

تأثیر روش‌های مختلف تغذیه آلی بر ریز غده‌زایی سیب‌زمینی در شرایط هواکشت

فرشاد مرادپور^۱، محمود خرمی‌وفا^{۲*}، حیدر ذوالنوریان^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه رازی

۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه رازی

۳. مربی بازنشسته مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه

(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۰۶)

چکیده

استفاده از روش‌های رایج و سنتی برای تولید تجاری غده بذری سیب‌زمینی باعث انتشار بیماری‌های قارچی و باکتریایی می‌شود. از سوی دیگر استفاده از روش‌هایی چون هواکشت با مشکلاتی مانند هزینه بالای تأمین مواد غذایی موردنیاز آنها روبرو است. لذا به منظور بررسی امکان استفاده از مواد غذایی با منشأ طبیعی در شرایط هواکشت، آزمایشی با هشت تیمار به صورت طرح کاملاً تصادفی دو مشاهده‌ای در سه تکرار انجام گرفت. تیمارها شامل: ۱- محلول غذایی اتازو، ۲ و ۳- محلول چای ورمی‌کمپوست با نسبت‌های یک به پنج و یک به ۱۰، ۴- محلول شیرابه ورمی‌کمپوست، ۵ و ۶- کود مرغی مایع با نسبت‌های دو و شش در ۱۰۰۰، ۷ و ۸- محلول ترکیبی به صورت مخلوط شیرابه کود گاوی و عصاره بقایای میوه به نسبت‌های دو و ۶ در ۱۰۰۰ بودند. در بین محلول‌های غذایی آلی مورد آزمایش، شیرابه ورمی‌کمپوست و چای‌کمپوست عملکرد قابل‌قبولی داشتند و جایگزین مناسبی برای محلول شیمیایی اتازو بودند. از آنجایی که جذب عناصر غذایی در pHهای بالاتر از ۷/۳ و EC بیشتر از دو دسی‌زیمنس بر متر دچار اختلال می‌شوند، می‌توان بالا بودن pH محلول‌های ترکیبی و کود مرغی (به ترتیب ۷/۶ و ۷/۹) و EC نزدیک به ۳ را از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد دانست. همچنین نظر به نقش فسفر در انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها به غده‌ها، می‌توان یکی از دلایل افزایش عملکرد غده با تغذیه محلول‌های غذایی شیرابه ورمی‌کمپوست و چای‌کمپوست را به فسفر بیشتر آنها در مقایسه با محلول‌های غذایی کود مرغی مایع و محلول ترکیبی نیز نسبت داد. واژه‌های کلیدی: کود مرغی مایع، محلول غذایی اتازو، pH، هدایت الکتریکی.

Effect of various organic nutrition methods on potato minituber production in aeroponic condition

Farshad Moradpoor¹, Mahmud KhoramiVafa^{2*}, Heydar Zolnurian³

1. Former Student of Agroecology, Agronomy and Plant Breeding Dept., Razi University,

2. Agronomy and Plant Breeding Dept., Razi University, 3. Agricultural and Natural Resources

Research Center of Kermanshah Province.

(Received: October 20, 2017 - Accepted: August 28, 2018)

ABSTRACT

Commercial production of seed potato tuber by means of traditional and conventional methods resulted in the spread of bacterial and fungal disease. In contrast, high cost of nutritional supply is one of the problems in the some methods such as aeroponic. Hence in order to study seed tuber potato production in aeroponic condition using substances with natural origim, an experiment was conducted with eight treatments as completely randomized design with three replications. The treatments were 1- Otazo nutritional solution, 2 and 3- Tea vermicompost solution with 1:5 and 1:10 ratio, 4- Vermi wash solution, 5 and 6- Liquid poultry manure with 2 and 6:1000 ratio, 7 and 8- Mixed solution as mixed of cow manure with fruits and plants waste with 2 and 6:1000 ratio. Among the tested organic nutritional solutions, the vemi wash and tea vermicompost be able to substitute for Otazo chemical solution due to their satisfactory function. Whereas nutritional elements absorbtion was interrupted in pH of higher than 7.3 and EC over than 2 dS/m, therefore, the most important reason for low yield in liquid poultry manure and mixed solutions were their pH (7.9 and 7.6 respectively) and EC about 3. According to the role of phosphorous in carbohydrates transfer from leaves to tubers, the more tuber yield can attributed to more phosphorous contents in vermi wash and tea vermicompost solutions compared with liquid poultry manure and mixed solutions.

Keywords: Electric conductivity, liquid poultry manure, Otazo nutritional solution, pH.

* Corresponding author E-mail: khoramivafa@razi.ac.ir

مقدمه

هیدروپونیک برتری دارد، زیرا افزایش هوادهی محلول غذایی، اکسیژن بیشتری را نیز در اختیار ریشه گیاه قرار داده، رشد را تحریک و از شکل‌گیری عوامل بیماری‌زا جلوگیری می‌کند (Roosta et al., 2013; Otazú, 2010; Lakhier et al., 2018). در سیستم هواکشت از آسیب به ریشه به دلیل عدم برداشت و کاشت و مجدد بوته‌ها جلوگیری می‌شود؛ همچنین دسترسی به ریشه امکان‌پذیر است و ریشه‌ها در هوا و بدون فشار مکانیکی رشد می‌کنند و آسیب به ریشه در حداقل بوده و تهویه ریشه‌ها به خوبی انجام می‌شود، تعداد ریزنده سیب‌زمینی در واحد سطح نسبت به سایر روش‌های تولیدی بیشتر است (Nugaliyadde et al., 2005). یکی دیگر از مزیت‌های روش هواکشت این است که برداشت غده به مرگ گیاه منجر نمی‌شود. به نحوی که بدون آسیب به گیاه، می‌توان چندین بار ریز غده برداشت کرد. از این رو عملکرد غده بذری به چندین برابر روش‌های سنتی کشت در مزرعه و سیستم‌های هیدروپونیک می‌رسد (Roosta & Rashidi, 2016). از مزایای دیگر این سیستم می‌توان به چرخش مناسب‌تر مواد غذایی، کنترل میزان مواد غذایی و pH اشاره کرد (Bag et al., 2015).

افزایش عملکرد در هواکشت به دلیل بهبود هوادهی ریشه‌ها و جذب مواد مغذی مطلوب گزارش شده است (Mateus-Rodriguez et al., 2013). همچنین تولید سیب‌زمینی بذری با استفاده از هواکشت باعث تولید غده بذری سالم می‌شود؛ به علاوه هواکشت اجازه می‌دهد گیاهان بیمار از سالم به راحتی تشخیص و از محیط حذف گردد. نتایج یک مطالعه که با هدف مقایسه دو سیستم کشت هیدروپونیک و هواکشت برای تولید غده‌های بذری سیب‌زمینی انجام شده بود، نشان داد که در سیستم هواکشت رشد رویشی، رشد ریشه، طول و تعداد استولون‌ها و همچنین طول دوره رشد رویشی و زایشی بیشتر از سیستم هیدروپونیک است (Ritter et al., 2001). در یک مطالعه دیگر مشاهده شد که کیفیت غده بذری‌های تولیدشده در سیستم هواکشت مناسب بوده و هیچ‌گونه علائم آفت، بیماری، خسارت و یا ناهنجاری‌های فیزیولوژیک در

هزینه تولید غده‌های بذری ۵۰-۳۰ درصد از کل هزینه‌های تولید سیب‌زمینی را شامل می‌شود (Struik, 2007). از سوی دیگر، عدم وجود غده بذری باکیفیت و گواهی‌شده از دلایل اصلی پایین‌بودن عملکرد سیب‌زمینی است از آنجا که تکثیر سیب‌زمینی بیشتر از طریق غیرجنسی انجام می‌شود، کشت آن در اغلب مناطق جهان مورد تهدید امراض و آفات و بیماری‌های متعدد قرار می‌گیرد؛ از این رو دسترسی به غده بذری مرغوب، یکی از مشکلات اساسی تولیدکنندگان سیب‌زمینی است. در این بین عامل اصلی تولید غده‌های باکیفیت نامناسب و پایین و همچنین گسترش بیماری‌هایی مانند پژمردگی باکتریایی و بیماری‌های ویروسی، نامناسب بودن روش‌های سنتی تولید بذر است (Buckseth et al., 2016). استان کرمانشاه با بیشترین برداشت سیب‌زمینی از واحد سطح، یکی از استان‌های مهم در تولید سیب‌زمینی کشور است (Anonymous, 2015). لذا تأمین غده‌های بذری از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از روش‌های رایج و سنتی برای تولید ارقام تجاری غده بذری سیب‌زمینی نیز باعث انتشار بیماری‌های قارچی و باکتریایی می‌شود که به ایجاد ضرر و زیان قابل توجه‌ای در عملکرد کمی و کیفی غده منجر می‌شود (Lakhier et al., 2018). روش هواکشت (Aeroponics) روشی نوین در تولید غده‌های بذری است که در آن ریشه گیاهان به صورت معلق در یک محیط کاملاً بسته و یا نیمه‌بسته رشد می‌کند. ریشه‌های آویزان منتهی به ساقه‌ها به کمک یک محلول غذایی به صورت پاشیدن ذرات ریز و پودر مانند، تغذیه می‌شوند. هواکشت درعین حال که از جنبه کاربری بهینه منابع بسیار حائز اهمیت است، از نقطه نظر کنترل و عوامل بیماری‌زا بدون استفاده از آفت‌کش، قارچ‌کش‌ها و سایر ترکیبات شیمیایی نقش بسیار پررنگ و مهمی در سلامت جامعه ایفا خواهد کرد (Buckseth et al., 2016).

از نظر بسیاری از تولیدکنندگان محصولات کشاورزی، هواکشت نسبت به سایر روش‌ها از جمله

استفاده شد. برای این منظور ابتدا کودها با آبیاری سنگین مرطوب و سپس در مجاورت آفتاب زیر پلاستیک به مدت سه هفته قرار داده شد. سپس کاملاً بر روی زمین پخش تا کاملاً خشک شود. جهت کاهش سه مرتبه کودها شستشو داده شدند. سپس از هر تیمار میزان یک و نیم کیلوگرم ماده خشک به نسبت‌های بیان‌شده در داخل ظروفی به ابعاد $40 \times 50 \times 90$ سانتی‌متر ریخته شد و به هر ظرف تعداد ۵۰ نخ کرم بالغ /یزینیا فتیدا/ اضافه گردید و سپس آبیاری صورت گرفت، در طول عملیات تولید کود رطوبت بسترها ۶۵-۵۰ درصد و دمای گلخانه ۲۷-۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری و هر ده روز عملیات هوادهی روی بسترها انجام شد. پس از گذشت یک ماه مقدار یک کیلوگرم ماده خشک از هر تیمار به بسترها اضافه گردید و جهت افزایش غلظت شیرابه هر ده روز یک‌بار شیرابه به بسترهای پرورش برگردانده شد. در پایان چهار ماه کود ورمی‌کمپوست آماده برداشت را از بستر جدا کرده و به کرم‌ها مواد غذایی جدید تزریق گردید. برای تهیه چای ورمی‌کمپوست، کود ورمی-کمپوست آماده‌شده را در داخل پارچه‌های متقالی ریخته و مقداری مواد قندی (مواد غذایی جهت فعال-شدن و زنده‌ماندن میکروارگانیسم‌های مفید) به آن اضافه و به مدت ۴۸ ساعت هوادهی شد. عصاره حاصل پس از استریل‌شدن، به اتاق‌های تاریک و خنک برای جلوگیری از تابش نور خورشید منتقل شدند.

برای تهیه شیرابه ورمی‌کمپوست، شیرابه‌ها از ابتدا تا انتهای عملیات تولید کود ورمی‌کمپوست جمع‌آوری شد. گندزدایی به مدت سی دقیقه در دمای غیر مستقیم ۸۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد، سپس به نسبت یک به ده با آب رقیق گردید. کود مرغی مایع (NEX، سبز البرز)، در دو غلظت دو و شش در هزار استفاده گردید. برای تهیه محلول ترکیبی، به‌ازای هر کیلوگرم کود حیوانی یک لیتر آب به دستگاه همزن پس از ۴۸ ساعت چرخش از توری‌های مخصوصی برای گرفتن عصاره مایع عبور داده شد پس از استریلیزه کردن عصاره مورد نظر، در داخل بطری‌هایی ریخته شد. به‌ازای هر یک کیلوگرم بقایای میوه و

غده‌ها مشاهده نمی‌شود (Roosta & Rashidi, 2016).

یکی از مشکلات روش‌های تولیدی هواکشت و هیدروپونیک، هزینه بالای مواد غذایی موردنیاز آنها است. از سوی دیگر برای تولید سیب‌زمینی ارگانیک به بذریه‌هایی نیاز است که به صورت غیر شیمیایی رشد کرده باشند. در این خصوص پیشنهاد شده است که از کودهای آلی مایع که مواد اولیه آنها از طبیعت به دست آمده و ارزان قیمت هستند استفاده شود. برای نمونه استفاده از اسید هیومیک، چای کمپوست و میکوریزا، توانست نیازهای غذایی سیب‌زمینی را در کشت هیدروپونیک و ایروپونیک تامین نماید (Shokri & Tadayon, 2018). همچنین استفاده از ورمی‌کمپوست به بهبود رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی در سیستم هیدروپونیک منجر شد (Haghighi et al., 2016). از این رو در این آزمایش امکان تولید غده‌های بذری سیب‌زمینی در شرایط هواکشت با استفاده از کودهای آلی که مواد اولیه آنها از طبیعت به دست آمده، و ارزان قیمت هستند، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۴ در مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه در شرایط هواکشت با هشت تیمار به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار دو مشاهده‌ای برای تولید ریز غده سیب‌زمینی (رقم آگریا) اجرا گردید. تیمارها شامل ۱- محلول غذایی اتازو، ۲ و ۳- محلول چای ورمی-کمپوست با نسبت‌های یک به پنج و یک به ۱۰، ۴- محلول شیرابه ورمی‌کمپوست، ۵ و ۶- کود مرغی مایع با نسبت‌های دو و شش در ۱۰۰۰، ۷ و ۸- محلول ترکیبی به صورت مخلوط شیرابه کود گاوی و عصاره بقایای میوه به نسبت‌های دو و ۶ در ۱۰۰۰ بودند. محلول غذایی شاهد بر اساس فرمول غذایی اتازو آماده گردید (جدول ۱) (Otazú, 2010).

برای تهیه ورمی‌کمپوست از کود گاوی و مخلوط آن با کاه و کلش گندم و به کمک کرم /یزینیا فتیدا/

جعبه‌هایی به ابعاد ۱۱۰×۱۱۰×۱۵۰ سانتی‌متر جهت استقرار گیاهچه‌ها تعبیه گردید. از میله‌های فلزی به‌منظور ساخت چارچوب دستگاه استفاده شد. در ساخت دیواره‌ها از ورقه‌های یونولیت و نیز ایجاد فضای تاریک از نایلون مشکی استفاده شد. ورقه‌های کارتون پلاست به‌عنوان کف دستگاه به‌کار برده شد که در آن جهت هدایت لوله پمپ مواد غذایی از مخزن و نیز هدایت مواد غذایی جذب‌نشده توسط گیاهان به مخزن منفذی تعبیه گردید.

دمای فضای گلخانه در روز پایین‌تر از ۳۰ و در شب در حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگه‌داشته شد. همچنین هدایت الکتریکی و پی‌اچ آب مورد استفاده به‌ترتیب در محدوده کمتر از ۱ دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر و ۷ تا ۸ کنترل گردید (Hassanpanah, 2010).

گیاهان، یک لیتر آب اضافه و به‌مدت ۷۲ ساعت کاملاً مخلوط صاف گردید. سپس عصاره به‌دست‌آمده با حرارت غیرمستقیم دمای ۷۰ درجه استریل و به نسبت ۰/۵۰ درصد در ظروف موردنظر ریخته و آماده گردید. برای تعیین عناصر غذایی موجود در کودهای آلی، از دستگاه‌های فلیم‌فوتومتر (Jenway PFP7)، اسپکتروفوتومتر (VARIAN-Cary 100 SCAN) و دستگاه جذب اتمی (VARIN-AA 220) استفاده گردید. برای شکستن خواب غده‌ها ابتدا غده‌ها در داخل یخچال با دمای چهار درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد سپس در اتاق سازگاری با شرایط دمایی (حداکثر ۲۳ درجه سانتی‌گراد و حداقل ۱۶ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت ۷۰ درصد نگهداری شدند. پس از یک ماه غده‌های مورد نظر شروع به جوانه‌زدن کرده و آماده انتقال به گلدان‌های حاوی کوکوپیت و پرلیت که از قبل آماده شدند.

جدول ۱. ترکیب محلول غذایی اتازو

Table 1. Otazo nutrient solution compound

Concentration (g.per 400L)	Nutrient Substance
216	KNO ₃
140	NH ₄ NO ₃
112	Ca (H ₂ PO ₄) ₂
96	SO ₄ Mg
3.6	Fe (EDTA-Fe6%)
4.8	Micro elements*

* شامل اکسید منیزیم ۹٪، گوگرد ۳٪، آهن ۴٪، منگنز ۴٪، مس ۱/۵٪، روی ۱/۵٪، بور ۰/۵٪ و مولیبدن ۱٪

*Including MgO (9%), S (3%), Fe (4%), Mn (4%), Cu (1.5%), Zn (1.5%), B (0.5%) and Mo (1%)

شش بوته در هر مترمربع کاشته شده، به‌طوری‌که ریشه‌ها داخل محفظه و قسمت هوایی در بالای دستگاه قرار گرفت (و با پنبه نسوز جهت استحکام و نیز جلوگیری از ورود نور به داخل محفظه پوشانده شد) و از قییم‌های نخی برای استحکام قسمت هوایی گیاهچه‌ها استفاده گردید. به‌منظور استحکام استقرار گیاهچه و جلوگیری از ورود نور و عدم آسیب به ساقه از پنبه نسوز استفاده شد (Masengesho et al., 2012). گیاهچه‌ها حدود یک ماه و نیم بعد از استقرار، شروع به تولید استولون کردند و بیست روز بعد از ایجاد استولون غده‌ها ظاهر شدند. برداشته‌ها هر هفته یک‌بار و با رعایت کامل اصول بهداشتی (شستن دست‌ها با صابون و ضدعفونی با الکل) انجام شد. سپس تعداد غده در بوته، وزن کل غده تولیدی در

محلول‌های تولیدشده با نسبت مشخص در مخزن‌های مختلف ریخته شد و جهت کالیبراسیون دستگاه‌ها ۲۴ ساعت قبل از استقرار گیاهچه‌ها، تایمرها فعال شدند و مشاهده گردید که مشکلی در انتقال محلول‌ها وجود ندارد. محلول‌های غذایی هر ۱۵ دقیقه یک‌بار به‌مدت ۵ دقیقه پمپاژ می‌شدند. به‌منظور جلوگیری از افزایش pH قابل‌قبول محلول‌ها در هواکشت (۷/۳)، هر ۱۰ روز یک‌بار محلول‌های غذایی عوض‌شده و داخل مخزن‌ها شسته و ضدعفونی شده و با محلول غذایی تازه پر شدند (Bag et al., 2015).

گیاهچه‌ها پیش از انتقال به گلخانه هواکشت در گلدان‌های حاوی کوکوپیت و پرلیت یک دوره دو تا سه‌هفته‌ای، مرحله سازگاری را سپری و ریشه‌دار و به گلخانه هواکشت منتقل شدند. برای این منظور تعداد

به ترتیب با مصرف کود مرغی مایع با غلظت شش لیتر در ۱۰۰۰ لیتر آب (۱۷/۳۸ گرم) و محلول غذایی شاهد (۱۰/۵۹ گرم) به دست آمد (جدول ۳). بر اساس نتایج به دست آمده، محلول‌های غذایی اثر بسیار معنی‌داری در وزن خشک بوته‌ها ایجاد کردند ($P < 0.01$) (جدول ۲). بیشترین وزن خشک بوته به تیمارهای محلول غذایی شاهد (۲۹/۸۴ گرم) و شیرابه ورمی-کمپوست (۲۸/۰۶ گرم) مربوط بود. در مقابل کمترین وزن خشک بوته از مصرف کود مرغی مایع با نسبت ۶:۱۰۰۰ معادل ۱۳/۸۷ گرم به دست آمد (جدول ۳). همانند وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه نیز تحت تأثیر محلول‌های غذایی مورد استفاده قرار گرفت ($P < 0.01$) (جدول ۲). به طوری که بیشترین میزان وزن خشک ریشه از محلول‌های غذایی شاهد، شیرابه ورمی-کمپوست، چای کمپوست با نسبت‌های ۱:۵ و ۱:۱۰ به ترتیب معادل ۸/۰۲، ۷/۷۶، ۷/۱۹ و ۷/۱۱ گرم مربوط به دست آمد. استفاده از محلول غذایی کود مرغی مایع با نسبت ۶:۱۰۰۰ کمترین میزان وزن خشک ریشه (۴/۴ گرم) را در پی داشت (جدول ۳). ویژگی‌های مرفولوژیک اندازه‌گیری شده به طور بسیار معنی‌داری تحت تأثیر تغذیه با انواع محلول‌های غذایی قرار گرفتند (جدول ۴). در این رابطه نتایج نشان داد گیاهانی که از محلول غذایی اتازو تغذیه کرده بودند با میانگین ۱۵۹/۲۳ سانتی‌متر، بلندی بیشتری نسبت به بوته‌های تیمار شده با محلول‌های غیرشیمیایی داشتند. در بین محلول‌های غذایی آلی نیز کمترین میزان ارتفاع به تغذیه با محلول غذایی کود مرغی (با نسبت ۶:۱۰۰۰) و محلول ترکیبی مربوط بود (جدول ۵).

بوته، وزن خشک بوته، وزن خشک ریشه، میانگین وزن تک غده، اندازه‌گیری شدند ارتفاع بوته و طول ریشه با استفاده از خط‌کش و قطر ساقه با استفاده از کولیس اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری حجم ریشه مقدار مشخصی آب در داخل استوانه مدرج ریخته و ریشه در آن قرار داده شد و حجم آب جابجا شده از استوانه مدرج به عنوان حجم ریشه در نظر گرفته می‌شود. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه سنجش سطح مدل (CL- 202 AREA METER) استفاده گردید. برای مقایسه میانگین‌ها از LSD و جهت تجزیه داده‌ها و رسم شکل‌ها نیز از نرم‌افزارهای آماری SAS، SPSS، MSTATC و Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به دست آمده، محلول‌های غذایی مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در ریز غده‌زایی داشتند (جدول ۲). به طوری که تغذیه با محلول‌های غذایی شاهد، شیرابه ورمی-کمپوست و چای کمپوست (با نسبت ۱:۵) در مقایسه با سایر محلول‌ها، غده‌زایی بیشتری داشتند (جدول ۳). تغذیه با محلول‌های مختلف غذایی، وزن ریز غده‌های تولیدی را نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر فرار داد (جدول ۲). در این رابطه بیشترین وزن کل غده تولیدی در بوته، هنگام تغذیه با محلول‌های غذایی شاهد، شیرابه ورمی-کمپوست و چای کمپوست (با نسبت ۱:۵) به ترتیب معادل ۷۱۶/۳۳، ۶۶۸/۳۳ و ۷۰۶/۲۵ گرم به دست آمد. در حالی که کم‌ترین وزن کل غده تولیدی (۶۸/۱۷۸ گرم) نیز به کود مرغی (با نسبت ۶:۱۰۰۰) مربوط بود (جدول ۳). بیشترین و کمترین میانگین وزن تک‌غده

جدول ۲. تجزیه واریانس عملکرد، اجزای عملکرد، وزن خشک ریشه و ساقه سیب‌زمینی بذری

Table 2. Analysis of variance of tuber potato yield, yield components, root and shoot dry weight

S.O.V.	df	MS				
		No. of mini tubers	Total mini tuber yield	Mean individual tuber weight	Shoot dry weight	Root dry weight
Nutrient solutions	7	1802.51**	157053.42**	22.21**	100.92**	8321**
Error	16	15.08	1641.62	4.184	2.08	0.28
CV(%)		10.57	9.02	8.1	7.01	8.94

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** show non significant, significant at 5 and 1% probably level respectively

جدول ۳. مقایسه میانگین عملکرد، اجزای عملکرد، وزن خشک ریشه و ساقه سیب زمینی بذری در محلول‌های غذایی اتازو و غیر شیمیایی در شرایط هواکشت

Table 3. Mean comparison of yield, yield components, root and shoot dry weight of tuber potato in Otazo and organic nutrient solutions in aeroponic condition

Nutrient Solutions	Root dry weight (g)	Shoot dry weight (g)	Individual tuber weight (g)	Total mini tuber yield (g)	No. of mini tuber per plant
Otazo Nutrient Solution (Control)	8.02 ^a	2984 ^a	10.59 ^b	716.33 ^a	67.66 ^a
Vermi wash	7.76 ^a	28.06 ^a	10.57 ^b	706.25 ^a	65.66 ^a
Vermi tea (1:5)	7.11 ^a	22.34 ^b	11.08 ^b	668.33 ^a	61 ^a
Vermi tea (1:10)	7.19 ^a	21.68 ^b	14.33 ^{ab}	506.35 ^b	35.33 ^b
Mixed solution* (2:1000)	4.91 ^b	1854 ^c	15.14 ^a	332.62 ^c	22.66 ^c
Poultry manure (2;1000)	4.64 ^b	18.41 ^c	15.42 ^a	290.18 ^c	19 ^c
Mixed solution (6:1000)	4.46 ^b	14.83 ^d	16.5 ^a	193.24 ^d	12 ^d
Poultry manure (6;1000)	4.14 ^b	13.87 ^d	17.38 ^a	178.68 ^d	10.33 ^d

حروف متفاوت در هر ستون نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ است. *: مخلوط شیرابه کود گاوی و عصاره بقایای میوه و گیاهان
Means followed by similar letters are in each column not significantly different (P=1%). * Mixed of cow manure with fruits and plants waste

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک بوته‌های تولیدکننده ریز غده سیب‌زمینی

Table 4. Analysis of variance of morphologic traits in mini tuber potato plants

S.O.V.	df	MS					
		Leaf area	Stem diameter	Root volume	No. of lateral stems	Root length	Plant height
Nutrient solution	7	34691180.4**	5.3**	466.56**	56.83**	2253.32**	3993.1**
Error	16	443131.8	0.3	9.87	3.37	64.91	105.55
CV%		7.97	10.64	7.21	8.71	12.83	9.58

ns, * and ** show non significant, significant at 5 and 1% probably level respectively

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک بوته‌های تولیدکننده ریز غده سیب‌زمینی

Table 5. Mean comparison of morphologic traits in mini tuber potato plants

Nutrient Solutions	Leaf area (mm ²)	Root volume (cc)	Root length (cm)	No. of lateral stems	Stem diameter (mm)	Plant height (cm)
Otazo Nutrient Solution (Control)	12540 ^a	66.01 ^a	89.27 ^a	28.32 ^a	7.56 ^a	159.23 ^a
Vermi wash	11567.7 ^b	57.31 ^a	87.87 ^a	24.91 ^b	6.43 ^b	135.56 ^b
Vermi tea (1:5)	11410.4 ^b	48.26 ^b	85.32 ^a	23.54 ^b	5.56 ^{bc}	133.24 ^b
Vermi tea (1:10)	11165.6 ^b	45.14 ^b	84.36 ^a	22.85 ^b	5.43 ^c	131.17 ^b
Mixed solution* (2:1000)	5669.7 ^c	37.58 ^c	52.97 ^b	18 ^c	4.36 ^d	84.03 ^c
Poultry manure (2;1000)	5504.3 ^c	37.25 ^c	5104 ^b	18.03 ^c	4.06 ^d	82.35 ^c
Mixed solution (6:1000)	5271.1 ^c	35.13 ^c	27.14 ^c	16.2 ^c	4.03 ^d	70.44 ^{dc}
Poultry manure (6;1000)	4865.1 ^c	24.52 ^d	24.6 ^c	16.01 ^c	3.89 ^d	61.51 ^d

عدم وجود حروف مشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ است. *: مخلوط شیرابه کود گاوی و عصاره بقایای میوه و گیاهان
Means followed by similar letters are in each column not significantly different (P=1%). * Mixed of cow manure with fruits and plants waste

بوته بود؛ به طوری که بیشترین میزان قطر ساقه و تعداد شاخه‌های جانبی از تغذیه با محلول غذایی اتازو به-

واکنش قطر ساقه و تعداد شاخه‌های جانبی به محلول‌های غذایی مورد آزمایش تقریباً مشابه با ارتفاع

بود. یکی از این دلایل را می‌توان به بالا بودن pH این محلول‌ها نسبت داد (به ترتیب ۷/۶ و ۷/۹). در این رابطه، مناسب‌ترین pH ۶/۵ تا ۶/۸ گزارش شده است و جذب عناصر غذایی در محلول‌های که pH های بالاتر از ۷/۳ دارند دچار اختلال می‌شود و باعث کندی و تضعیف رشد گیاه می‌گردد و همچنین تأثیر سو روی سایر صفات خواهد داشت (Bag et al., 2015). به-همین دلیل ممکن است مناسب بودن pH محلول‌های غذایی شیرابه ورمی‌کمپوست و چای‌کمپوست (به-ترتیب ۶/۱، ۵/۹) (جدول ۶)، یکی از دلایل برتری عملکرد و سایر صفات نسبت به سایر محلول‌های غذایی آلی باشد.

عامل دیگری که می‌توان به آن استناد کرد، میزان هدایت الکتریکی محلول‌های غذایی مورد آزمایش است. از آنجایی که EC مناسب برای محلول‌هایی که در سیستم هواکشت استفاده می‌شوند دو دسی زیمنس بر متر است (Bag et al., 2015)، شاید بتوان یکی دیگر از دلایل کاهش رشد، عملکرد و کاهش سایر صفات در پی استفاده از محلول‌های غذایی کود مرگی مایع و محلول ترکیبی را به بالا بودن EC این محلول‌ها (به ترتیب برابر با ۲/۸ و ۲/۷ دسی‌زیمنس بر متر)، سیت داد (جدول ۶). در همین ارتباط به نظر می‌رسد شیرابه ورمی‌کمپوست و چای‌کمپوست با داشتن EC مناسب باعث افزایش رشد و شاخص‌های مربوط به عملکرد می‌شوند. فسفر نقش مهمی در متابولیسم‌های پایه کربوهیدرات و سیستم انتقال انرژی ایفا می‌کند. از آنجایی که فسفر بخشی از ساختمان DNA، RNA، ATP و فسفولیپیدهای غشایی را تشکیل می‌دهد، کمبود آن باعث کاهش قابل توجه‌ای در فرآیندهای متابولیکی مرتبط با تقسیم سلولی، توسعه و گسترش سلول، تنفس و فتوسنتز می‌شود. کمبود فسفر در سیب‌زمینی همچنین باعث تولید غده‌های بی‌کیفیت با ماده خشک کمتر می‌شود (Rosen & Bierman, 2008). در بررسی میزان فسفر محلول‌های غذایی مورد استفاده مشخص شد که شیرابه ورمی‌کمپوست و کود مرگی مایع به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار فسفر نسبت به سایر محلول‌های غذایی بودند (جدول ۶).

دست آمد (به ترتیب ۷/۵۶ میلی‌متر و ۲۸/۶۶ عدد). در خصوص مجموع مساحت برگ‌ها نیز بیشترین سطح به محلول غذایی اتازو با ۱۲۵۴۰ میلی‌متر مربع مربوط بود و همانند سایر اجزای رشد رویشی، محلول‌های ترکیبی و کود مرگی پایین‌ترین مساحت برگ را تولید کردند. برخلاف اندام هوایی، طول ریشه هنگام تغذیه با محلول‌های غذایی شیرابه ورمی‌کمپوست و چای-کمپوست اخلاف معنی‌داری با محلول غذایی اتازو نداشت. هرچند محلول‌های ترکیبی و کود مرگی مایع همانند سایر صفات اندازه‌گیری شده، وضعیت مناسبی نداشتند (جدول ۵). اثر محلول‌های غذایی روی حجم ریشه نیز تقریباً آهنگی مشابه با طول ریشه داشت. بر همین اساس محلول‌های غذایی اتازو و شیرابه ورمی-کمپوست به ترتیب با تولید حجم ریشه ۶۶/۳۳ و ۵۳/۳۷ سی‌سی بهترین و محلول غذایی کود مرگی مایع با نسبت ۶:۱۰۰۰ با حجم ۲۴/۶۶ سی‌سی پایین‌ترین عملکرد را نشان دادند (جدول ۵). نتایج مطالعات انجام شده روی سیب‌زمینی در شرایط هواکشت نشان از برتری و مناسب بودن این روش دارد. به نظر می‌رسد وجود مواد غذایی مستمر در اطراف ریشه گیاهان و یون‌های مصرفی در مقایسه با کشت خاکی که به راحتی در اختیار ریشه گیاه قرار می‌گیرد و جذب بهتر در سیستم هواکشت باعث افزایش رشد رویشی و توسعه سطح برگ می‌شود. در این رابطه (Farran, Mingo, & Ange, 2006)، طی تحقیقات خود بیان کرد که ایروپونیک به دلیل بهینه‌سازی هوادهی ریشه باعث افزایش رشد و توسعه ریشه می‌شود. (Ritter et al., 2001) نیز طی تحقیقات خود روی تولید غده بذری سیب‌زمینی در شرایط هواکشت، افزایش قابل توجه رشد ساقه را در محیط ایروپونیک بیان کردند؛ و همچنین افزایش رشد رویشی کاهو را در شرایط هواکشت نیز گزارش کردند. نتایج حاصل از آزمایش حاضر با مطالعات (Atiyeh et al., 2002)، (Muscolo et al., 1999) که افزودن ورمی‌کمپوست و عصاره‌های آن به محیط رشد گیاهان، رشد گوجه‌فرنگی و همچنین خیار را برحسب وزن خشک ریشه و ساقه، ارتفاع گیاه و وسعت برگ را افزایش داده بود، مطابقت داشت. دلایل متعددی را می‌توان برای ضعف محلول‌های ترکیبی و کود مرگی مایع متصور

جدول ۶. میزان برخی عناصر غذایی، اسدیته و هدایت الکتریکی محلول‌های آلی مورد استفاده

Table 6. Some nutrient elements content, pH and EC of utilized organic solutions

Organic solutions	EC (ds/m)	pH	K (%)	P (%)	N (%)
Vermi wash	1.7	5.9	1.3	0.83	1.97
Vermi tea	1.9	6.1	1.36	0.79	1.75
Mixed solution*	2.7	7.6	1.61	0.7	1.62
Liquid poultry manure	2.8	7.9	1.78	0.69	1.70

*: مخلوط شیرابه کود گاوی و عصاره بقایای میوه و گیاهان

* Mixed of cow manure with fruits and plants waste

همچنین علت افزایش ارتفاع توسط شیرابه ورمی-کمپوست ممکن است به‌خاطر اسیدهای آلی موجود در آن باشد؛ چراکه این اسیدهای آلی خاصیت شبه-اکسینی دارند که علاوه بر بهبود رشد قسمت‌های هوایی و ریشه گیاه، با افزایش جذب CO_2 و سنتز ATP، فتوسنتز را افزایش می‌دهند. همچنین اسیدهای آلی موجود در شیرابه ورمی-کمپوست، به‌ویژه اسید هومیک، جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر را توسط گیاه افزایش می‌دهد (Muscolo et al., 1999).

نتیجه‌گیری کلی

در بین محلول‌های آلی مورد آزمایش، شیرابه ورمی-کمپوست و چای کمپوست توانستند عملکرد قابل‌قبولی داشته باشند و جایگزین مناسبی برای محلول شیمیایی اتازو در شرایط هواکشت باشند. در مقابل محلول غذایی ترکیبی (مخلوط شیرابه کود گاوی و عصاره بقایای میوه و گیاهان) و کود مرغی مایع با توجه به کارکرد ضعیف، نمی‌توانند برای هواکشت سیب‌زمینی مناسب باشند؛ از این رو این محلول‌ها توصیه نمی‌شوند. pH و EC بالای محلول‌های غذایی ترکیبی و کود مرغی، می‌تواند از دلایل اصلی نامناسب بودن این محلول‌های غذایی برای هواکشت سیب‌زمینی باشد

تشکیل غده سیب‌زمینی حاصل ذخیره‌شدن کربوهیدرات به‌خصوص نشاسته در آخرین گره استولون است. فسفر از طریق افزایش میزان و مدت فتوسنتز و انتقال کربوهیدرات از برگ‌ها به غده‌ها باعث تشکیل غده می‌شود؛ از این رو کاربرد کودهایی که دارای میزان فسفر بالایی هستند باعث تسریع در غده‌زایی و افزایش طول دوره رشد گیاه در نتیجه افزایش تعداد غده می‌شود (Mulubrhan, 2004). از آنجایی محلول‌های غذایی شاهد، شیرابه ورمی-کمپوست و چای کمپوست دارای فسفر بیشتری نسبت به سایر محلول‌های غذایی داشتند (جدول ۶) شاید بتوان یکی از دلایل افزایش عملکرد غده با این محلول‌های غذایی را به این دلیل توجیه کرد. پتاسیم نقش مهمی در فتوسنتز و ساخت کربوهیدرات‌ها، احیای نیترات و کمک در مصرف یون‌های آمونیوم در ساخت اسیدهای آمینه و سنتز پروتئین دارد. علاوه بر این، در تعادل عناصر غذایی، افزایش غده‌بندی، جذب نیتروژن و فسفر در گیاه نیز مؤثر است (Khan et al., 1994). بیشترین میزان پتاسیم به محلول غذایی کود مرغی مایع و کمترین میزان آن به محلول چای کمپوست مربوط بود (جدول ۶). البته پتاسیم همیشه بر عملکرد مؤثر نیست و بیشتر تأثیر زیادی بر کیفیت محصول، درصد ماده خشک و نقش مکمل با سایر عناصر غذایی پرمصرف کیفیت انباری دارد (Khan et al., 1994).

REFERENCES

1. Anonymous. (2015). Annual statistics of agriculture *Ministry of Agricultural Jihad* (Vol. 1). Iran: Deputy of Planning and Economic Affairs <http://www.maj.ir/Index.aspx>.
2. Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q. & Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource technology*, 84(1), 7-14 .
3. Bag, T .K., Srivastava, A .K., Yadav, S.K., Gurjar, M .S., Diengdoh, L .C., Rai, R. & Singh, S. (2015). Potato (*Solanum tuberosum*) aeroponics for quality seed production in north eastern Himalayan region of India. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 85(10), 1360-1364 .
4. Buckseth, T., Sharma, A. K., Pandey, K .K., Singh, B .P. & Muthuraj, R. (2016). Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics .A review. *Scientia horticultrae*, 204, 79-87 .
5. Farran, I., Mingo, C. & Ange, I. M. (2006). Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research*, 83(1), 47-53 .
6. Haghghi, M., Barzegar, M. R. & Da Silva, J. A T. (2016). The effect of municipal solid waste compost, peat, perlite and vermicompost on tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) growth and yield in a hydroponic system. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(3), 231-242 .
7. Hassanpanah, D. (2010). Effect of different planting beds on mini-tubers production two potato cultivars in greenhouas condition. *Jornal of Crop and Weed Ecophysiology*, 4(3), 127-138 .
8. Khan, H., Elahi, S., Hussain, M. & Adachi, T. (1994). Soil characteristics and behavior of potassium under various moisture regimes. *Soil science and plant nutrition*, 40(2), 243-254 .
9. Lakhiar, I. A.; Gao, J., Syed, T. N.; Chandio., F. A. & Buttar, N. A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 338-352 .
10. Masengesho, J., Nshimiyimana, J. C., Senkeshu, N. & Sallah, P. Y. K. (2012). Performance of Irish potato varieties under aeroponic conditions in Rwanda. *Rwanda Journal*, 28(1), 84-94 .
11. Mateus-Rodriguez, J. R., de Haan, S., Andrade-Piedra, J. L., Maldonado, L., Hareau, G., Barker, I., Bastos, C. (2013). Technical and economic analysis of aeroponics and other systems for potato mini-tuber production in Latin America. *American journal of potato research*, 90(4), 357-368.
12. Mulubrhan, H. (2004). *The effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on the yield and yield components of potato (Solanum tuberosum L.) grown on vertisols of Mekele area.* (M.Sc.), Haramay University, Ethiopia .
13. Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F. & Nardi, S. (1999). Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biology and Biochemistry*, 9(31), 1303-1311 .
14. Nugaliyadde, M. M., De Silva, H. D.M, Perera, R., Ariyaratna, D. & Sangakkara, U. R. (2005). An aeroponic system for the production of pre-basic seed potato. *Annals of the Sri Lanka Department of Agriculture*, 7, 199-288 .
15. Otazú, V. (2010). *Manual on quality seed potato production using aeroponics*: International Potato Center.
16. Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herran, C., Reloso, J., & San Jose, M. (2001). Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research*, 44(2), 127-135 .
17. Roosta, H. & Rashidi, M. (2016). Investigation of the effect of culture system, cultivar and different nutrient solutions on som growth and physiological parameters of potato plant. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46(4), 613-622 .
18. Roosta, H., Rashidi, M., Karimi, H., Alaei, H. & Tadayyonnejhad, M. (2013). Comparison of vegetative growth and minituber yield in three potato cultivars in aeroponics and classic hydroponics with three different nutrient solutions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 4(2), 73-80 .
19. Rosen, Carl J. & Bierman, P. M. (2008). Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. *American Journal of Potato Research*, 85(2), 110-120 .
20. Shokri, S. & Tadayon, M. R. (2018). Effect of different nutrient solutions on yield and potato minituber production under aeroponic and hydroponic cultures. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 8(4), 79-89 .
21. Struik, P. C. (2007). The canon of potato science: 25.Minitubers. *Potato research*, 50(3-4), 305-308.