Journal of Horticultural Plants Nutrition
Vol.4, No.1, Spring & Summer 2021
Research Paper

DOI: 10.22070/HPN.2021.14662.1142

The effect of nitrogen and silicon treatment on some quantitative and qualitative traits of fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.)

Khorshid Khalilpour [1] **, *Hossein Moradi*** [2*] **, *Kamran Ghasemi*** [3]

1- Former MSc. Student of Department of Horticultural Sciences, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran.
khorshidkhalilpour@gmail.com
2- Corresponding Author and Assistant Professor of Department of Horticultural Sciences, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran.
moradiho@yahoo.com
3- Assistant Professor of Department of Horticultural Sciences, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran.
kamranghasemi63@gmail.com

Received Date: 2019/10/30 Accepted Date: 2020/11/25

Abstract

Introduction: Fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) has a good medicinal value due to the presence of effective substances such as alkaloids, flavonoids, vitamins A and C, iron and calcium salts. To achieve maximum grain yield and, as a result, maximum active ingredient in fenugreek, suitable nutrients and nutrients play a major role..

Material and methods: To evaluate different levels of N and silicon on some morphological traits such as plant height (cm), root height (cm), leaf length (cm), number of branches per plant, percentage of dry matter of roots and shoots, photosynthetic pigments (mg g-1 FW), shoot nitrate accumulation, leaf N content and shoot shoots and the roots of this plant were experimented with split plots in a randomized complete block design with three replications. N at four levels (0, 50, 100 and 150 kg / ha of irrigation fertilizer) as the main plot and silicon at five levels (0, 1 mM irrigation fertilizer, 2 mM irrigation fertilizer, 1 mM foliar application, 2 mM foliar application) as Sub-plots were considered..

Results and discussion: The results showed that only two treatments of N 50 and 150 with 1 mM silicon spraying showed plant superiority over control. The only treatment in which the root length was significantly longer than the control was N-free 1 mM foliar application. The highest shoot dry matter, which was significantly higher than the control, was obtained in the treatment of 150+ N without silicon. Also, 2 mM silicon-free foliar application of N showed the highest percentage of root dry matter, which was significantly superior to the control. The lowest amount of total chlorophyll and carotenoids was related to the treatment of 2 mM silicon without N fertilizer, which was significantly lower than all other treatments. The lowest nitrate accumulation of 1247 mg / kg was related to 2 mM silicon-free N spraying treatment, which was not significantly different from 50 + N-free silicon and 1 mM silicon-free N fertilizers. The only N treatment + 100 and 2 mM silicon foliar application, which had a higher leaf silicon concentration than that the control, while other treatments used were not significantly different from the control or even less than the control..

Conclusions: Although fenugreek contains N-fixing bacteria, low levels of N help increase the growth of this plant. Regarding root growth, lack of N nutrition and consumption of silicon in the form of irrigation fertilizer both increase root growth. From the point of view of product quality, spraying high concentrations of silicon (2 mM) in the absence of N fertilization can prevent nitrate accumulation in fenugreek, which is very important for human health, but this effect of silicon is not achieved in the presence of high soil N due to N fertilization. However, N fertilization in none of the values used in this experiment did not cause more nitrate accumulation than the control, which proves the permissible use of optimal N in this plant. Also, moderate N fertilization (100 kg / ha) increases silicon leaf infiltration, which can have anti-stress benefits of this useful element.

Keywords: Medicinal plants, chlorophyll, carotenoids, vegetative traits.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۴، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰، (ص ۱۷۲- ۱۵۹)
مقاله پژوهشی

DOI: 10.22070/HPN.2021.14662.1142

تأثیر تیمار نیتروژن و سیلیسیم بر برخی پارامترهای فتوسنتزی وصفات کمی گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum graecum* L.)

خورشید خلیل‌پور [۱]، حسین مرادی [۲*]، کامران قاسمی [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی باغبانی-گرایش گیاهان دارویی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
khorshidkhalilpour@gmail.com
۲- نویسنده مسئول و استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
moradiho@yahoo.com
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
kamranghasemi63@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۸ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵**

چکیده

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت کودآبیاری) و سیلیسیم (۰، کودآبیاری یک میلی‌مولار، کودآبیاری دو میلی‌مولار، محلول‌پاشی یک میلی‌مولار، محلول‌پاشی دو میلی‌مولار) بر ویژگی‌های مختلف گیاه شنبلیله، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. صفات مورد مطالعه در این آزمایش شامل: ارتفاع بوته، طول برگ، تعداد شاخه در بوته، طول ریشه، درصد ماده خشک ریشه، درصد ماده خشک اندام هوایی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان نیتروژن، نیترات و سیلیسیم گیاه بودند.طبق نتایج، تنها با دو تیمار نیتروژن ۵۰ و ۱۵۰ به همراه محلول‌پاشی یک میلی‌مولار سیلیسیم، ارتفاع بوته نسبت به شاهد برتری معنی‌داری نشان داد. تنها تیماری که طول ریشه آن بیشتر از شاهد ثبت شد، تیمار محلول‌پاشی یک میلی‌مولار سیلیسیم و بدون نیتروژن بود. بیشترین ماده خشک اندام هوایی در تیمار نیتروژن ۱۵۰+ بدون سیلیسیم به‌دست آمد. همچنین تیمار محلول‌پاشی دو میلی‌مولار سیلیسیم بدون نیتروژن بالاترین درصد ماده خشک ریشه را نشان داد. کمترین مقدار کلروفیل کل و کارتنوئید مربوط به تیمار محلول‌پاشی دو میلی‌مولار سیلیسیم بدون نیتروژن و کمترین مقدار تجمع نیترات، مربوط به تیمار محلول‌پاشی دو میلی‌مولار سیلیسیم بدون نیتروژن بود. تنها تیمار نیتروژن ۱۰۰+ محلول‌پاشی دو میلی‌مولار سیلیسیم بود که غلظت سیلیسیم برگ بیشتری نسبت به شاهد داشت. به طور کلی، ترکیب تیماری نیتروژن ۵۰ + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار سیلیسیم در جهت بهبود رشد رویشی و تیمار نیتروژن ۱۰۰ به منظور افزایش نفوذ برگی سیلیسیم و به همراه آن افزایش خاصیت ضد تنشی این عنصر مفید توصیه می‌گردد.

کلمات کلیدی: گیاهان دارویی، کلروفیل، کارتنوئید، صفات رویشی.

مقدمه

گیاهان دارویی به دلیل عارضه جانبی کم، در دسترس بودن و صرفه‌ی اقتصادی، منبع بسیاری از داروهای قدرتمند و قوی می‌باشند؛ به طوریکه ۸۰ درصد از مردم کل جهان به‌خصوص کشورهای پیشرفته، گیاهان را از جنبه‌ی دارویی آن مصرف می‌کنند (Alasadh, 2014). از جمله گیاهانی که از گذشته تا امروز به عنوان سبزی و دارو کاربرد داشته است، گیاه شنبلیله می‌باشد (نظری و فلاح، ۱۳۹۳). این گیاه با نام علمی "*Trigonella foenum graecum*"، گیاهی یکساله و علفی از خانواده بقولات می‌باشد (بزازی و همکاران، ۱۳۹۰). گیاه شنبلیله با وجود دارا بودن مواد مؤثره‌ی ارزشمندی چون آلکالوئیدها (تریگونلین و کولین)، ساپونین‌های استروئیدی (دیوسژنین و یاموژنین)، ترکیبات موسیلاژی (گلاکتومانان)، پروتئین‌ها وروغن‌های حاوی اسیدهای چرب غیراشباع مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است (جابری و همکاران، ۱۳۹۷؛ حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹). در صنایع دارویی از ماده‌ی مؤثره‌ی این گیاه هورمون‌های جنسی، کورتیکوسروئیدها، ویتامین دی و گلیکوزیدهای قلبی به‌دست می‌آورند (امیدبیگی، ۱۳۹۰). همچنین، شنبلیله قدمت زیادی در درمان بیماری‌هایی چون دیابت، سل، کلسترول، چربی، فشار و گلیسیرید داشته است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۳).

جهت دستیابی به حداکثر عملکرد دانه و در نتیجه حداکثر ماده مؤثره گیاه شنبلیله، عناصر غذایی مناسب نقش عمده‌ای را ایفا می‌کنند. از مهمترین این عناصر، عنصر پرمصرف نیتروژن می‌باشد (ظهرابی و همکاران، ۱۳۹۷). نیتروژن نه تنها در تشکیل پروتئین، آنزیم‌ها و کوآنزیم‌ها دخیل است، بلکه در ساختمان کلروفیل نیز به‌کار رفته است (ظهرابی و همکاران، ۱۳۹۷). کودهای نیتروژنه موجب تولید ساقه، برگ و جوانه شده و از این طریق رشد رویشی را تسریع می‌کنند. کاربرد نیتروژن، افزایش رشد شنبلیله، تأخیر رسیدگی، تولید برگ‌های مطلوب و رنگ سبز تیره را در پی خواهد داشت (زندی و همکاران، ۱۳۹۱) و کمبود آن توقف رشد بوته و پریدگی رنگ برگ را ایجاد می‌کند (ظهرابی و همکاران، ۱۳۹۷). استفاده کود نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به همراه دور آبیاری ۱۰ روز یک بار و تراکم بوته ۶۶ بوته در متر مربع، منجر به افزایش معنی‌دار تعداد شاخه اصلی، طول غلاف، شاخص کلروفیل و عملکرد دانه گیاه شنبلیله شد (خسروی و همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهشی کاربرد تیمار نیتروژن، تأثیر مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر پارامترهای مورفولوژیکی، اجزای عملکرد و پروتئین کل دانه‌های شنبلیله داشت (Wierzbowska and Golaszewska, 2014). همچنین در پژوهشی دیگر، با کاربرد نیتروژن ۶۰ به همراه فسفر ۸۰ و پتاسیم ۴۰ کیلوگرم در هکتار حداکثر عملکرد شنبلیله بدست آمد (Datta et al, 2017). گزارش شده است که با مصرف کود NPK به نسبت ۲۵ : ۵۰ : ۵۰، بالاترین ارتفاع بوته، شاخه‌های اولیه، شاخه‌های ثانویه، گره‌ها، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی شنبلیله بدست آمد (Meena et al, 2018).

سیلیسیم پس از اکسیژن، فراوان‌ترین عنصر موجود در خاک بوده و به عنوان یک عنصر غیرضروری اما مفید تلقی می‌شود (خسروفرد و همکاران، ۱۳۹۶؛ مام‌رش‌پور و نظری‌دلجو، ۱۳۹۸). به دلیل جذب این عنصر به صورت مولکول اسید مونوسیلیسیک (H_4SiO_4)، تعادل بار الکتریکی در گیاه به هم نمی‌ریزد. اسید مونوسیلیسیک از طریق کانال‌های یونی وارد گیاه شده و در بعضی گونه‌ها به صورت فعال جذب می‌شود. همچنین، با رقابت آنیون سیلیکات و آنیون فسفات در جذب سطحی روی کلوئیدهای خاک، عنصر فسفر را آزاد می‌کند (عمادی و قاسمی، ۱۳۹۷). از نقش‌های سیلیسیم می‌توان به افزایش تولید و کیفیت محصول، کاهش تبخیر و تعرق، افزایش تحریک تولید برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش حساسیت به بیماری‌های قارچی اشاره نمود (فاطمیو همکاران، ۱۳۹۶). طبق تحقیقات انجام شده، تیمار سیلیسیم

موجب افزایش معنی‌دار رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش مالون دی آلدهید و آب‌اکسیژنه در گیاه توت‌فرنگی گردید (Yaghoubi et al, 2016). در آزمایشی، کاربرد توأم تیمار متیل‌جاسمونات (۱۵۰ میکرومولار) و تیمار سیلیسیم (۱ میلی‌مولار محلول‌پاشی) در گیاه خرفه، موجب بهبود صفات مربوط به عملکرد و پارامترهای فتوسنتزی شد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین در آزمایشی دیگر، سیلیسیم باعث افزایش وزن کل دانه (گرم)، انشعابات و افزایش عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در گیاه خرفه گردید (رحیمی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین گزارش شده است که تیمار سیلیسیم موجب بهبود صفات رشدی شنبلیله در شرایط تنش گردید (آریان و همکاران، ۱۳۹۳).

عنصر نیتروژن در عین حال که موجب تحریک رشد رویشی و ساخت پروتئین‌ها می‌گردد، می‌تواند حساسیت به بیماری‌های قارچی، خوابیدگی ساقه و تنش‌های محیطی را نیز افزایش دهد. در مقابل، عنصر سیلیسیم می‌تواند تمامی این اثرات منفی را تعدیل نماید (بهاری‌ساروی و همکاران، ۱۳۹۱؛ قاسمی‌لمراسکی، ۱۳۹۳). لذا هدف از این مطالعه، بررسی اثرات متقابل نیتروژن به‌عنوان یک عنصر ضروری و سیلیسیم به‌عنوان یک عنصر مفید بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گیاه شنبلیله بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور و ۳ تکرار در شهرستان بابل با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۶۹ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۳- متر از سطح دریا انجام گرفت. کرت اصلی (۰/۵ × ۲/۵ متر) نیتروژن (از منبع اوره) در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود آبیاری) و کرت فرعی (۱ × ۰/۵ متر) سیلیسیم (از منبع اسید منوسیلیسیک) در پنج سطح (صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار کود آبیاری، ۱ و ۲ میلی‌مولار محلول‌پاشی) بودند. تیمارهای آزمایشی طی چهار مرحله اعمال شدند به‌طوری‌که نیتروژن صرفا در فاز رویشی ولی سیلیسیم دو بار در مرحله رویشی (نیتروژن حدود یک ماه پس از کاشت، هر چهار روز یک‌بار. اولین مرحله تیمار سیلیسیم دو روز پس از سومین مرحله اعمال تیمار نیتروژن و دومین مرحله دو روز بعد از آخرین مرحله تیمار نیتروژن در فاز رویشی) و دو بار در مرحله زایشی (پس از مشاهده هفتاد درصد از گل، هر چهار روز) تغذیه شد.

بذرهای شنبلیله از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری و به شکل دست‌پاش در زمین مورد نظر کاشته شد (خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میزان عناصر غذایی موجود در خاک مزرعه در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. اندازه‌گیری کربن آلی به روش تیتراسیون یا تغییر رنگ ارتوفنانترولین، اندازه‌گیری نیتروژن به روش کجلدال، اندازه‌گیری فسفر به روش کالریمتری، اندازه‌گیری پتاسیم و سدیم به روش نشر شعله‌ای، اندازه‌گیری منیزیم از طریق عصاره‌گیری حاصل از سوزاندن خشک و ترکیب با اسید، اندازه‌گیری روی، آهن، منگنز و مس به روش جذب اتمی شعله‌ای، اندازه‌گیری مواد خنثی‌شونده به روش تیتراسیون انجام شد). بعد از جوانه‌زنی با تنک کردن تعدادی از گیاهان فواصل بین گیاه رعایت گردید. در انتهای آزمایش، صفات مورفولوژی (ارتفاع گیاه، طول برگ، تعداد شاخه و طول ریشه)، درصد ماده خشک ریشه و اندام هوایی، میزان کلروفیل کل (میلی‌گرم در هر گرم وزن تر)، نسبت کلروفیل a به b، میزان کاروتنوئیدها (میلی‌گرم در هر گرم وزن تر)، غلظت سیلیسیم ریشه و اندام هوایی (درصد)، مقدار نیتروژن برگ (درصد) و غلظت نیترات اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمونه‌های مورد آزمایش تنها از وسط کرت برداشت شدند و گیاهان حاشیه حذف گردیدند.

به منظور اندازه‌گیری درصد ماده خشک ریشه و اندام هوایی، ابتدا وزن تر ریشه و اندام هوایی (گرم) با ترازوی دیجیتال سه رقم اعشار سنجش و درون آون با درجه

حرارت ۳۸ درجه سانتیگراد خشک گردیدند. سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از توزین، درصد ماده خشک از رابطه زیر بدست آمد:

$$\text{درصد ماده خشک} = \frac{\text{وزن خشک}}{\text{وزن تر}} \times ۱۰۰$$

از روش آرنون (1949) با کمی تغییر در اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b،کلروفیل کل و کارتنوئیدها) استفاده شد. برای اندازه‌گیری، مقدار ۰/۵ گرم برگ تازه وزن گردیده و با استون ۸۰٪ ساییده و به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. آنگاه این ترکیب با دور ۱۲۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانترفیوژ گردید. سپس به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV-1800 PC) در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵، ۴۷۰ خوانده شد (Alavi et al, 2019).

جدول ۱ - نتایج تجزیه فیزیکی-شیمیایی خاک بستر مورد آزمایش
Table 1. Physicochemical characteristics of soil used in this experiment

TNV%	EC(mS/cm)	pH	OC%	Clay%	Sand%	Silt%
29	2.65	7.36	2.81	23	49	28

جدول ۲- عناصر غذایی موجود در خاک بستر مورد استفاده
Table 2. Nutritional elements of soil used in this experiment

Na (%)	Cu ($mg.kg^{-1}$)	Zn ($mg.kg^{-1}$)	Mn ($mg.kg^{-1}$)	Fe ($mg.kg^{-1}$)	Mg ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)	P ($mg.kg^{-1}$)	N (%)
21	1.5	17	12	11	680	560	35	0.26

برای اندازه‌گیری سیلیسیم اندام هوایی، از نمونه گیاهی خشک و پودر شده، ۱۰ میلی‌لیتر مخلوط (۷۵۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک + ۳۰۰ میلی‌لیتر پرکلریک + ۱۵۰میلی‌لیتر اسید سولفوریک) اضافه گردید. بعد از مرحله پیش هضم، بر روی هیتر، بطور تدریجی دمای آنرا افزایش داده شد تا بخارات سفید رنگ از آن خارج و یک ماده شفاف بوجود آمد. کاغذ صافی واتمن ۴۱ را درون قیف قرار داده و با اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال و بعد با آب مقطر یکبار شستشو شد. سپس بعد از سرد شدن، به ارلن مایر با ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید. بعد از صاف کردن عصاره‌ها داخل کاغذ صافی، به روش وزن سنجی درصد سیلیس نمونه (گرم در ۱۰۰گرم نمونه خشک گیاهی) بدست آمد (Yoshida et al, 1976).

به منظور اندازه‌گیری درصد نیتروژن برگ، ۰/۳ گرم نمونه گیاهی به لوله‌های هضم منتقل شد. سپس ۲/۵ میلی‌لیتر از مخلوط اسیدها اضافه و بعد از ۲۴ ساعت، لوله‌ها به مدت ۲ساعت تا ۱۸۰درجه سانتی‌گراد حرارت دیدند و سپس بعد از خنک شدن ۳بار و هر بار ۱ میلی لیتر آب اکسیژنه به لوله‌ها اضافه شد. تا بیرنگ شدن عصاره، لوله‌ها به مدت ۳ ساعت تا ۳۳۰درجه سانتی‌گراد حرارت دیدند. ۵ میلی لیتر از عصاره به بالن تقطیر منتقل و به ۲ میلی‌لیتر از محلول، هیدروکسید سدیم اضافه و حجم محلول به ۲۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. ۰/۵ دقیقه قبل از پایان تقطیر، با پایین آوردن ارلن محتوی اسید بوریک، انتهای مبرد با بخار آب شسته شد. اسید بوریک حاوی آمونیاک با اسید سولفوریک ۰/۰۰۵ مول تا تغییر رنگ محلول از سبز به صورتی تیتر گردید. تمام این اعمال با نمونه شاهد نیز انجام گردید (Wahing, 1989).

برای اندازه‌گیری تجمع نیترات، مقدار ۰/۱ گرم پودر گیاه توزین و میزان ۵۰ میلی لیتر از محلول دو درصد اسید استیک به آن اضافه شد. سپس این ترکیب به مدت ۳۰ دقیقه شیکر و نهایتاً صاف گردید تا عصاره بدست آید. این عصاره به روش Singh (۱۹۹۸) آماده شده و جذب آن در طول موج ۵۴۰ نانومتر قرائت گردید (Singh, 1998).

نتایج و بحث

مورفولوژی و زیست‌توده شنبلیله

جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل نیتروژن و سیلیسیم بر صفات ارتفاع بوته، طول برگ، تعداد شاخه در بوته، طول ریشه و درصد ماده خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است اما بر درصد ماده خشک اندام هوایی تأثیر معنی‌داری نداشته است. طبق جدول مقایسه میانگین (جدول ۴)، از نظر ارتفاع بوته تنها دو تیمار نیتروژن ۵۰ و ۱۵۰ به همراه محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سیلیسیم نسبت به شاهد برتری معنی‌داری نشان دادند. جالب آنکه تیمار نیتروژن ۱۰۰ + محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سیلیسیم کمترین ارتفاع بوته را موجب شد که این مسئله بدلیل ایجاد شاخه‌های جانبی و حذف چیرگی انتهایی بوده است زیرا تیمار مذکور (اختلاف معنی‌داری با تیمارهای نیتروژن۱۰۰ بدون سیلیسیم و نیتروژن ۱۰۰+کودآبیاری ۱ میلی‌مولار سیلیسیم نداشت) بیشترین تعداد شاخه جانبی را داشتند. از وظایف نیتروژن می‌توان به تکثیر سلولی، افزایش طول سلول و افزایش طول میانگره‌ها اشاره داشت. این‌گونه به نظر می‌رسد که نیتروژن با بهبود بستر رشد، شرایط را برای رشد پوشش گیاه و سطح بیشتر برگ آماده نموده و از این طریق باعث افزایش مواد فتوسنتزی می‌شود. این امر موجبات افزایش ارتفاع، طول برگ و تعداد شاخه‌ها را در بوته امکان‌پذیر می‌سازد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴). خسروی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش نمودند که افزایش مصرف نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش تعداد شاخه در بوته شنبلیله می‌گردد. در پژوهش کنونی، مصرف نیتروژن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار حداکثر شاخه‌دهی را داشته و مصرف مقدار بیشتر ان سبب کاهش شاخه دهی شده است. سیلیسیم هم، می‌تواند موجب تحریک افزایش غلظت سیتوکینین شود (Markovich et al, 2017) که این عمل باعث کاهش غالبیت انتهایی و افزایش تعداد شاخه می‌شود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹). داودی و همکاران (۱۳۹۷) دریافتند که با تغذیه سیلیسیم با غلظت ۱ میلی‌مولار می‌توان تعداد شاخه‌ی جانبی، ارتفاع گیاه و وزن خشک برگ و ساقه در گیاه ریحان را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد.

جدول۳- تجزیه واریانس اثر نیتروژن و سیلیسیوم بر صفات مورفولوژیکی و زیست شنبلیله

Table 3. Variance analysis of the effect of N and silicon on morphological traits of fenugreek

		Mean Square					
Source of Variation	df	Plant height	Root height	Leaf length	Number of branches	Root dry matter	Shoot dry matter
Replication	2	65.02	0.75	1.65	0.11	43.26	4.06
N(N)	3	48.49^{ns}	1.96^{ns}	2.97**	103**	152**	10.61*
Error a	32	21.89	1.70	0.32	3.19	28.86	2.96
Silicon (S)	4	80.05*	6.61**	1.45**	0.93^{ns}	100**	8.1*
N * S	12	82.27**	19.66**	1.22**	18.34**	151**	5.34^{ns}
Error b	6	11.07	4.78	0.53	1.71	4.58	3.14
CV%	_	10.12	8.51	7.67	14.8	17.53	14.06

ns, * and ** indicate statistical non-significant, significance at 5% and 1% level of confidence, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نیتروژن و سیلیسیم بر صفات مورفولوژیکی شنبلیله

Table 4. Mean comparison of the effect of N and silicon on morphological traits of fenugreek

Treatments	Plant height (cm)	Root length (cm)	Leaf length (cm)	Number of branches (number)	Dry matter of root (%)	Dry matter of aerial organs (%)
N_0S_0	45.16^{c-g}	16.50^{b-e}	8.16^{abc}	7.00^{f}	29.73^{b}	11.83^{a}
N_0S_{F1}	49.16^{cde}	11.83^{h}	9.16^{a}	11.00^{d}	32.13^{b-e}	10.63^{a}
N_0S_{F2}	46.33^{c-f}	12.50^{gh}	7.66^{cde}	7.33^{ef}	39.73^{b}	13.76^{a}
N_0S_{S1}	47.00^{c-f}	19.00^{a}	7.33^{c-f}	10.33^{d}	23.16^{fg}	11.63^{a}
N_0S_{S2}	43.00^{e-h}	15.50^{def}	8.00^{bcd}	11.33^{d}	52.54^{a}	14.30^{a}
$N_{50}S_0$	35.66^{hi}	14.50^{efg}	6.83^{ef}	11.00^{d}	34.04^{bcd}	12.33^{a}
$N_{50}S_{F1}$	46.16^{c-f}	17.66^{a-d}	7.00^{def}	10.00^{de}	24.73^{efg}	10.73^{a}
$N_{50}S_{F2}$	50.83^{bcd}	13.66^{fgh}	7.66^{cde}	15.33^{b}	22.04^{g}	12.46^{a}
$N_{50}S_{S1}$	60.16^{a}	15.33^{def}	$8/83^{ab}$	10.00^{de}	32.65^{b-e}	9.83^{a}
$N_{50}S_{S2}$	50.50^{b-e}	18.00^{abc}	6.33^{f}	14.66bc	28.53^{c-g}	11.02^{a}
$N_{100}S_0$	52.66^{abc}	14.33^{efg}	7.00^{def}	18.33^{a}	22.74^{fg}	9.73^{a}
$N_{100}S_{F1}$	$47/16^{c-f}$	17.50^{a-d}	7.50^{cde}	17.33^{ab}	26.12^{d-g}	12.73^{a}
$N_{100}S_{F2}$	38.16^{gh}	13.83^{fgh}	7.50^{cde}	15.33^{b}	33.32^{bcd}	13.30^{a}
$N_{100}S_{S1}$	23.16^{i}	14.33^{efg}	7.82^{b-e}	15.66^{ab}	32.00^{b-f}	12.36^{a}
$N_{100}S_{S2}$	50.66^{b-e}	15.33^{def}	7.50^{cde}	11.33^{d}	30.61^{c-f}	11.80^{a}
$N_{150}S_0$	37.66^{ghi}	15.83^{c-f}	6.33^{f}	11.00^{d}	29.10^{c-g}	15.36^{a}
$N_{150}S_{F1}$	41.33^{fgh}	12.66^{gh}	7.33^{c-f}	10.33^{d}	28.32^{c-g}	11.87^{a}
$N_{150}S_{F2}$	44.33^{d-g}	18.66^{ab}	7.00^{def}	12.00^{cd}	35.76^{bc}	13.40^{a}
$N_{150}S_{S1}$	57.00^{ab}	12.33^{gh}	7.50^{cde}	11.33^{d}	29.27^{c-g}	11.56^{a}
$N_{150}S_{S2}$	48.16^{c-f}	17.33^{a-d}	6.83^{ef}	10.66^{d}	26.85^{d-g}	14.23^{a}

Numbers followed by the same letter are not significantly different ($P \leq 0.01$).

N = نیتروژن S = سیلیسیم F = کودآبیاری S = محلول‌پاشی

تیمار کودآبیاری ۱میلی‌مولار سیلیسیم و بدون نیتروژن، بیشترین میزان طول برگ را نشان داد؛ هرچند با شاهد و تیمار نیتروژن ۵۰ +محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سیلیسیم تفاوت معنی‌داری نداشت. بنابراین جمع بندی این بخش گویای آن است که اگر رشد رویشی مطلوب از نظر ارتفاع و طول برگ مدنظر باشد آنگاه نیتروژن ۵۰ به همراه غلظت سیلیسیم ۱ میلی‌مولار به صورت محلول‌پاشی می‌تواند مفید باشد. بنابراین این ادعا که شنبلیله به خاطر وجود ارتباط همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به مصرف کودهای حاوی این عنصر هیچ احتیاجی ندارد صحیح نمی‌باشد و تغذیه مقادیر پایین نیتروژن به افزایش رشد این گیاه کمک شایان توجهی می‌نماید.

تنها تیماری که به طور معنی‌داری طول ریشه آن بیشتر از شاهد ثبت شد، تیمار محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سیلیسیم و بدون نیتروژن بود که اختلاف حدود ۱۵ درصدی نسبت به شاهد داشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد که در این تیمار

نبود نیتروژن کافی و محلول‌پاشی برگی سیلیسیم هردو باعث کاهش رشد بخش هوایی به نفع رشد ریشه‌ها شده باشد. از آنجایی‌که کودآبیاری سیلیسیم ۱ میلی‌مولار همراه با نیتروژن ۵۰ و ۱۰۰، و کودآبیاری سیلیسیم ۲ میلی‌مولار همراه با نیتروژن ۱۵۰ نیز طول ریشه را افزایش دادند (به‌طوری‌که نسبت به تیمار برتر یعنی محلول‌پاشی ۱ سیلیسیم بدون نیتروژن، اختلاف معنی‌داری نداشتند) لذا می‌توان نتیجه گرفت که احتمالا مصرف سیلیسیم به صورت کودآبیاری موجب افزایش رشد ریشه‌ها گردد. محمدی و همکاران (۱۳۹۹) نیز با تیمار ۲ میلی‌مولار سیلیسیم به شکل کودآبیاری به نتایج مشابهی در گیاه خرفه دست یافته‌اند.

به طور بسیار جالب توجهی تیمار محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار سیلیسیم و بدون نیتروژن بالاترین درصد ماده خشک ریشه (۵۲/۵۴ درصد)، را نشان داد که نسبت به شاهد (۲۹/۷۳ درصد) برتری معنی‌داری داشت (جدول ۴). از آنجایی که تیمار مذکور بر ماده خشک بخش هوایی تاثیر معنی‌داری نداشت لذا میتوان اینگونه تحلیل نمود که تغذیه نیتروژن بالا، صرفنظر از اینکه رشد رویشی را تحریک کند یا خیر، میتواند بر رشد ریشه تاثیر منفی بگذارد و موجب تخصیص کمتر آسیمیلات‌ها به ریشه گردد و در نهایت به طور معنی داری بیوماس ریشه کاهش می‌یابد. برعکس زمانی که تغذیه نیتروژن در شنبلیله صورت نگیرد، گیاه تحریک به رشد ریشه و تخصیص کربوهیدرات به ریشه میگردد تا احتمالا با همزیستی بیشتر با باکتری های ریزوبیوم (که همزیست با شنبلیله هستند) امکان تثبیت بیشتر نیتروژن را فراهم آورد. شخمگر و همکاران (۲۰۱۳) طی آزمایشی که روی شنبلیله انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که تیمار ۵۰ گرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش مقدار کربوهیدرات شده و با افزایش نیتروژن، مقدار آن کاهش یافته است. از دیگر سو، محلول‌پاشی غلظت بالای سیلیسیم نیز مزید بر علت شده و موجب افزایش زیست توده ریشه گردیده است لذا با توجه به عدم تحرک سیلیسیم در گیاه، نقش سیگنالینگ این عنصر در تخصیص مواد فتوسنتزی می‌تواند وجود داشته باشد. طی مطالعاتی که مهدوی و همکاران (۲۰۱۸) روی گیاه نعناع انجام دادند، دریافتند که محلول‌پاشی سیلیسیم باعث افزایش وزن خشک ریشه و میزان کربوهیدرات‌ها در این گیاه شده است. همچنین در تحقیق دیگری، وزن خشک برگ و ریشه گیاه خرفه با کاربرد تیمار سیلیسیم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید (الهبخش و همکاران، ۲۰۱۸).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

محتوی کلروفیل کل، کلروفیل a ، کلروفیل b و میزان کارتنوئیدها در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر متقابل تیمار نیتروژن و سیلیسیم قرار گرفت (جدول ۵). کمترین مقدار کلروفیل کل (۱۰/۱۶ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر) ، کلروفیل a (۷/۹۰ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر) و کلروفیل b (۲/۲۶ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر) مربوط به تیمار محلول‌پاشی دو میلی‌مولار سیلیسیم بدون نیتروژن بود که به طور معنی داری از تمامی تیمارهای دیگر کمتر بود (جدول ۶) که به نوعی بیانگر تنشی می‌باشد که محلول‌پاشی با غلظت زیاد سیلیسیم و در شرایط عدم تغذیه نیتروژن ایجاد می‌کند. لذا به نظر می‌رسد که باید از محلول‌پاشی دزهای بالای سیلیسیم در شرایط نیتروژن پایین اجتناب نمود. در آزمایشی، اثرات دور آبیاری و میزان کود نیتروژن بر محتوای رنگدانه‌های شوید بررسی شده و مشخص شد که بالاترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در تیمار ۲۰۰ کیلو کود اوره در هکتار بدست آمد (امیری و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه‌ای دیگر، افزایش کود نیتروژن تأثیر مثبتی بر روی کلروفیل a و کلروفیل کل در گیاه شنبلیله داشت (شخمگر و همکاران، ۱۳۹۲). گذشته از این، افزایش نیتروژن از تمامی منابع مورد استفاده (اوره، نیترات کلسیم و آمینواسید) تأثیرات معنی‌داری بر روی کلروفیل a و کلروفیل b و کلروفیل کل گیاه شنبلیله داشت (ظهرابی و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر نیتروژن و سیلیسیوم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه شنبلیله

Table 5. Variance analysis of the effect of N and silicon on photosynthetic pigments of fenugreek

		Mean Square		
Source of Variation	df	Total chlorophyll	Chl a to Chl b ratio	Carotenoids
Replication	2	5.44	0.15	0.005
N	3	70.64**	0.63**	0.07**
Error a	32	2.22	0.07	0.003
Silicon (S)	4	34.58**	0.23*	0.033**
N * S	12	29.75**	0.21**	0.030**
Error b	6	5.32	0.07	0.006
CV%	_-	7.91	8.69	8.9

ns, * and ** indicate statistical non-significant, significance at 5% and 1% level of confidence, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر نیتروژن و سیلیسیوم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه شنبلیله

Table 6. Mean comparison of the effect of N and silicon on photosynthetic pigments of fenugreek

Treatments	Total chlorophyll (mg g-1 FW)	Chl a to chl b ratio (mg g-1 FW)	Carotenoids (mg g-1 FW)
N_0S_0	18.04^{e-h}	3.60^{a}	0.63^{def}
N_0S_{F1}	16.59^{f-i}	2.82^{g-j}	0.66^{cde}
N_0S_{F2}	22.15^{ab}	2.92^{e-j}	0.80^{ab}
N_0S_{S1}	14.38^{i}	3.56^{a}	0.52^{f}
N_0S_{S2}	10.16^{j}	3.51^{ab}	0.39^{g}
$N_{50}S_0$	17.98^{e-h}	3.25^{a-g}	0.65^{cde}
$N_{50}S_{F1}$	18.78^{d-g}	3.22^{a-g}	0.67^{cde}
$N_{50}S_{F2}$	22.16^{ab}	3.07^{b-i}	0.83^{a}
$N_{50}S_{S1}$	15.57^{hi}	3.28^{a-f}	0.61^{ef}
$N_{50}S_{S2}$	21.58^{abc}	3.82^{a-f}	0.80^{ab}
$N_{100}S_0$	18.69^{efg}	3.17^{a-h}	0.73^{a-d}
$N_{100}S_{F1}$	24.02^{a}	2.75^{hij}	0.80^{ab}
$N_{100}S_{F2}$	16.04^{ghi}	3.38^{a-d}	0.61^{ef}
$N_{100}S_{S1}$	16.14^{ghi}	3.43^{abc}	0.61^{ef}
$N_{100}S_{S2}$	17.28^{fgh}	3.32^{a-e}	0.63^{cde}
$N_{150}S_0$	23.25^{ab}	2.60^{j}	0.82^{ab}
$N_{150}S_{F1}$	21.54^{a-d}	2.90^{e-j}	0.78^{ab}
$N_{150}S_{F2}$	20.59^{b-e}	2.99^{c-j}	0.74^{abc}
$N_{150}S_{S1}$	20.98^{cde}	2.95^{d-i}	0.71^{b-e}
$N_{150}S_{S2}$	23.25^{ab}	2.63^{ij}	0.82^{ab}

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P≤0.01).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که همانند صفت کلروفیل کل، کلروفیل a و کلروفیل b، کمترین محتوای کاروتنوییدها در تیمار محلول‌پاشی دو میلی‌مولار سیلیسیم بدون نیتروژن دیده شد (جدول ۶).

گزارش شده است که کاربرد کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر افزایش رنگیزه کاروتنویید در گیاه شنبلیله داشت (شخمگر و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین افزایش نیتروژن از منبع اوره، نیترات کلسیم و آمینواسید، سبب افزایش مقدار کاروتنوئید برگ در گیاه شنبلیله گردید (ظهرابی و همکاران، ۱۳۹۷).

اثرات مثبت کود نیتروژن بر رنگیزه‌های فتوسنتزی را می‌توان به نقش نیتروژن در ساختار مولکولی رنگیزه‌های فتوسنتزی نظیر کلروفیل مرتبط دانست. هر مولکول کلروفیل از چهار اتم نیتروژن تشکیل شده است. به دلیل این که نیتروژن در ساختمان کلروفیل بکار رفته است، بر اثر کمبود این عنصر، در ساخت کلروفیل اختلال ایجاد شده، برگ‌های گیاهان، سبزرنگی خود را از دست می‌دهند (ظهرابی و همکاران، ۱۳۹۷). بنابراین تغذیه مناسب با نیتروژن می‌تواند تشکیل رنگیزه‌های فتوسنتزی را بهبود بخشد (Marion, 1994). در مورد تأثیر تیمار سیلیسیم نیز، به نظر می‌رسد این عنصر با رسوب در پهنک برگ و تأثیر بر ساختار کلروپلاست، باعث افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح می‌شود. این امر توانایی گیاه را در استفاده از نور بهبود می‌بخشد (موسی‌پور و اصغرپور ۱۳۹۴، فاطمی و همکاران۱۳۹۶). برخی محققان این افزایش را مرتبط به تأثیر سیلیسیم در افزایش کارایی فتوسیستمII دانسته‌اند (Torabi et al, 2013). با این حال نتایج پژوهش ما نشان داد که سیلیسیم در حضور میزان کافی نیتروژن می‌تواند موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی گردد.

نیتروژن، نیترات و سیلیسیم گیاه

برهم‌کنش کودهای نیتروژن و سیلیسیم موجب تاثیر معنی‌دار نیتروژن برگ در سطح احتمال یک درصد و تجمع نیترات اندام هوایی در سطح احتمال پنج درصد در گیاه شنبلیله شد (جدول ۷). طبق جدول مقایسه میانگین، بالاترین مقدار نیتروژن برگ در دو تیمار نیتروژن ۵۰+محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سیلیسیم و نیتروژن ۱۰۰+ کودآبیاری سیلیسیم ۲ میلی‌مولار به ترتیب به میزان ۵/۶۱ و ۵/۵۲ درصد بدست آمد (جدول ۸). از آنجایی که این دو تیمار دارای میزان بالای نیترات نیز می باشند (به ترتیب ۲۹۰۴ و ۳۲۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) لذا تجمع این مقدار نیتروژن بدلیل عدم آسیمیلاسیون و عدم ورود به ساختار آلی گیاه مطلوب نخواهد بود. در آزمایشی مشخص شد که کاربرد کود نیتروژن اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر تجمع نیترات و نیتروژن در برگ‌های مرزه داشت به‌طوری‌که بیشترین تجمع نیترات و میزان نیتروژن با تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد و کمترین تجمع نیترات در تیمار شاهد مشاهده شد (مومیوند و همکاران،۱۳۹۲). در پژوهشی دیگر که اثرات کودهای مختلفی چون مرغی، گاوی و شیمیایی (براساس نیاز نیتروژن و فسفر گیاه) بر روی تجمع نیترات گیاه خرفه بررسی نمودند و دریافتند که کودهای شیمیایی با آنکه سریعترین روش جبران کمبود عناصر غذایی در گیاه می‌باشند اما بیشترین مقدار تجمع نیترات را در گیاه به وجود آوردند. دلیل این اتفاق، آزاد شدن آنی عنصر نیتروژن در این کودهای شیمیایی بوده است. لذا نیتروژنی که سریع آزاد شده در گیاه انباشته می‌شود تا در مواقع ضروری در اختیار گیاه دچار کمبود قرار گیرد (عمرانی و همکاران، ۱۳۹۵).

کمترین مقدار تجمع نیترات به میزان ۱۲۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار سیلیسیم بدون نیتروژن بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای نیتروژن ۵۰+بدون سیلیسیم و کودآبیاری ۱ میلی‌مولار سیلیسیم بدون نیتروژن نداشت. این نتایج بیانگر آن است که محلول‌پاشی غلظت بالای سیلیسیم در شرایط عدم کوددهی نیتروژن می‌تواند مانع تجمع نیترات در شنبلیله گردد ولی این تأثیر سیلیسیم زمانی که تغذیه نیتروژن صورت گیرد، دیده نمی‌شود. لذا به نظر می‌رسد تاثیر مثبت سیلیسیوم بر تجمع نیتنرات گیاه، در غلظت‌های بالای نیتروژن خاک تأثیر نداشته و تنها اگر نیتروژن خاک پایین باشد، چنین اثری را بروز می‌دهد. از آنجایی که مقدار

نیتروژن در تیمار محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار سیلیسیم بدون نیتروژن به میزان ۳/۶۳ درصد بوده که با شاهد هم اختلاف نداشته است لذا میتوان نقش محلول‌پاشی سیلیسیم را نه در کاهش جذب نیتروزن بلکه در تسریع آسیمیلاسیون این عنصر جستجو نمود که نهایتاً کاهش نیترات را موجب می‌گردد. به هر شکل، استفاده از نیتروژن در مقادیر بکار رفته در این آزمایش موجب تجمع نیترات بیشتر از شاهد نشد و این مسئله نشان می‌دهد که حذف تغذیه نیتروژنه به بهانه تجمع نیترات در شنبلیله درست نبوده و استفاده بهینه این عنصر مشکلی را در این خصوص ایجاد نمی‌کند.

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر نیتروژن و سیلیسیوم بر میزان نیتروژن، نیترات و سیلیسیم گیاه شنبلیله

Table7. Variance analysis of the effect of N and silicon on some qualitative trait of fenugreek

Source of Variation	df	Silicon in the root	Silicon in the aerial parts	Nitrate accumulation	N
Replication	2	0.0001	0.004	214866.45	0.48
N	3	0.01^{**}	0.0021^{**}	656112.25^{ns}	1.22^{*}
Error a	32	0.002	0.0002	484007.31	0.28
Silicon (S)	4	0.009^{*}	0.002^{**}	406301.87^{ns}	0.18^{ns}
N * S	12	0.004^{ns}	0.001^{**}	192999.72^{*}	2.35^{**}
Error b	6	0.002	0.001	58220.22	0.455
CV%	_-	6.07	1.64	25.34	13.56

ns, * and ** indicate statistical non-significant, significance at 5% and 1% level of confidence, respectively.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر نیتروژن و سیلیسیوم بر برخی صفات کیفی شنبلیله

Table 8. Mean comparison of the effect of N and silicon on some qualitative traits of fenugreek

Treatments	Silicon in the root (mg/ kg)	Silicon in the aerial parts (mg/ kg	Nitrate accumulation (mg/ kg)	N (mg/g)
N_0S_0	0.87^{a}	0.88^{b-e}	3311^{a}	3.27^{e}
N_0S_{F1}	0.84^{a}	0.874^{cde}	2099^{bcd}	4.01^{cde}
N_0S_{F2}	0.81^{a}	0.85^{efg}	2731^{abc}	4.02^{cde}
N_0S_{S1}	0.86^{a}	0.90^{abc}	2823^{abc}	3.42^{e}
N_0S_{S2}	0.90^{a}	0.88^{b-e}	1247^{c}	3.63^{de}
$N_{50}S_0$	0.82^{a}	0.91^{ab}	1960^{bc}	3.13^{e}
$N_{50}S_{F1}$	0.77^{a}	0.88^{b-e}	3318^{a}	3.14^{e}
$N_{50}S_{F2}$	0.80^{a}	0.86^{d-g}	2882^{abc}	3.78^{de}
$N_{50}S_{S1}$	0.79^{a}	0.87^{cd-e}	2904^{abc}	5.61^{a}
$N_{50}S_{S2}$	0.76^{a}	0.89^{b-e}	3295^{a}	3.72^{de}
$N_{100}S_0$	0.83^{a}	0.871^{c-g}	2900^{abc}	4.97^{ab}
$N_{100}S_{F1}$	0.80^{a}	0.87^{b-e}	2976^{abc}	3.61^{de}
$N_{100}S_{F2}$	0.83^{a}	0.89^{bcd}	3246^{a}	5.52^{a}
$N_{100}S_{S1}$	0.78^{a}	0.87^{d-g}	2299^{a-d}	3.65^{de}
$N_{100}S_{S2}$	0.95^{a}	0.94^{a}	2428^{abc}	4.01^{cde}
$N_{150}S_0$	0.85^{a}	0.83^{g}	2275^{a-d}	3.63^{cde}
$N_{150}S_{F1}$	0.77^{a}	0.835^{fg}	2464^{abc}	4.87^{abc}
$N_{150}S_{F2}$	0.78^{a}	0.88^{b-e}	3276^{a}	3.35^{e}
$N_{150}S_{S1}$	0.79^{a}	0.87^{c-f}	3154^{ab}	3.13^{e}
$N_{150}S_{S2}$	0.83^{a}	0.88^{b-e}	3309^{a}	4.49^{bcd}

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P≤0.01).

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۷)، اثر متقابل تیمارهای نیتروژن و سیلیسیم بر مقدار سیلیسیم اندام هوایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد اما بر سیلیسیم ریشه تأثیر معنی‌داری نداشت. مقایسه میانگین نشان داد که تنها تیمار نیتروژن ۱۰۰+ محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار سیلیسیم بود که غلظت سیلیسیم برگ بیشتری نسبت به شاهد داشت و این درحالی است که سایر تیمارهای بکاررفته اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند و یا حتی از شاهد کمتر بودند (جدول ۸). یک فرضیه در این خصوص می‌تواند اثرگذاری نیتروژن در افزایش نفوذ برگی سیلیسیم باشد. طبق گزارشاتی، کاربرد توأم تیمار سیلیسیم به شکل محلول‌پاشی و متیل جاسمونات بر میزان سیلیسیم برگ خرفه تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ داشته است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹).

نتیجه‌گیری

طبق نتایج بدست آمده، مصرف مقدار کم نیتروژن (۵۰ کیلوگرم در هکتار) به همراه محلول‌پاشی عنصر سیلیسیم (غلظت ۱ میلی‌مولار) می‌تواند رشد رویشی شامل ارتفاع و طول برگ را در گیاه شنبلیله به طور معنی‌داری افزایش دهد. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که هرچند شنبلیله دارای باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌باشد ولی مصرف مقادیر کم نیتروژن به افزایش رشد این گیاه کمک می‌کند. در خصوص رشد ریشه، عدم تغذیه نیتروژن و سیلیسیم به صورت کودآبیاری هر دو موجب افزایش رشد ریشه‌ها می‌گردند. از نقطه نظر کیفیت محصول، محلول‌پاشی غلظت بالای سیلیسیم (۲ میلی‌مولار) در شرایط عدم کوددهی نیتروژن می‌تواند مانع تجمع نیترات در شنبلیله گردد که برای سلامت انسان بسیار بااهمیت می‌باشد ولی این تاثیرگذاری سیلیسیم در حضور مقدار بالای نیتروژن خاک ناشی از کوددهی نیتروژنه حاصل نمی‌شود. البته کوددهی نیتروژنه در هیچ یک از مقادیر مورد استفاده در این آزمایش، تجمع نیتراتی بیشتر از شاهد ایجاد نکرد که مجاز بودن مصرف نیتروژن بهینه در این گیاه را اثبات می‌کند. همچنین کوددهی نیتروژن به میزان متوسط (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) موجب افزایش نفوذ برگی سیلیسیم می‌گردد که می‌تواند مزایای ضدتنشی این عنصر مفید را در پی داشته باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از جناب آقای مهدی اکبرنیا و مهندس یوسف قاسمی دادوکلایی که در اجرای این پروژه یاری‌گر ما بودند کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

Alahbakhsh, E., Sirousmehr, A.R., Ebrahimi, O., and Shahraki, N. 2018. Storage and tolerance of cadmium contamination and the effect of silicon treatment on some physiological characteristics in portulaca oleracea. Journal of Plant Research. 31 (2): 235-247.

Alasadi, J.N. 2014. Therapeutic uses of Fenugreek. American journal of social issues and humanities. 21-36.

Amiri, M., Mansoori Far, S., Sadat Asilan, K., and H. Heidari. 2015. The effect of irrigation distance and N fertilizer on grain yield and dill pigment content. Journal of Agriculture. 38 (4): 80-71.

Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts; polyphenol-oxidase in Beta vulgaris. Plant Physiol. 24: 1-15.

Aryan, H., Naseri, M., and S.H. Nemati. 2014. The Effect of Silicon on Reducing the Effects of Salinity in Fenugreek. Agriculture Research (Research & Development). 104: 172-165.

Bazazi, N., Khodambashi, M., and Sh., Mohammadi. 2011. The effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of fenugreek. Journal of Production and Crops and Horticulture. 8: 11-22.

Datta, N., Hore, J.K., and T. Sarkar. 2017. Growth and yield of fenugreek as influenced by different levels of NPK under new allovial plains of West Bengal, India. Int. J. Curr. Microbial. App. Sci. 9: 2304-2312.

Davoodi, M., Ismailpour, b., Fatemi, H., and H. Maleki Lajair. 2018. The effect of silicon nutrition on reducing the harmful effects of nickel stress on basil. Plant Function Process. 7 (24): 25-37.

Esfahlanzadeh, M.R., Ebadi, A., and N. Farsad Akhtar. 2014. The effect of different levels of N and zinc on some morphological traits and yield of St. John's wort essential oil. Journal of Crop Plant Ecophysiology. Vo 8, 2(30): 181-192.

Emadi, S.M., and K. Ghasemi. 2018. Silicon in Agriculture from Theory to Practice. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 79.

Fatemi, H., Ismailpour, b., Soltani Tularoud, A., and A. Nematzadeh. 2017. Effect of foliar application of silicon nanoparticles on some morphological and biochemical indices of coriander under heavy metal stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 5: 870-853.

Ghasemi Lemraski, M., Nour Mohammadi, Gh., Madani, M., Heydari Sharafabad, H., and H. Mobser. 2014. The effect of silica and potassium foliar application and N application on yield and yield performance of Iranian rice cultivars Tarom Hashemi and Tarom Makhli. New Agricultural Findings. 9 (1): 67-47.

Hassanzadeh, A., Rezazadeh, Sh., Shams, F., Dolatabadi, R., and J. Zarrin Ghalam. 2010. Review of therapeutic and phytochemical properties of fenugreek. Quarterly Journal of Medicinal Plants. 34: 16-1.

Hooshmand, A., Salari, A., and A. Jafarnejad. 2017. The effect of water and N stresses at different stages of growth on dry matter accumulation in maize cultivar Single Cross 704. Journal of Irrigation Science and Engineering. 40 (1).

Izadi, Z., Ahmadvand, G., Twelve, M., and Kh. Piri. 2007. Effect of N and planting density on dry matter yield and essential oil content in peppermint. Journal of Agricultural Research. 7 (4): 211-224.

Jaberi, M., Baradaran, r., Mousavi, S.G.R., and M. Aqhawani Shajari. 2018. Effect of biofertilizers and irrigation on physiological characteristics of fenugreek", Journal of Plant Ecophysiology. 9 (32): 142-151.

Khosravi, M., Mousavi, S. Gh. R., and, Segheh Eslami, M.J. 2014. The effect of irrigation levels and plant density and N on morphological traits, yield and water use efficiency in fenugreek. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 5: 691-682.

Khosrofard, Z.S., Eshghi, S., Sedaghat, S., and M. Hedayat. 2017. The effect of root application and foliar application of silicon on strawberry growth and nutrient uptake in salinity stress in soilless cultivation. Iranian Journal of Horticultural Sciences and Technologies. 18 (2): 195-208.

Mahdavi, M., Esmaeelpour, B., and Fatemi, H. 2018. Effect of silicon leaf nutrition on growth, physiological and biochemical indices of peppermint under cadmium stress. Iranian Journal of Horticultural Science. 49 (1): 183-196.

Mamrashpour, A., and M.J. Nazari Deljoo. 2019. Persistence and physiological response of cut flowers of Oriental lilium to the quasi-essential element of silicon in soilless cultivation. Iranian Horticultural Sciences. 5 (1): 141-150.

Marion. 1994. Vaisey Genser. Canola oil sensory properties Canola council of Canada Gpp. 0429-01-RS.

Markovich, O., Steiner, E., Kouril, S., Tarkowski, P., Aharoni, A., and R. Elbaum. 2017. Silicon promotes cytokinin biosynthesis and delays senescence in Arabidopsis and sorghum. Plant, Cell and Environment. 40 (7): 1189-1196.

Meena, N.K., Meena, S.S., Gupta, S., and G. Lal. 2018. Influence of Different Dates of Sowing, Fertilizer Levels and Weedicides on Growth and Yield of Fenugreek Under Semi-Anid Conditions. Int. J. Curr. Microbial. App. Sci. 8: 1844-1854.

Mohammadi Azoni, M., Moradi, H., Ghasemi, K., and P. Biparva. 2020. The effect of silicon and methyl jasmonate treatment of some morphological traits and photosynthetic parameters of *portulaca oleracea*. Journal of Nutrition of Horticultural Plants. 3 (1): 175-186.

Momivand, H., Nooshkam, A., Mohseni, A., and M. Babalar. 2013. The effect of N and calcium carbonate application on nitrate accumulation and yield of summer savory medicinal plant. Journal of Crop Production. 6 (3): 109-124.

Mousavi, S.Gh.R., Mohamadi, O.L., Baradaran, R., Segheholeslami, M.J., and E. Amiri. 2015. Effect of N Fertilizer Amounts on Morphological Traits, Yield and Yield Components of Three Rice Cultivars. Iranian Journal of Crop Research. 13, 1(34): 146-152.

Musapour Yahyaabadi, H., and M. Asgharpour, 2015. The effect of silicon leaf nutrition on yield and some physicochemical properties of fennel under dehydration conditions. Agricultural. 17 (4): 1048-1035.

Nazari, M., and S. Fallah. 2014. Effect of biochemical fertilizers on the quantity and quality of fenugreek. Plant Production Technology. 2: 88-7.

Nouri Hosseini, M., Khorasani, R., Astarai, A., Rezvani Moghadam, P., and H. Zabihi. 2017. Study of the effect of different levels of N and potassium on the yield and yield components of black cumin. 15th Iranian Soil Science Congress, Isfahan.

Omid Beigi, R. 2013. Production and processing of medicinal plants. Quds Razavi Publications. 3: 276-275.

Omrani, b., Fallah, S., and M.R., Tadayon. 2016. Reaction of photosynthetic pigments, share of dry matter and nitrate content of *Portulaca oleracea* to plant nutrition. Plant Process and Function. 5 (15): 181-193.

Rahimi, Z., Sufficient, M., Nezami, A., and H. Khazaei. 2010. Study of the effect of salinity and silicon levels on yield and yield components of *Portulaca oleracea*. Iranian Journal of Crop Research. 3: 488-481.

Salek, M., Saadatmand, S., Khavarinejad, R.A., and H. Zeinali. 2017. Study of the effect of different levels of urea and superphosphate fertilizers on the accumulation of mineral elements in the medicinal plant Ronas. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 33 (2): 219-232.

Samadi Hashchin, A.A., Qalavand, A., and A. Mukhtasi Bidgoli. 2016. The effect of different sources of N on dry matter and accumulation of nitrate and nitrite in potato tubers. Journal of Ecological Agriculture. 6 (1): 28-41.

Sanayei, s., Ebadi, A., Permon, Q., and L. Qolizadeh. 2014. The effect of mineral N on fluorescence changes in photosynthetic pigments of alfalfa under drought stress. Journal of Crop Research. 6 (23): 5-20.

Shokhmgar, M., Baradaran, R., Mousavi, Gh., Pouyan, M., and A. Arazmjoo. 2013. Effect of irrigation cycle and N fertilizer application on changes in grain yield and physiological traits of fenugreek. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 29 (3): 538-527.

Singh, J.p. 1998. A rapid method for determination of nitrate in soil and plant extract. Plant and Soil. 110: 137 - 139.

Torabi, F., Majd, A., Enteshary, S.H., and S. Aryian. 2013. Study of effect of silicon on some anatomical and physiological characteristics of borage (Borago officinalis L.) in hydroponic conditions. Journal of Cell & Tissue. 4(3):275-285.

Wahing, I.W., Van, V.J.G., Houba, J.J., and D.L. Van. 2010. Soil and Plant Analysis, A series of syllabi. part 7. Plant Analysis Procedure. Wageningen Agriculture University.

Wierzbowska, J., and K.Z. Golaszewska. 2014. The Impact of N Fertilization and Rhizobium Inoculation on the Yield and Quality of Trigonella foenum graecum. L. J. Elem. S. 1109-1118.

Yaghubi, K.h., Ghaderi, N., Vafaee, Y., and T. Javadi. 2016. Potassium silicate alleviates deleterious effects of salinity on two strawberry cultivars grown under soilless pot culture. Scientia Horticulture. 213: 87-95.

Yoshida, S., Forno, D.A., Cock, J.H., Gomez, K.A. 1976. Laboratory manual forphysiological studies of rice. Los Baños (Philippines) International Rice Research Institute.

Zahrabi, A., Seidi, M., and Z. Tahmasebi. 2018. Effects of different types and amounts of N fertilizer on some physiological traits of fenugreek. Plant Process and Function. 23: 361-371.

Zandi, P., Shirani Rad, a., Daneshian, J., and d. Bazrkar Khatibani. 2012. Study of the effects of N fertilizer and plant density on yield and yield components of fenugreek in the second crop. Plant Production. 4: 91-81.