


Plant Prod., 2023, 46(3), 381-395
<https://plantproduction.scu.ac.ir/>
ISSN (P): 2588-543X; ISSN (E): 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2023.44309.2112
Received: 16 July 2023
Accepted: 13 November 2023



Plant Productions

Research Article

Effect of iron oxide and iron chelate nanofertilizers and different sizes of micro-tubers on yield and yield components of potato (*Solanum tubersum* L.)

Mohsen Pourahmadi ¹, Reza Zargami ², Marjan Diyanat ^{3*} , Ali Mohammadi
Torkashvand ⁴

1. Ph.D Student, Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Tissue and Cell Culture, Agricultural Biotechnology Research Institute, Karaj, Iran
3. Associate Professor, Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
4. Professor, Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Citation: Pourahmadi, M., Zargami, R., Diyanat, M., & Mohammadi, A., (2023) Effect of iron oxide and iron chelate nanofertilizers and different sizes of micro-tubers on yield and yield components of potato (*Solanum tubersum* L.) *Plant Productions*, 46(3), 381-395.

Abstract

Introduction

In terms of harvested land area, potato ranks fourth in the world after wheat, corn and rice. In addition to providing energy and good quality protein, it is also considered as a source of vitamin C and minerals. Despite the fact that iron is the fourth most abundant element in the earth's crust, only a small amount of iron can be used by plants in well-ventilated soils. Therefore, iron deficiency is one of the factors limiting the growth and development of plants.

Materials and Methods

This experiment was carried out in a factorial trial in the base of a completely randomized design in three replications in a greenhouse conditions of Agricultural Research Institute of Hamadan (Jorqan) during the crop years of 2017-2018 and 2018-2029. The experimental factors include the weight levels of microtuber at three levels of 3-1, 3-5 and 5-10 grams and different iron fertilizers at seven levels, control, iron chelate in the form of soil consumption at the rate of 20 micromolar, nano iron oxide in the form of soil consumption to The amount of 20 micromolar was 1 and 2% foliar spraying of iron chelate and 1 and 2% nano iron oxide foliar spraying. The internal temperature of the greenhouse was provided by adjusting the air conditioning system and central

* Corresponding Author: Marjan Diyanat
E-mail: Ma_dyanat@yahoo.com



heating in the range of 18 to 20 °C at night and 26 to 28 degrees during the day. The humidity of the greenhouse was also 60-65%. At the end of the experiment, after processing the crop, the plants were harvested and the yield and yield components were determined. Leaf greenness index in this experiment using SPAD device (Minolta 502 model) using three fully developed terminal leaves from ten plants in the budding stage in the middle part of the leaf on one side of the main vein, at 9:30 to 10:00 in the morning. It was measured in order to minimize daily changes. To measure the percentage of dry matter, 200 grams of tubers were randomly selected from each treatment, then the tubers were chopped and placed in an oven at a temperature of 75 degrees Celsius, and after their weight was fixed, they were weighed again. Then, based on the ratio of fresh and dry weight of the tubers, the percentage of dry matter of the tubers was determined (Hagman and Martenssen, 2009).

Results and Discussion

The results showed that the height of the plant, the number of stems per plant, the number of tubers per plant, the weight of tubers, the weight of tubers per plant, the percentage of dry matter and the greenness index increased with the increase in the weight of microtubers, and the most improvement in the morphological and qualitative characteristics of potato in microtubers. 5-10 grams were observed. With the application of iron chelate and nano iron oxide fertilizers, potato yield and yield components increased. The maximum tuber weight in the plant was shown in the treatments of 20 micromolar nano iron oxide and 2% nano iron oxide. The highest tuber weight in the plant in the 1-3 gram microtuber is 405.23 grams related to the consumption of 20 micromolar nano iron oxide, in the 3-5 gram microtuber is 444.61 grams related to the application of 2% iron chelate solution and in the microtuber 5-10 grams in the amount of 556.92, 544.52, 482.6 and 465.82 grams corresponding to the treatments of 20 micromolar nano iron oxide, foliar spraying of 2% nano iron oxide, foliar spraying of 1% nano iron oxide and solution The application was 2% iron chelate

Conclusion

Microtuber 5-10 grams was able to acquire the best size of microtuber due to having suitable nutrients and accelerating the greening of plants and increasing photosynthesis and providing nutrients. The application of nano iron oxide fertilizer was more effective in improving the quantitative and qualitative yield of potatoes compared to iron chelate.

Keywords: Greenness, Percentage of dry matter, Protein, Tuber weight



اثر کودهای نانو اکسید آهن و کلات آهن و اندازه‌های مختلف ریزغده‌ها بر عملکرد و اجزاء عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

محسن پوراحمدی^۱، رضا ضرغامی^۲، مرجان دیانت^{۳*}، علی محمدی ترکشوند^۴

- ۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۲- دانشیار بخش کشت بافت و سلول، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، کرج، ایران
- ۳- دانشیار دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۴- استاد دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

به منظور بررسی اثر اندازه‌های مختلف ریزغده‌ها و کودهای نانو اکسید آهن و کلات آهن روی عملکرد و اجزاء عملکرد سیب‌زمینی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه موسسه تحقیقات کشاورزی شهرستان همدان (جورقان) در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹ اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل سطوح وزنی ریزغده در سه سطح ۱-۳، ۳-۵ و ۵-۱۰ گرم و کودهای مختلف آهن در هفت سطح ۱. صفر، ۲. کلات آهن به صورت خاک مصرف به میزان ۲۰ میکرومولار، ۳. نانو اکسید آهن به صورت خاک مصرف به میزان ۲۰ میکرومولار، ۴. محلول پاشی ۱ درصد کلات آهن ۵. محلول پاشی ۲ درصد کلات آهن، ۶. محلول پاشی ۱ درصد نانو اکسید آهن و ۷. محلول پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن بود. نتایج نشان داد که با افزایش وزن ریزغده‌ها و کاربرد کودهای کلات آهن و نانو اکسید آهن ارتفاع بوته، تعداد ساقه در بوته، تعداد غده در بوته، وزن غده، وزن غده در بوته، درصد ماده خشک غده و شاخص سبزیگی افزایش یافت. حداکثر وزن غده در بوته در تیمارهای ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن و محلول پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن نمایان شد. بیشترین وزن غده در بوته در ریزغده ۳-۱ گرم به مقدار ۴۰۵/۲۳ گرم مربوط به مصرف ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن، در ریزغده ۳-۵ گرم به مقدار ۴۴۴/۶۱ گرم مربوط به محلول پاشی ۲ درصد کلات آهن و در ریزغده ۵-۱۰ گرم به مقدار ۵۵۶/۹۲، ۵۴۴/۵۲، ۴۸۲/۶ و ۴۶۵/۸۲ گرم مربوط به تیمارهای ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن، محلول پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن، محلول پاشی ۱ درصد نانو اکسید آهن و محلول پاشی ۲ درصد کلات آهن بود. اندازه ریزغده، کود آهن و اثرات متقابلشان تأثیر معنی‌داری بر میزان نشاسته غده نداشتند. با افزایش وزن ریزغده پروتئین غده افزایش و میزان نیترات آن کاهش یافت. کمترین نیترات غده به میزان ۱۲۵/۲۴ و ۱۱۵/۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم از تیمار ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن و محلول پاشی ۲ درصد

* نویسنده مسئول: مرجان دیانت

نانو اکسید آهن حاصل شد. در ریزغده ۳-۱ گرم کاربرد کودهای آهن تأثیر معنی داری بر پروتئین نداشت، در ریزغده ۵-۳ گرم بیشترین پروتئین به میزان ۴/۸۶ درصد در تیمار ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن حاصل شد، در ریزغده ۱۰-۵ گرم بالاترین پروتئین به میزان ۴/۶۷، ۴/۸۱، ۵/۱۶، ۵/۴ و ۵/۶۷ درصد در تیمارهای ۲ درصد کلات آهن، ۱ درصد کلات آهن، ۲ درصد نانو اکسید آهن، ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن و ۲۰ میکرومولار کلات آهن به دست آمد. ریزغده ۱۰-۵ گرم به دلیل داشتن مواد غذایی مناسب و تسریع در سبز شدن بوته‌ها و افزایش فتوسنتز و تأمین عناصر غذایی توانست بهترین اندازه ریزغده را به خود اختصاص دهد. کاربرد کود نانو اکسید آهن در مقایسه با کلات آهن در بهبود عملکرد کمی و کیفی سیب زمینی مؤثرتر بود.

کلید واژه‌ها: پروتئین، درصد ماده خشک، سبزیگی، وزن غده.

مقدمه

در سال‌های اخیر شکاف بین تقاضا و تولید مواد غذایی ناشی از افزایش جمعیت و کاهش اراضی قابل کشت در کره زمین به دلیل شهرنشینی افزایش یافته است. بنابراین، افزایش تولید محصولات زراعی با حداقل خسارت زیست محیطی امری ضروری می‌باشد (Zhao *et al.*, 2018). سیب‌زمینی گیاهی یک‌ساله با نام علمی *Solanum tuberosum* L. از تیره گوجه‌فرنگی (*Solanaceae*) اتوتراپلوئید با ۴۸ کروموزوم می‌باشد. این گیاه یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی غده‌ای در جهان می‌باشد. سیب‌زمینی از لحاظ حجم مصرف در رتبه سوم در سطح دنیا پس از گندم و برنج قرار دارد. علاوه بر تأمین انرژی و کیفیت خوب پروتئین، به عنوان منبع ویتامین C و مواد معدنی نیز مطرح می‌باشد (Mitiku *et al.*, 2019). ریزغده سیب‌زمینی دارای قطر ۵ تا ۱۵ میلی‌متر می‌باشد و پتانسیل تولید یک گیاه کامل سیب‌زمینی را دارد. ریزغده‌های سیب‌زمینی غده-های عاری از ویروسی هستند که در یک محیط کنترل شده تحت شرایط بهداشتی مناسب، از گیاهچه‌های آزمایشگاهی، پس از انتقال به گلخانه، در تراکم زیاد تولید می‌شوند (Asghari and Fathi, 2010). در مطالعه دیگری روی ریزغده‌های سیب‌زمینی حاصل از کشت میکروتیوبرهای با سه اندازه مختلف انجام دادند، اختلاف معنی داری را برای میانگین وزن، تعداد و قطر ریزغده‌های تولید شده بر اساس اندازه ریزغده گزارش

کردند (Bolandi *et al.*, 2011). گیاهان حاصل از کاشت غده‌های سبک‌تر زمان بیشتری را برای جوانه‌زنی صرف کرده و جوانه‌های آنها تولید ساقه‌های ضعیف‌تر، ریشه‌های کوچک‌تر و نسبت ساقه به ریشه بالاتر می‌کنند در نتیجه تعداد و وزن غده‌های تولیدی در هر گیاه کاهش می‌یابد (Blandi and Hamidi, 2015).

متأسفانه کودهای شیمیایی حاوی عناصر کم مصرف، پتانسیل بالایی برای آلوده‌سازی خاک، آب و هوا دارند؛ در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی در جهت تأمین نهاده‌های مربوط به کشاورزی صورت گرفته است (Naderi and Danesh-Shahraki, 2013). ارائه فرم نانو برای عناصر کم مصرف همواره به عنوان راه حلی برای کاستن از مشکلات ناشی از مصرف کودهای شیمیایی مطرح می‌باشد (Naderi and Danesh-Shahraki, 2013). نانو کودها به کودهایی اطلاق می‌شوند که اندازه عنصر به کار رفته در آنها کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر است. در کشاورزی با بهره‌گیری از نانو کودها، عناصر غذایی به آرامی و با سرعتی مناسب در طول فصل رشد گیاه آزاد می‌شوند آبشویی به شدت کاهش یافته و گیاهان قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی خواهند بود (Shang *et al.*, 2019). آهن به عنوان یک ریزمغذی در تشکیل کلروفیل، فتوسنتز و تنفس نقش اساسی دارد، برای برقراری همزیستی و عملکرد گره‌ک‌های درگیر در تثبیت نیتروژن ضروری است ولی به دلیل آهکی بودن یک سوم خاک‌های

آزمایشی شامل سطوح وزنی ریزغده در سه سطح ۱-۳، ۳-۵ و ۵-۱۰ گرم و کودهای مختلف آهن در هفت سطح ۱. صفر، ۲. کلات آهن به صورت خاک مصرف به میزان ۲۰ میکرومولار، ۳. نانو اکسید آهن به صورت خاک مصرف به میزان ۲۰ میکرومولار، ۴. محلول پاشی ۱ درصد کلات آهن ۵. محلول پاشی ۲ درصد کلات آهن، ۶. محلول پاشی ۱ درصد نانو اکسید آهن و ۷. محلول-پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن بود. در این تحقیق از ریزغده‌های حاصل از کشت بافت رقم ساتنه موجود در مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج استفاده شد.

نحوه اجرای آزمایش

ریزغده‌ها حدود ۲۰ روز قبل از کاشت از سردخانه (چهار درجه سانتی‌گراد) خارج و ابتدا در جعبه در تاریکی در دمای ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا جوانه‌ها فعال شوند. به طوری که در زمان کاشت، ریزغده‌ها از نظر سن فیزیولوژیک در شرایط سنی جوانه-زنی معمولی و دارای ۳-۵ جوانه سبز و ۱-۱/۵ سانتی-متری بودند. پس از ضدعفونی گلخانه، جعبه‌های کشت نیز شسته و ضدعفونی شدند. سپس وزن خالی آن‌ها اندازه‌گیری شد. محیط کشت که ترکیبی از پیت ماس و پرلیت و با نسبت ۳:۱ (پرلیت:پیت‌ماس) مخلوط شده ضدعفونی گردید. سپس داخل جعبه‌های کشت با عمق ۲۰ سانتی‌متر در ابعاد ۳۰ × ۵۰ سانتی‌متر به مقدار مساوی (۲۰ کیلوگرم) از محیط کشت ریخته شد. درون هر کدام از جعبه‌ها پنج ریزغده رقم ساتنه در عمق ۷-۱۰ سانتی-متر کشت گردید. گلدان‌ها به مدت چهار ماه در شرایط گلخانه‌ای در دمای مناسب نگهداری شدند. آبیاری محیط کشت تا حد اشباع انجام شد. برای تعیین ظرفیت مزرعه پس از گذشت حدود ۲۴ ساعت از زمان آبیاری تمام جعبه‌های کشت وزن شدند. وزن خالی جعبه‌ها و وزن محیط کشت ریخته شده در داخل آن‌ها از مقدار وزن به دست آمده کم شده در این صورت وزن به دست آمده بیانگر مقدار آب موجود در محیط کشت و در جعبه‌های کشت در ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه می‌باشد.

زیرکشت، گیاهان از کمبود آهن رنج می‌برند (Briat et al., 2015). آهن یک عنصر ضروری رشد گیاهان است زیرا برای عملکرد مناسب اغلب فرآیندهای متابولیک و آنزیماتیک مربوط به انتقال الکترون تنفسی و فتوسنتزی، تثبیت نیتروژن، سنتز پروتئین، هورمون و DNA ضروری است (Azhand et al., 2023; Roosta et al., 2020; Eshaghi Sanayi et al., 2015). علی‌رغم اینکه آهن چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است، تنها میزان کمی از آهن در خاک‌هایی که از تهویه مناسبی برخوردارند برای گیاهان قابل استفاده است. بنابراین کمبود آهن یکی از فاکتورهای محدودکننده رشد و نمو گیاهان محسوب می‌شود (Pavlovic et al., 2013). در آزمایشی مصرف کود آهن در سیب‌زمینی با افزایش تعداد استولن غده‌زا، تعداد غده در بوته، عملکرد غده، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت همراه بود (Pourali and Roozbehani, 2016). در آزمایش دیگری کاربرد نانو ذرات آهن در سیب‌زمینی افزایش ارتفاع ساقه، قطر ساقه، تعداد ساقه اصلی، تعداد غده در بوته، وزن متوسط غده، عملکرد غده، درصد ماده خشک و کاهش نیترات را به همراه داشت (Khodadadi Karkoki et al., 2020). با توجه به کاربرد بیش از اندازه کودهای شیمیایی و قلیایی شدن سطح وسیعی از خاک زراعی و مشکل جذب عناصر ریزمغذی نظیر آهن، هدف از این آزمایش اثر اندازه‌های مختلف ریزغده‌ها و کودهای نانو اکسید آهن و کلات آهن بر روی عملکرد و اجزاء عملکرد در ریزغده‌های سیب زمینی حاصل از گیاهچه-های سالم از کشت بافت بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه موسسه تحقیقات کشاورزی شهرستان همدان (جورقان) در طی سال‌های زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای

روز به مقدار لازم برای هر جعبه کشت توزین و و پای بوته‌ها مصرف شد. ۰/۱۶ گرم از این ماده با آب مقطر دوبار تقطیر در بالن ژوزه به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مخلوط حاصل ۳۰ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک با توان ۱۰۰ وات و فرکانس ۴۰ کیلوهرتز به منظور پراکنده شدن ذرات قرار گرفتند. سپس یک مگنت مغناطیسی درون محلول قرار داده شد و به مدت ۶۰ دقیقه روی دستگاه همزن قرار گرفت تا مانع آگلومره شدن نانو ذرات شود. از این محلول برای ساخت مقدار مورد نیاز استفاده شد. برای ساخت ۲ میکرومولار یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون را در یک لیتر آب حل و به خاک اضافه شد (Prasad et al., 2012). در طی مراحل رشد، دو مرحله خاک‌دهی پای بوته‌ها صورت پذیرفت، مرحله اول زمانی که ارتفاع بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود و مرحله دوم در زمان گل‌دهی بوته‌ها انجام شد. در طول دوره رشد و جین علف‌های هرز سه مرتبه به صورت دستی انجام شد. به منظور کنترل آفات و بیماری‌ها قبل از مرحله گلدهی مخلوط دیازینون (به نسبت ۱/۵ در هزار) و متاسیستوکس (به نسبت ۱ در هزار) برای کنترل شته و آگروتیس به کار برده شد.

صفات مورد بررسی:

در پایان آزمایش پس از رسیدگی محصول، بوته‌ها برداشت و عملکرد و اجزای عملکرد تعیین شد. شاخص سبزیبگی برگ در این آزمایش با استفاده از دستگاه SPAD (مدل Minolta502) با استفاده از سه برگ انتهایی کاملاً توسعه یافته از ده بوته در مرحله غده‌دهی در قسمت وسط پهنک در یک سوی رگبرگ اصلی، در ساعت ۹/۳۰ الی ۱۰ صبح به منظور به حداقل رساندن تغییرات روزانه اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری درصد ماده خشک، ۲۰۰ گرم غده از هر تیمار به طور تصادفی انتخاب شد، سپس غده‌ها خرد و در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس از ثابت شدن وزن آن‌ها مجدداً توزین شدند. سپس بر اساس

جعبه‌های کاشت به صورت مرتب پس از هر ۲۴ ساعت وزن شده و مطابق با کاهش وزن (۱۰ درصد) و رسیدن به میزان مورد نظر از ظرفیت مزرعه‌ای (۹۰ درصد) بر اساس میزان آب مورد نیاز مجدداً آبیاری می‌شدند (Parvizi and Navayi, 2019). شرایط محیط گلخانه از نظر نور و دما به صورت خودکار تنظیم شد. در دو ماه اول کاشت و قبل از غده‌زایی طول روز با ۱۶ ساعت تنظیم شد و دوره نوری بیشتر با روشن نمودن لامپ‌های سدیمی فشار بالا به صورت خودکار با زمان سنج مرکزی تأمین شد. در دو ماه آخر دوره رشد، طول روز معمولی ۱۲ ساعته و کمتر برقرار شد. در ارتباط با شدت نور با توجه به پوشش گلخانه، شدت نوری معادل ۲۰ تا ۲۲ هزار لوکس قابل دریافت بود اما در روزهای ابری و بارانی با روشن کردن لامپ‌های سدیمی فشار بالا (با توزیع ۲ عدد لامپ ۲۵۰ وات) در هر ۱۰ مترمربع از سطح گلخانه) و تأمین شدت نوری معادل ۵۰۰۰ لوکس به ازاء هر لامپ، کمبود نور در گلخانه جبران شد. دمای داخلی گلخانه با تنظیم سیستم تهویه مطبوع و حرارت مرکزی در محدوده ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد در شب و ۲۶ تا ۲۸ درجه در روز تأمین شد. رطوبت گلخانه نیز ۶۵-۶۰ درصد بود. پس از استقرار کامل بوته، محلول‌پاشی در دو مرحله به فاصله ۱۵ روز (اولین مرحله پس از استقرار کامل بوته) انجام شد. زمان محلول‌پاشی اوایل صبح بود تا حد امکان از اثرات نامطلوب نور خورشید جلوگیری به عمل آید. در این آزمایش از کود کلات آهن (۷ درصد) شرکت خضراء که قابل جذب برای گیاه در pH ۳-۱۱ و کاملاً محلول در آب است استفاده گردید. همچنین نانو اکسید آهن از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شد، این کود دارای خلوص ۹۸ درصد، اندازه ذرات ۲۰-۴۰ نانومتر، سطح ویژه ۶۰-۴۰ مترمربع در گرم، رنگ قرمز قهوه‌ای، فاز بلور منفرد و شکل بلور کروی بود. نانو ذرات اکسید آهن پس از کاشت و زمانی که بوته‌ها استقرار پیدا کردند در دو مرحله به فاصله ۱۵

از کاغذ صافی انجام شد. در عصاره‌های به دست آمده میزان عنصر غذایی مورد نظر با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل AA-6300 Shimadzu) اندازه‌گیری شد (Emami, 1996).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از پایان آزمایشات، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه 9.4 انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه مرکب اثرات اصلی اندازه ریزغده و کود آهن و همچنین اثر متقابل اندازه ریزغده با کود آهن در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت تأثیر اندازه ریزغده و کودهای آهن بیانگر آن بود که در ریزغده ۳-۱ گرم کاربرد ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن و همچنین محلول‌پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن باعث افزایش ۲۶/۷۶ و ۲۶/۴۵ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد، در ریزغده ۵-۳ گرم بیشترین افزایش ارتفاع بوته به میزان ۲۹/۸۹ درصد در تیمار ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن حاصل شد، در ریزغده ۱۰-۵ گرم بالاترین افزایش ارتفاع بوته به میزان ۳۱/۶۹ و ۲۶/۱ و ۱۸/۷۵ درصد در تیمارهای ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن، محلول‌پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن و محلول‌پاشی ۲ درصد کلات آهن به دست آمد (جدول ۲).

تعداد ساقه در بوته

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر اندازه ریزغده و کود آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده با کود آهن در سطح احتمال یک درصد بر تعداد ساقه در بوته تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۱). بر اساس نتایج تعداد ساقه در بوته تحت تأثیر کودهای آهن در اندازه‌های مختلف

نسبت وزن تر و خشک غده‌ها درصد ماده خشک غده تعیین گردید (Hagman and Martenssen, 2009). برای اندازه‌گیری نیترات غده‌ها نمونه‌های تهیه شده در پاکت‌های کاغذی قرار گرفت و به آزمایشگاه انتقال داده شد. نمونه‌ها پس از شستشو، رنده شده و در آون (دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) خشک شدند. نمونه‌ها پس از خروج از آون آسیاب شده و در دستگاه شیکر قرار گرفتند. مقدار نیترات نمونه‌ها از طریق اسپکتروفتومتری (طیف سنجی) تعیین شد (Green *et al.*, 1982).

بررسی درصد نشاسته با استفاده از روش پلاریمتری اندازه‌گیری شد. در این روش میزان چرخش نور پلاریزه خواننده و درصد نشاسته محاسبه شد (Clendenning, 1945).

پروتئین با روش برادفورد (Bradford, 1976) محاسبه شد. بدین شکل که در ابتدا داخل لوله آزمایش ۵ میلی‌لیتر معرف بیوره ریخته و سپس مقدار ۱۰۰ میکرولیتر عصار آنزیمی به آن اضافه کرده و بلافاصله لوله‌های آزمایش، ورتکس شده و در ادامه میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در ۵۹۵ نانومتر به دست آمد.

برای اندازه‌گیری غلظت آهن، نمونه‌های پودر شده به روش خشک سوزانی هضم و غلظت عناصر در عصاره هضم شده با دستگاه جذب اتمی شعله‌ای اندازه‌گیری شد (Paech and Tracey, 2013). برای اندازه‌گیری میزان تجمع آهن، نمونه‌های مورد نظر پس از شستشو با آب مقطر و خشک کردن در آون مورد آسیاب قرار گرفت. از پودر حاصل میزان ۰/۵ گرم توزین و به وسیله کوره کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت خاکستر شد. نمونه‌های خاکستر در ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک (۲ نرمال) حل شده و به مدت ۴۵ دقیقه روی هات‌پلات در دمای ۷۵ سانتی‌گراد قرار گرفت و در نهایت با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده و عصاره‌گیری با عبور دادن محلول

ریزغده، کاربرد کودهای آهن تأثیر معنی داری بر تعداد ساقه در بوته در ریزغده ۱-۳ و ۵-۱۰ گرم نداشت، در ریزغده ۳-۵ گرم فقط محلول پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن توانست موجب افزایش ۳۰/۴۳ درصدی تعداد ساقه در بوته نسبت به شاهد گردد، سایر تیمارها با تیمار شاهد در یک گروه آماری واقع شده بودند (جدول ۲).

Table 1. Analysis of variance for sizes of microtubers and iron fertilizers on potato yield and yield components in microtubers obtained from healthy seedlings from tissue culture

S.O.V	Degree of freedom	Mean of Squares							SPAD
		Plant Height	Number of stem per plant	Number of tuber per plant	Tuber diameter	Tuber weight	Tuber weight Per plant	Dry matter percentage	
Year (a)	1	0.2 ^{ns}	0.00005 ^{ns}	0.1 ^{ns}	0.06 ^{ns}	11.45 ^{ns}	25.17 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.04 ^{ns}
Year × Replication	4	6.02	0.04	0.21	1.56	2.34	1322.6	1.82	15.02
Sizes of microtubers (b)	2	496.7 ^{**}	3.17 ^{**}	11.22 ^{**}	676.35 ^{**}	1092.89 ^{**}	183473.99 ^{**}	27.79 ^{**}	368.63 ^{**}
Iron fertilizers (c)	6	228.34 ^{**}	0.59 ^{**}	1.6 ^{**}	232.76 ^{**}	529.42 ^{**}	44755.49 ^{**}	15.93 ^{**}	200.31 ^{**}
a×b	2	1.93 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.003 ^{ns}	3.89 ^{ns}	0.08 ^{ns}	48.57 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.14 ^{ns}
a×c	6	5.56 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.02 ^{ns}	3.01 ^{ns}	17.31 ^{ns}	777.48 ^{ns}	1.63 ^{ns}	3.51 ^{ns}
b×c	12	13.52 ^{**}	0.28 ^{**}	0.75 ^{**}	54.82 ^{**}	58.93 ^{**}	4751.35 ^{**}	2.95 ^{ns}	75.28 ^{**}
a×b×c	12	3.26 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.08 ^{ns}	2.14 ^{ns}	13.95 ^{ns}	698.38 ^{ns}	1.41 ^{ns}	3.18 ^{ns}
Error	80	6.12	0.09	0.2	7.18	18.37	1850.94	2	10.89
C.V (%)	-	6.07	11.01	7.82	6.27	6.1	10.77	6.91	9.98

^{*}, ^{**} Significant difference at 5% and 1%, ^{ns} Non Significant

Table 1 Continued

S.O.V	Degree of freedom	Mean of Squares			
		Nitrate	Carbohydrate	Iron	Protein
Year (a)	1	10.9 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.002 ^{ns}
Year × Replication	4	145.56	1.24	0.01	0.23
Sizes of (b) microtubers	2	947.88 [*]	1.75 ^{ns}	0.88 ^{**}	8.81 ^{**}
(c) Iron fertilizers	6	3276.21 ^{**}	0.18 ^{ns}	0.81 ^{**}	2.21 ^{**}
a×b	2	106.76 ^{ns}	0.97 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.01 ^{ns}
a×c	6	50.76 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.06 ^{ns}
b×c	12	433.56 ^{ns}	0.9 ^{ns}	0.22 ^{**}	0.76 ^{**}
a×b×c	12	61.43 ^{ns}	0.57 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.06 ^{ns}
Error	80	242.96	1.91	0.01	0.19
C.V (%)	-	11.69	11.17	9.77	10.05

تعداد غده در بوته

وزن غده به مقدار ۸۳/۹۸، ۸۱/۲۲ و ۷۸/۹ گرم از تیمارهای ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن، محلول پاشی ۲ درصد کلات آهن و محلول پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن حاصل شد (جدول ۲).

وزن غده در بوته

نتایج تجزیه مرکب مشخص کرد که اثرات اصلی اندازه ریزغده، آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده با آهن در سطح احتمال یک درصد بر وزن غده در بوته تأثیر معنی دار داشتند (جدول ۱). طبق نتایج وزن غده در بوته تحت تأثیر کاربرد کودهای آهن در اندازه‌های مختلف مینی‌یوبر، بیشترین وزن غده در بوته در ریزغده ۱-۳ گرم به مقدار ۴۰۵/۲۳ گرم مربوط به مصرف ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن، در ریزغده ۳-۵ گرم به مقدار ۴۴۴/۶۱ گرم مربوط به محلول پاشی ۲ درصد کلات آهن و در ریزغده ۱۰-۵ گرم به مقدار ۵۵۶/۹۲، ۵۴۴/۵۲، ۴۸۲/۶ و ۴۶۵/۸۲ گرم مربوط به تیمارهای ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن، محلول پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن، محلول پاشی ۱ درصد نانو اکسید آهن و محلول پاشی ۲ درصد کلات آهن بود (جدول ۲).

درصد ماده خشک غده

بر اساس نتایج تجزیه مرکب اثرهای اصلی اندازه ریزغده و کود آهن در سطح احتمال یک درصد بر درصد ماده خشک معنی دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین درصد ماده خشک غده تحت تأثیر اندازه ریزغده نشان داد که افزایش اندازه ریزغده موجب افزایش درصد ماده خشک شد، بالاترین درصد ماده خشک به مقدار ۲۰/۷۲ و ۲۱/۰۹ درصد مربوط به ریزغده‌های ۳-۵ و ۱۰-۵ گرم بود (جدول ۳). اطلاعات به دست آمده از مقایسه میانگین درصد ماده خشک غده تحت تأثیر آهن مشخص کرد که مصرف آهن با افزایش درصد ماده خشک نسبت به شاهد همراه بود، به طوری که بیشترین درصد ماده خشک به میزان ۲۱/۸۹ و ۲۱/۰۶ درصد در محلول پاشی ۲ درصد کلات آهن و محلول پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن به دست آمد (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) مبین آن بود که اندازه ریزغده، کود آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده با آهن در سطح احتمال یک درصد بر تعداد غده در بوته تأثیر معنی دار داشت. نتایج مقایسه میانگین تعداد غده در بوته تحت تأثیر کاربرد آهن در اندازه‌های مختلف ریزغده نشان داد که کاربرد کودهای آهن در ریزغده‌های ۱-۳ و ۳-۵ گرم تفاوت معنی داری با شاهد ایجاد نکرد، در ریزغده ۱۰-۵ گرم محلول پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن توانست موجب افزایش ۲۷/۳۱ درصدی تعداد غده در بوته گردد، سایر تیمارهای آهن با تیمار شاهد در یک گروه آماری واقع شده بودند (جدول ۲).

قطر غده

همانطور که از نتایج تجزیه مرکب (جدول ۱) مشهود است اثر اندازه ریزغده، کودهای آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده با آهن در سطح احتمال یک درصد بر قطر غده تأثیر معنی دار داشتند. نتایج قطر غده تحت تأثیر محلول پاشی اندازه ریزغده و آهن نشان داد که در ریزغده ۱-۳ گرم بیشترین قطر غده به میزان ۴۶/۸۲ میلی‌متر از مصرف ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن، در ریزغده ۳-۵ گرم بالاترین قطر غده به میزان ۴۸/۴۸ میلی‌متر از مصرف ۲۰ میکرومولار کلات آهن به دست آمد. در ریزغده ۱۰-۵ گرم حداکثر قطر غده به میزان ۴۷/۲۳، ۵۰/۹، ۵۲/۰۳ و ۵۲/۰۸ میلی‌متر از تیمارهای محلول پاشی ۱ درصد نانو اکسید آهن، ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن، محلول پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن و محلول پاشی ۲ درصد کلات آهن حاصل شد (جدول ۲).

وزن غده

نتایج تجزیه مرکب مشخص کرد که اندازه ریزغده، آهن و اثر متقابلشان در سطح احتمال یک درصد بر وزن غده تأثیر معنی دار داشتند (جدول ۱). همانطور که از نتایج وزن غده تحت تأثیر اندازه ریزغده و کود آهن مشهود است، در ریزغده ۳-۱ گرم بیشترین وزن غده به میزان ۷۵/۴۱ گرم را محلول پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن دارا بود، در ریزغده ۳-۵ گرم حداکثر وزن غده به مقدار ۷۴/۴۷ گرم از تیمار ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن به دست آمد، در ریزغده ۱۰-۵ گرم بالاترین

Table 2. Mean comparisons of yield and yield components of potato under the effect of different sizes of micro-globules and iron fertilizer

Size of microtubers (g)	Iron fertilizer	Plant Height (cm)	Number of stem per plant	Number of tuber per plant	Tuber diameter (mm)	Tuber weight (g)	Tuber weight Per plant (g)	SPAD	Iron (%)	Protein (%)
1-3	Control	32.32 g	2.15 e	4.78 f	34.15 i	56.16 h	270.01 h	23.85 g	0.57i	3.56e
	Soil consumption of 20 micromolar chelate iron	38 d-g	2.73 a-e	5.37 c-f	39.72 e-i	64.8 d-h	346.36 d-h	27.64 efg	0.77hi	3.86de
	Soil consumption of 20 micromolar nano iron oxide	40.97 c-f	2.25 de	5.72 a-f	46.82 a-e	70.91 b-g	405.23 c-g	30.63 c-g	1.13c-g	3.98cde
	Foliar spraying 1% chelate iron	35.63 efg	2.28 c-e	5.25 c-f	35.2 hi	60.83 gh	320.23 fgh	28.16 d-g	0.94fgh	3.95cde
	Foliar spraying 2% chelate iron	38.35 d-g	2.58 a-e	5.08 def	39.25 f-i	67.54 c-h	343.95 e-h	36.81 a-e	1.33abc	3.93de
	Foliar spraying 1% nano iron oxide	38.72 d-g	2.7 a-e	5.03 ef	37.83 ghi	65.75 d-h	331.48 e-h	26.92 fg	0.74hi	3.64de
	Foliar spraying 2% nano iron oxide	40.87 c-f	2.28 c-e	4.83 ef	42.02 c-h	75.41 a-d	365.17 c-h	34.38 a-f	1.33abc	4.62a-e
3-5	Control	34.42 fg	2.3 c-e	5.1 c-f	36.82 ghi	61.69 fgh	315.26 gh	28.26 d-g	0.77hi	3.87de
	Soil consumption of 20 micromolar chelate iron	41.13 c-f	2.48 b-e	5.47 b-f	48.48 abc	73.35 a-f	400.97 c-g	32 b-g	1.21b-f	4.24b-e
	Soil consumption of 20 micromolar nano iron oxide	44.7 a-d	2.95 a-e	5.9 a-f	42.37 c-h	74.47 a-e	438.63 b-f	40.81 ab	1.47ab	4.86a-d
	Foliar spraying 1% chelate iron	37.9 d-g	2.6 a-e	5.33 c-f	41.22 c-i	65.99 d-h	351.82 d-h	32.07 b-g	1.21b-f	4.54a-e
	Foliar spraying 2% chelate iron	41.6 cde	2.7 a-e	6.3 a-d	38.98 f-i	70.56 b-g	444.61 a-e	31.75 b-g	0.89gh	3.93de
	Foliar spraying 1% nano iron oxide	35.83 efg	2.45 b-e	5.77 a-f	40.47 d-i	63.05 e-h	364.24 c-h	37.9 abc	1.01d-h	4.36b-e
	Foliar spraying 2% nano iron oxide	43.37 bcd	3 a-d	5.63 b-f	44.15 b-g	71.96 b-g	405.68 c-g	33.33 a-f	1.3a-d	4.41b-e
5-10	Control	38.5 d-g	2.55 a-e	5.42 b-f	39.38 f-i	64.66 d-h	348.88 d-h	30.12 c-g	0.93fgh	4.31b-e
	Soil consumption of 20 micromolar chelate iron	42.85 bcd	2.87 a-e	5.87 a-f	46.05 a-f	71.67 b-g	419.84 c-g	38.61 abc	1.53a	5.67a
	Soil consumption of 20 micromolar nano iron oxide	50.7 a	3.18 ab	6.63 ab	50.9 ab	83.98 a	556.92 a	38.09 abc	1.19b-f	5.4ab
	Foliar spraying 1% chelate iron	40.65 c-f	2.82 a-e	6.27 a-e	42.28 c-h	74.22 a-e	465.82 a-d	32.72 a-g	1.26a-e	4.81a-d
	Foliar spraying 2% chelate iron	45.72 abc	3.08 abc	5.88 a-f	52.08 a	81.22 ab	478.96 abc	37.35 a-d	1.47ab	4.67a-e
	Foliar spraying 1% nano iron oxide	44.8 a-d	2.97 a-e	6.33 abc	47.23 a-d	76.03 a-d	482.6 abc	30.36 c-g	0.98e-h	3.9de
	Foliar spraying 2% nano iron oxide	48.55 ab	3.33 a	6.9 a	52.03 a	78.9 abc	544.52 ab	41.72 a	1.48ab	5.16abc

Means with similar letters are not significantly different based on Duncan's test at the 5% level.

Table 3. Mean comparisons of dry matter percentage and nitrate under the effect of different sizes of micro-globules

Sizes of micro-globules (g)	Dry matter percentage (%)	Nitrate (mg/kg)
1-3	19.53 b	138.6 a
3-5	20.72 a	130.61 b
5-10	21.09 a	130.15 b

Means with similar letters are not significantly different based on Duncan's test at the 5% level.

Table 4. Mean comparisons of dry matter percentage and nitrate under the effect of iron fertilizer

Iron fertilizer	Dry matter percentage (%)	Nitrate (mg/kg)
Control	18.79 c	158.81 a
Soil consumption of 20 micromolar chelate iron	20.33 b	132.96 bc
Soil consumption of 20 micromolar nano iron oxide	20.31 b	125.24 cd
Foliar spraying 1% chelate iron	20.56 b	139.09 b
Foliar spraying 2% chelate iron	21.89 a	128.55 bc
Foliar spraying 1% nano iron oxide	20.19 b	131.71 bc
Foliar spraying 2% nano iron oxide	21.06 ab	115.47 d

Means with similar letters are not significantly different based on Duncan's test at the 5% level

شاخص سبزی‌نگی

نتایج تجزیه مرکب مشخص کرد که سال، اندازه ریزغده، کود آهن و اثرات متقابلشان تأثیر معنی‌داری بر میزان نشاسته غده نداشتند (جدول ۱).

آهن غده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اندازه ریزغده، کود آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده با آهن در سطح احتمال یک درصد بر آهن غده تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین آهن غده تحت تأثیر کاربرد کودهای آهن در اندازه‌های مختلف ریزغده نشان داد که بیشترین آهن غده در ریزغده ۱-۳ گرم در محلول‌پاشی ۲ درصد کلات آهن و ۲ درصد نانو اکسید آهن به میزان ۱/۳۳ درصد، در ریزغده ۳-۵ گرم در کاربرد ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن و محلول-پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن به میزان ۱/۴۷ و ۱/۳ درصد و در ریزغده ۱۰-۵ گرم در کاربرد ۲۰ میکرومولار کلات آهن به میزان ۱/۵۳ درصد، محلول‌پاشی ۱ و ۲ درصد کلات آهن به میزان ۱/۲۶ و ۱/۴۷ درصد و محلول‌پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن به میزان ۱/۴۸ درصد به دست آمد (جدول ۲).

پروتئین غده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اندازه ریزغده، کود آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده با آهن در سطح احتمال یک درصد بر پروتئین غده تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین پروتئین تحت تأثیر اندازه ریزغده و کودهای آهن بیانگر آن بود که در ریزغده ۱-۳ گرم کاربرد کودهای آهن تأثیر معنی‌داری بر پروتئین نداشت، در ریزغده ۳-۵ گرم بیشترین پروتئین به میزان ۴/۸۶ درصد در تیمار ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن حاصل شد، در ریزغده ۱۰-۵ گرم بالاترین پروتئین به میزان ۴/۶۷، ۴/۸۱، ۵/۱۶، ۵/۴ و ۵/۶۷

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر اندازه ریزغده، کود آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده با آهن در سطح احتمال یک درصد بر شاخص سبزی‌نگی معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین شاخص سبزی‌نگی تحت تأثیر کاربرد آهن در اندازه‌های مختلف ریزغده بیانگر آن بود که بیشترین شاخص سبزی‌نگی، در ریزغده ۱-۳ گرم به میزان ۳۴/۳۸ مربوط به محلول‌پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن، در ریزغده ۳-۵ گرم به میزان ۴۰/۸۱ و ۳۷/۹ مربوط به مصرف ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن و محلول‌پاشی ۱ درصد نانو اکسید آهن و در ریزغده ۱۰-۵ گرم به میزان ۴۱/۷۲ مربوط به محلول‌پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن بود (جدول ۴).

نیتрат غده

نتایج تجزیه مرکب مشخص کرد که اندازه ریزغده، در سطح احتمال پنج درصد و اثر کودهای آهن در سطح احتمال یک درصد بر نیترات غده معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین افزایش اندازه ریزغده موجب کاهش نیترات غده شد. بالاترین نیترات به میزان ۱۳۸/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در ریزغده ۱-۳ گرم و پایین‌ترین نیترات به میزان ۱۳۰/۶۱ و ۱۳۰/۱۵ در ریزغده ۳-۵ و ۱۰-۵ گرم مشاهده شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نیترات غده تحت تأثیر آهن حاکی از آن بود که کاربرد آهن کاهش نیترات غده نسبت به شاهد را سبب گردید. کمترین نیترات غده به میزان ۱۲۵/۲۴ و ۱۱۵/۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم از تیمار ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن و محلول‌پاشی ۲ درصد نانو اکسید آهن حاصل شد (جدول ۴).

نشاسته غده

بالا تری دارند غده‌های کوچک‌تر به دلیل پوشش آهسته‌تر زمین، شاخص برداشت کمتری دارند. همچنین، تعداد و وزن غده‌های تولید شده در گیاه کمتر بود. تفاوت بین عملکرد مینی تیورها وابسته به وزن و سن غده‌های بذری و روش‌های زراعی می‌باشد (Mahmoudpour, 2014). در این آزمایش با کاربرد کودهای آهن عملکرد و اجزاء عملکرد افزایش یافت. در کمبود آهن کلروفیل به مقدار کافی تولید نمی‌شود. کاهش کلروفیل منجر به کاهش فتوسنتز، کاهش رشد و عدم تشکیل برگ‌های جدید می‌شود. ترکیبات نانو آهن به علت کوچک بودن و حلالیت بالا سریع‌تر توسط گیاهان جذب می‌شوند و کمبودهای گیاه را جبران می‌کنند. بنابراین استفاده از نانو ذرات اکسید آهن در گیاهان کارآمدتر از کودهای معمولی است و کاربرد این مواد سبب افزایش رشد گیاه می‌شود (Mohamadipoor et al., 2013). نتایج آزمایش نشان داد که مصرف آهن با افزایش ارتفاع بوته همراه بود. عنصر آهن باعث افزایش تولید کلروفیل و نمو کلروپلاست و به تبع آن افزایش میزان فتوسنتز و تولید کربوهیدرات می‌شود. در نتیجه بالا رفتن میزان مواد فتوسنتزی شرایط بهتری را برای رشد و نمو گیاه فراهم می‌کند (Yassen et al., 2010). نتایج حاصل شده مبین آن بود که با مصرف آهن تعداد ساقه افزایش یافت. افزایش تعداد شاخه‌های فرعی گیاه در اثر مصرف کود آهن (Nazari et al., 2012) به دلیل تأثیر عنصر آهن بر مقدار کلروفیل برگ و غلظت اسید ایندول استیک است. کاربرد آهن افزایش قطر غده را موجب شد، بهبود شرایط تغذیه‌ای و نقش مثبت آن در سنتز کلروفیل، فتوسنتز و عملکرد فتوسیستم‌های نوری می‌تواند در افزایش شاخص‌های رشد از قبیل قطر غده مؤثر باشد (Rosrami fard et al., 2012). استفاده از کود آهن باعث جذب بهتر سایر عناصر غذایی پرمصرف در مرحله زایشی می‌گردد که از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین کننده مخزن می‌باشد. به عبارت دیگر افزایش کاربرد این عناصر موجب رفع محدودیت‌های عناصر غذایی برای گیاه شده و بازده فتوسنتزی و تولید گیاه را افزایش می‌دهد و موجب

درصد در تیمارهای ۲ درصد کلات آهن، ۱ درصد کلات آهن، ۲ درصد نانو اکسید آهن، ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن و ۲۰ میکرومولار کلات آهن به دست آمد (جدول ۲).

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که با افزایش وزن ریزغده‌ها عملکرد و اجزاء عملکرد سبب‌زمینی افزایش پیدا کرد (جدول ۲). با افزایش اندازه ریز غده، تعداد ساقه‌های اصلی در هر بوته افزایش یافت و شاید این پدیده به دلیل تسریع در سبز شدن بوته‌ها و با تأخیر در غده‌بندی باشد که در این شرایط مقدار زیادی از مواد تولیدی فتوسنتز صرف رشد و توسعه اندام‌های رویشی گیاه سبب‌زمینی می‌شود و در نتیجه تعداد ساقه اصلی تولید شده نیز افزایش می‌یابد (Imani and Rasoli, 2006). ریز غده بزرگ‌تر تولید ساقه بیشتری کرده و مقدار تولید با افزایش اندازه غده‌های بذری افزایش یافت. با توجه به این که در اندازه‌های بالای ریزغده تعداد ساقه اصلی بیشتری از هر غده تولید شده بود و به خاطر این که هرچه قدر تعداد ساقه اصلی بیشتری تولید شود تراکم در سطح افزایش خواهد یافت و به مراتب تعداد غده در بوته نیز افزایش می‌یابد. محققان دلیل افزایش غده را افزایش تعداد ساقه دانستند و بیان نمودند با افزایش وزن غده بذری، تعداد چشم‌ها و جوانه‌های موجود روی غده افزایش یافته و تعداد ساقه‌های تولیدی و در نهایت تعداد غده در هر بوته افزایش پیدا می‌کند (Bolandi et al., 2011). اندازه کوچک‌تر ریزغده‌ها نسبت به غده‌های معمولی و همچنین تعداد چشم و ساقه کمتر آن‌ها منجر به تولید غده‌هایی با اندازه کوچک‌تر و در نهایت عملکرد کمتر نسبت به غده‌های خوراکی و یا طبقات بذری پایین می‌گردد (Bolandi et al., 2011). عملکرد تولید غده به میزان بسیار زیادی تحت تأثیر وزن غده‌های بذری می‌باشد و غده‌های کوچک‌تر دارای دوره خواب طولانی‌تری هستند. گیاهان حاصل از غده‌های کوچک‌تر مدت بیشتری را برای جوانه‌زنی صرف می‌کنند و جوانه‌های آن‌ها ساقه‌های باریک‌تری دارد، اندازه ریشه کوچک‌تر است و نسبت ساقه به ریشه

افزایش تعداد غده می‌شود (Gomaa *et al.*, 2020). اظهار شده است که آهن می‌تواند از طریق طولانی کردن دوره پر شدن غده به افزایش وزن غده کمک نماید (Timsina, 2013). افزایش عملکرد غده در بوته در اثر مصرف کود آهن می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوستتر اکسین در حضور آهن، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز، افزایش ریوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور آهن اشاره نمود (Liu *et al.*, 2020). با کاربرد کود آهن شاخص سبزیگی نیز افزایش یافت. پژوهشگران گزارش کرده‌اند که محلول‌پاشی آهن موجب افزایش سبزیگی می‌شود، ولی در شرایط کمبود آهن به دلیل آسیب وارده به کلروفیل و تخریب ساختار کلروپلاست، سبزیگی کاهش می‌یابد (Zayed *et al.*, 2011). آهن یک جزء تشکیل دهنده آنزیم‌های انتقال دهنده الکترون است که در فتوسنتز و تنفس میتوکندری‌ها فعال بوده و بر مقادیر کلروفیل اثر می‌گذارد زیرا برای تشکیل ساختمان ظریف کلروفیل بایستی آهن موجود باشد (Gardner *et al.*, 2011).

افزایش تعداد غده می‌شود (Gomaa *et al.*, 2020). اظهار شده است که آهن می‌تواند از طریق طولانی کردن دوره پر شدن غده به افزایش وزن غده کمک نماید (Timsina, 2013). افزایش عملکرد غده در بوته در اثر مصرف کود آهن می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوستتر اکسین در حضور آهن، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز، افزایش ریوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور آهن اشاره نمود (Liu *et al.*, 2020). با کاربرد کود آهن شاخص سبزیگی نیز افزایش یافت. پژوهشگران گزارش کرده‌اند که محلول‌پاشی آهن موجب افزایش سبزیگی می‌شود، ولی در شرایط کمبود آهن به دلیل آسیب وارده به کلروفیل و تخریب ساختار کلروپلاست، سبزیگی کاهش می‌یابد (Zayed *et al.*, 2011). آهن یک جزء تشکیل دهنده آنزیم‌های انتقال دهنده الکترون است که در فتوسنتز و تنفس میتوکندری‌ها فعال بوده و بر مقادیر کلروفیل اثر می‌گذارد زیرا برای تشکیل ساختمان ظریف کلروفیل بایستی آهن موجود باشد (Gardner *et al.*, 2011).

با کاربرد کودهای آهن درصد پروتئین افزایش یافت (جدول ۲). عنصر آهن در متابولیسم نیتروژن دخالت دارد. نیتروژن یکی از عناصر ضروری در ساخت پروتئین است. آهن به طور غیرمستقیم سبب افزایش جذب نیتروژن می‌شود

نتیجه‌گیری

ریزغده ۱۰-۵ گرم به دلیل داشتن مواد غذایی مناسب و تسریع در سبز شدن بوته‌ها و افزایش فتوسنتز و تأمین عناصر غذایی توانست بهترین اندازه ریزغده را به خود اختصاص دهد. کاربرد کود نانو اکسید آهن در مقایسه با کلات آهن در بهبود عملکرد کمی و کیفی سیب زمینی مؤثرتر بود. کودهای نانو به آسانی توسط گیاه جذب شده و مؤثرتر از کودهای شیمیایی رایج هستند. محلول‌پاشی با کودهای کلاته می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی کارآمد به منظور افزایش کارایی کاربرد عنصرهای غذایی و به کمینه رساندن هزینه‌های حفاظت محیط زیست برای دستیابی به هدف‌های کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد محصول مورد بررسی باشد.

References

- Asghari, R., & Fathi, M. (2010). Prebasic potato seed production. Principles and Procedures. 103 pp. [In Persian]
- Azhand, M., Saeidi, M., Beheshti Al Agha, A., & Kahrizi, D. (2023). The effect of foliar application of iron and zinc fertilizers on some agronomic traits of *Lallemantia iberica* L. under post anthesis water deficit. *Plant Productions*, 46, 140- 154.
- Bolandi, A., & Hamidi, R. (2015). Effects of row and plant spacing, and minituber weight on potato yield. *Journal of Plant Production*, 22, 137-155. [In Persian]
- Bolandi, A.R., Hamidi, H., & Ahmadzadeh Ghavidel, R. (2011). The effects of size and microtuber dormancy on production of potato minitubers. *Amv. European Journal of Agricultural Environmental Science*, 10, 169-173.
- Bolandi, A.R., Hamidi, H., & Ahmadzadeh Ghavidel, R. (2011). The effects of size and microtuber dormancy on production of potato minitubers. *Amv. European Journal of Agricultural Environmental Science*, 10, 169-173.

- Bradford, M. M. (1976). A rapid sensitive method for the question of microprogram quantities of protein utilizing the principle of protein – dye binding. *Annual of Biochemistry*, 72, 248-254.
- Briat, J. F., Dubos, C., & Gaymard, F. (2015). Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. *Trends in Plant Science*, 20(1), 33-40.
- Clendenning, K. A. (1945). Polarimetric determination of starch in cereal products: IV. Critical studies of methods for the determination of starch in whole wheat, granular and patent flours. *Canadian Journal of Research*, 23, 239-259.
- Emami, A. (1996). Methods of plant analysis. Technical Bulletin No. 982, Soil and Water Research Institute, Tehran, 130 p. [In Persian]
- Eshaghi Sanayi, T., Mehrjerdi, N.R., & Sharifi, A. (2020). Effect of Medium, Iron-Chelating Agent and Plant Growth Regulator on Micropropagation of Pomegranate (*Punica granatum* L.). *Plant Productions*, 43, 309-322.
- Gardner, F.P., Piers, R., & Michelle, L. (2011). Physiology of crop plants. Translation: Koocheki A, and Sarmadnia Gh. 16th ed. Mashhad SID Press. 400 pages.
- Gomaa, M.A., Kandil, E.E., & Ibrahim, A.M.M. (2020). Response of maize to organic fertilization and some nano-micronutrients. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 11(1), 13-21.
- Green, L. C. Wagner, D. A., Glogowski, J., Skipper, P. L., Wishnok, J. S., & Tannenbaum, S. R. (1982). Analysis of nitrate, nitrite, and [15N] nitrate in biological fluids. *Analytical Biochemistry*, 126, 131-138.
- Hagman, J.E., & Martenssen, A. (2009). Cultivation practices and potato cultivars suitable for organic potato production. *Potato Research*, 52, 319-330.
- Imani, A., & Rasouli, M. 2006. Effects of seed tuber size on growth and yield of potato cultivar Moron. *Journal of Agricultural Science*, 12(1), 165-173. (In Persian)
- Khodadadi Karkoki, A., Yavarzadeh, M. R., & Akbariyan, M.M., Askari, A. A. (2020). Effect of iron and magnesium nanoparticles and planting date on yield and nitrate content in potato tubers. *Bi-Quarterly Journal of Plant Production Science*, 10, 41-54.
- Liu, D.Y., Zhang, W., Liu, Y.M., Chen, X.P., & Zou, C.Q. (2020). Soil application of zinc fertilizer increases maize yield by enhancing the kernel number and kernel weight of inferior grains. *Frontiers in Plant Science*, 11, 188- 198.
- Mitiku, M., Tolasa, M. & Bekele, M. (2019). Effects of blended NPS fertilizer and composted cattle manure rates on potato (*Solanum tuberosum* L.) production: A review. *International Journal of Agriculture and Agribusiness*, 5 (2), 118-129.
- Mohamadipoor, R., Sedaghatoor, S., & Mahboub-Khomami, A. (2013). Effect of application of iron fertilizer in two methods foliar and soil application on growth characteristics of *Spathyphyllum illusion*. *European Journal of Experimental Biology*, 3(1), 232-240.
- Monsef Afsar, R., Hadi, H., & Pirzad, A. (2012). Effect of spraying nano-iron on characteristics qualitative and quantitative of cowpea, under drought stress end of season. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3 (8), 1709-1717.
- Naderi, M.R., & Danesh-Shahraki, A. (2013). Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5 (19), 2229-2232.
- Nazari, M., Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., & Khalighi-sigaroodi, F. (2012). Morphological traits of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) as influenced by foliar application of methanol and nano-iron chelate fertilizers. *Scholars Research Library. Annals of Biological Research*, 3(12), 5511-5514.
- Paech, K., and M.V. Tracey. (2013). Modern methods of plant analysis. Springer Science and Business Media.
- Parvizi, Kh., & Navayi, A. (2019). Evaluation of potato growth traits by inoculation of mycorrhiza under drought stress conditions. *Journal of Plant Research*, 32, 328-340.

- Pavlovic, J., Samardzic, J., Maksimović, V., Timotijevic, G., Stevic, N., Laursen, K.H., Hansen, T.H., Husted S., Schjoerring J.K., & Liang Y. (2013). Silicon alleviates iron deficiency in cucumber by promoting mobilization of iron in the root apoplast. *New Phytologist*, 198, 1096-1107.
- Pourali, S., & Roozbahani, A. (2016). Effect of iron containing fertilizers and botamisol on some traits of potato (*Solanum tuberosum* L). *Journal of Crop Ecophysiology*, 10, 57-72.
- Prasad, T.N.V., Sreepasad, T.S., Sajanlal, P.R., & Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscales zinc oxide on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35(6), 905-927.
- Rawashdeh, H.M., & Florin, S. (2015). Foliar application with iron as a vital factor of wheat crop growth, yield quantity and quality: A Review. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 3(9), 368-376.
- Roosta, H.R., Jalali, M., & Vakili Shahrabaki, M.A. (2015). Effect of nano-chelate, Fe-Eddha and FeSo₄ on vegetative growth, physiological parameters and some nutrient elements concentration of four varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L) in NFT system. *Journal of Plant Nutrition*, 38(14), 2176-2184.
- Rosrami, fard, S., Khourgami, A., Rafee, M., & Nasrollahi, H. (2012). Study the effect of zinc spraying and plant density on seed yield and morphological characteristics of Green gram. *Annals of Biological Research*, 3(8), 4166-4171.
- Shang, Y., Hasan, M., Ahammed, G.J., Li, M., Yin, H., & Zhou, J. (2019). Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: a review. *Molecules*, 24(14), 2558.
- Timsina, Y.N. (2013). Effect of nitrogen fertilization on zinc and iron uptake and yield components of wheat. Department of Plant and Environmental Sciences, (IPM). Norwegian University of Life Sciences (UMB), Pp 94.
- Yassen, A., Abou-El-Nour, E.A.A., & Shedeed, S. (2010). Response of wheat to foliar spray with urea and micronutrients. *Journal of American Science*, 6(9), 14-22.
- Zayed, B.A., Salem, A.K., and Sharkawy, M.E. (2011). Effect of Different Micronutrient Treatments on Rice (*Oriza sativa* L.) Growth and Yield under Saline Soil Conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 7, 179-184.
- Zhao, J.H., Sun, J.H. & Li, W.Q. (2018). Effect of maize sowing date on yield and interspecific competition in soybean/maize intercropping system. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 26(11), 1634-164.