پژوهش در علوم باغبانی
جلد۳، شماره۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳ (ص۱۰-۱)
تارنمای مجله: https://rhsj.areeo.ac.ir
مقاله علمی پژوهشی
Journal of Reserch in Horticultural Science
Vol. 3, No.1 spring and summer 2024 (1-10)
rhsj.2023.360849.1040/10.22092

تاثیر محلول‌پاشی سه ترکیب کلسیم‌دار بر غلظت کلسیم نهال پسته تحت شرایط کنترل شده در کشت هیدروپونیک

ماریه نادی[1*]، امان الله جوانشاه[1]، نجمه پاکدامن[1]

۱- استادیار، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲۷

چکیده

کلسیم یکی از مهم‌ترین مواد معدنی است که نقش بسیار مهمی در مقاومت به آفات و بیماری‌های گیاهان به‌ویژه در درختان پسته دارد. یکی از محل‌های تجمع این عنصر، دیواره سلول‌های گیاهی می‌باشد. وجود پکتات کلسیم در دیواره سلولی برای زنده ماندن گیاه ضروری است. کمبود کلسیم در میوه پسته باعث عارضه اضمحلال پوست استخوانی یا لکه پوست استخوانی در اوایل اردیبهشت در مرحله ارزنی شدن و هنگام بزرگ شدن میوه می گردد. محلول‌پاشی کلسیم یکی از راهکارهایی است که امروزه توسط کشاورزان جهت تامین کلسیم گیاه، انجام می‌شود. بدین‌منظور از ترکیبات مختلف کلسیم‌دار شامل انواع کلات‌ها و کودهای کلسیمی استفاده می گردد. در این تحقیق اثر محلول‌پاشی سه ترکیب کلسیم‌دار (استات کلسیم، کلات کلسیم و نیترات کلسیم) بر غلظت کلسیم، منیزیم و فسفر در بخش هوایی و ریشه و همچنین دو فاکتور رشدی شامل ارتفاع و قطر نهال پسته در دو پایه قزوینی و بادامی زرند مورد بررسی قرار گرفت. جهت کنترل شرایط تغذیه گیاه، بذرهای پسته در بستر آبکشت (هیدروپونیک) کاشته شدند و از محلول غذایی کامل و بدون کلسیم استفاده گردید. داده‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی و با کمک آزمون دانکن مورد آنالیز آماری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ترکیبات مختلف کلسیم‌دار تاثیر معنی‌داری بر غلظت کلسیم نهال پسته نداشت. اما استفاده از عنصر کلسیم در محلول‌غذایی بستر کشت و همچنین نوع پایه به‌صورت معنی‌داری روی غلظت کلسیم موجود در گیاه موثر بودند. همچنین محلول‌پاشی استات کلسیم باعث افزایش معنی‌دار غلظت فسفر در گیاه گردید.

واژگان کلیدی: جذب کلسیم، محلول‌پاشی، نهال پسته، هیدروپونیک.

The effect of foliar application of three calcium compounds on the calcium concentration of pistachio seedlings under controlled conditions in hydroponic cultivation

Marieh Nadi1*, Amanolah Javanshah2, Najmeh Pakdaman3

1-Assistant Professor, Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran.

Received :December 2022 Accepted:June 2023

Abstract

Calcium is one of the most important minerals that plays a very important role in resistance to plant pests and diseases, especially in pistachio trees. One of the accumulation sites of this element is the plant cell wall. The presence of calcium pectate in the cell wall is essential for plant survival. Lack of calcium in pistachio fruit causes the Endocarp Lesion in early May during the millet stage and when the fruit is growing. Calcium spraying is one of the strategies used by farmers to eliminate the Endocarp Lesion that has become prevalent in recent years. In this regard, various calcium compounds including various chelates and calcium fertilizers are used. In this research, the effect of foliar spraying of three calcium-containing compounds (calcium acetate, calcium chelate, and calcium nitrate) on the concentration of calcium, magnesium, and phosphorus in the aerial and root parts, as well as two growth factors, including the height and diameter of pistachio seedlings, in two bases of Qazvini and Badami Zarand were investigated. In order to control the nutritional conditions of the plant, pistachio seeds were planted in hydroponic substrate and complete nutrient solution without calcium was used. The data were statistically analyzed in a completely randomized statistical design with the help of Duncan test. The results showed that foliar application of different calcium-containing compounds had no significant effect on calcium concentration of pistachio seedlings. However, the use of calcium in the nutrient solution of the culture medium and also the type of cultivar had a significant effect on the calcium concentration in the plant. Also, foliar application of calcium acetate caused a significant increase in phosphorus concentration in the plant. It seems that foliar application of calcium acetate probably increased phosphorus uptake due to its acidic nature. The results showed that the spraying of different calcium compounds had no significant effect on the calcium concentration of pistachio seedlings. However, the use of calcium element in the nutrient solution of the culture medium and also the type of cultivar were significantly effective on the concentration of calcium in the plant. Also, calcium acetate spraying caused a significant increase in phosphorus concentration in the plant.

Keywords: Calcium, Foliar application, Hydroponic, Pistachio seedlings.

*نویسنده مسئول: marieh_nadi@yahoo.com

۱- مقدمه

کلسیم به‌عنوان یکی از عناصر ضروری گیاه، اثرات مطلوبی در به تاخیر انداختن پیری و کنترل فیزیولوژیکی اختلالات در میوه‌ها و سبزی‌ها دارد. در میوه‌ها و سبزی‌ها جهت سازگاری کارآمد با شرایط مختلف محیطی، سلول‌ها باید با هم در ارتباط باشند. در این میان نقش بارز یون‌های کلسیم به‌عنوان پیام‌رسان‌های بین‌سلولی مطرح است. از جنبه فیزیولوژی، کلسیم به‌عنوان یک عنصر موثر در تغییرات ساختمان دیواره سلولی و نفوذپذیری غشاء سلول و همچنین کنترل‌کننده فعالیت آنزیم‌ها شناخته شده است. مطالعات نشان داده که کلسیم و کالمودولین تاحدودی تنظیم‌کننده نقش‌های اصلی سلول هستند. بررسی‌های انجام شده بر روی پیری برگ و رسیدن میوه نشان داد که نسبت پیری اغلب با موقعیت کلسیم در بافت وابسته است، به‌طوری که افزایش میزان کلسیم پارامترهای مختلف پیری مانند تنفس، پروتیئن، میزان کلروفیل و سیالیت غشاء را تغییر می‌دهد (Poovaiah, 1986). سایمون (۱۹۷۸) لهیده شدن، از هم پاشیدن سلول‌های گیاهی و در برخی موارد خشک‌شدن و گسترش محل نکروز شده در بافت‌های گیاهی را از علائم کمبود کلسیم به شمار آورده است. کلسیم برای ساختمان و عملکرد دیواره سلولی و غشاء ضروری است. به سه دلیل می‌توان اهمیت نقش کلسیم در غشاء سلولی را مطرح نمود: ۱-بر اثر کمبود کلسیم، غشاء سلولی دچار زوال می‌گردد، ۲- کلسیم ساختار واقعی غشاء را تغییر می‌دهد که این امر منجر به تغییر در سیالیت غشاء و تاثیر بر نفوذپذیری آب می‌شود، ۳- کلسیم می‌تواند نحوه فعالیت‌های فیزیولوژیکی که به‌ویژه با نقش غشاء در ارتباط هستند را تغییر دهد. به‌طور مثال می‌تواند باعث انتقال بعضی یون‌ها به داخل غشاء گردد (Poovaiah, 1986). کمبود کلسیم در گیاهان مختلف موجب اختلالاتی در میوه می‌گردد. به‌طور مثال، کمبود کلسیم در سیب موجب ایجاد یک عارضه شایع به نام لکه تلخی سیب (Bitter pit) می‌شود که کاهش کیفیت میوه را به دنبال دارد (Jemric *et al.*, 2016). نقش کلسیم در عارضه پوسیدگی گلگاه در محصولاتی نظیر گوجه فرنگی، بادمجان، فلفل و هندوانه نیز بررسی و تایید شده است (Taylor and Locascio, 2004). فراست و کرچمن (۱۹۸۹) بیان داشتند که در شرایط تنش کمبود کلسیم، کیفیت خیار و بذر آن کاهش یافت. در تحقیقی در لهستان، اثر محلول‌پاشی بر درختان سیب میوه‌دار با مخلوطی از ترکیبات کلسیم‌دار شامل استات کلسیم، کلرید کلسیم و نیترات کلسیم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی کلسیم بر معیارهای عملکرد، میانگین وزن میوه و غلظت جامدات محلول، اسیدیته و شاخص نشاسته میوه در زمان برداشت تأثیری نداشت. با این حال، در هنگام برداشت، سیب‌های اسپری شده با کلسیم، حاوی مقدار بیشتری از این ماده مغذی بودند و نسبت به درختان شاهد سفت‌تر بودند. همچنین پس از انبارداری، سیب‌های اسپری شده با کلسیم، مقدار اسید بیشتری داشتند، و کمتر دچار عارضه لکه‌تلخ شدند. محلول‌پاشی کلسیم روی غلظت ترکیبات جامد موجود در میوه، پس از ذخیره‌سازی تأثیری نداشت، اما پوسیدگی پس از برداشت میوه را کاهش داد و سیب‌های اسپری شده کمترین آسیب را تحت تأثیر عوامل بیماری‌زا متحمل شدند (Wojcik and Borowik, 2013).

به نظر می‌رسد کلسیم نقش موثری بر کاهش تنش شوری در گیاه دارد. اثر کلسیم بر کاهش سمیت برخی عناصر مانند سدیم و منیزیم در محیط ریشه گیاه بررسی و تایید شده است (Kaya *et al.*, 2002). در پسته به‌عنوان یکی از محصولات مهم باغی

کشور، کلسیم نقش مهمی ایفا می‌کند. نقش کلسیم در تشکیل یا کاهش ریزش میوه قبل از سخت شدن پوسته استخوانی در رقم عباسعلی توسط شرافتی و همکاران (۲۰۱۶) بررسی گردید. آنها اعلام داشتند که ترکیبات کلسیم، دفعات محلول‌پاشی و اثرات متقابل آنها بر تعداد پسته در خوشه اثری نداشت، در حالیکه اثر ترکیبات کلسیم بر درصد مغز، درصد خندانی، درصد کلسیم برگ و میزان کلسیم میوه معنی‌دار بود. در تحقیقی که در موسسه تحقیقات پسته انجام شد، نقش موثر دو عنصر کلسیم و منیزیم در عارضه لکه پوست‌استخوانی تایید گردید (هاشمی‌راد و همکاران، ۱۳۸۵). سایر محققین نیز کمبود کلسیم را منشاء عارضه لکه پوست‌استخوانی در پسته عنوان نمودند (Sajadian and Hokmabadi, 2011; Sadr et al ., 2019 a)

استفاده از ترکیبات مختلف کلسیمی به‌صورت مصرف خاکی و محلول‌پاشی راهکاری است که کشاورزان در سال‌های اخیر برای پیشگیری از این عارضه به کار می‌گیرند. استفاده از ترکیباتی چون کلات‌های کلسیم، گچ، نیترات کلسیم و غیره برای تامین کلسیم مورد نیاز گیاه به منظور پیشگیری از عارضه لکه پوست‌استخوانی، رایج است (Sajadian and Hokmabadi, 2011). در تحقیقی از نانو کلات‌های کلسیمی و منیزیمی و سایر عناصر میکرو شامل آهن، روی، مس و منگنز برای کنترل این عارضه استفاده گردید. نتایج نشان داد که استفاده از عناصر غذایی به کاهش عارضه کمک می‌نماید و در بین عناصر، کلسیم، مس و منیزیم به ترتیب نقش بیشتری در کنترل عارضه داشتند (Sadr *et al.*, 2019 b). با توجه به توصیه برخی از کارشناسان برای محلول‌پاشی کودهای کلسیم‌دار با هدف جذب برگی و افزایش کلسیم و برخی از عناصر دیگر در گیاه لازم است که این امر در شرایط قابل پایش مانند روش آبکشت یا هیدروپونیک مورد بررسی قرار گیرد. آبکشت یکی از روش‌های کشت محصولات گلخانه‌ای است که به دلیل استفاده از محلول غذایی در بستر آب، کنترل شرایط تغذیه گیاه میسر است. بنابراین استفاده از این روش در تحقیقات تغذیه گیاهانی که در گلخانه تولید می‌شوند، بسیار ارزشمند است. در این تحقیق نیز از محیط کشت هیدروپونیک به دلیل امکان کنترل دقیق عناصرغذایی، حذف کلسیم از محیط و کاهش خطاهای محیطی و در نتیجه بررسی دقیق‌تر استفاده شد. هدف این تحقیق بررسی اثر محلول‌پاشی سه نوع ترکیب کلسیم شامل استات کلسیم، کلات کلسیم و نیترات کلسیم بر غلظت عناصر کلسیم، منیزیم و فسفر نهال پسته در شرایط وجود و عدم وجود کلسیم در محیط ریشه بر روی دو پایه قزوینی و بادامی زرند می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

این تحقیق در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده پسته، واقع در شهرستان رفسنجان انجام شد. بذرهای پسته دو رقم بادامی زرند (B) و قزوینی (G) به‌عنوان پایه مورد مطالعه انتخاب شدند. بذرهای هم اندازه جهت استریل شدن به مدت ۱۰ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد قرار داده شدند. سپس ۱۰ بار با آب مقطر استریل شسته شده و برای حذف کامل محلول هیپوکلریت سدیم، به مدت ۲۴ ساعت در یک ظرف سربسته استریل خیسانده شدند. در مرحله آخر، بذرها آبکشی و برای جوانه‌زدن در پارچه نخی استریل به مدت یک هفته در یخچال قرار داده شدند. پس از جوانه‌زنی، بذرها در گلدان‌های مخصوص هیدروپونیک کشت گردیدند. پس از یک‌ماه محلول غذایی کامل (HF) با نام تجاری هادر ۱۱ محصول شرکت برافزا کشاورز پارس به گلدان‌ها اضافه شد. این ترکیب غذایی شامل عناصر پرمصرف و کم‌مصرف (جدول ۱) می‌باشد که به دلیل حلالیت بهتر عناصر در دو بسته جداگانه ارائه می‌شود. نوع A

جدول ۱- غلظت عناصر موجود در کود هادر ۱۱ نوع A و B

	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	بور	منگنز	روی	مولیبدن	آهن	گوگرد
نوع						%					
A	۸/۰۷	۲/۶۲	۱۹/۳۲	–	۴/۱۳	۰/۰۴۵	۰/۰۵۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۲۴	۵/۵۴
B	۱۲/۷۸	–	–	۲۶/۶	–	–	–	–	–	–	–

حاوی ده عنصر و نوع B حاوی دو عنصر می‌باشد که پس از انحلال جداگانه در آب مقطر، با هم مخلوط شدند. در تیمارهای فاقد کلسیم (H) از همین ترکیب اما فاقد عنصر کلسیم تهیه و به گلدان‌ها اضافه گردید. محلول‌های غذایی به‌صورت ماهیانه تعویض شدند.

پس از ده روز از زمان تغذیه بذور، محلول‌های کلسیم‌دار شامل کلات کلسیم، نیترات کلسیم و استات کلسیم با غلظت ۲ در هزار تهیه و همه گلدان‌ها در ۴ نوبت و با فاصله ۵ روز یکبار محلول‌پاشی شدند. پس از گذشت ۴ ماه، ارتفاع گیاه (H) از محل طوقه با استفاده از خط‌کش و قطر ساقه (D) در محل طوقه با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. گیاهان برداشت شده در محیط آزمایشگاه شسته شده و جهت خشک شدن در پاکت‌های کاغذی، به مدت ۴۸ ساعت در آون با درجه حرارت ۶۵ تا ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. مقدار یک گرم از نمونه‌های خشک‌شده، پودر شده در کوره الکتریکی و در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت نیم ساعت خاکستر گردید و پس از هضم با اسید کلریدریک ۱ نرمال عصاره‌گیری شد (Kalra, 1997). برای اندازه‌گیری غلظت عناصر کلسیم و منیزیم از روش تیتراسیون باEDTA (Barrows and Simpson, 1962) و برای اندازه‌گیری غلظت فسفر از روش رنگ‌سنجی (Murphy and Riley, 1962) استفاده گردید. داده‌های مربوط به ۱۶ تیمار شامل دو پایه قزوینی و بادامی زرند (Type)، دو محلول غذایی با و بدون کلسیم (Solution)، چهار ترکیب محلول‌پاشی (Treatment)، در شش تکرار در قالب طرح آماری کاملا تصادفی با کمک آزمون دانکن، با استفاده از نرم افزارهای Excel و SPSS مورد آنالیز آماری قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس(جدول ۲)، محلول‌پاشی ترکیبات مختلف کلسیم‌دار(استات کلسیم، کلات کلسیم و نیترات کلسیم) مورد استفاده در این تحقیق تاثیر معنی‌داری بر غلظت کلسیم نهال پسته نداشت.

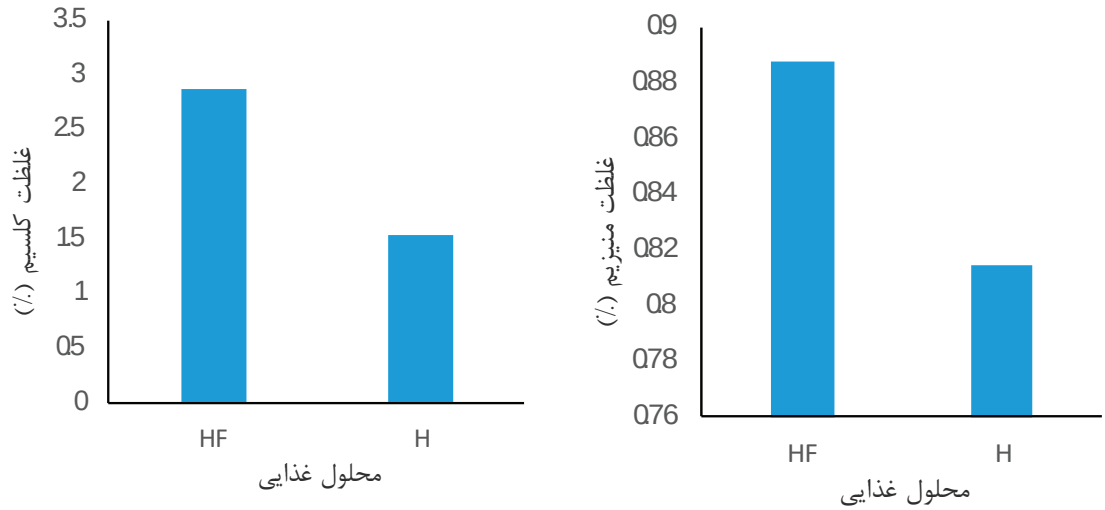
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، نوع محلول غذایی در میزان غلظت کلسیم و منیزیم گیاه اثر معنی‌داری داشت. بر اساس شکل شماره یک، محلول غذایی کامل (HF) نسبت به محلول غذایی فاقد کلسیم (H)، تاثیر معنی‌داری بر افزایش غلظت کلسیم و منیزیم گیاهان تیمار شده داشت. در بین پایه های قزوینی و بادامی زرند نیز تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت کلسیم، منیزیم و فسفر گیاه وجود داشت (جدول ۱).

غلظت کلسیم و منیزیم گیاه در پایه بادامی (B) نسبت به قزوینی (G) بیشتر بود (شکل ۲). یکی از مزایای پایه‌های مقاوم، عملکرد آنها در جذب عناصر غذایی و مقاومت آنها در برابر تنش‌ها می‌باشد.

جدول ۱- غلظت عناصر موجود در کود هادر ۱۱ نوع A و B

پارامترها	درجه آزادی	کلسیم	منیزیم	فسفر	ارتفاع	قطر
تیمارهای محلول‌پاشی	۳	۰/۵۵۷ ns	۰/۰۱۶ ns	۰/۰۷۷ **	۰/۱۱۳ ns	۰/۱۱۴ ns
محلول غذایی	۱	۴۴/۲۳۳ **	۰/۱۲۹ **	۰/۰۰۳ ns	۴/۲۴۵ **	۳۰/۱۲۳ **
نوع پایه	۱	۶۲/۲۵۲ **	۰/۰۴۶ *	۰/۲۳۳ **	۷/۶۰۲ **	۰/۱۸۶ns
CV %	–	۲۴/۹۶	۹/۷۵	۱۱/۰۴	۱۴/۱۸	۱۷/۸

ns، *، ** به ترتیب بدون اختلاف معنی‌دار، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۰۵/ و ۰۱/۰

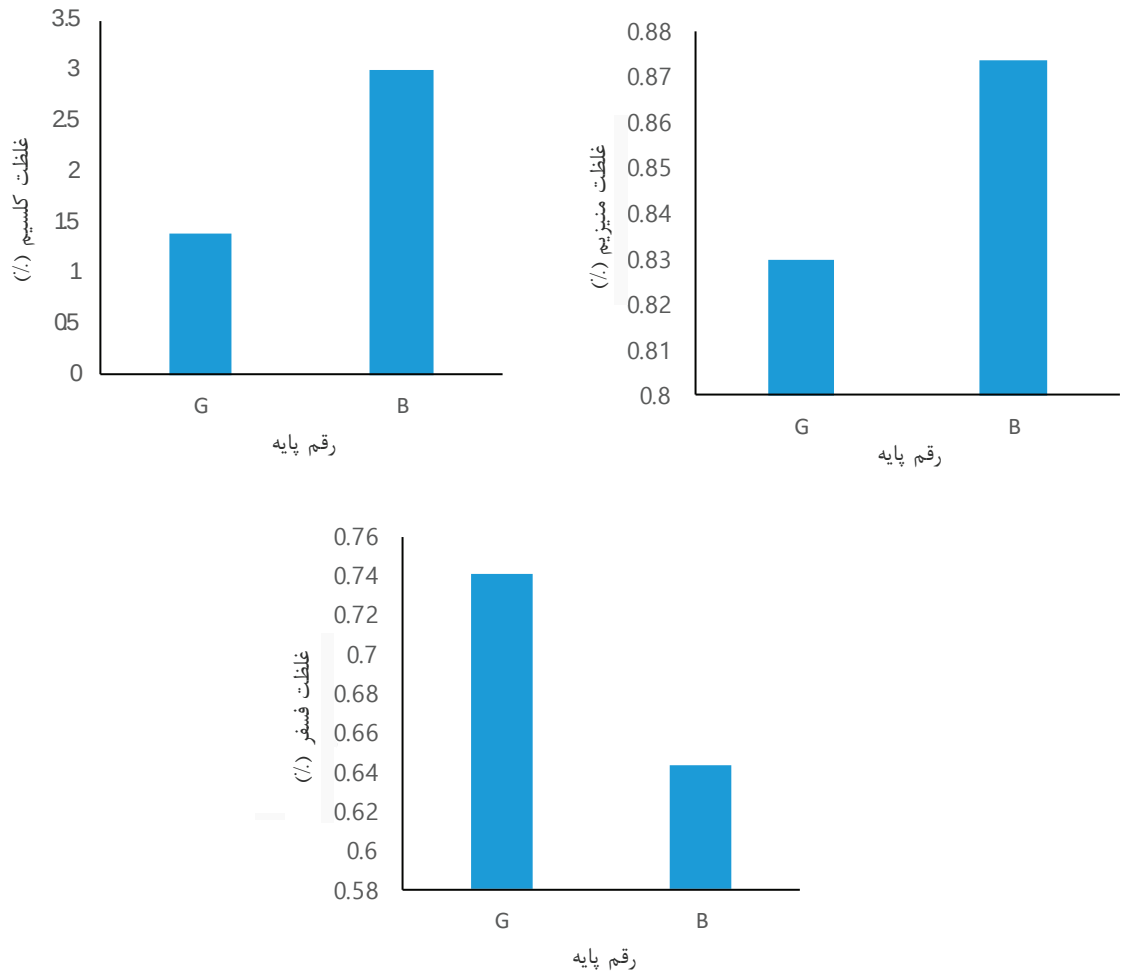


شکل ۱- اثر استفاده از کلسیم در محلول غذایی ریشه بر غلظت کلسیم و منیزیم در گیاهان تغذیه شده از محلول غذایی کامل (HF) و بدون کلسیم (H)

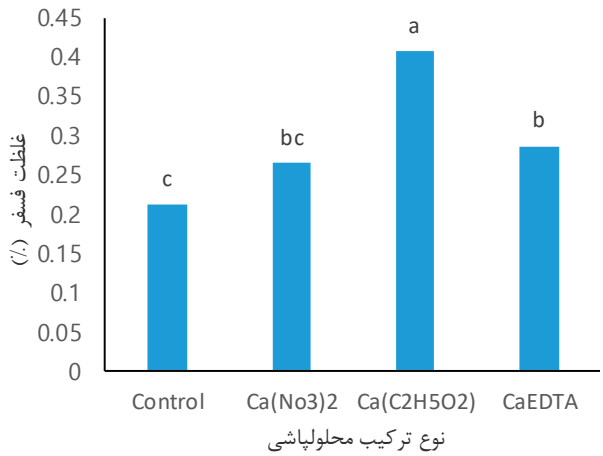
در مورد عنصر فسفر نتیجه متفاوت بود و پایه قزوینی غلظت بیشتری از فسفر را نشان داد (شکل ۲). تفاوت معنی‌داری در غلظت عناصر در تیمارهای محلول‌پاشی شده به جز در مورد عنصر فسفر وجود نداشت (جدول ۱). از بین تیمارها، استات‌کلسیم باعث افزایش جذب فسفر توسط گیاه شده بود (شکل ۳). فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر پرمصرف مورد نیاز گیاهان می‌باشد که نقش بسیار مهمی در تولید و انتقال انرژی گیاه دارد (Wagar *et al.*, 2004).

این‌طور به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی استات کلسیم احتمالا به دلیل ماهیت اسیدی خود، باعث افزایش جذب فسفر شده است. اسیدهای آلی فواید زیادی برای گیاهان دارند، از جمله تغذیه گیاه، افزایش سرعت جوانه‌زنی، فعال‌کردن ریشه‌زایی و رشد ساقه‌زنی، افزایش محتوای کلروفیل و افزایش راندمان جذب عناصر (Abed Jeber and Khaeim, 2019).

محلول‌پاشی اسیدهای آلی پمپاژ پروتون به داخل ریشه‌ها را پشتیبانی کرده و موجب جریان اسیدهای آلی و پروتون در ریشه می‌گردد. این امر قابلیت جذب یون‌ها به‌ویژه ازت و فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهد (Jafari and Hadavi, 2012). هنگامی که اسیدهای آلی بر روی برگ گیاه محلول‌پاشی می‌شوند، محتوای کلروفیل برگ افزایش و به‌دنبال آن میزان فتوسنتز گیاه نیز افزایش می‌یابد (liu *et al.*, 1998). اسیدهای کربوکسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شوند (Delfine et al., 2005) و از آنجا که فسفر یکی از عناصر مورد نیاز در فرآیند فتوسنتز است، جذب فسفر توسط گیاه افزایش می‌یابد.



شکل۲- اثر رقم‌های قزوینی (G) و بادامی زرند (B) بر غلظت کلسیم، منیزیم و فسفر جذب شده توسط گیاه

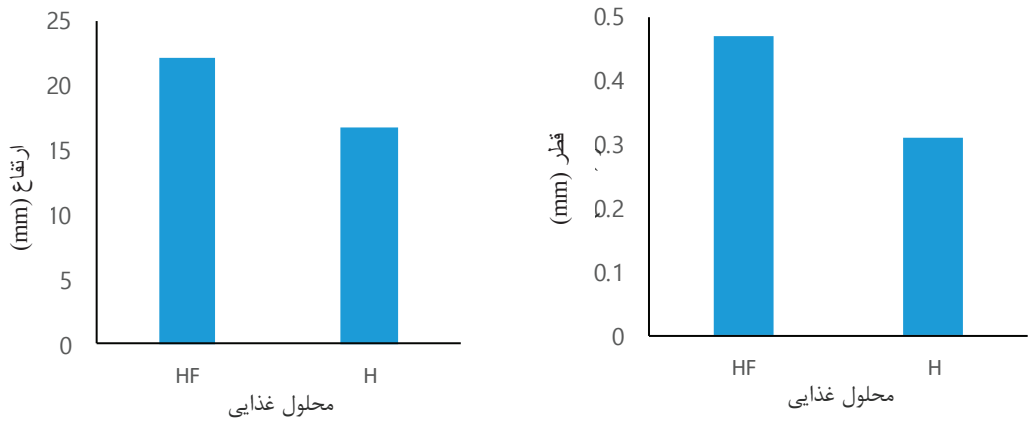


شکل ۳- اثر محلول‌پاشی استات کلسیم با سایر ترکیبات کلسیم‌دار بر میزان فسفر گیاه

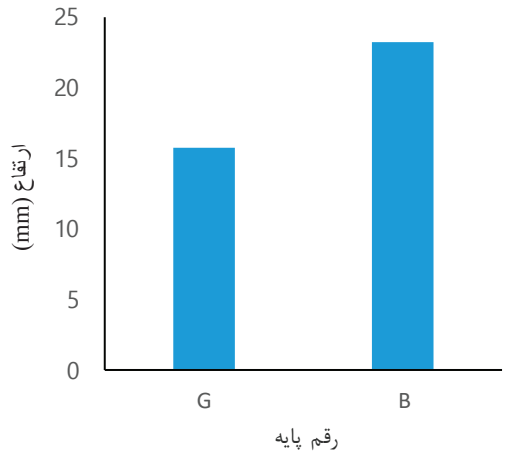
در صفات رشدی، اختلاف معنی‌داری بین نوع محلول غذایی بر ارتفاع نهال و قطر طوقه مشاهده شد (جدول ۱)، همانطور که انتظار می رفت، در بین دو محلول کامل و بدون کلسیم، محلول کامل نتایج بهتری نشان داد (شکل ۴).

نوع رقم تاثیر معنی‌داری بر طول بوته داشت، این صفت در رقم بادامی به صورت معنی‌داری بیشتر از رقم قزوینی بود (شکل ۵). نتایج مربوط به پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی حاصل از تحقیق حکم آبادی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که پایه بادامی زرند از لحاظ شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی مورد بررسی شامل ارتفاع نهال، طول ریشه، وزن تر و خشک، هدایت روزنه‌ای و غیره نسبت به دو پایه قزوینی و سرخس برتر است.

در صفات رشدی اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای محلول‌پاشی شده، مشاهده نشد (جدول ۱). نتایج این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی ترکیبات نیترات، استات و کلات کلسیم تاثیر معنی‌داری بر غلظت کلسیم گیاه ندارد و در واقع احتمال جذب کلسیم در گیاه از طریق محلول‌پاشی برگ پایین بوده و به احتمال زیاد جذب کلسیم از طریق سیستم ریشه گیاه صورت می‌پذیرد. بر اساس مطالعات انجام شده، کلسیم از محلول خاک توسط سیستم ریشه جذب می‌شود و از طریق آوندهای چوبی به اندام هوایی منتقل می‌گردد (White and Broadley, 2003). انتقال کلسیم به آوند چوبی محدود به نوک ریشه و مناطقی است که ریشه‌های جانبی در آنها شروع می‌شود (Clarkson, 1993; White, 2001). انتقال عناصرغذایی از سطح ریشه به سمت آوندهای چوبی می‌تواند هم از مسیر آپوپلاستی (بین‌سلولی) و هم از مسیر سیم‌پلاستی (سیتوپلاسمی) انجام شود (White and Broadley, 2003). در مورد کلسیم به‌دلیل نقش سیگنالی و غلظت پایین آن در سیتوپلاسم، انتقال اغلب از مسیر آپوپلاستی انجام می‌گیرد (White, 1998). منطقه جذب کلسیم، بخش انتهایی ریشه است که نوار کاسپارین در محل سلول‌های اندودرم هنوز تشکیل نشده یا به‌طور کامل تکامل نیافته است. در بخش‌هایی که نوار کاسپارین تشکیل نشده، انتقال کلسیم بیشتر از مسیر آپوپلاستی تا آوندهای چوبی انجام می‌شود. اما در بخش‌هایی که نوار کاسپارین در حال تشکیل است، کلسیم از سلول‌های اپیدرمی تا سلول‌های اندودرم از مسیر آپوپلاستی منتقل می‌شود و در محل سلول‌های اندودرم، به‌دلیل وجود نوار کاسپارین، از طریق کانال‌های پروتئینی به داخل سلول منتقل و سپس از طریق پمپ‌های کلسیمی و با صرف انرژی به سلول‌های پریسیکل (دایره محیطیه) منتقل و در نهایت به آوندهای چوبی می‌رسد (White and Broadley, 2003). در بخش‌هایی که نوار کاسپارین به‌طور کامل تکامل یافته، انتقال کلسیم به آوندهای چوبی هم از مسیر آپوپلاستی و هم از مسیر سیم‌پلاستی مهار می‌شود. بنابراین ریشه در طول سال از طریق سلول‌های تمایز نیافته انتهای ریشه و ریشه‌چه‌ها مرتب در حال جذب کلسیم است. هدایت کلسیم به آوند چوبی از طریق مسیر آپوپلاستیک به طور قابل توجهی تحت تأثیر تعرق قرار دارد، که می‌تواند منجر به تغییراتی در مقدار کلسیم وارد شده به شاخه و ایجاد اختلالات کلسیم شود (White and Broadley, 2003؛ McLaughlin and Wimmer, 1999). به‌عبارت دیگر، اگر تبخیر و تعرق کم باشد، جذب و انتقال کلسیم نیز توسط گیاه، کاهش پیدا می‌کند. از طرفی جذب کلسیم بیشتر از منطقه تارهای کشنده و بخش‌های جوان ریشه انجام می‌گیرد. بنابراین برای جذب حداکثر کلسیم، بایستی یک تعادل بین تبخیر و تعرق و ریشه‌زایی وجود داشته باشد.



شکل ٤- تاثیر استفاده از کلسیم در محلول غذایی ریشه بر ارتفاع نهال و قطر طوقه در گیاهان تغذیه شده از محلول غذایی کامل (HF) و بدون کلسیم (H)



شکل ٥- تاثیر نوع رقم پایه استفاده شده بر ارتفاع نهال

٤- نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج حاصل از این تحقیق به نظر می‌رسد عمده جذب کلسیم از طریق ریشه صورت گرفت و محلولپاشی برگی علیرغم نازک بودن کوتیکول برگ نهال‌های پسته تاثیری بر غلظت کلسیم گیاه نداشت. از طرفی محلول‌پاشی ترکیب کلسیم‌دار با پایه اسیدآلی باعث افزایش جذب فسفر از طرق ریشه گردید.

تضاد و تعارض منافع- نویسندگان هر گونه تعارض و تضاد منافع اعم از تجاری و غیر تجاری و شخصی را که در ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم با اثر منتشرشده است رد می‌نمایند.

منابع

Abed Jeber, B., & Khaeim, H. M. 2019. Effect of foliar application of amino acids, organic acids, and naphthalene acetic acid on growth and yield traits of wheat. Plant Archives. 19, 824-826.

Barrows, H. L., & Simpson, E. C. 1962. An EDTA method for the direct routine determination of

calcium and magnesium in soils and plant tissue. Soil Sci Soc Am J, 26: 443-445.

Clarkson, D. T. 1993. Roots and the delivery of solutes to the xylem. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, 341: 5-17.

Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E., & Alvino, A. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. Agron. Sustain. 25: 183-191.

Frost, D. & Kretchman, D. 1989. Calcium deficiency reduces cucumber fruit and seed quality. Journal of the American Society for Horticultural Science. 114: 552-556.

Hokmabadi, H. 2016. Study of the effects of environment temperature on uptake and movement of some nutrient element on several commercial pistachio rootstocks. MSc. Thesis on Horticulture, Shahrood University of Technology, 187 pages.

Jafari, N., & Hadavi, E. 2012. Growth and essential oil yield of Basil (Ocimum basilicum L.) as affected by foliar spray of citric acid and salicylic acid. Z Arznei- Gewurzpfla, 17: 80-83.

Jemric, T., Fruk, I., Fruk, M., Radman, S., Sinkovic, L., & Fruk, G. 2016. Bitter pit in apples: pre-and postharvest factors: A review. Spanish journal of agricultural research, 14: 15.

Kalra Y 1997. Handbook of reference methods for plant analysis. CRC press.

Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D., & Saltali, K. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. Scientia horticulturae, 93: 65-74.

Liu, C., Cooper, R. J., & Bowman, D. C. 1998. Humic acid application affects photosynthesis, root development, and nutrient content of creeping bentgrass. Hort Science. 33:1023-1025.

Murphy, J., & Riley, J. P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal Chim Acta, 27: 31-36.

Poovaiah, B. 1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. Food Technol, 40: 86-89.

McLaughlin, S. B., & Wimmer, R. 1999. Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes. New Phytologist. 142:373-417.

Sadr, S., Mozafari, V., Shirani, H., Alaei, H., & Tajabadi Pour, A. 2019 a. Selection of the most important features affecting pistachio endocarp lesion problem using artificial intelligence techniques. Scientia horticulturae, 246: 797-804.

Sadr, S., Mozafari, V., Shirani, H., Alaei, H., Tajabadi Pour, A., & Rajabi Behjat, A. 2019 b. Control of pistachio endocarp lesion by optimizing the concentration of some nutrients using taguchi method. Scientia horticulturae, 256: 108575.

Sajadian, H. & Hokmabadi, H. 2011. Investigation on effects of calcium nitrate, calcium sulfate (soil application) and calcium chelate as foliar spray on Endocarp Lesion disorder and some qualitative characteristics of pistachio nut cv. Akbari. International Journal of Nuts and Related Sciences, 2: 23-28.

Sherafati, A. H., Taherian, M., & Hosseinifard, S. J. 2016. Effect of foliar application of calcium compounds on the formation and development of pistachio nuts. 9th Congress of Horticultural Sciences, Ahvaz, Iran.

Simon, E. 1978. The symptoms of calcium deficiency in plants. New Phytologist, 80: 1-15.

Taylor, M. D. & Locascio, S. J. 2004. Blossom-end rot: A calcium deficiency. Journal of Plant Nutrition, 27: 123-139.

Wagar, A., Shahrna, B., Zahir, Z. A., & Arshad, M. 2004. Inoculation with ACC- deaminase containing rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. Pakistan Journal of Agriculture, 41: 119-124.

White, P. J. 1998. Calcium channels in the plasma membrane of root cells. Annals of Botany, 81: 173-183.

White, P. J. 2001. The pathways of calcium movement to the xylem. Journal of Experimental Botany, 52: 891-899.

White, P. J., & Broadley, M. R. 2003. Calcium in plants. Annals of Botany, 92: 487-511.

Wojcik, P., & Borowik, M. 2013. Influence of preharvest sprays of mixture of calcium formate, calcium acetate, calcium chloride and calcium nitrate on quality and jonagold apple storability. Journal of Plant Nutrition, 36: 2023-2034.