نشریه علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳ (ص۳۸-۳۱)

بررسی امکان جانشینی روش تجاری مینی‌تیوبر با روش هیدروپونیک باز در تولید سیب‌زمینی

بابک درویشی[۱]، کاظم پوستینی[۲*]، علی احمدی[۳]، رضا توکل افشاری[۴] و جواد شاطریان[۵]
۱، ۲، ۳ و۴، دانشجوی دکتری، استاد، دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۵. استادیار، مؤسسهٔ پژوهشی تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، کرج، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۹- تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۱/۳۰)

چکیده

تولید حجم زیاد غده‌چهٔ (مینی‌تیوبر) سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در زمان کوتاه، نیازمند وجود شرایط محیطی کنترل‌شده همانند گلخانه‌ها است؛ تا از نابودی و آسیب غده‌های بذری جلوگیری شود. هدف از این پژوهش معرفی روشی جدید در تولید غده‌چهٔ سیب‌زمینی با هزینهٔ کمتر و ضریب تکثیر بالاتر بود. بنابراین برای ارزیابی کارایی روش‌های کشت از نظر میزان تولید غده‌چه، این روش‌ها در کرتی تقسیم‌شده با طرح پایه بلوک‌های تصادفی، برای ۴ مرتبه تکرار و بررسی شد. در این آزمایش روش‌های کشت (کشت در ماسه و کشت در پیت‌ماس) به‌عنوان کرت اصلی و گونه‌ها (آگریا و سانته) به‌عنوان کرت فرعی درنظر گرفته شدند. براساس نتایج درصد استقرار گیاهچه‌ها در روش هیدروپونیک (کشت در ماسه) به‌طور معناداری بالاتر از روش تجاری موجود (کشت در پیت‌ماس) بود. در روش هیدروپونیک ماسه-پرلیت، تعداد غده‌چهٔ تولیدشده در واحد سطح و در هر گیاه به‌ترتیب ۷۰ و ۴۴ درصد افزایش داشت و وزن مخصوص غده‌چه‌ها کاهش یافت. در هر ۳ اندازهٔ آزمایشی میزان جوانه‌زنی غده‌چه‌ها، نیتروژن کل و درصد پروتئین خام غده‌چه‌های برداشت‌شده متأثر از روش‌های کشت و گونه‌ها بررسی شد. بنابراین روش کشت در ماسه به‌دلیل پایین‌تربودن هزینهٔ اولیهٔ بستر کشت و بالاتربودن ضریب تکثیر، روشی ارزان و کارآمد برای تولید غده‌چهٔ سیب‌زمینی معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، غده‌چه، غده‌زایی، هیدروپونیک.

مقدمه

تکثیر و تولید سریع تعداد زیاد غده‌چهٔ (مینی‌تیوبر) سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) از گیاهچه‌های درون‌شیشه‌ای در شرایط کنترل‌شدهٔ گلخانه‌ای، روشی تجاری در صنعت تولید بذر سیب‌زمینی است که هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای مهم تولیدکنندهٔ بذر سیب‌زمینی به‌کارگرفته می‌شود. در این روش تولید تعداد زیاد غده‌چه در واحد سطح و در کوتاهترین زمان ممکن، راهبردی در کاهش تعداد چرخه‌های تکثیر مزرعه‌ای شناخته می‌شود؛ و با تولید غده‌چه‌های عاری از بیماری‌های ویروسی، قارچی و باکتریایی سرعت نابودی بذر در شرایط مزرعه‌ای کاهش می‌یابد.

امروزه مواد مختلفی همچون مخلوط پیت-ماس و پرلیت، مخلوط کوکوپیت و پرلیت یا خاک به‌عنوان بستر در تولید غده‌چهٔ سیب‌زمینی به‌کار می‌رود. بسترهایی با منشا گیاهی (پیت‌ماس و کوکوپیت) ممکن است ناقل عوامل پاتوژنیک مانند Spongospora subterranean، Erwinia spp و Streptomyces scabies باشند (Rolot & Seutin, 1999). ازدیگر معایب این بسترها عبارتند از: گران‌بودن، جذب بیش از اندازهٔ آب و کاهش نفوذپذیری نسبت به اکسیژن (Cho *et al*., 2006) و امکان‌ناپذیر بودن اجرای برنامهٔ تغذیه‌ای مناسب و دقیق. همچنین خاک نیز معمولاً به انواع پاتوژن‌های قارچی و باکتریایی

تلفن: ۰۲۶۳۲۲۲۷۴۱۳
E-mail: kpostini@ut.ac.ir

آلوده است که ضدّعفونی آن مستلزم به‌کارگیری گازهای سمّی و بسیار خطرناک همچون متیل‌برومایدِ است. درضمن کنترل علف‌های هرز در خاک بسیار دشوار و پُرهزینه است. امروزه در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و مهم تولیدکنندهٔ بذر سیب‌زمینی، غده‌چهٔ سیب‌زمینی اغلب با استفاده از روش فیلم تغذیه‌ای (NFT: Nutrient Film Technique) یا روش هواکشت (Aeroponic) تولید می‌شود (Farran &Mingocastel, 2006). مهم‌ترین برتری این روش‌ها نسبت به روش‌های سنتی، کاربرد دقیق عناصر غذایی در محیط ریشه، ضریب تکثیر بسیار بالا و کاهش هزینه‌های کنترل علف‌های هرز و بیماری‌هاست. اما علت دشواری کاربرد چنین روش‌هایی در کشورهای در حال توسعه، بالا بودن هزینهٔ اولیهٔ به‌کارگیری این روش‌هاست (Novella *et al*., 2008). در این پژوهش استفاده از ترکیب ماسه (اندازه ذرات بین ۲ـ۰/۵ میلی‌متر) و پرلیت به‌عنوان بستر کشت، روشی ارزان برای تولید غده‌چهٔ سیب‌زمینی معرفی شده است. ماسه بستری خنثی با قابلیت مناسب نگهداری آب و محلول غذایی و نفوذپذیری مطلوب اکسیژن (Dole & Wilkins, 1999) فراهم می‌کند که به‌دلیل پایین‌بودن ظرفیت تبادل کاتیونی، عناصر غذایی آسان در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و در مقابل تغییرات غلظت عناصر در محلول غذایی از خود مقاومت نشان نمی‌دهد. همچنین ماسه بسیار ارزان‌قیمت است و به‌راحتی پاستوریزه (Dole & Wilkins, 1999) می‌شود. ماهیت نسبتاً سختِ ماسه موجب ایجاد مقاومت مکانیکی در مقابل توسعهٔ استولون (Ewing & Struik, 1992) و درنتیجه تحریک غده‌زایی در بوته سیب‌زمینی می‌شود.

تولید غده‌چهٔ سیب‌زمینی در شرایط هیدروپونیک (به‌ویژه درصورت استفاده از بسترهای فاقد عناصر غذایی از جمله ماسه و پرلیت)، نیازمند فراهم‌کردن غلظت مناسب و دقیق از سایر عناصر غذایی برای رشد گیاه است. بنابراین در این روش از برنامهٔ تغذیه‌ای مخصوص برای گیاه سیب‌زمینی استفاده شده است (Farran & Mingocastel, 2006) که ضمن فراهم‌کردن دقیق عناصر غذایی موردنیاز گیاه، امکان تغییر غلظت برخی عناصر در مراحل ویژه‌ای از رشد گیاه به‌منظور تحریک غده‌زایی را نیز فراهم می‌آورد. غده‌زایی در گیاه سیب‌زمینی فرآیندی پیچیده است که با تغذیهٔ نیتروژن به تأخیر می‌افتد (Li, 1985).

اگرچه حذف کوتاه‌مدت نیتروژن از محلول غذایی، توسعه برگی و سرعت رشد سبزیجات را کاهش می‌دهد (Bot *et al*., 2001)، اما چنین تیماری در گیاه سیب‌زمینی بدون تأثیر معنادار بر رشد گیاه غده‌زایی آن را تحریک می‌کند (Kang *et al*., 1996). همچنین بنابر گزارش‌های بسیاری، بر اثر استفاده از فسفر یا افزایش غلظت آن در محلول غذایی فرآیند غده‌زایی در گیاه سیب‌زمینی تحریک می‌شود (Sanderson *et al*., 2003; Rosen *et al*., 2007)؛ و اینکه بهترین زمان اعمال تیمار کودی فسفر (برای سرعت جذب بیشتر) اوایل فصل رشد و آغازش غده است (Rosen *et al*., 2007). سال ۲۰۰۰ در پژوهشی گلخانه‌ای نتیجه شد که به‌کارگیری فسفر منجر به افزایش تعداد غده در کولتیوار آزمایشی شد. همچنین این پژوهش، افزایش عملکرد کل و کاهش نسبت غده‌های بزرگ (بزرگتر از ۶۵ میلی‌متر) را در پی داشت (Jenkins & Ali, 2000). در این پژوهش کارایی روش جدید هیدروپونیک ،با هزینهٔ کمتر و ضریب تکثیر بالاتر، با روش معمول تولید غده‌چهٔ سیب‌زمینی مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

تکثیر گیاهچه‌های درون‌شیشه‌ای

گیاهچه‌های درون‌شیشه‌ای اولیهٔ گونه‌های آگریا و سانته (مهم‌ترین گونه‌های کشتی در ایران) که عاری از بیماری‌های ویروسی بودند از مؤسسهٔ تحقیقات بیوتکنولوژی اصفهان تهیه شدند. برای تکثیر درون‌شیشه‌ای این گیاهان، به اندازهٔ کافی قلمه‌های تک‌گره تهیه و در محیط کشت استریل MS قرار داده می‌شوند (Murashige & Skoog, 1962). این گیاهچه‌ها به‌مدت ۲۱ روز داخل اتاقک رشد با شدت نور 60 (PPFD : Photosynthetic Photon Flux Density µmolm-2s-1) و دمای ۱±۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شدند. برای نور محیط از لامپ‌های فلورسنت سفید و قرمز به‌صورت ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی استفاده شد. پس از ۳ هفته، به منظور دستیابی به تعداد گیاهچهٔ مدنظر، دوباره گیاهچه‌های تک‌ساقه در همان محیط کشت تکثیر شدند.

سیستم‌های کشت

در گلخانهٔ شرکت توسعه تجارت ساوین روش هیدروپونیک باز طراحی و اجرا شد که در آن دو روش متفـــاوت کشت با بسترهای ماسه‌ـپرلیت و پیت‌ماس‌ـپرلیت استفاده شد.

برای شروع دو چهارچوب سیمانی به ابعاد ۰/۳× ۱/۲× ۱۶ متر برای بسترها ساخته شد. کف هر دو چهارچوب سیمانی، ماسهٔ بادامی (با ابعاد ذرات ۵-۱ سانتی‌متر) به ارتفاع ۵ سانتی‌متر ریخته و سطح آنها با نایلون پلاستیکی پوشانده شد. سپس بر روی آنها نیز سوراخ‌هایی به قطر ۲ سانتی‌متر و به فواصل ۱۵ سانتی‌متر ایجاد شد. هر یک از بسترهای آزمایشی (مخلوط ۱:۱ پیت‌ماس و پرلیت و مخلوط ۱:۱ ماسهٔ شسته و پرلیت) به‌طور جداگانه داخل هر یک از چهارچوب‌های سیمانی و نایلون پلاستیکی سوراخ شده به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر ریخته شد.

کاشت گیاهچه‌های کشت‌بافتی

مهرماه سال ۱۳۹۰ گیاهچه‌های هم‌اندازه (به ارتفاع ۶ـ ۸ سانتی‌متر) به پلات‌هایی با ابعاد ۱/۲ × ۲ متر منتقل و در فواصل ۱۵ × ۱۵ سانتی‌متری کشت شدند (۱۱۷ گیاهچه در هر پلات). در روش کشت تجاری سنتی (کشت در بستر پیت‌ماس و پرلیت)، هر ۱۵ روز یکبار با محلول ۰/۳ گرم در لیتر از کود کریستالون 18:18:18+TE محلول‌دهی شد. در این ۱۵ روز، هنگام نیاز از آب چاه برای آبیاری استفاده شد. در روش کشت هیدروپونیک ماسه، براساس فرمول غذایی پیشنهادی (Farran & Mingocastel, 2006) بسته به شرایط رطوبتی بستر، هر ۲ تا ۴ روز محلول‌دهی انجام شد. هر یک از محلول‌های غذایی داخل یک مخزن ۲۰۰ لیتری تهیه و تزریق می‌شدند. pH محلول غذایی در روش هیدروپونیک ماسه‌ـ پرلیت بین ۵/۸ تا ۶ و هدایت الکتریکی آن حدود ۲ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر (Farran & Mingocastel, 2006) تنظیم شد.

در روش هیدروپونیک ماسه برای گونهٔ سانته در فاصلهٔ ۵۵ـ۴۵ روز پس از انتقال و در گونهٔ آگریا ۶۰ـ۵۰ روز پس از انتقال، نیتروژن از محلول غذایی حذف (Kang *et al*., 1996; Chang *et al*., 2008) و غلظت فسفر در محلول غذایی تا ۲ برابر افزایش داده شد (Mehler, Tukaki & 2008). دامنهٔ دمای محیط گلخانه در طول دورهٔ آزمایش ۵±۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد و شدت نور در سطح کانوپی بین ۶۵۰ـ۱۳۰۰ µmolm-2s-1 بود که از لامپ‌های سدیمی به‌صورت ۱۴ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی استفاده شد.

طرح آزمایشی

یک طرح کرت خردشده براساس طرح بلوک‌های تصادفی که ۴ مرتبه اجرا شد. در این طرح، روش‌های کشت (۱. روش هیدروپونیک ماسه و ۲. روش کشت تجاری) در کرت اصلی و گونه‌ها (۱. آگریا و ۲. سانته) در کرت فرعی قرار گرفتند.

اندازه‌گیری‌ها

چهارده روز پس از انتقال گیاهچه‌ها به گلخانه، تعداد آنها در واحد سطح، طول و تعداد برگ گیاهچه‌ها شمارش شد. همچنین ویژگی‌های رشد بوته شامل طول بوته، سطح برگ، وزن خشک برگ و ساقه، ۵۰ روز پس از انتقال گیاهچه‌ها اندازه‌گیری شد. اندام هوایی بوته‌ها در گونهٔ سانته ۹۰ روز پس از انتقال و در گونهٔ آگریا ۱۰۰ روز پس از انتقال، حذف شد. در همین مرحله از هر پلات ۳ بوته به‌تصادف انتخاب و نشانه‌گذاری شدند. اندام هوایی هر یک از این بوته‌ها جداگانه برداشت و وزن و سپس به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد.

غده‌چه‌های این بوته‌ها نیز پس از برداشت و ایجاد خراشی سطحی بر آنها، ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شدند. شاخص برداشت، به‌صورت نسبت میانگین وزن خشک غده‌چه‌ها بر میانگین وزن خشک اندام هوایی بوته‌ها اندازه‌گیری و محاسبه شد. ۷ روز پس از حذف اندام هوایی، غده‌چه‌ها با دقت از بستر خارج و با آب شسته شدند. تعداد غده‌چه در هر پلات و بوته و تعداد غده‌چه در اندازهٔ بذری (۳۵ـ۱۲ میلی‌متر) در هر پلات و بوته شمارش شد. وزن مخصوص غده‌چه‌ها براساس روش پیشنهادی Kleinkopf و همکاران (1987) اندازه‌گیری شد. بدین‌ترتیب غده‌چه‌های به‌دست‌آمده از

هر پلات در هوا و آب وزن شده، سپس وزن غده‌چه‌ها در هوا بر تفاوت وزن در هوا و آب تقسیم می‌شود. از هر پلات ۲۰ غده‌چه به‌تصادف انتخاب و در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک و آسیاب شد؛ سپس اندازهٔ کل نیتروژن آن به روش ماکروکجلدال (Macro-Kjeldahl method, AOAC. 1984) اندازه‌گیری شد.

پروتئین خام غده‌چه‌ها نیز با ضرب‌کردن نیتروژن کل در عدد ۶/۲۵ حساب می‌شود (Van Gelder, 1981). برای آزمایش جوانه‌زنی، ۶ غده‌چهٔ سالم از هر پلات به‌تصادف انتخاب و براساس قطر عرضی غده‌چه در سه اندازهٔ ۲ـ۱ سانتی‌متر، ۳ـ۲ سانتی‌متر و بزرگ‌تر از ۳ سانتی‌متر گروه‌بندی شدند. این غده‌چه‌ها به‌مدت ۷۵ روز در تاریکی، دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد قرار گرفتند. پس از این مدت غده‌چه‌هایی با دست‌کم یک جوانه و طول ۲ میلی‌متر، غده‌چهٔ جوانه زده محسوب و شمارش شدند (Tekalign & Hammes, 2004; Rolot & Seutin, 1999).

نتایج و بحث

براساس نتایج تجزیهٔ واریانس (جدول۱) بین روش‌های کشت از نظر درصد استقرار و طول گیاهچه تفاوت معناداری ($P < 0.05$) وجود داشت. استقرار گیاهچه‌ها و طول آنها در روش هیدروپونیک ماسه (به‌ترتیب ۹۷/۸۴ درصد و ۶/۴ سانتی‌متر) به‌طور معناداری بالاتر از روش کشت تجاری (به‌ترتیب ۸۰/۹۲ درصد و ۵/۵ سانتی‌متر) بود.

با توجه به نتایج درصد استقرار و طول گیاهچه‌های انتقال‌یافته به روش هیدروپونیک ماسه در مقایسه با روش کشت تجاری به‌ترتیب ۲۰/۹ درصد و ۱۶/۴ درصد بالاتر بود. بنابراین نتیجه می‌شود گیاهچه‌های انتقال‌یافته در روش هیدروپونیک ماسه استقرار بهتر و رشد سریع‌تری داشتند.

جدول۱. تجزیهٔ واریانس مربوط به تاثیر روش‌های کشت و گونه‌ها بر ویژگی‌های بوته و غده‌چهٔ سیب‌زمینی در شرایط گلخانه‌ای.

		میانگین مربعات																		
	درجه آزادی	درصد استقرار گیاهچه	طول گیاهچه	تعداد برگ گیاهچه	طول ساقه	سطح برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	تعداد غده‌چه در هر پلات	تعداد غده‌چه بذری در هر پلات	تعداد غده‌چه در هر بوته	تعداد غده‌چه بذری در هر بوته	شاخص برداشت	وزن مخصوص	جوانه‌زنی ۱-۲	جوانه‌زنی ۲-۳	جوانه‌زنی >۳	نیتروژن کل	پروتئین خام
بلوک	۲	۸/۸۲ ns	۲/۸۲ ns	۴/۷۵ ns	۵۴۹/۲۶ ns	۱۰۷۹۸۵/۵۶*	۰/۶۱۵۷ ns	۰/۳۴۷۲ ns	۶۳۷۳۲/۲۵*	۳۱۶۴۲/۹۱*	۱/۱۱ ns	۰/۵۵ ns	۰/۰۲۹ ns	۰/۰۰۰۰۵ ns	۰/۴۱ ns	۰/۳۹ ns	۰/۰۶۲ ns	۰/۰۲۲ ns	۰/۵۰۱ ns
سیستم کشت	۱	۱۱۴۵/۴۸**	۳/۰۶*	۲/۹۷*	۳۴۹۵/۷۶*	۴۷۶۳۳/۰۶ ns	۰/۰۰۲۰ ns	۰/۷۰۱۴ ns	۵۷۶۸۴۰/۲۵**	۳۳۶۴۰۰/۰۰**	۲۳/۸۸**	۱۳/۹۲*	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۲۶*	۲/۲۵ ns	۰/۵۶ ns	۰/۰۶۲ ns	۰/۰۱۶ ns	۰/۲۵۲ ns
خطای a	۲	۴/۵۵	۱/۴۳	۰/۹۴	۲۰۱/۷۲	۸۳۵۴۸/۳۹	۰/۶۹۴۴	۰/۱۹۳۷	۳۷۴۵/۵۸	۶۲۳۸/۶۶	۰/۴۸۰۴	۰/۶۴۷۷	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۰۲۶	۰/۷۵	۰/۰۶۲	۰/۲۲۹	۰/۰۲۴	۱/۱۹۲
رقم	۱	۷۴/۳۰ ns	۲۴/۰۱**	۶۱/۲۳**	۱۲۱۶/۲۶ ns	۴۰۰۰/۵۶ ns	۰/۱۳۶۹ ns	۰/۳۱۶۴ ns	۲۱۷۱۵۶/۰۰**	۱۲۷۰۹۲/۲۵**	۱۳/۴۵**	۸/۰۷*	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۵ ns	۰/۷۵ ns	۰/۵۶ ns	۰/۵۶ ns	۰/۰۲۱ ns	۰/۳۷۵ ns
اثر متقابل	۱	۱۱۰/۳۵ ns	۰/۴۲ ns	۲۲/۸۰*	۲۶۴۵/۱۴*	۵۸۹۴۴۰/۰۶*	۲/۹۴۱۲**	۱/۳۵۱۴*	۱۵۹۲۰۱/۰۰**	۹۹۲۲۵/۰۰**	۱۰/۰۹*	۸/۶۸ ns	۰/۱۰۵*	۰/۰۰۰۱۱ ns	۱ ns	۰/۵۶ ns	۰/۵۶ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۳۳۳ ns
خطا	۶	۲۱/۳۲	۲/۳۱۱	۲/۸۵	۲۹۷/۸۲	۹۱۲۵۰/۴۷	۰/۵۶۸۳	۰/۲۰۹۶	۱۱۷۴۱/۱۶	۶۴۵۹/۹۵	۱/۵۵۳۲	۱/۲۳۱۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۳۲	۰/۸۳	۰/۲۲	۰/۴۲۹	۰/۰۲۹	۱/۲۷۳
ضریب تغییرات	-	۵/۱۶	۹/۲۹	۱۷/۹۸	۱۶/۶۶	۱۲/۳۹	۱۰/۴۵	۱۱/۴۹	۱۴/۸۱	۱۴/۲۰	۱۸/۶۰	۲۱/۳۵	۱۴/۵۵	۰/۵۳	۱۱/۱۴	۱۸/۹۱	۱۵/۱۸	۸/۶۵	۱۰/۳۰

* و ** به‌ترتیب معناداری در سطح ۱ و ۵ درصد و ns فقدان اختلاف معنادار.

عوامل مؤثر بر استقرار بهتر گیاهچه‌ها در روش هیدروپونیک ماسه عبارتند از: توزیع یکنواخت محلول غذایی در بستر ماسه- پرلیت (شکل۱)، دمای نسبتاً مطلوب بستر (۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد) و نزدیک‌تربودن آن به دامنهٔ بهینهٔ جذب عناصر غذایی (Chill *et al*., 2004)، پایین‌تربودن ظرفیت تبادل کاتیونی ماسه (Dole & Wilkins, 1999) و دسترسی آسان‌تر ریشه‌های ضعیف گیاهچه‌های تازه‌انتقال‌یافته به عناصر غذایی موجود در بستر کشت، بالاتربودن مقدار اکسیژن موجود در بستر (Dole &Wilkins, 1999) و کاربرد محلول غذایی متعادل و متناسب. استقرار بهتر گیاهچه‌ها در روش هیدروپونیک ماسه، نقش مهمی در دستیابی به حداکثر تولید غده‌چه در واحد سطح دارد.

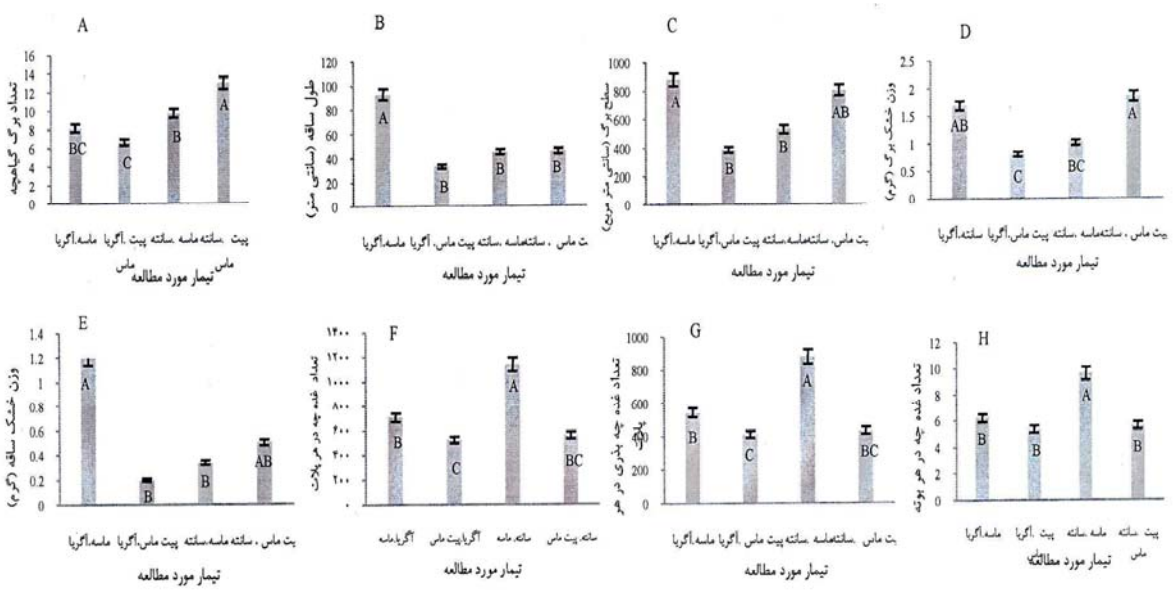
در روش تجاری سنتی، گیاهچه‌های گونهٔ سانته تعداد برگ بیشتری داشتند درحالی‌که در روش هیدروپونیک ماسه، تعداد برگ‌های هر دو گونهٔ آزمایشی، تفاوت معناداری نداشتند (شکل۲.A). البته این وضعیت گذرا بود؛ در ادامهٔ روند رشد، ویژگی‌های رشد گیاهچه‌ها در روش هیدروپونیک ماسه بهتر یا همانند روش تجاری سنتی بود (شکل۲.B. C. D. E).

شکل۱. استقرار نامناسب گیاهچه‌ها در روش تجاری سنتی (A) و استقرار مناسب در روش هیدروپونیک ماسه(B)

در روش هیدروپونیک ماسه، طول بوته در گونهٔ آگریا بیشتر از گونهٔ سانته بود؛ درحالی‌که در روش تجاری سنتی تفاوت معناداری بین گونه‌ها دیده نشد (شکل۲.B). برای گونهٔ آگریا سطح برگ، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه در روش هیدروپونیک ماسه بیشتر از روش تجاری سنتی بود؛ درحالی‌که در روش تجاری سنتی برای گونهٔ سانته نتایج بیشتری دیده شد (شکل۲.C. D. E). بنابراین در روش هیدروپونیک ماسه، گونهٔ آگریا رشد رویشی بیشتری داشته و همهٔ ویژگی‌های رویشی آن به‌طور معناداری بالاتر از گونهٔ سانته بوده است. در روش تجاری سنتی یا تفاوتی بین گونه‌ها وجود نداشت یا اینکه ویژگی‌های رشدی در گونهٔ سانته بیشتر از گونهٔ آگریا بود.

در روش هیدروپونیک ماسه تعداد غده‌چه در هر پلات، در اندازهٔ بذری در هر پلات و در هر بوته برای گونهٔ سانته بالاتر از گونهٔ آگریا بود؛ درحالی‌که این مقادیر در روش تجاری سنتی بین گونه‌ها تفاوت معناداری وجود نداشت (شکل۲.F.G.H). اما نکتهٔ مهم این است که تعداد غده‌چه در هر پلات و تعداد غده‌چهٔ بذری در هر پلات در روش هیدروپونیک ماسه به‌طور معناداری بالاتر از روش تجاری سنتی بوده است (شکل۲. F و G). تعداد غده‌چهٔ تولیدشده در هر بوته از گونهٔ سانته به روش هیدروپونیک ماسه به‌طور معناداری بالاتر از روش تجاری سنتی بوده است، اما در گونهٔ آگریا باوجود بالاتربودن تعداد، تفاوت معنادار نشد (شکل۲. H). برای گونه‌های سانته و آگریا تعداد غده‌چهٔ هر پلات، در روش هیدروپونیک ماسه نسبت به روش تجاری سنتی به‌ترتیب ۱۰۴ و ۳۴ درصد افزایش یافت. Kleinkopf و همکاران در سال ۱۹۸۱ عملکرد پس از بررسی گونه‌های زودرس و نیمه‌دیررس در سطوح مختلف نیتروژنه، بیان کردند فقط در دوره‌های رشد طولانی‌تر، سطوح بالای نیتروژن منجر به عملکرد نهایی بالاتر می‌شود. پس عملکرد بالاتر در یک گونهٔ نیمه‌دیررس (مانند گونهٔ آگریا)، در دوره‌های رشد طولانی‌تر امکان‌پذیر خواهد شد. بنابراین با توجه به مدت زمان یکسان برای دو گونه در این پژوهش، احتمالاً گونهٔ نیمه‌دیررس آگریا زمان کافی برای بلوغ و تولید تعداد فراوان غده‌چه نداشته است. به‌طور میانگین تعداد غده‌چه در واحد سطح و در هر بوته به روش هیدروپونیک ماسه در مقایسه با روش تجاری سنتی به‌ترتیب ۷۰ و ۴۴ درصد افزایش داشته است. درنتیجه روش هیدروپونیک ماسه از نظر غده‌زایی بهتر از روش تجاری سنتی بوده است که مهم‌ترین دلیل آن به‌کارگیری محلول غذایی با غلظت و نسبت مناسب عناصر و تیمارهای تحریکی-تغذیه‌ای در روش هیدروپونیک کشت در ماسه به شمار می‌رود. چنانچه در بخش مواد و روش‌ها بیان شد در روش تجاری سنتی برای تغذیهٔ گیاهچه‌ها از کود کامل ۱۸:۱۸:۱۸ استفاده می‌شود که در ترکیب آن نیتروژن وجود دارد درحالی‌که در روش هیدروپونیک کشت در ماسه، نیتروژن به‌مدت ۱۰ روز از محلول غذایی حذف شد. در پژوهش‌های پیشین همواره بر این نکته تأکید شد که تغذیهٔ مداوم نیتروژنه با بالا نگه‌داشتن مقدار جیبرلین (Krauss, 1978 & 1985) و جلوگیری از تغییر جهت میکروتیوبول‌ها در دیوارهٔ

سلولی سلول‌های منطقهٔ Sub apical استولون، موجب تأخیر غده‌زایی می‌شود (Sanz, 1996).



شکل۲. مقایسهٔ میانگین ویژگی‌های رشد و تولید در سطوح روش‌های کشت و گونه‌های آزمایشی

همچنین با توجه به پژوهش‌ها دانستیم جیبرلین علاوه‌بر تأثیر ذکر شده، موجب کاهش فعالیت دو آنزیم بسیار مهم ADPGLc ppase (Mares, 1981) و Starch synthase (Struik, 1999) و درنهایت مانع از بیوسنتز نشاسته می‌شود. دوبرابرکردن غلظت فسفر در محلول غذایی، تیمار تغذیه‌ای- تحریکی دیگر در روش هیدروپونیک کشت در ماسه بود. برمبنای گفتهٔ پژوهشگران، سنتز نشاسته با سطوح فسفات غیرآلی کنترل می‌شود، به‌این‌ترتیب که سطوح بالای این عنصر، بازدارندهٔ سنتز نشاسته بوده است (Anderson, 1989). همچنین دانستیم که آلوستریک فسفات غیرآلی، آنزیم ADPGLc ppase را کنترل می‌کند؛ بنابراین افزایش غلظت فسفر در محیط سیتوسول و نهایتاً آمیلوپلاستها با بازداری فعالیت این آنزیم مهم و کلیدی، از بیوسنتز نشاسته در یک غدهٔ درحال بزرگ‌شدن جلوگیری می‌کند. بدیهی است در چنین شرایطی آسمیلات‌ها به سمت غده‌های تازه‌آغازش‌یافته جریان خواهد یافت. نتیجهٔ چنین رخدادی، افزایش تعداد غده‌ها و کوچک‌ترشدن اندازهٔ آنهاست. بنابراین باتوجه به افزایش ضریب تکثیر در روش هیدروپونیک ماسه نتیجه می‌گیریم: ۱. روش هیدروپونیک ماسه کارآیی بیشتری در تولید غده‌چهٔ سیب‌زمینی دارد. ۲. استفاده از این روش، تعداد غده‌چهٔ تولیدشده در واحد سطح را به‌طور معناداری افزایش می‌دهد. تعداد غده‌چهٔ تولیدشده در گیاهچه‌های کشت‌بافتی بسته به گونه و تراکم گیاه معمولاً اندک است (۳ـ۲ غده‌چه در هر بوته با تراکم ۲۰۰ گیاهچه در هر مترمربع) و درنهایت ۶۰۰ـ۴۰۰ غده‌چه در هر مترمربع تولید خواهد شد (Rolot & Seutin, 1999). این موضوع هزینهٔ تولید هر غده‌چه را به‌شدت افزایش می‌دهد. در این پژوهش ضریب تکثیر گونه‌های آگریا و سانته به‌ترتیب تا ۶/۲ و ۹/۶ افزایش یافت (شکل۲. H).

وزن مخصوص غده‌چه‌های تولیدشده به روش هیدروپونیک ماسه (۱/۰۶۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب) به‌طور معناداری کمتر از روش تجاری سنتی (۱/۰۷۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب) بود. گونه‌ها تأثیر معناداری بر وزن مخصوص غده‌چه‌های تولیدشده نداشتند (جدول۱). براساس پژوهش‌های پیشین، یک همبستگی مثبت معنادار ($r = 0.99$) بین وزن مخصوص و درصد مادهٔ خشک غده‌های سیب‌زمینی وجود دارد (Tsegaw &

(Zelleke, 2002;Tekalign & Hammes, 2004)؛ بنابراین وزن مخصوص غده شاخصی مناسب برای نشان‌دادن میزان مادهٔ خشک غده‌ها شمرده می‌شود. براین‌اساس اندازهٔ مادهٔ خشک غده‌چه‌های تولیدشده در روش هیدروپونیک ماسه کمتر از روش تجاری سنتی بوده است. همچنین با وجود معنادارنشدن تفاوت نیتروژن در غده‌چه‌های حاصل از دو روش کشت، نیتروژن کل غده‌چه‌های تولیدشده در روش هیدروپونیک ماسه (۱/۸ درصد) بالاتر از روش تجاری سنتی بود (۱/۷۲ درصد). بنابراین انباشت بیشتر نیتروژن در غده‌چه‌های تولیدشده در روش هیدروپونیک ماسه ممکن است با کمتربودن مادهٔ خشک این غده‌چه‌ها مرتبط باشد. میزان جوانه‌زنی غده‌چه‌ها (در هر ۳ اندازهٔ آزمایشی) و درصد پروتئین خام غده‌چه‌های برداشت‌شده متأثر از روش‌های کشت و گونه‌ها بررسی نشد (جدول۱). با توجه به پاستوریزه‌شدن ترکیب ماسه- پرلیت پیش از اجرای این پژوهش (Dole & Wilkins, 1999)، هیچ‌گونه علامت بیماری و آسیب ناشی از آفات و ناهنجاری‌های فیزیولوژیک در غده‌چه‌های تولیدشده در این روش دیده نشد. در حالی‌که در غده‌چه‌های تولیدشده به روش تجاری سنتی، علائم آلودگی به بیماری رایزوکتونیا دیده شد (گونهٔ آگریا ۳ درصد و گونهٔ سانته ۱۹ درصد). بنابراین در روش هیدروپونیک ماسه ضمن افزایش چشمگیر عملکرد، غده‌چه‌های تولیدشده سلامت بالایی داشتند. امکان ضدعفونی بستر با روش پاستوریزاسیون در روش هیدروپونیک ماسه از دو دلیل اهمیت دارد؛ نخست اینکه نیاز به کاربرد گازهای سمی و بسیار خطرناک همچون واپام و متیل‌بروماید را از بین می‌برد. دوم اینکه امکان کاربرد دوبارهٔ بستر برای تولید و تکثیر غده‌چهٔ سیب‌زمینی بدون نیاز به تناوب را فراهم می‌کند. پاستوریزاسیون پیت‌ماس امکان‌پذیر نبود چون این بستر با جذب بیش‌از اندازهٔ آب از افزایش دما به اندازهٔ نیاز، جلوگیری می‌کند.

برتری دیگر روش هیدروپونیک ماسه به روش تجاری سنتی، امکان شست‌وشوی بستر با آب معمولی و کاهش شوری بستر بود. این عمل از افزایش شوری آن به بالاتر از آستانهٔ تحمل سیب‌زمینی جلوگیری می‌کرد. اما با توجه به بالا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی بسترهای گیاهی از جمله پیت‌ماس و جلوگیری از رهاسازی کامل یون‌ها و شسته‌شدن آنها، در این روش کاهش شوری بستر با شست‌وشو به تکرار فراوان نیاز دارد که ممکن است به بوته‌های مستقر در چنین روش‌هایی خسارت جدی بزند.

با توجه به قابلیت ماسه در نگهداری حجم زیاد آب یا محلول غذایی برای مدت‌زمان مناسب، در این روش بسته به مرحلهٔ رشد گیاه و شرایط اقلیمی هر ۴-۲ روز یکبار محلول‌دهی اجرا شد؛ درنتیجه ازنظر کاهش هزینهٔ محلول غذایی و کاهش وابستگی به شرایط مدیریتی (قطع برق) در مقایسه با دیگر روش‌های هیدروپونیک برتری دارد.

سپاسگزاری

از زحمات بی‌شائبهٔ جناب آقای حمید تقی‌نیام در اجرای آزمایشگاهی و گلخانه‌ای این پروژه سپاسگزاریم.

REFERENCES

1. AOAC., (1984). Official methods of analysis. *Association on official analytical chemists*, 14th ed., Washington DC, USA.
2. Anderson, J. M., Okita, T. W., Kim, W. T., Hnilo, J., Sowokinos, J., Morell, M. & Preiss, J. (1989). ADP-glucose pyrophosphorylase: the regulatory enzyme in starch biosynthesis in potato tuber tissue. *Abstract First International Symposium on the Molecular Biology of the Potato*, Bar Harbor. Maine. USA. P,39.
3. Bot, J. L. E., Jeannequin, B. & Fabre, R. (2001). Growth and nitrogen status of soil-less tomato plants following nitrate withdrawal from the nutrient solution. *Annals of Botany*, 88, 361-370.
4. Chil, C. D., Kim, S. Y., Jeong, J. C. & Lee, Y. B. (2004). Solution temperature effects on potato growth and mineral uptake in hydroponic system. *ISHS Acta Horticulturae* 548: International Symposium on Growing Media and Hydroponics.
5. Cho, M. S., Park, Y. Y., Jun, H. J. & Chung, J. B. (2006). Growth of Gerbera in mixtures of coir dust and perlite. *Horticulture. Environment. Biotechnology*, 47, 211-216.
6. Dole, J. M. & Wilkins, H. F. (1999). *Floriculture principles and species*. Prentice-Hall, Inc. USA. pp.79-89.

7. Ewing, E. E. & Struik, P. C. (1992). Tuber formation in potato: Induction, initiation and growth. *Horticultural Reviews*, 14, 89-198.
8. Farran, I. & Mingo-castel, A. M. (2006). Potato mini-tuber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research*, 83, 47-53.
9. Kang, J. G., Yang, S. Y. & Kim, S. Y. (1996). Effects of nitrogen levels on the plant growth, tuberization and quality of potatoes grown in aeroponics. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, 37, 761-766.
10. Kleinkopf, G. E., Westermann, D. T. & Dwelle, R. B. (1981). Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. *Agronomy Journal*, 73, 799-802.
11. Kleinkopf, G. E., Westermann, D. T., Wille, M. J. & Kleinscmidt, G. D. (1987). Specific gravity of Russet Burbank potatoes. *American Potato Journal*, 64, 597-587.
12. Krauss, A. (1978). Tuberization and abscisic acid content in solanum tuberosum as affected by nitrogen nutrition. *Potato Research*, 21,183-193.
13. Krauss, A. (1985). Interaction of nitrogen nutrition, phytohormones and tuberization. In PHLi(ed). *Potato physiology*, Academic Press. London.
14. Li, P. H. (1985). *Potato physiology*, Academic Press, London.
15. Lommen, W. J. M. (1999). Causes for low tuber yields of transplants from in vitro potato plantlets of early cultivars after field planting. *Journal of Agricultural Science*, 133, 275-284.
16. Mares, D. J., Marschner, H. & Krauss, A. (1981). Effect of gibberellic acid on growth and carbohydrate metabolism of developing tubers of potato (*Solanum tuberosum*). *Physiologia Plantarum*, 52, 267-274.
17. Mobini, S. H., Ismail, M. R. & Arouiee, H. (2009). Influence of ventilation and media on potato (*Solanum tubersum* L.) tuberization and its growth characteristics. *African Journal of Biotechnology*, 8, 2232-2241.
18. Mohammad, M. J., Zuraiqi, S., Quasmeh, W. & Papadopoulos, I. (1998). Yield response and nitrogen utilization efficiency by drip-irrigated potato. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 54, 243-249.
19. Mondy, N. I. & Munshi, C. B. (1990). Effect of nitrogen fertilization on glycoalkaloid and nitrate content of potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38, 565-567
20. Murashige, T. & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologica Plantarum*, 15, 473-497.
21. Muro, J., Dias, V., Goni, J. L. & Lamsfus, C. (1997). Comparison of hydropony culture and culture in a peat/sand mixture and the influence of nutrient solution and plant density on seed potato yields. *Potato Research*, 40, 431-438.
22. Novella, M. B., Andriolo, J. L., Bisognin, D. A., Cogo, C. M. & Bandinelli, M. G. (2008). Concentration of nutrient solution in the hydroponic production of potato mini-tubers. *Ciência Rural*, 38, 1529-1533.
23. Rolot, J. L. & Seutin, H. (1999). Soilless production of potato mini-tubers using a hydroponic technique. *Potato Research*, 42, 457-469.
24. 24.Sanz, M. J., Mingo-Castel, A. M., van Lammeren, A. A. M. & Vreugdenhil, D. (1996). Changes in the microtubular cytoskeleton precede in vitro tuber formation in potato. *Protoplasma*, 191,46-54.
25. 25.Struik, P. C., Vreugdenhil, D., Vaneck, H. J., Bachem, C. W. & Visser, R. G. F. (1999). Physiological and genetic control of tuber formation. *Potato Research*, 42,313-331.
26. 26.Tekalign, T. & 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. *Plant Growth Regulation*, 43, 227-236.
27. Tsegaw, T. & Zelleke, A. (2002). Removal of reproductive growth increased yield and quality of potato (*Solanum tubersum* L.). *Tropical Agriculture*, 79, 125-128.
28. 28. Van Gelder, W. M. J. (1981). Conversion factor from nitrogen to protein for potato tuber protein. *Potato Research*, 24, 423-425.