

بررسی تأثیر کیفیت نور در شرایط درون شیشه‌ای بر ریخت‌شناختی گیاهچه، رشد و تولید ریزغده سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) در کشت هیدروپونیک

علی اسدی^۱، محمد کافی^{۲*}، جعفر نباتی^۳ و مرتضی گلدانی^۴

۱، ۲، ۳، ۴. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد، استادیار و دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۲۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۵)

چکیده

برای بررسی تأثیر منابع مختلف نور بر رشد گیاهچه‌های سیب‌زمینی در شرایط درون‌شیشه‌ای و عملکرد آن‌ها پس از کشت در گلخانه، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کامل تصادفی با شش تکرار در آزمایشگاه و گلخانه شرکت فناوران بذر یکتا در مشهد اجرا شد. تیمارها شامل هشت سطح نوری (دیوهای ساطع‌کننده نور (LED) سفید، قرمز، آبی، ترکیب طیف آبی و قرمز به نسبت‌های ۱:۱، ۱:۳، ۳:۱، نور فلورسنت، نور طبیعی) و دو رقم سیب‌زمینی (آگریا، فونتانه) بودند. ریز ازدیادی گیاهچه‌ها از طریق کشت بافت در شرایط درون‌شیشه‌ای و محیط کشت پایه MS صورت گرفت. گیاهچه‌ها چهار هفته در محیط کشت و تحت تیمارهای نوری قرار گرفتند، سپس از محیط کشت خارج شده و ۹۰ روز در گلخانه، در نور طبیعی رشد کردند. نتایج نشان داد، گیاهچه‌های رقم آگریا در شرایط درون‌شیشه‌ای ۰/۷۳ سانتی‌متر ارتفاع بیشتری نسبت به رقم فونتانه داشتند. بیشترین و کمترین سطح برگ در شرایط درون‌شیشه‌ای در نور طبیعی و طیف قرمز به ترتیب با ۲/۷۹ و ۰/۵۰ سانتی‌متر مربع در بوته مشاهده شد. با افزایش نسبت نور قرمز در شرایط درون‌شیشه‌ای، در هر دو رقم شمار غده در بوته در گلخانه افزایش و وزن آن‌ها کاهش یافت. نور فلورسنت با ۲/۲۸ غده در بوته، کمترین شمار غده در بوته را تولید کرد. با افزایش طیف قرمز، بوته‌های سیب‌زمینی، شمار بیشتری غده با وزن و اندازه کوچک‌تر تولید کردند. به‌طور کلی در شرایط درون‌شیشه‌ای با استفاده از نور طبیعی امکان تولید گیاهچه‌های مناسب سیب‌زمینی برای کاهش هزینه‌ها وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: دیوهای ساطع‌کننده نور، ریزغده، طیف نور، نور آبی، نور قرمز.

Effect of different light sources in *in vitro* on growth, morphology and minituber production of potato (*Solanum tuberosum* L.) in hydroponic conditions

Ali Asadi¹, Mohammad Kafi^{2*}, Jafar Nabati^{3*} and Morteza Goldani⁴

1, 2, 3, 4. Former M. Sc. Student, Professor, Assistance Professor and Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received: Oct. 20, 2016 - Accepted: Feb. 3, 2017)

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of different light quality, on the growth of potato plantlets *in vitro*, and their subsequent performance in the greenhouse, an experiment was performed in 2015 in Mashhad, in tissue culture laboratory and greenhouse of Yekta Seed Technology Company. A factorial experiment based on the completely randomized design with six replications performed. The first factor consisted of eight different light treatments as follows: white, red and blue Light-emitting diode (LED), combination of red and blue spectrum ratios of 1:1, 1:3 and 3:1, fluorescent lamp and natural light and the second factor was two potato cultivars including Agria and Fontane. MS culture medium was used for micro propagation of plantlets and plants fed with Hoagland nutrient solution in the greenhouse. After four weeks, the seedlings were removed from the culture medium, and their morphological properties were assessed and then plantlets transferred to the greenhouse and were grown in hydroponic condition for 90 days. Results showed that Agria *in vitro* plantlets were taller than the Fontane plantlets. Natural light produced the highest leaf area and the lowest leaf area was produced in blue spectrum. By increasing the red spectrum, number of tubers of both cultivars significantly increased and the weight of tubers per plant decreased. Fluorescent light source produced the lowest number of tubers per plant in both cultivars. By increasing ratio of red spectrum, potato plants produced higher tuber number with the smaller size and weight.

Keywords: Blue spectrum, light emitting diode (LED), minitubers, Red spectrum, tissue culture.

* Corresponding author E-mail: mkafi36@yahoo.com

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یک محصول تجاری مهم در سطح جهان است که تا حدودی در سراسر جهان کشت می‌شود و از نظر تولید چهارمین محصول زراعی مهم جهان به شمار می‌آید (Rahman & Akanda, 2009). غده سیب‌زمینی منبعی غنی از انواع کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و ویتامین‌ها است و به لحاظ داشتن ظرفیت (پتانسیل) بالای تولید و همچنین سازگاری به اقلیم‌های متفاوت، مورد توجه قرار گرفته است (Hoque, 2010).

از مهم‌ترین عامل‌هایی که منجر به بهره‌وری پایین تولید سیب‌زمینی می‌شود، استفاده از غده‌های بذری با کیفیت پایین است. این غده‌های بذری اغلب از برداشت پیشین به دست آمده‌اند که به‌طور معمول آلوده به ویروس هستند (Masengesho *et al.*, 2012). کاهش عملکرد قابل توجه در سیب‌زمینی به بیماری‌های مختلف نسبت داده شده است (Rahman & Akanda, 2009). ویروس‌ها باعث کاهش عملکرد و نیز کیفیت محصول می‌شوند. بنابراین بسیار مهم است که مواد اولیه مورد استفاده برای افزونش رویشی، بدون ویروس باشند (Bagheri & Saffari, 2008). ریز ازدیادی سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه‌ای، می‌تواند ریزغده‌های بدون ویروس را برای افزایش بهره‌وری سیب‌زمینی تولید کند (Prakash & Karihaloo, 2007).

استفاده از روش کشت بافت موجب افزایش محصول سیب‌زمینی، کاهش هزینه‌های تولید، کاهش ابتلا به بیماری‌ها و کاربرد سموم شده است (Sabeti *et al.*, 2012). تولید ریزغده از گیاهچه در شرایط درون شیشه اجازه می‌دهد تا در برنامه‌های تولید بذر سرعت افزونش بیشتر شود و نیاز به افزونش در مزرعه کاهش یابد (Farran & Mingo-Castel, 2006). عامل‌های مؤثر بر تولید ریزغده در شرایط درون شیشه‌ای شامل نوع رقم، نوع محیط کشت و ترکیب‌های آن، تنظیم‌کننده‌های رشد، رقم، کیفیت نور، دوره نوری و دما است (Al-Safadi *et al.*, 2000).

بررسی‌های انجام‌شده روی کیفیت فیزیولوژیکی گیاهچه‌های سیب‌زمینی نشان دادند، شرایط رشد

گیاهچه در مرحله درون شیشه‌ای، روی کیفیت گیاهچه‌ها و همچنین عملکرد ریزغده‌های سیب‌زمینی تأثیر زیادی دارد (Struik & Wiersema, 1999). رشد و نمو گیاه تحت تأثیر عامل‌های بسیاری مانند کیفیت نور، دوره نوری، دما و تنظیم‌کننده‌های رشدی قرار می‌گیرد در این میان شرایط نور، تأثیر قابل توجهی بر رشد و ریخت‌شناختی (مورفولوژی) در شرایط درون شیشه‌ای گیاهان دارد (Nhut & Ngoc Huong, 2006). کیفیت نور بر فرآیندهای نموی مانند جوانه‌زنی، گلدهی و رشد ساقه گیاهان اثر می‌گذارد (Fixen *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2012). لامپ‌های فلورسنت منبع نور مصنوعی متداول برای ریز ازدیادی هستند و استفاده از آن‌ها بیشترین هزینه‌های غیر کارگری در فرآیند تولید گیاهچه را به خود اختصاص می‌دهد (۶۵ درصد کل هزینه الکتریسیته). دیودهای ساطع‌کننده نور (LEDs) منابع جایگزین برای لامپ‌های فلورسنت هستند (Jao & Fang, 2004). آن‌ها جریان کم، حجم کم، طول موج اختصاصی، تشعشع کم و طول عمر زیاد دارند (Nhut & Nam, 2010; Massa *et al.*, 2008; Kurilcik *et al.*, 2008).

سطح بالای فوتون دیودهای ساطع‌کننده نور آبی و قرمز و طول موج اختصاصی آن‌ها برتری‌های جدیدی به نظام‌های روشنایی افزوده است (Nhut & Nam, 2008; Massa *et al.*, 2010). ترکیب دیودهای ساطع‌کننده نور آبی و قرمز، یک منبع نور مؤثر برای تولید بسیاری از گونه‌های گیاهی، از جمله کاهو (*Lactuca sativa*)، در محیط‌های کنترل‌شده است (Lin *et al.*, 2013). دیودهای ساطع‌کننده نور، برای رشد گیاهان نسبت به لامپ فلورسنت مناسب‌تر هستند (Li *et al.*, 2010). با توجه به هزینه‌های آن‌ها و راندمان الکتریکی بالا، دیودهای ساطع‌کننده نور ممکن است به‌عنوان بهترین انتخاب برای شرایط درون شیشه‌ای در نظر گرفته شود (Paul, 2006). استفاده از دیودهای ساطع‌کننده نور در شرایط درون شیشه‌ای برای تولید توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa*) و گل شیپوری (*Zantedeschia aethiopica*)، نه تنها بر رشد گیاهچه‌ها در شرایط درون شیشه‌ای تأثیرگذار بوده، بلکه در رشد این

هشت تیمار نوری مختلف شامل طیف قرمز، طیف آبی، ترکیب طیف‌های قرمز و آبی به نسبت‌های (۱:۱)، (۳:۱ و ۱:۳) و طیف سفید، با استفاده از دیودهای ساطع‌کننده نور (LED) یک وات، نور فلورسنت و نور طبیعی محیط و دو رقم سیب‌زمینی شامل رقم‌های آگریا و فونتانه بود. تیمارهای مربوط به نور طبیعی محیط، به گلخانه و در زیر سایه (۵۰ درصد نور طبیعی) منتقل شدند. این تیمارهای نوری به مدت چهار هفته در آزمایشگاه اعمال شد و پس از انتقال گیاهچه‌ها به گلخانه، همه تیمارها در زیر نور محیط قرار گرفتند. در اتاق رشد، گیاهچه‌ها در شرایط شانزده ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی و شدت نور حدود ۴۵ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه (به‌جز تیمار نور محیط) با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری PAR^۱ (مدل QSO-S PAR Decagon) و دمای ۲۴ درجه سلسیوس قرار گرفتند. شدت نور در تیمارهای ترکیبی با تغییر شمار دیودهای ساطع‌کننده نور به نحوی تنظیم شد هر سهم هر یک از طیف‌ها در شدت نور ایجادشده برابر باشد.

گیاهچه‌های کشت بافتی پیش از انتقال به گلخانه، از محیط کشت خارج و توسط اسکنر Laser Jet M122nf MFP با وضوح ۲۰۰ dpi تصویربرداری شدند. سپس توسط نرم‌افزار JMicroVision-v1.27 شمار گیاهچه‌های طبیعی، سطح برگ، قطر ساقه، طول ریشه، طول ساقه، شمار گره و فاصله میان‌گره‌ها اندازه‌گیری شد. برای محاسبه ماده خشک، دو گیاهچه از هر تیمار انتخاب و به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شد.

به‌منظور بررسی تأثیر تیمارهای نوری بر عملکرد ریزغده، گیاهچه‌های تولیدشده به گلخانه انتقال یافتند و در بستر کشت کوکوپیت-پرلیت (به نسبت ۱:۱) به مدت ۹۰ روز در این شرایط نگهداری شدند. در طول دوره آزمایش گیاهچه‌های سیب‌زمینی با محلول غذایی هوگلند (Hoagland & Arnon, 1950) تغذیه شدند. پس از ۹۰ روز سطح برگ، شمار ریزغده، اندازه و وزن ریزغده‌ها ارزیابی شد و بر پایه وزن در گروه‌های

گیاهان پس از انتقال به خاک نیز مؤثر بوده است (Dutta Gupta & Jatothu, 2013).

نور آبی سبب جلوگیری از گسترش گیاهچه و تشکیل ریشه‌ها می‌شود (Kurilcik et al., 2008). از سوی دیگر گزارش شده است که بیشترین سطح برگ و بیشترین میزان سبزینه (کلروفیل) در گیاهچه‌های پنبه (*Gossypium hirsutum*)، در دیودهای ساطع‌کننده نور آبی مشاهده شد (Li et al., 2010). نور قرمز ناشی از دیودهای ساطع‌کننده سبب افزایش طول ساقه گیاهچه‌های سیب‌زمینی شد (Massa et al., 2008). بر پایه بررسی‌های انجام‌شده، به نظر می‌رسد که نور قرمز ناشی از دیودهای ساطع‌کننده می‌تواند برای افزایش ارتفاع ساقه و طول میان‌گره‌ها و ریشه‌زایی مؤثر باشد، اما نور آبی ناشی از دیودهای ساطع‌کننده برای ساخت (سنتز) سبزینه و توسعه روزنه (Li et al., 2010; Poudel et al., 2008) و گسترش سطح برگ مورد نیاز است (Lin et al., 2013).

هدف از این بررسی ارزیابی تأثیر طیف‌های نور، بر گیاهچه‌های تولیدشده در شرایط درون شیشه‌ای و به دنبال آن، تولید ریزغده در شرایط گلخانه به‌منظور افزایش کیفیت گیاهچه‌های درون شیشه‌ای و همچنین افزایش شمار، اندازه و وزن ریزغده تولیدشده در گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دی‌ماه ۱۳۹۳ در آزمایشگاه کشت بافت و گلخانه شرکت فناوران بذر یکتا در مشهد به اجرا درآمد. با استفاده از روش کشت بافت در شرایط درون شیشه، ریز ازدیادی انجام گرفت و گیاهچه‌های با اندازه یکسان تولید شد. برای این منظور از محیط کشت پایه MS (Murashige & Skoog, 1962) استفاده شد. تهیه محیط کشت MS بر پایه غلظت‌های نمک کم‌مصرف، پرمصرف و ویتامین بدون هورمون با ۳۰ گرم بر لیتر ساکارز و pH حدود ۵/۸ صورت گرفت. برای کشت از ظرف‌های شیشه‌ای ۲۵۰ میلی‌لیتری با درپوش پلی‌اتیلن قابل اتوکلاو استفاده شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کامل تصادفی با شش تکرار انجام گرفت. تیمارها شامل

گیاهچه‌های رشد یافته در زیر نور آبی داشتند (Aksenova *et al.*, 1994). بر پایه گزارش نتایج بررسی‌های Nanya *et al.* (2012) نیز با افزایش نسبت طیف قرمز به آبی، طول ساقه گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی افزایش یافت. نور آبی به‌وسیله کاهش فرآیندهای رشدی دیواره یاخته‌ای، سبب جلوگیری از طول شدن ساقه می‌شود (Hernandez, 2013). کاهش طول ساقه با افزایش نور آبی با کاهش سطح IAA مرتبط است. گیاهان سیب‌زمینی رشد یافته در نور قرمز ساقه بلندتری نسبت به گیاهان رشد یافته در نور آبی دارند همچنین نسبت ریشه به ساقه در نور آبی بیشتر از نور قرمز است (Aksenova *et al.*, 1994).

برهمکنش طیف‌های نوری و رقم از نظر طول ریشه‌چه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۱). بیشترین طول ریشه مربوط به گیاهچه‌های رقم آگریا در طیف نور سفید بود، البته بین همه تیمارهای رقم آگریا اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کمترین طول ریشه‌چه نیز مربوط به تیمار لامپ فلورسنت و رقم فونتانه بود، اما میانگین ارتفاع گیاهچه‌های رقم فونتانه به میزان ۹/۲ درصد نسبت به گیاهچه‌های رقم آگریا طول ریشه بیشتر بود (جدول ۱).

۰/۱ تا پنج، ۵/۱ تا ۱۰/۱، ۱۰/۱ تا ۱۵ و ۱۵ گرم به بالا و بر پایه اندازه در گروه‌های ۰/۱ تا ۱۰/۱، ۱۰/۱ تا ۲۰ و ۲۰ میلی‌متر به بالا گروه‌بندی شدند.

داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 تجزیه و میانگین‌ها برای صفاتی که در سطح ۵ درصد معنی‌دار بودند بر پایه آزمون LSD انجام گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر رقم‌ها و طیف‌های نوری بر ارتفاع گیاهچه‌ها از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0.05$) داشت. بیشترین ارتفاع گیاهچه‌ها در رقم آگریا و تیمارهای طیف سفید و طیف قرمز و کمترین ارتفاع گیاهچه‌ها نیز در رقم فونتانه و تیمار لامپ فلورسنت مشاهده شد (جدول ۱). در رقم آگریا تیمار لامپ فلورسنت و در رقم فونتانه، طیف سفید به ترتیب کمترین و بیشترین ارتفاع را داشتند. میانگین ارتفاع بوته در گیاهچه‌های رقم آگریا ۰/۷۳ سانتی‌متر (۱۱/۲ درصد)، بیشتر از رقم فونتانه بود (جدول ۱). نتایج تحقیقات نشان داده است، گیاهچه‌های سیب‌زمینی رشد یافته در زیر نور قرمز به‌طور معنی‌داری، ساقه‌های بلندتری نسبت به

جدول ۱. مقایسه میانگین ویژگی‌های ریخت‌شناختی گیاهچه‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه‌ای تحت تأثیر طیف‌های

مختلف نوری در دو رقم آگریا و فونتانه

Table 1. The morphological parameters of potato plantlets in *in vitro* condition, under different light spectrum of two potato cultivars; Agria and Fontane

Treatments		Plantlet height (cm)	Root length (cm)	Number nod. Plantlet ⁻¹	Stem diameter (mm)	Leaf area (cm ² .plant ⁻¹)
Cultivars	Light spectrum					
Agria	Natural light	4.91 ^{c-e}	14.40 ^{a-e}	5.29 ^e	1.21 ^{a-d}	2.56 ^{bc}
	Red	14.40 ^a	16.70 ^{ab}	7.26 ^a	1.29 ^{ab}	0.45 ^d
	Blue-Red (1:3)	5.19 ^{c-e}	14.90 ^{a-d}	7.01 ^{a-c}	1.22 ^{a-d}	1.76 ^c
	Blue-Red (1:1)	6.67 ^{bc}	15.30 ^{a-c}	6.89 ^{a-d}	1.24 ^{a-c}	1.78 ^c
	Blue-Red (3:1)	5.52 ^{b-d}	15.20 ^{a-d}	6.04 ^{a-e}	1.23 ^{a-c}	1.89 ^{bc}
	Blue	7.43 ^b	15.70 ^{a-c}	6.28 ^{a-e}	1.24 ^{a-c}	1.75 ^c
	White	16.20 ^a	17.20 ^a	5.39 ^e	1.35 ^a	2.19 ^{bc}
	Fluorescent	4.88 ^{c-e}	14.20 ^{a-e}	5.66 ^{c-e}	1.13 ^{b-c}	1.85 ^{bc}
Fontane	Natural light	3.65 ^{de}	9.21 ^{fg}	6.33 ^{a-e}	0.93 ^{ef}	3.02 ^a
	Red	4.56 ^{de}	12.90 ^{c-e}	6.59 ^{a-e}	1.09 ^{c-e}	0.55 ^d
	Blue-Red (1:3)	4.07 ^{de}	9.27 ^{fg}	7.10 ^{ab}	1.04 ^{d-f}	2.31 ^{a-c}
	Blue-Red (1:1)	4.26 ^{de}	11.50 ^{e-g}	5.98 ^{a-e}	1.07 ^{c-e}	2.50 ^{a-c}
	Blue-Red (3:1)	4.17 ^{de}	11.40 ^{e-g}	6.14 ^{a-e}	1.07 ^{c-e}	2.36 ^{a-c}
	Blue	4.49 ^{de}	11.90 ^{d-f}	5.76 ^{b-e}	1.08 ^{c-e}	1.97 ^{bc}
	White	4.77 ^{c-e}	13.60 ^{b-e}	5.57 ^{de}	1.11 ^{c-d}	2.12 ^{bc}
	Fluorescent	3.38 ^e	8.52 ^g	6.21 ^{a-e}	0.87 ^f	2.65 ^{ab}

* در هر ستون میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.

* In each column means followed by the same letters are not significantly different ($P \leq 0.05$), at 5% probability level based on LSD.

گیاهان بنت‌قنسول با قرار گرفتن در زیر ترکیب طیف قرمز و آبی به‌عنوان نور مکمل، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Bergstrand *et al.*, 2015). ترکیب طیف‌های آبی و قرمز نسبت به نور فلورسنت برای رشد قطری ساقه، مناسب‌تر بودند (Ma *et al.*, 2015). از نظر سطح برگ درون شیشه‌ای، برهمکنش طیف‌های مختلف نوری در رقم تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0/05$) نشان داد (جدول ۱). بیشترین سطح برگ مربوط به گیاهچه‌های رقم فونتانه در نور طبیعی و کمترین میزان سطح برگ نیز متعلق به طیف قرمز در هر دو رقم آگریا و فونتانه بود (جدول ۱). به‌طور کلی رقم فونتانه به میزان ۱۸/۲ درصد، سطح برگ بیشتری نسبت به گیاهچه‌های رقم آگریا تولید کردند، همچنین نور محیط بیشترین و طیف قرمز کمترین سطح برگ در شرایط درون شیشه‌ای را داشتند که تفاوت آن‌ها، ۸۲ درصد بود (جدول ۱). ترکیب طیف‌های آبی و قرمز، سطح برگ را نسبت به نور فلورسنت افزایش می‌دهد (Ma *et al.*, 2015) که برخلاف نتایج به‌دست‌آمده در این بررسی بود که احتمال دارد به دلیل نسبت نور آبی به قرمز در این پژوهش باشد. Novickovas *et al.* (2012) در نتایج بررسی‌های خود بیان کردند، طیف آبی نور، با بهبود محتوای رنگ‌دانه‌های نورساختی (فتوسنتزی)، سبب افزایش سطح برگ نشاهای خیار (*Cucumis sativus* L.) شدند.

برهمکنش رقم‌ها و طیف‌های نوری تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0/05$) از نظر سطح برگ در گلخانه نشان داد (جدول ۲). طیف‌های قرمز، آبی و سفید در رقم آگریا بیشترین سطح برگ را داشتند و تیمار نور طبیعی در رقم فونتانه کمترین سطح برگ را در شرایط گلخانه تولید کردند (جدول ۲). میانگین‌های سطح برگ نشان داد، رقم آگریا ۳۵/۷ سانتی‌متر مربع سطح برگ بیشتری نسبت به گیاهچه‌های رقم فونتانه تولید کرد (جدول ۲). Hernández (2013) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرد، افزایش نور آبی سبب کاهش سطح برگ می‌شود. به نظر می‌رسد با افزایش محتوای سبزینه در واحد سطح برگ، افزایش هدایت روزنه‌ای و همچنین افزایش نورساخت خالص در حضور نور آبی (Li *et al.*, 2010)، نیاز به سطح برگ بیشتر در گیاه ضروری نیست.

نتایج بررسی‌های گذشته نشان داده بود، نور فلورسنت، طول ریشه بیشتری نسبت به طیف قرمز تولید می‌کند (Jao *et al.*, 2005). (Aksenova *et al.*, 1994). در بررسی‌های خود بین طیف آبی و قرمز، از نظر طول ریشه‌چه گیاهچه‌های سیب‌زمینی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نکرد که با نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش مغایرت دارد. در بررسی‌های گذشته ارتباط مستقیمی بین ارتفاع بوته و درصد ریشه‌زایی مشاهده شد. نور می‌تواند از طریق فعالیت مورفوژنز بر طول ریشه تأثیرگذار باشد و طول ریشه ممکن است توسط گیافام (فیتوهورمون‌ها مهار (کنترل) شود (Poudel *et al.*, 2008). تولید ریشه در حضور نور افزایش می‌یابد، در تاریکی این افزایش ریشه ممکن است به دلیل افزایش سطح اکسین طبیعی و تحریک تولید سیتوکینین با نور قرمز انجام گیرد (Tavakkolafshari *et al.*, 2011).

بررسی شمار جوانه‌ها در طیف‌های مختلف نوری نشان داد، برهمکنش رقم و طیف‌های نوری بر شمار گره، از لحاظ آماری معنی‌دار ($P \leq 0/05$) بود (جدول ۱). میان تیمارهای به‌کاررفته و رقم‌ها از نظر شمار گره، تفاوت کمی وجود داشت، اما با این وجود، بیشترین شمار گره در گیاهچه‌های رقم آگریا در تیمار طیف قرمز و کمترین شمار نیز در گیاهچه‌های رقم آگریا در تیمارهای نور طبیعی و طیف سفید مشاهده شد. با این وجود در رقم فونتانه تیمار طیف قرمز و آبی (۱:۳) بیشترین شمار گره را داشت (جدول ۱). بر پایه بررسی Bergstrand *et al.* (2015)، قرار دادن گیاه بنت‌قنسول (*Euphorbia pulcherrima*) در طیف نور آبی و قرمز، به‌عنوان نور تکمیلی، سبب کاهش شمار میان‌گره‌ها شد. به نظر می‌رسد با افزایش طول ساقه، همزمان با طول شدن میان‌گره‌ها، شمار گره نیز در گیاهچه‌ها افزایش می‌یابد.

تفاوت معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بین برهمکنش طیف‌های مختلف نوری و رقم‌ها از نظر قطر ساقه مشاهده شد. بیشترین قطر ساقه را گیاهچه‌های رقم آگریا در تیمار طیف سفید داشتند، البته بین همه گیاهچه‌های رقم آگریا به‌جز گیاهچه‌های رشد یافته در نور فلورسنت، تفاوت معنی‌داری ($P > 0/05$) وجود نداشت و کمترین قطر ساقه نیز متعلق به گیاهچه‌های رقم فونتانه در نور فلورسنت بود (جدول ۱). قطر ساقه

جدول ۲. سطح برگ و ویژگی‌های ریزغده‌های سیب‌زمینی، در گلخانه، تحت تأثیر طیف‌های مختلف نوری، در دو رقم آگریا و فونتانه
Table 2. The leaf area and properties of potato minituber in greenhouse, under different light spectrum in two potato varieties Agria and Fontane

Cultivars	Treatments	Leaf area (cm ² .plant ⁻¹)	Tuber per plant	Tuber weight plant ⁻¹ (g)	Average of tuber weight (g)	Tuber dry matter (%)	Average of tuber diameter (mm)
	Light spectrum						
Agria	Natural light	114 ^{a-c*}	5.69 ^a	21.7 ^{a-d}	3.82 ^f	20.3 ^a	17.3 ^{c-e}
	Red	132 ^a	5.23 ^{ab}	17.9 ^{b-e}	3.47 ^f	19.8 ^a	16.4 ^e
	Blue-Red (1:3)	122 ^{ab}	5.12 ^{ab}	21.7 ^{a-d}	4.27 ^f	20.4 ^a	18.1 ^{b-e}
	Blue-Red (1:1)	110 ^{a-e}	5.23 ^{ab}	24.2 ^{ab}	4.70 ^{ef}	20.3 ^a	18.1 ^{b-e}
	Blue-Red (3:1)	113 ^{a-d}	4.05 ^{bc}	23.4 ^{a-c}	5.83 ^{b-f}	20.1 ^a	19.8 ^{a-d}
	Blue	130 ^a	3.60 ^{cd}	20.6 ^{a-d}	5.72 ^{c-f}	20.6 ^a	20.0 ^{a-c}
	White	129 ^a	3.64 ^{cd}	25.3 ^a	6.94 ^{a-e}	20.2 ^a	21.0 ^{ab}
	Fluorescent	107 ^{a-f}	2.43 ^{de}	20.6 ^{a-d}	8.57 ^a	19.8 ^a	22.5 ^a
Fontane	Natural light	72 ^g	3.55 ^{cd}	13.9 ^e	3.98 ^f	19.5 ^a	16.8 ^{de}
	Red	94 ^{b-g}	3.61 ^{cd}	17.0 ^{de}	4.97 ^{d-f}	19.6 ^a	18.2 ^{b-e}
	Blue-Red (1:3)	80 ^{fg}	2.13 ^e	15.6 ^{de}	7.44 ^{a-c}	18.9 ^a	20.6 ^{ab}
	Blue-Red (1:1)	82 ^{e-g}	2.14 ^e	18.0 ^{b-e}	8.44 ^a	20.1 ^a	21.9 ^a
	Blue-Red (3:1)	88 ^{c-g}	2.22 ^e	18.8 ^{b-e}	8.86 ^a	19.6 ^a	21.8 ^a
	Blue	87 ^{c-g}	2.41 ^{de}	21.0 ^{a-d}	9.06 ^a	18.7 ^a	22.0 ^a
	White	85 ^{d-g}	2.62 ^{de}	19.2 ^{a-e}	7.29 ^{a-d}	18.9 ^a	20.2 ^{a-c}
	Fluorescent	82 ^{e-g}	2.14 ^e	17.4 ^{c-e}	8.21 ^{ab}	19.3 ^a	21.5 ^a

* در هر ستون میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.

* In each column means followed by the same letters are not significantly different ($P \leq 0.05$), at 5% probability level based on LSD.

در بوته را داشت، تفاوت معنی‌داری ($P > 0.05$) مشاهده نشد، گیاهان رقم فونتانه نیز در تیمارهای نوری مختلف با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ($P > 0.05$) نداشتند، البته به‌صورت کلی، رقم آگریا نسبت به رقم فونتانه، وزن غده بیشتری در بوته تولید کرد (جدول ۲). در بررسی *Khaninejad et al.* (2014) رقم فونتانه، وزن غده بیشتری در هر بوته تولید کرده بود که برخلاف نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش است. به‌طورکلی رقم آگریا ضریب تولید شمار غده کمتری نسبت به رقم فونتانه دارد در مقابل وزن غده‌های تولیدی آن بیشتر از رقم فونتانه است، به‌احتمال علت تفاوت نتایج این پژوهش با نتایج بررسی *Khaninejad et al.* (2014) شرایط متفاوت دو آزمایش بوده است.

برهمکنش رقم در طیف‌های نوری از نظر میانگین وزن غده، تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0.01$) داشت. گیاهچه‌های رقم فونتانه در تیمارهای طیف آبی و ترکیب طیف‌های آبی و قرمز به نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۳ و گیاهچه‌های رقم آگریا در نور فلورسنت، همگی بیشترین میانگین وزن غده را داشتند، از سوی دیگر گیاهچه‌های رقم آگریای رشد یافته در طیف قرمز و ترکیب طیف‌های آبی و قرمز به نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۳ و گیاهچه‌های رقم فونتانه در شرایط نور طبیعی، کمترین میانگین وزن غده را داشتند. البته اختلاف بیشترین میانگین وزن غده در گیاهچه‌های رقم فونتانه

برهمکنش طیف‌های نور و رقم از نظر میانگین شمار غده در هر بوته، معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۲). رقم آگریا در شرایط نور طبیعی دارای بیشترین شمار غده در بوته و رقم فونتانه در تیمارهای نور فلورسنت و هم‌ترکیب‌های طیف نور آبی و قرمز، کمترین شمار غده در بوته را تولید کردند (جدول ۲). در این بررسی میانگین شمار غده تولیدشده در رقم آگریا، به میزان ۴۰/۳ درصد، بیشتر از غده‌های تولیدشده توسط رقم فونتانه بود (جدول ۲). نتایج بررسی دیگری نشان داد، میانگین شمار غده تولیدشده توسط بوته‌های رقم آگریا و فونتانه تفاوت معنی‌داری نداشت (*Khaninejad et al.*, 2014). نور آبی و قرمز، اثر معنی‌داری بر غده‌زایی گیاهچه‌های رقم دزیره نداشتند (*Fixen et al.*, 2012). طیف قرمز، بیشترین میزان محتوای برگ لپ‌های را از نظر کل رنگ‌دانه‌های جذب نور، در گیاه کلم قرمز داشت (*Matioc-Precup & Cachița-Cosma*, 2013).

برهمکنش رقم و طیف‌های نوری بر وزن غده در بوته، معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۲). بیشترین وزن غده در بوته را رقم آگریا در تیمار طیف سفید داشت و رقم فونتانه در شرایط نور طبیعی، کمترین وزن غده در بوته را تولید کرده بود که میانگین وزن غده تیمار طیف سفید در رقم آگریا نسبت به تیمار نور طبیعی در رقم فونتانه ۴۵ درصد بیشتر بود. بین تیمارهای رقم آگریا به‌غیر از تیمار طیف سفید که بیشترین میانگین وزن غده

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها نشان داد، در شرایط درون شیشه‌ای، گیاهچه‌های رقم فونتانه به دلیل داشتن شبکه ریشه‌ای بهتر و سطح برگ بالاتر، نسبت به گیاهچه‌های رقم آگریا، شرایط بهتری داشتند. همچنین، گیاهچه‌های رشد یافته در نور فلورسنت، نور طبیعی، طیف سفید و همه ترکیب‌های طیف‌های آبی و قرمز، شرایط خوبی داشتند و گیاهچه‌های مناسبی تولید کردند. البته به نظر می‌رسد استفاده از نور طبیعی در شرایط درون شیشه‌ای به دلیل تولید گیاهچه‌های مناسب و همچنین نداشتن هزینه الکتریسیته، صرفه اقتصادی بیشتری داشته باشد. در شرایط گلخانه شمار و اندازه ریزغده‌ها اهمیت بالایی دارند. بوته‌های رقم آگریا در گلخانه، شمار ریزغده بیشتری نسبت به رقم فونتانه تولید کردند البته ریزغده‌های تولیدشده توسط رقم آگریا، باوجود قطر بیشتر نسبت به ریزغده‌های رقم فونتانه، وزن کمتری داشتند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، با افزایش نسبت طیف قرمز به طیف آبی، شمار ریزغده‌ها افزایش و میانگین وزن آن‌ها کاهش یافت. در این آزمایش، نور محیط و طیف قرمز، بیشترین شمار ریزغده را تولید کردند، ولی ریزغده‌های تولیدی آن‌ها از نظر اندازه کوچک بودند که احتمال پوسیدگی آن‌ها بیشتر است و ممکن است پس از کاشت، گیاهچه‌های قوی و مناسبی تولید نکنند. تیمارهای طیف سفید و ترکیب طیف‌های آبی و قرمز به نسبت ۱:۱ از نظر شمار و وزن ریزغده تولیدی، مناسب هستند و با توجه به تولید شمار ریزغده بیشتر توسط ترکیب طیف آبی و قرمز به نسبت ۱:۱، می‌توان گفت که این تیمار برای تولید ریزغده در گلخانه مناسب‌تر است.

در تیمار طیف آبی، با کمترین میانگین وزن غده در گیاهچه‌های رقم آگریا رشد یافته در طیف قرمز، ۵/۸۵ گرم، برابر با ۶۱/۷ درصد، بود (جدول ۲). در بررسی *Khaninejad et al.* (2014) نیز رقم فونتانه میانگین وزن غده بیشتری نسبت به رقم آگریا داشت. ترکیب طیف آبی و قرمز نور برای رشد زایشی گیاهان مناسب است و سبب تجمع کربوهیدرات‌ها می‌شود (Matioc-Precup & Cachița-Cosma, 2013).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، برهمکنش بین رقم و طیف‌های مختلف نوری از نظر درصد ماده خشک غده، معنی‌دار ($P > 0.05$) نبود (جدول ۲).

برهمکنش طیف‌های نور و رقم از نظر میانگین قطر غده‌ها، معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود. گیاهچه‌های رقم فونتانه در تیمارهای نور فلورسنت و طیف آبی و ترکیب طیف‌های آبی و قرمز به نسبت ۱:۱ و ۱:۳ و گیاهچه‌های رقم آگریا در تیمار نور فلورسنت، بیشترین میانگین قطر غده را داشتند و گیاهچه‌های رقم آگریا در تیمار دیوده‌های ساطع‌کننده نور قرمز، کمترین میانگین قطر غده را داشتند. تفاوت بیشترین میانگین قطر غده با کمترین میزان آن، ۲۷ درصد بود (جدول ۲). نتایج یک بررسی نشان داد، رقم آگریا و فونتانه، از نظر میانگین قطر غده‌ها، تفاوت معنی‌داری نداشتند (*Khaninejad et al.*, 2014). با توجه به اینکه طیف‌های نوری تنها در مرحله گیاهچه‌ای و شرایط درون شیشه‌ای اعمال شدند احتمال دارد تأثیر طیف‌های نور در شرایط درون شیشه‌ای بر عملکرد، نتواند تا انتهای مرحله تشکیل غده باقی بماند. در بررسی روی طیف‌های مختلف نوی بر تولید ریزغده سیب‌زمینی شمار ریز غده بازارپسند (اندازه مناسب) تولیدشده بین طیف‌های نور، معنی‌دار نشد (Jao et al., 2005).

REFERENCES

1. Aksenova, N. P., Konstantinova, T. N., Sergeeva, L. I., Machackova, I. & Golyanovskaya, S. A. (1994). Morphogenesis of potato plants *in vitro*. I. Effect of light quality and hormones. *Journal of Plant Growth Regulation*, 13, 143-146.
2. Al-Safadi, B., Ayyoubi, Z. & Jawdat, D. (2000). The effect of gamma irradiation on potato microtuber production *in vitro*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 61, 183-187.
3. Bagheri, A. & Saffari, M. (2008). *Principles of plant tissue culture*. Ferdowsi university of Mashhad. (in Farsi)
4. Bergstrand, K. J., Asp, H., Larsson Jönsson, E. H. & Schussler, H. K. (2015). Plant developmental consequences of lighting from above or below in the production of Poinsettia. *Europe Journal of Horticultur Science*, 80(2), 51-55.

5. Dutta Gupta, S. & Jatothu, B. (2013). Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in *in vitro* plant growth and morphogenesis. *Korean Society for Plant Biotechnology and Springer Japan*, 7, 211-220.
6. Farran, I. & Mingo-Castel, A. M. (2006). Potato minituber production using aeroponics: Effect of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research*, 83, 47-53.
7. Fixen, K. R., Thomas, S. C. & Tong, C. B. S. (2012). Blue light inhibition of tuberization in a day-neutral potato. *Plant Growth Regulation*, 31, 342-350.
8. Hasrak, Sh., Zarghami, R. & Farahani, F. (2012). Micropropagation of potato virus-free seedlings in bioreactor and minituber produced. *12th Iranian Genetics Congress*, Tehran May 2012. (in Farsi)
9. Hernández, R. (2013). *Growth and development of greenhouse vegetable seedlings under supplemental LED lighting*. A Dissertation Submitted to the Faculty of the School of Plant Sciences.
10. Hoagland, D. R. & Arnon, D. I. (1950). *The water-culture method for growing plants without soil*. Circular 347.
11. Hoque, M. E. (2010). *In vitro* tuberization in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Omics Journal*, 3(1), 7-11.
12. Jao, R. C. & Fang, W. (2004). Growth of potato plantlets *in vitro* is different when provided concurrent versus alternating blue and red light photoperiods. *Horticulture Science*, 39(2), 380-382.
13. Jao, R. C., Lay, C. C., Fang, W. & Chang, S. F. (2005). Effect of red light on the growth of *Zantedeschia* plantlets *in vitro* and tuber formation using Light-Emission Diodes. *HortScience*, 40(2), 436-438.
14. Khaninejad, S., Khazaei, H. R., Nabati, J. & Kafi, M. (2014). Effect of different species of mycorrhizal fungi on yield of two potatoes cultivars under greenhouse conditions. *Journal of Horticulture*, 28(4), 517- 523. (in Farsi)
15. Kurilcik, A., Miklusytė-Canova, R., Dapkuniene, S., Zilinskaite, S., Kurilcik, G., Tamulaitis, G., Duchovskis, P. & Zukauskas, A. (2008). *In vitro* culture of Chrysanthemum plantlets using light-emitting diodes. *Central European Journal of Biology*, 3(2), 161-167.
16. Li, H., Xu, Z. & Tang, C. (2010). Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets *in vitro*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 103, 155-163
17. Lin, K. H., Huang, M. Y., Huang, W. D., Hsu, M. H., Yang, Z. W. & Yang, C. M. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 150, 86-91.
18. Ma, X., Wang, Y., Liu, M., Xu, J. & Xu, Z. (2015). Effect of green and red light on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets *in vitro*. *Scientia Horticulturae*, 190, 104-109.
19. Masengesho, J., Nshimiimana, J. C., Senkesho, N. & Sallah, P. Y. K. (2012). Performance of Irish potato varieties under aeroponic conditions in Rwanda. *Rwanda Journal*, 28, 84-94.
20. Massa, G. D., Kim, H. H., Wheeler, R. M. & Mitchell, C. A. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 43(7), 1951-1956.
21. Matic-Precup, M. M. & Cachița-Cosma, D. (2013). The content in assimilating pigments of the cotyledons of the red cabbage plantlets illuminated with LEDs. *Studia Universitatis "Vasile Goldiș", Seria Științele Vieții*, 23(1), 45-48.
22. Murashige, T. & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, 473-497.
23. Nanya, K., Ishigami, Y., Hikosaka, S. & Goto, E. (2012). Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings. *Acta Horticulturae*, 956, 264-266.
24. Nhut, D. T. & Ngoc Huong, M. T. (2006). Compact 3U as a Novel artificial lighting source for Gloxinia (*Sinningia* spp.) and Potato (*Solanum tuberosum*) micropropagation. *Journal of Science and Technology for Development*, 23, 333-341.
25. Nhut, D. T. & Nam, N. B. (2010). Light-Emitting Diodes (LEDs): *An artificial lighting source for biological studies*. IFMBE Proceedings. 27, 134-139.
26. Novickovas, K., Ishigami, Y., Hikosaka, S. & Goto, E. (2012). Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedling. *Acta Horticulturae*, 956, 261-266.
27. Paul, N. D. (2006). *The use of supplementary lighting in protected ornamental and edible crops: beyond the maximisation of biomass*. Horticultural Development Council. East Malling. Retrieved October 25, 2015. http://horticulture.ahdb.org.uk/sites/default/files/research_papers/PC%20237%20final%20report%202006.pdf
28. Poudel, P., Kataoka, I. & Mochioka, R. (2008). Effect of red- and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 92, 147-153.
29. Prakash, S. Naik. & Karihaloo, J. L. (2007). *Tissue cultural innovation for production of quality potato seed in asia-pacific region*. Asia-Pacific Consortium on Agricultural Biotechnology (APCoAB). New Delhi

30. Rahman, M. S. & Akanda, A. M. (2009). Performance of seed potato production from sprout cutting, stem cutting and conventional tuber against PVY and PLRV. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 34 (4), 609-622.
31. Rahnama, H., Montasar-Kouhsari, Sh., Naderi-Meshkin, H. & Fahimi, H. (2012). High frequency regeneration from internodes explants, on tuber production of potato plant (*Solanum tuberosum* L.). *Iranian Journal of Biology*, 25(1), 120-129. (in Farsi)
32. Sabeti, M., Zarghami, R., Ebrahimzade, M. & Haji-Mohammadi, A. (2012). Effect of explants and hormone treatments on direct regeneration of Agria potato varietie. *12th Iranian Genetics Congress*. 22-24 May, Iranian Genetics Society, Tehran. (in Farsi)
33. Struik, P. C. & Wiersema, S. G. (1999). *Seed Potato Technology*. Wageningen Press.
34. Taghdiri, B., Gholami, M., Deljo, A. & Sepehri, A. (2009). Response of tissue culture derived potato plantlets to nitrogen and jasmonic acid under hydroponic condition. *Journal of Plant Production Technology*, 10(1), 69-76. (in Farsi)
35. Tantowijoyo, W. & van de Fliert, E. (2006). *All about potato: A handbook to the ecology and integrated management of potato*. International Potato Center (CIP-ESEAP Region) & FAO Regional Vegetable IPM Program in South and Southeast Asia.
36. Tavakkolafshari, R., Angoshtari, R. & Kalantari, S. (2011). Effects of light and different plant growth regulators on induction of callus growth in rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Plant Omics Journal*, 4(2), 60-67.