حیاتی دارد (۲۰). همچنین اثبات شده که اولین پیک جذب در شدت ۶۶۰ نانومتر (طیف قرمز) و دومین پیک جذب در کلروفیل در شدت ۴۵۰ نانومتر (طیف آبی) انجام می‌گیرد. طیف آبی برای یک ریخت‌شناسی سالم در رشد گیاه ضروری است (۲۰).

ارقام مورد بررسی در مرحله گیاهچه‌ای از نظر سطح برگ تفاوت معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) نشان دادند و رقم ساوالان نسبت به آگریا حدود ۶۰ درصد سطح برگ بیشتری تولید کرد (جدول ۱). بین طیف‌های مختلف نوری، کمترین سطح برگ تولیدی مربوط به طیف قرمز بود و سایر طیف‌ها از این لحاظ تفاوت معنی‌داری ($P>۰/۰۵$) با هم نداشتند، با این وجود ازنظر کمّی دیود ساطع کننده طیف سفید نسبت به سه منبع دیگر نوری برتری نشان داد (جدول ۱). برهمکنش بین ارقام و طیف‌های نوری مورد بررسی از نظر سطح برگ تفاوت معنی‌دار آماری ($P\leq ۰/۰۵$) نشان داد، رقم ساوالان در شرایط طیف سفید بیشترین سطح برگ را تولید نمود (شکل ۱). پس از طیف سفید، بالاترین میانگین سطح برگ مربوط به طیف ترکیبی آبی- قرمز و فلورسنت بود. کمترین سطح برگ تولید شده مربوط به رقم ساوالان در شرایط طیف قرمز بود که تفاوت ناچیزی با رقم آگریا داشت (شکل ۱). نتایج این مطالعه نشان داد در شرایطی که گیاهچه سیب‌زمینی تنها تحت تأثیر طیف قرمز قرار گیرند امکان تولید سطح برگ مناسب وجود ندارد، در مقابل در حالتی که گیاه تنها تحت تأثیر طیف نور آبی است سطح برگ قابل توجهی تولید می‌کند. گیاهچه‌های کشت بافتی در شرایط کاملاً ایده‌ال از نظر رطوبت رشد می‌کنند، بنابراین هیچ‌گونه تنظیم روزنه‌ای در آن‌ها در محیط درون شیشه انجام نمی‌گیرد. انتقال این گیاهچه‌ها به محیط بیرون مستلزم سازگاری آن‌ها با محیط است. مطالعات نشان داده است که نور آبی سنتز فلاونوئیدها و رنگ‌دانه‌های کمکی که نقش مهمی در سازگاری گیاه و تثبیت دی‌اکسید کربن در محیط دارند را تحریک می‌کند (۱۲، ۱۳ و ۱۵). همچنین با توجه به اینکه سطح برگ اولیه در استقرار و رشد در مراحل بعدی گیاهچه‌های سیب‌زمینی دارای اهمیت می‌باشد بنابراین دیودهای ساطع کننده طیف قرمز به‌تنهایی نمی‌تواند به‌عنوان جایگزین نور لامپ فلورسنت گردد، اما دیودهای ساطع کننده طیف آبی می‌توانند به‌تنهایی یا با ترکیب سایر منابع نوری در افزایش سازگاری و رشد گیاهچه‌ها مفید واقع گردد.

درصد گیاهچه‌های غیرطبیعی تحت تأثیر معنی‌دار طیف‌های نوری ($P\leq ۰/۰۵$)، رقم ($P\leq ۰/۰۱$) و برهمکنش نور و رقم ($P\leq ۰/۰۱$) قرار گرفت. درصد گیاهچه‌های غیرطبیعی در رقم ساوالان هفت درصد بیشتر از آگریا بود (جدول ۱). مقایسه میانگین درصد گیاهچه‌های غیرطبیعی در طیف‌های مختلف نوری نشان داد که بیشترین درصد گیاهچه‌های غیرطبیعی در طیف نور آبی مشاهده شد.

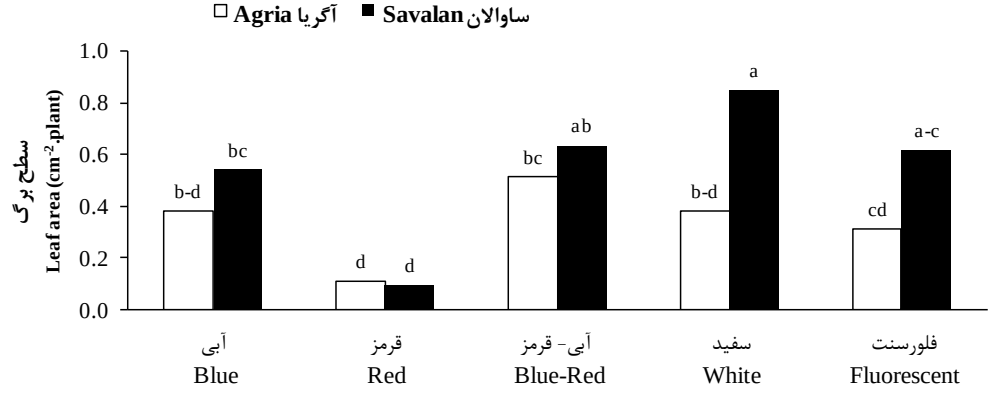
جدول ۱- میانگین صفات مورد مطالعه گیاهچه‌های دو رقم سیب‌زمینی تحت تأثیر منابع نوری در شرایط درون شیشه

Table 1- Effect of different potato cultivars and sources of light on plantlet characteristics at *in vitro* condition

صفات	منابع نوری Light sources					رقم Cultivar	
Traits	فلورسنت Fluorescent	سفید White	آبی–قرمز Blue-Red	قرمز Red	آبی Blue	ساوالان Savalan	آگریا Agria
ارتفاع بوته Plant Height (cm)	7.040*[b]	6.340[bc]	5.100[cd]	8.990[a]	4.800[d]	5.410[b]	7.500[a]
طول ریشه Root length (cm)	7.420[c]	8.380[bc]	10.410[a]	8.760[b]	8.210[bc]	8.450[a]	8.830[a]
قطر ساقه Stem diameter (mm)	0.092[b]	0.091[a]	0.090[a]	0.080[b]	0.090[a]	0.090[a]	0.091[c]
سطح برگ Leaf area (cm^{-2}.plant)	0.462[a]	0.612[a]	0.571[a]	0.102[b]	0.458[a]	0.540[a]	0.337[b]
گیاهچه‌های غیرطبیعی Abnormal seedling (%)	4.170[b]	4.170[b]	5.210[b]	4.170[b]	14.580[a]	10.000[a]	2.920[b]
تعداد گره در گیاهچه Nod number	5.630[ab]	5.800[a]	5.250[ab]	4.210[c]	5.090[b]	4.890[b]	5.520[a]
تعداد شاخه در گیاهچه Branch number	1.000[a]	1.010[a]	1.020[a]	1.030[a]	1.140[a]	1.020[a]	1.060[a]
فاصله میانگره Nod distance (cm)	1.240[b]	1.090[bc]	0.960[c]	2.140[a]	0.930[c]	1.140[a]	1.400[a]
وزن تر گیاهچه Fresh weight ($g.plant^{-1}$)	0.111[b]	0.160[a]	0.133[ab]	0.162[a]	0.129[ab]	0.149[a]	0.129[b]
درصد ماده خشک Dry matter (%)	3.500[ab]	2.620[ab]	3.850[a]	2.760[ab]	2.540[b]	3.000[a]	3.100[a]

*میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

*Means with similar letters in each treatment are not significantly different (P≤0.05) based on LSD test



شکل ۱- سطح برگ گیاهچه‌های ارقام مورد مطالعه سیب‌زمینی تحت تأثیر منابع مختلف نوری در شرایط درون شیشه

Figure 1- Leaf area in potato cultivars under different sources of light in *in vitro* condition

تعداد گره در گیاهچه به‌عنوان یک شاخص مهم در ریزازدیادی و پرآوری تحت تأثیر معنی‌دار رقم و نور قرار گرفت. تعداد گره در رقم ساوالان نسبت به آگریا ۱۱ درصد بیشتر بود (جدول ۱). بیشترین و کمترین تعداد گره در گیاهچه به ترتیب در طیف سفید و قرمز مشاهده شد (جدول ۱).

تعداد شاخه در گیاهچه در بین ارقام و نیز طیف‌های مختلف نوری تفاوت معنی‌داری (P>۰/۰۵) نشان نداد (جدول ۱).

بین ارقام مورد مطالعه از نظر طول میانگره اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۱) مشاهده شد (جدول ۱)، متوسط طول میانگره در رقم آگریا نسبت به ساوالان حدود ۲۲ درصد بیشتر بود (جدول ۱). همچنین بیشترین میانگین این صفت در طیف قرمز و کمترین آن در طیف‌های آبی و ترکیبی آبی- قرمز مشاهده شد که البته با طیف سفید در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۱).

همان‌گونه که در جدول شماره (۱) مشاهده می‌شود، گیاهچه‌های رقم ساوالان نسبت به آگریا و گیاهچه‌های رشد یافته در نور قرمز و سفید نسبت به سایر طیف‌های نوری، از وزن تر بالاتری برخوردار بودند ولی از نظر درصد ماده خشک تفاوتی بین دو رقم مشاهده نگردید (P>۰/۰۵). همچنین درصد ماده خشک در تیمارهای طیف قرمز و سفید نسبت به طیف ترکیبی آبی- قرمز و فلورسنت کمتر بود (جدول ۱).

رشد و نمو و ریخت‌شناسی گیاه تحت تأثیر شدت و کیفیت نور و طول دوره نوری می‌باشد (۵ و ۲۲). نتایج مطالعه میاشیتا و همکاران (۱۶) نشان داد که استفاده از دیودهای ساطع کننده نور قرمز به‌عنوان منبع اصلی نور و لامپ فلورسنت به عنوان نور کمکی در تشعشع فعال فتوسنتزی یکسان ریخت‌شناسی گیاهچه‌ها را بیشتر از رشد (وزن خشک و سطح برگ) آن‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد. گزارش میاشیتا و همکاران (۱۶) نیز حاکی از این بود که شدت و کیفیت نور بر ریخت‌شناسی و رشد گیاهچه‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه تأثیرگذار است. مطالعات نشان داده است که وزن خشک گیاهچه در تیمارهای چرخه نوری کوتاه بیشتر از تیمارهای چرخه نوری بلند است (۱۶).

شرایط گلخانه

از نظر ارتفاع بوته در زمان برداشت، اختلاف معنی‌داری (P>۰/۰۵) بین ارقام آگریا و ساوالان مشاهده نشد (جدول ۲) ولی تفاوت بین طیف‌های نوری از این لحاظ معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بود و گیاهچه‌هایی که در شرایط طیف ترکیبی آبی- قرمز و نیز طیف آبی رشد یافته بودند، بوته‌های با ارتفاع بیشتری تولید نمودند (جدول ۲).

تفاوت سطح برگ بین دو رقم آگریا و ساوالان به لحاظ آماری معنی‌دار نشد (P>۰/۰۵) ولی ازنظر کمّی بوته‌های رقم آگریا از سطح برگ بیشتری برخوردار بودند (جدول ۲). همچنین بوته‌های حاصل از گیاهچه‌های رشد یافته در طیف ترکیبی آبی-قرمز و قرمز با ۴۶ درصد اختلاف به ترتیب بیشترین و کمترین میزان سطح برگ را تولید نمودند (جدول ۲).

ارقام آگریا و سالاوان از نظر وزن تر بوته و نیز وزن خشک بوته اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۱) با یکدیگر نشان دادند و رقم ساوالان نسبت به آگریا به ترتیب ۲۲/۴ و ۴۶/۵ درصد برتری نشان داد. همچنین شرایط نوری گیاهچه‌ها قبل از انتقال به گلخانه بر میانگین این صفات تأثیرگذار بود و سبب شد تا گیاهچه‌های تحت شرایط نور ترکیبی آبی- قرمز از میانگین وزن تر و وزن خشک بوته بالاتری برخوردار باشند، هرچند که تفاوت این تیمار تنها با نور قرمز معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بود (به ترتیب ۴۷/۹ و ۵۱/۸ درصد اختلاف) (جدول ۲). با توجه به اینکه میزان برگ اولیه گیاهچه‌ها به‌عنوان منبع فتوسنتزی در گیاهان برای جذب نور و افزایش زیست‌توده از اهمیت بالایی برخوردار است (۱۸). در این مطالعه در شرایط درون شیشه مشاهده شد که نور قرمز کمترین میزان سطح برگ را تولید کرد بنابراین در مراحل بعدی در شرایط گلخانه نیز نتوانسته با سایر تیمارها که سطح برگ بیشتری دارا بودند رقابت کند و زیست‌توده بیشتری تولید نماید.

از نظر تعداد ریزغده در بوته تفاوت معنی‌داری (P>۰/۰۵) بین ارقام مورد مطالعه مشاهده نشد (جدول ۳) ولی اختلاف وزن ریزغده در بوته معنی‌دار (P≤۰/۰۱) بود (جدول ۴) و رقم ساوالان با ۴۱/۳ درصد وزن ریزغده بیشتر، نسبت به رقم آگریا برتری نشان داد (جدول ۴). اختلاف تعداد و وزن ریزغده در بوته در بین طیف‌های مختلف نوری به لحاظ آماری معنی‌دار (P>۰/۰۵) نگردید (جدول ۳ و ۴) اما در مورد وزن ریزغده در بوته به لحاظ کمّی، نور قرمز و نور ترکیبی آبی- قرمز از وزن ریزغده کمتری برخوردار بودند (جدول ۴). با توجه به روابط منبع و مخزن در گیاهان زمانی که مخزن دارای ظرفیت مناسب برای ذخیره تولیدات فتوسنتزی است عامل محدودکننده منبع خواهد بود (۲۲). در این مطالعه مشاهده شد که رقم ساوالان میزان زیست‌توده بیشتری نسبت به رقم آگریا تولید کرد، احتمالاً وجود سطح برگ و گیاه قوی‌تر در رقم ساوالان موجب افزایش وزن بیشتر غده‌ها نسبت به رقم آگریا شده است.

تعداد ریزغده در بوته در ارقام مورد مطالعه و طیف‌های نوری در شکل (۲) ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، کمترین تعداد ریزغده در بوته در رقم آگریا مربوط به گیاهچه‌های رشد یافته در طیف ترکیبی آبی- قرمز بود درحالی‌که در رقم ساوالان بیشترین تعداد ریزغده در بوته در این شرایط نوری مشاهده شد. اختلاف بین دو رقم در طیف ترکیبی آبی- قرمز ۶۶/۶ درصد بود. تفاوت بین سایر

تیمارها به لحاظ آماری معنی‌دار (P>۰/۰۵) نبود؛ بنابراین رقم ساوالان بیشترین پاسخ مثبت به طیف ترکیبی آبی- قرمز برای تولید ریزغده را نشان می‌دهد.

بین طیف‌های مختلف (P≤۰/۰۵)، ارقام (P≤۰/۰۱) و برهمکنش طیف‌ها و ارقام سیب‌زمینی (P≤۰/۰۵) مورد مطالعه از نظر وزن ریزغده در بوته اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۴).

وزن ریزغده در بوته در تمامی طیف‌های نوری در رقم ساوالان نسبت به آگریا بیشتر بود ولی درصد تفاوت بین طیف‌های نوری متفاوت بود به‌طوری‌که بیشترین تفاوت در شرایط طیف ترکیبی آبی- قرمز (۸۶/۴ درصد) و پس از آن طیف آبی (۵۵/۲ درصد) و کمترین آن در طیف سفید مشاهده گردید (۷/۳ درصد) (شکل ۳).

جدول ۲- میانگین ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن تر و خشک ارقام مورد مطالعه سیب‌زمینی در زمان برداشت

Table 2- Means of plant height, leaf area, fresh and dry weight in potato cultivars at harvest time

صفات	منابع نوری Light sources					رقم Cultivar	
Traits	فلورسنت Fluorescent	سفید White	آبی-قرمز Blue-Red	قرمز Red	آبی Blue	ساوالان Savalan	آگریا Agria
ارتفاع بوته Plant Height (cm)	27.19*^{b}	24.24^{b}	34.60^{a}	23.61^{b}	31.23^{ab}	26.95^{a}	29.39^{a}
سطح برگ Leaf area (cm^{-2}.plant)	524.63^{a}	455.00^{a}	566.21^{a}	387.20^{a}	529.48^{a}	482.61^{a}	502.00^{a}
وزن تر بوته Fresh weight ($g.plant^{-1}$)	19.81^{ab}	17.46^{ab}	21.68^{a}	14.66^{a}	20.34^{ab}	20.68^{a}	16.90^{b}
وزن خشک بوته Dry weight ($g.plant^{-1}$)	1.88^{ab}	1.70^{ab}	2.14^{a}	1.41^{b}	1.75^{ab}	2.11^{a}	1.44^{b}

*میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

*Means with similar letters in each treatment are not significantly different (P≤0.05) based on LSD test

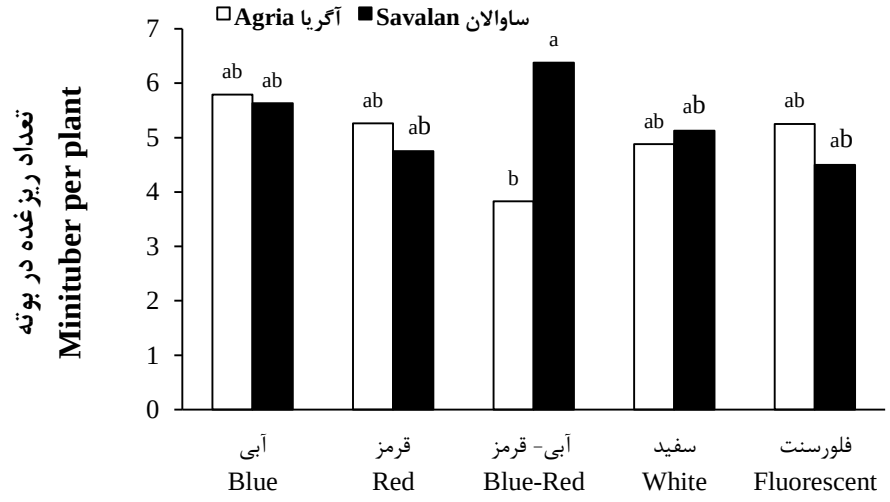
جدول ۳- میانگین تعداد ریزغده در بوته در گروه‌های وزنی در ارقام مورد مطالعه سیب‌زمینی در زمان برداشت

Table 3- Means of Number of minituber in different groups weight in potato cultivars at harvest time

تیمار		تعداد ریزغده در بوته	تعداد ریزغده در گروه‌های وزنی Number of minituber in different groups weight				
Treatments		Minituber per plant	گرم ۱ > <1 g	۱-۵ گرم 1-5 g	۵-۱۰ گرم 5-10 g	۱۰-۱۵ گرم 10-15 g	گرم۱۵ < >15 g
رقم Cultivar	آگریا Agria	5.00*^{a}	1.34^{a}	1.14^{a}	0.99^{a}	0.89^{a}	0.88^{b}
	ساوالان Savalan	5.28^{a}	0.58^{b}	1.01^{a}	1.23^{a}	1.11^{a}	1.38^{a}
منابع نوری Light sources	آبی Blue	5.71^{a}	1.23^{a}	1.28^{a}	0.98^{a}	1.01^{a}	1.23^{a}
	قرمز Red	5.00^{a}	1.10^{a}	0.97^{a}	1.57^{a}	0.54^{a}	1.10^{a}
	آبی-قرمز Blue-Red	5.10^{a}	1.01^{a}	1.55^{a}	1.05^{a}	0.82^{a}	0.92^{b}
	سفید White	5.00^{a}	0.82^{ab}	0.76^{a}	0.69^{a}	1.38^{a}	1.38^{a}
	فلورسنت Fluorescent	4.88^{a}	0.57^{b}	0.82^{a}	1.26^{a}	1.26^{a}	1.01^{a}

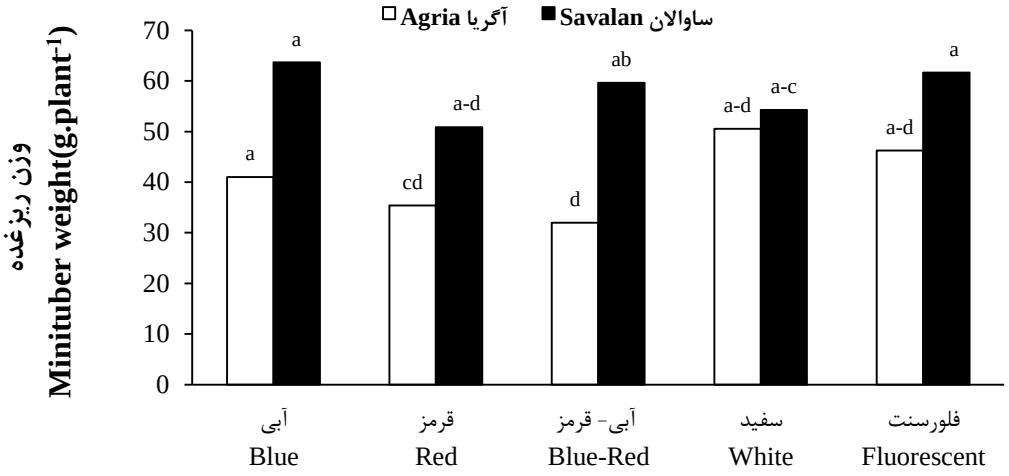
*میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

*Means with similar letters in each treatment are not significantly different (P≤0.05) based on LSD test



شکل ۲- تعداد ریزغده در بوته در ارقام مورد مطالعه تحت منابع مختلف نوری

Figure 2- Number of minituber per plant in potato cultivars under different source of light



شکل ۳- وزن ریزغده در بوته در ارقام مورد مطالعه تحت منابع مختلف نوری

Figure 3- Minituber weight per plant in potato cultivars under different source of light

تعداد و وزن ریزغده در گروه‌های مختلف وزنی در جدول‌های (۳ و ۴) ارائه شده است. در مقایسه بین ارقام از نظر تعداد ریزغده در بوته، همان‌گونه که مشاهده می‌شود رقم ساوالان در دو گروه وزنی کمتر از یک و ۵-۱ گرم از میانگین کمتری نسبت به رقم آگریا برخوردار بود درحالی‌که در گروه‌های وزنی بیش از پنج گرم، رقم ساوالان نسبت به آگریا برتری داشت (جدول ۳). اختلاف دو رقم در گروه وزنی بیش از ۱۵ گرم حدود ۵۷ درصد بود که به لحاظ آماری نیز معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) بود. این روند در مورد وزن ریزغده در بوته نیز مشاهده شد (جدول ۴).

به‌طور کلی نتایج بررسی گلخانه‌ای نشان داد که گیاهچه‌هایی که در شرایط درون شیشه دارای سطح برگ کمتری بودند (دیود ساطع کننده نور قرمز) در شرایط گلخانه‌ای نیز سطح برگ کمتری تولید کردند. با توجه به اینکه سطح فتوسنتزی یکی از معیارهای مهم و تعیین‌کننده‌ی میزان تولید ماده‌ی خشک و درنهایت عملکرد گیاهان می‌باشد (۱۸)، میزان ماده تر و خشک تولیدی نیز تحت تأثیر این ویژگی قرار گرفت و میزان تولید ماده خشک و تر در طیف قرمز کمترین مقدار را دارا بود. با این وجود تعداد ریزغده‌های تولیدی تحت تأثیر طیف‌های مختلف نوری قرار نگرفت اما وزن ریزغده‌های تولیدی

در گیاهچه‌های رشد یافته در طیف‌های قرمز و فلورسنت به ترتیب کمترین و بیشترین وزن ریزغده را دارا بودند.

جدول ٤- میانگین صفات وزن ریزغده در بوته و گروهای وزنی در ارقام مورد مطالعه سیب‌زمینی در زمان برداشت

Table 4- Means of minituber weight per plant in different groups weight in potato cultivars at harvest time

تیمار		وزن ریزغده در بوته	وزن ریزغده در گروه‌های وزنی Minituber weight per plant in different groups weight ($g.plant^{-1}$)				
Treatments		Minituber weight ($g.plant^{-1}$)	گرم ۱ > <1 g	۱-۵ گرم 1-5 g	۵-۱۰ گرم 5-10 g	۱۰-۱۵ گرم 10-15 g	گرم۱۵ > >15 g
رقم Cultivar	آگریا Agria	41.06^{*b}	0.47^{a}	2.95^{a}	7.37^{a}	11.05^{a}	19.28^{b}
	ساوالان Savalan	58.02^{a}	0.17^{b}	2.93^{a}	9.51^{a}	13.71^{a}	31.71^{a}
منابع نوری Light sources	آبی Blue	52.33^{a}	0.34^{a}	3.68^{a}	7.66^{a}	12.88^{a}	27.80^{a}
	قرمز Red	43.15^{a}	0.32^{a}	2.42^{a}	12.32^{a}	6.26^{a}	21.84^{a}
	آبی-قرمز Blue-Red	45.84^{a}	0.33^{a}	4.02^{a}	7.59^{a}	10.09^{a}	23.83^{a}
	سفید White	52.41^{a}	0.34^{a}	2.18^{a}	5.20^{a}	16.73^{a}	27.99^{a}
	فلورسنت Fluorescent	53.96^{a}	0.20^{a}	2.39^{a}	9.44^{a}	15.94^{a}	26.02^{a}

*میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

*Means with similar letters in each treatment are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on LSD test

منابع

1- Aksenova N.P., Konstantinova T.N., Sergeeva L.I., Machachkova I., and Golyanovskaya S.A. 1994. Morphogenesis of potato plants *in-vitro*. 1. Effect of light quality and hormones. Journal of Plant Growth Regulation 13:143-146.

2- Avercheva O.V., Berkovich Y.A., Erokhin A.N., Zhigalova T.V., Pogosyan S.I., and Smolyanina S.O. 2009. Growth and photosynthesis of Chinese cabage plants grown under Light- Emiting Diode-based light source. Russian Journal of Plant Physiology 56:14-21.

3- Chindi A., Giorgis G.W., Solomon A., Tessama L., and Negash K. 2014. Rapid multiplication techniques (RMTs): A tool for the production of quality seed potato (*Solanum tuberosum* L.) in Ethiopia. Asian Journal of Crop Science 6:176-185.

4- Donnelly D.J., Coleman W.K., and Coleman S.E. 2003. Potato micro-tuber production and performance: A review. American Journal of Potato Research 80:103-115.

5- Economou A.S., and Read P.E. 1987. Light treatments to improve efficiency of *in vitro* propagation system. HortScience 22:751–754.

6- Fillipo R.V.H., Cano G.H.B., and Chaves O.J.A. 2010. LED lighting applications. Science and Technology 45:13-18.

7- Folta K.M. 2004. Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light mediated growth inhibition. Plant Physiology 135:1407–1416.

8- Gopal J., Chamail A., and Sarkar D. 2005. Use of microtubers for slow growth *in vitro* conservation of potato germplasm. Plant Genetic Resources - News 1141:56-60.

9- 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 Horticulturae 161:111-117.

10- Hayashi M., Fujita N., Kitaya Y., and Kozai T. 1992. Effect of sideward lighting on the growth of potato plantlets in vitro. Acta Horticulturae 319:163-166.

11- Hoagland D.R., and Arnon D.I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Search Results

California Agricultural Experiment Station Circular. 347:1-32.
12- Hogewoning S.W., Trouwborst G., Maljaars H., Poorter H., Ieperen W.V., and Harbinson J. 2010. Blue light dose–responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. Journal of Experimental Botany 61:3107–3117.
13- Jackson J.A., and Jenkins G.I. 1995. Extension-growth responses and expression of flavonoid biosynthesis genes in the *Arabidopsisi hy4* mutant. Plantarum 197:233-239.
14- Kim H.H., Goins G.D., Wheeler R.M., and Sager J.C. 2004 .Green light suplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes. HortScience 39:1617-1622.
15- Kubasek W.L., Shirley B.W., McKillop A., Goodman H.M., Briggs W., and Ausubel F.M. 1992. Regulation of flavonoid biosynthetic genes in germinating Arabidopsisi seedlings. Plant Cell 4:1229-1236.
16- Miyashita Y., Kimura T., Kitaya Y., and Kozai T. 1994. Effects of red on the growth and morphology of potato plantlets in vitro: An experimental use of light emitting diodes (LEDs) as a light source for tissue culture. Artificial Lighting in Hort. Third International Symposium. Noordwijkerhout, the Netherlands 23–27 Jan.
17- Murashige T., and Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum 15:473–497.
18- Paniagua Pardo G., Hernández Aguilar C., Rico Martínez F., Domínguez Pacheco A., Martínez González C., and Martínez Canseco M. 2014. Effects of light emitting diode high intensity on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and broccoli (*Brassica oleracea* L.) seedlings. Annual Review & Research in Biology 4:2983-2994.
19- Pérez B.S., Moreno A.D., and García V.C. 2008. Influence of light on health-promoting phytochemicals of broccoli sprouts. Journal of the Science of Food and Agriculture 8: 904–910.
20- Samuoliene G., Brazaityte A., Urbonaviciute A., Sabajeviene G., and Duchovskis P. 2010. The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. Zemdirbyste 97: 99-104.
21- Schuerger C.A., Brown S.C., and Stryjewski C.E. 1997. Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. Annals of Botany 79:273-282.
22- Taiz L., and Zeiger E. 2010. Plant Physiology, 5nd Edition Sinauer Associates, Sunderland, MA.
23- Tamulaitis G., Duchovskis P., Bliznikas Z., Breivé K., Ulinskaité R., Brazaityté A., Novickovas A., and Zukauskas A. 2005. High-power light-emitting diode based facility for plant cultivation. Journal of Physics D: Applied Physics 38:3182–3187.
24- Tennessen D.J., Singsaas E.L., and Sharkey T.D. 1994. Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. Photosynthesis Research 39: 85-92.
25- Xu H.I., Xu Q., Li F., Feng Y., Qin F., and Fang W. 2012. Applications of xerophytophysiology in plant production-LED blue light as a stimulus improved the tomato crop. Horticultural Science148:190–196.
26-Yorio N.C., Goins G.D., Kagie H.R., Wheeler M.R., and Sager J.C. 2001. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. Hortscience 36: 380–383.
27- Zhang L., and Wong M.H. 2007 .Environmental mercury contamination in China: Sources and impacts. Environment International 33:108-121.
28- Zobayed M., Armstrong J., and Armstrong W. 2001. Micro propagation of potato: Evaluation of closed, diffusive and forced ventilation on growth and tuberization. Annals of Botany 87: 53-59.

Journal of Horticultural Science
Vol. 31, No. 4, Winter 2018, P. 683-693
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶، ص. ۶۹۳-۶۸۳
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Effect of Different Light Sources on Morphology and Growth of Potato Plantlets under *in-vitro* Conditions and their Effect on Minituber Production in Greenhouse

J. Nabati[*1]- A. Boroumand Rezazadeh[2]- M. Zare Mehrjerdi[3]- M. Kafi[4]

Received: 31-07-2016
Accepted: 30-08-2017

Introduction: Conventional seed programmes take more than 10 years and diseases during each round of field multiplication become increasingly common and especially those transmitted through seed tubers. In contrast, the production of large volume of propagation material in protected environments requires only a few additional years of traditional seed multiplication in the field to produce the desired seed with an improved health status. This is useful especially in countries where there are no vector-free production areas for producing high quality potato seed tubers. In the last few decades, alternative seed production programmers have been developed in which the first multiplication steps are speeded up using in vitro plantlets, microtubers or minitubers. In the area of controlled environment agriculture (CEA), one of the most commonly discussed topics is lighting. The lighting system is generally the most expensive component of a controlled environment agriculture facility in terms of upfront costs as well as ongoing expenses (electricity use as well as replacement lamps). Naturally, advances in lighting technology are of great interest to the controlled environment agriculture community for these very reasons. Light emitting diodes (LEDs) are the most recent lighting technology to enter the controlled environment agriculture arena and have great potential to improve performance and reduce the overall cost of controlled environment lighting. Growth and morphogenetic effects of light (quality, intensity, and duration) and phytohormones are well documented, but their modes of action and mutual interactions are far from clear. One of the important questions is whether at least some of the morphogenetic effects of light are mediated by changes in phytohormone levels. This experiment was conducted in order to study the effect of different light sources on morphology and growth of potato plantlets under in-vitro conditions and their effect on minituber production in greenhouse to decrease energy consumption and production costs.

Materials and Methods: A factorial experiment was conducted based on completely randomized design with six replications under in-vitro conditions and four replications in greenhouse. Factors were consisted of cultivars (cv. Agria and Savalan) and light sources (LEDs emitting red, blue, white, combination of red and blue and also tubular fluorescent lamps as control). The experiment was carried out at the tissue culture laboratory of Yeka Seed Technology of Iran. Disease-free potato in vitro plantlets of Agria and Savalan cultivars were derived from the potato germplasm bank of Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran. The plantlets were propagated using single-node cutting. Eight explants were cultured in sterilized culture vessels containing 30 ml of MS and pH was set to 5.8 before adding agar and autoclaving. Culture vessel were closed with polycarbonate caps and sealed with household plastic foil and were placed in a growth chamber at 24 °C and 16 h photoperiod for 4 weeks.

Results and Discussion: Results indicated that red spectrum caused an increase in plantlet height and Agria had a higher plantlet height under in-vitro conditions. Root length was higher in red-blue combination and no difference was observed between cultivars under in-vitro condition. The highest and lowest leaf area was obtained in white and red spectrum, respectively. Also, Savalan showed a higher leaf area in comparison with Agria. The lowest node number in plantlets was observed in red spectrum and the highest in white. The highest and lowest internode length was related to red and blue spectrum, respectively. Fluorescent light was resulted in the lowest plantlet fresh weight and no significant difference was observed among other treatments according to this parameter. Stem diameter and number of branches was not affected by different lights. Results of greenhouse study indicated that light conditions before transplanting of plantlets did not affected minituber number, while minituber weight was significantly affected by this factor and the lowest mean of this parameter was obtained in red spectrum compared to the other treatments.

Conclusion: Generally, results showed that less leaf area plantlet in vitro was also less leaf area in

1- Member of Staff, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir)
2 and 4- Ph.D. in Agronomy and Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Member of Staff, Shirvan Higher Education Complex, Shirvan, Iran

greenhouse (red light emitting diode). Leaf area is an important criteria for photosynthetic and biomass production. Therefore, in this experiment fresh and dry matter production was affected by this characteristics and red light showed the lowest dry matter production. LEDs could be considered as suitable light sources producing plantlets comparable with those grown under fluorescent light under in-vitro conditions along with saving energy and ultimately lower production cost.

Keywords: Agria, Fluorescent, LED, Savalan, Spectrum