"مجله علوم زراعی ایران"
جلد بیستم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷

اثر نیترات کلسیم بر عملکرد ارقام سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در شرایط تنش گرمای انتهای فصل در جنوب استان کرمان

Effect of calcium nitrate on yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars under terminal heat stress condition in south of Kerman province

احمد آئین[۱] و امیر جلالی[۲]

چکیده

آئین، ا. و ا. جلالی. ۱۳۹۷. اثر نیترات کلسیم بر عملکرد ارقام سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در شرایط تنش گرمای انتهای فصل در جنوب استان کرمان. **مجله علوم زراعی ایران. ۲۰(۳): ۲۰۸-۱۹۳.**

گرمای شدید انتهای فصل رشد در زراعت زمستانه سیب‌زمینی، یکی از چالش‌های مهم تولید این محصول در مناطق گرم کشور از جمله جنوب استان کرمان است. به‌منظور شناسایی راهکار مناسب برای کاهش خسارت تنش گرمای انتهای فصل، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال (۹۳-۱۳۹۱) در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی جنوب کرمان (جیرفت) اجرا شد. عامل اصلی تنش گرمای انتهای فصل در دو سطح: بدون تنش (کاشت به‌موقع؛ ۱۰ دی) و تنش گرمای انتهای فصل (کاشت دیرهنگام؛ ۱۵ بهمن)، عامل فرعی ارقام سیب زمینی در سه سطح: سانته، ساتینا و میلوا و عامل فرعی فرعی مصرف کلسیم در چهار سطح: عدم مصرف، محلول‌پاشی نیترات کلسیم با غلظت ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در دو مرحله و سه مرحله و مصرف نیترات کلسیم به‌صورت خاکی به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله بودند. نتایج نشان داد که تنش گرما باعث کاهش عملکرد غده قابل فروش و میانگین وزن و تعداد غده قابل فروش در بوته شد. ارقام سانته و ساتینا در شرایط بدون تنش به ترتیب با ۴۷/۱۵ و ۴۴/۹ تن در هکتار بیش‌ترین عملکرد غده قابل فروش را داشتند، اما در شرایط تنش گرمای انتهای فصل، بین عملکرد قابل فروش ارقام مورد بررسی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. مصرف نیترات کلسیم باعث بهبود عملکرد غده کل، عملکرد غده قابل‌فروش و غیر قابل فروش و اجزای عملکرد ارقام سیب زمینی شد و تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار (خاک‌مصرف) به‌طور معنی‌داری برتر از سایر تیمارها بود. اثر متقابل تنش گرمای انتهای فصل رشد و مصرف نیترات کلسیم بر عملکرد عملکرد غده کل، عملکرد غده قابل فروش، میانگین وزن مجموع غده‌های قابل فروش و غیر قابل فروش و تعداد غده قابل فروش و غیر قابل فروش معنی‌دار بود. مصرف خاکی ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم در شرایط بدون تنش و تنش گرمای انتهای فصل به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰/۵ درصدی و ۲۴/۵ درصدی عملکرد غده قابل فروش ارقام سیب زمینی شد که این موضوع نشان دهنده اثر نیترات کلسیم در تعدیل اثر سوء تنش گرمای انتهای فصل در ارقام سیب زمینی است. بر اساس نتایج این آزمایش، مصرف خاکی نیترات کلسیم یک روش مناسب برای کاهش اثر نامطلوب تنش گرمای انتهای فصل در زراعت زمستانه سیب‌زمینی به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: تنش گرما، زراعت زمستانه، سیب‌زمینی، عملکرد غده و نیترات کلسیم.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۰ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به شماره مصوب ۹۱۲۹۵-۰۳-۷۰-۴ می‌باشد

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: A.Aien@areeo.ac.ir)

۲- کارشناس ارشد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران

مقدمه

تولید سیب‌زمینی در مناطق گرم جنوب کشور ازجمله جنوب استان کرمان همواره با چالش گرمای اول فصل در کشت پاییزه (کشت اول) و گرمای شدید انتهای فصل در کشت زمستانه (کشت دوم) همراه است. تنش گرما به‌خصوص در کشت دوم، باعث کاهش عملکرد، افت کیفیت و مدت انبارمانی غده‌ها می‌شود. سیب‌زمینی نیاز به آب و هوای خنک داشته و دمای مناسب برای آن در مرحله رشد رویشی ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد، غده دهی ۲۰ درجه سانتی‌گراد و فتوسنتز ۲۵-۱۶ درجه سانتی‌گراد است. دما اثر زیادی بر تسهیم مواد پرورده به اندام‌های مختلف گیاه سیب زمینی دارد. دمای بالا (تنش گرما) تسهیم مواد پرورده به غده را کاهش و حرکت آنها به سمت اندام‌های هوایی گیاه را افزایش می‌دهد (Van Dam *et al.,* 1996; Aien, 2010; Lafta and Lorenzen 1995; Wolf *et al.,* 1991). سینگ و همکاران (Singh *et al.,* 2009) برآورد کردند که تولید سیب‌زمینی در هند تا سال ۲۰۵۰ در اثر گرم شدن کره زمین به میزان ۱۳/۷۲ درصد کاهش می‌یابد. کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی در شرایط تنش گرما توسط برخی از محققان گزارش شده است (Lafta and Lorenzen 1995; Levy and veilleux, 2007; Aien, 2010).

کلسیم از عناصر ضروری تشکیل دهنده دیواره سلولی و فعال‌کننده آنزیم فسفاتاز بوده و نقش حیاتی در تشکیل کربوهیدرات‌ها و توسعه سیستم ریشه‌ای دارد. کلسیم در ساختمان تیغه میانی سلول‌ها و بافت‌های گیاهی به‌صورت پکتات کلسیم وجود داشته و باعث استحکام دیواره سلولی می‌شود. تجزیه پکتات‌ها به‌وسیله آنزیم پلی گالاکتوروناز صورت می‌گیرد. زمانی که کلسیم به‌اندازه کافی موجود باشد، از تخریب پکتات‌ها جلوگیری می‌شود. (Malekoti and Rezaee, 2001). کلسیم وظایف بسیار مهمی در گیاه دارد. وجود کلسیم برای حفظ یکپارچگی دیواره سلولی و ساختار غشاء ضروری است و در بسیاری از فرآیندهای طبیعی رشد و نمو از جمله تقسیم سلول، رشد طولی سلول، پاسخ به تنش‌های زیستی و غیر زیستی و پاسخ به پیام‌های هورمونی و تمایز و نمو گیاه، به‌عنوان پیام‌آور ثانویه عمل می‌کند (Ruiz *et al.,* 2003; White and Broadley, 2003). بالا بودن غلظت کلسیم در ناحیه ریشه باعث بهبود پایداری غشای سلول و کارکرد بهتر سلول شده و در نتیجه گیاه را نسبت به تنش گرما متحمل می‌نماید (Tawfik *et al.,* 1996). کلسیم باعث تنظیم فرآیند غده‌زایی در سیب‌زمینی می‌شود (Jackson, 1999). کلسیم احتمالاً در پیام‌های هورمونی غده‌زایی در سیب‌زمینی نقش داشته و باعث تحریک و تسریع غده زایی و حجیم شدن غده‌های اولیه می‌شود (Palta and Kleinhenz, 2003). ثابت‌شده است که کلسیم باعث افزایش تحمل گیاه به تنش گرما می‌شود. مصرف کلسیم به شکل کلرید کلسیم قبل از وقوع تنش گرما باعث افزایش تولید مواد ممانعت کننده از پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود (Kafi *et al.,* 2010). نتایج آزمایش آناتومیکی برگ بوته‌های سیب‌زمینی رشد یافته در شرایط تنش گرما نشان داد که افزایش حجم سلول‌ها دچار اختلال شده و با افزوده شدن کلسیم به محیط ریشه، این اختلال مرتفع شد (Kleinhenz and Palta, 2002). یکی از راهکارهای مهم برای غلبه بر تنش گرما در سیب‌زمینی استفاده از ترکیبات کلسیم است. مطالعات زیادی در خصوص اثرات بهبود دهنده کلسیم بر کیفیت و عملکرد سیب‌زمینی در شرایط تنش گرمایی انجام‌شده است. کومار و همکاران (Kumar *et al.,* 2007) گزارش کردند که مصرف خاکی نیترات کلسیم در شرایط تنش گرما باعث افزایش عملکرد غده قابل‌فروش سیب‌زمینی (۱۹/۷ درصد نسبت به شاهد) شد. راوال و همکاران (Rawal *et al.,* 2007) گزارش کردند که مصرف کلسیم به صورت گچ ($CaSO_4.2H_2O$) باعث‌کاهش میزان خسارت تنش گرما (از ۳۰ درصد در تیمار شاهد به ۱۶/۴ درصد) شد. نتایج آزمایش کومار و مینهاس (Kumar and Minhas, 2001) نشان داد که محلول‌پاشی نیترات کلسیم باعث تعدیل اثر سوء تنش گرما بر رشد و عملکرد ارقام سیب‌زمینی شده و عکس‌العمل ارقام به محلول‌پاشی کلسیم متفاوت بود. توفیق و همکاران (Tawfik *et al.,* 1996) در ارزیابی اثر مصرف

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

کلسیم و نیتروژن بر سیب‌زمینی در شرایط تنش گرما و اوزگن و پالتا (Ozgen and Palta, 2004) در ارزیابی اثر مصرف کلسیم بر کاهش اثر تنش گرما بر سیب‌زمینی نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2015) گزارش کردند که مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کلسیم در هکتار (از منبع گچ) در دو مرحله (هنگام کاشت و ۲۰ تا ۲۵ روز بعد از کاشت در مرحله خاک‌دهی پای بوته‌ها)، ضمن تعدیل اثرات تنش گرما، باعث افزایش عملکرد غده قابل‌فروش (۱۲ درصد) و کیفیت انباری غده‌ها در دو رقم سیب‌زمینی شد.

نتایج آزمایش دارابی (Darabi, 2007) نشان داد که ارقام سیب‌زمینی بینلا، آرینداً، سانته، کاسموس و آژاکس برای کاشت زمستانه و رقم سانته برای کاشت پاییزه در استان خوزستان مناسب بودند. حسن‌آبادی و همکاران (Hasanabadi *et al.*, 2002) در ارزیابی خصوصیات ارقام سیب‌زمینی برای کشت پاییزه، رقم سانته را به‌عنوان رقم برتر معرفی نمودند. یکی از راهکارهای مناسب برای کاهش اثر سوء تنش گرما در سیب‌زمینی، استفاده از کلسیم، به‌ویژه نیترات کلسیم، است. این آزمایش با هدف ارزیابی اثر استفاده از کلسیم به صورت نیترات کلسیم، به عنوان یک راه‌حل مناسب، ساده و اقتصادی، برای کاهش اثر نامطلوب تنش گرمای انتهای فصل در کشت زمستانه (کشت دوم) سیب‌زمینی در جنوب کشور اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی جنوب کرمان (جیرفت) اجرا شد. تنش گرما به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح؛ بدون تنش و تنش گرمای انتهای فصل، ارقام سیب‌زمینی به‌عنوان عامل فرعی در سه سطح؛ سانته، ساتینا و میلوا و کلسیم به‌عنوان عامل فرعی فرعی در چهار سطح؛ عدم مصرف کلسیم، محلول‌پاشی نیترات کلسیم با غلظت ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در دو مرحله (شروع غده‌زایی و ۲۰ روز بعد از غده زایی)، محلول‌پاشی نیترات کلسیم با غلظت ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در سه مرحله (شروع غده‌زایی، ۲۰ و ۴۰ روز بعد از غده‌زایی) و مصرف خاکی نیترات کلسیم (به صورت نواری و در دو طرف پشته‌ها) به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (شروع غده‌زایی و حجیم شدن غده‌ها) بودند. تنش گرما از طریق تغییر در تاریخ کاشت (به‌موقع و دیرهنگام در تاریخ ۱۵ بهمن) اعمال شد، به‌طوری‌که مرحله غده‌بندی و حجیم شدن غده‌ها با تنش گرما مواجه شود. شرایط بدون تنش از طریق کاشت به‌موقع (۱۰ دی) فراهم شد، به‌صورتی که گیاهان با تنش گرمای انتهای فصل مواجه نشدند (شکل ۱). عملیات خاک‌ورزی شامل شخم، دیسک و لولر طبق عرف منطقه انجام شد. هر کرت شامل پنج ردیف کاشت به طول چهار متر بود. فواصل بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قبل از کاشت جهت اطلاع از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

بر اساس نتایج آزمون خاک، در سال اول آزمایش ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و در سال دوم ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) در زمان تهیه بستر کاشت، به خاک

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

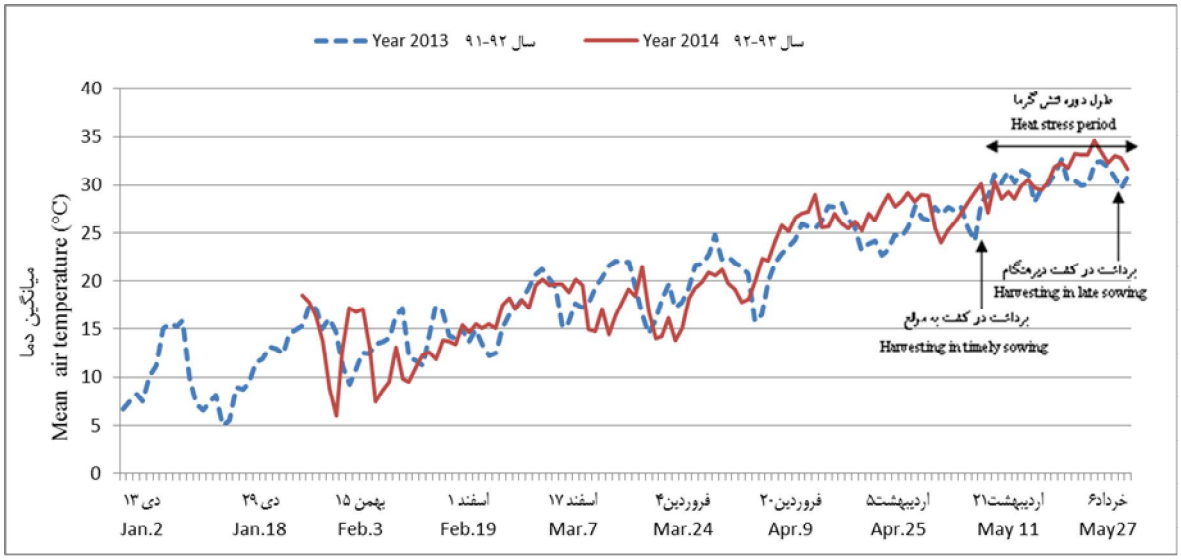
Table 1. Physical and chemical characteristics of soil in the experimental site

Year سال	Soil texture بافت خاک	EC (mmhos.cm^{-1}) هدایت الکتریکی	pH اسیدیته	Total N (%) نیتروژن کل	P (mg.kg^{-1}) فسفر	K (mg.kg^{-1}) پتاسیم	Ca (mg.kg^{-1}) کلسیم
2013 ۱۳۹۱-۹۲	Sandy loam شنی لومی	3.28	8	0.018	8	261	283
2014 ۱۳۹۲-۹۳	Sandy loam شنی لومی	2.35	7.7	0.015	12.6	379	216

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

افزوده شدند. کود نیتروژن به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) در مراحل کاشت، غده زایی و حجیم شدن غده‌ها به خاک داده شد. در تیمارهای نیترات کلسیم، مقدار نیتروژن استفاده شده با در نظر گرفتن محتوای نیتروژن نیترات کلسیم از کل کود نیتروژن مصرفی، کسر شد. بعلاوه ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منگنز همزمان با کاشت، به خاک داده شدند. مبارزه با علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها حسب نیاز انجام شد. آبیاری به‌صورت قطره‌ای (تیپ) و بر اساس نیاز گیاه انجام شد. در طول دوره رشد و نمو دمای هوا با نصب دستگاه دیتا لاگر دما در مزرعه، ثبت شد. میانگین دمای هوا در طول دوره رویش گیاه (کاشت تا برداشت) طی سال‌های ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ در شکل یک ارائه شده است. صفات و شاخص‌های اندازه‌گیری شده شامل موارد ذیل بودند:

تعداد غده در بوته و میانگین وزن غده به تفکیک قابل‌فروش و غیرقابل فروش: تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و تعداد غده در بوته و میانگین وزن غده‌ها اندازه‌گیری شد. غده‌های با وزن کم‌تر از ۲۵ گرم به‌عنوان غده‌های غیرقابل فروش در نظر گرفته شدند. عملکرد غده به تفکیک قابل‌فروش و غیرقابل فروش: از هر کرت دو ردیف میانی، پس از حذف حاشیه، برای اندازه‌گیری عملکرد غده درنظر گرفته شدند. برای تعیین ماده خشک غده، ۱۰۰ گرم برش از غده‌های درشت، متوسط و ریز هر تیمار انتخاب شده و سپس در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشکانده شده و پس از این‌که وزن آن‌ها به حد ثابتی رسید، توزین شدند (Hartmut and Sabine, 1997). پس از انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس به صورت مرکب با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.



شکل ۱- میانگین دمای هوا در طول دوره رویش گیاه سیب‌زمینی طی سال‌های ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲

Fig. 1. Mean air temperature during growth stages of potato in 2013 and 2014

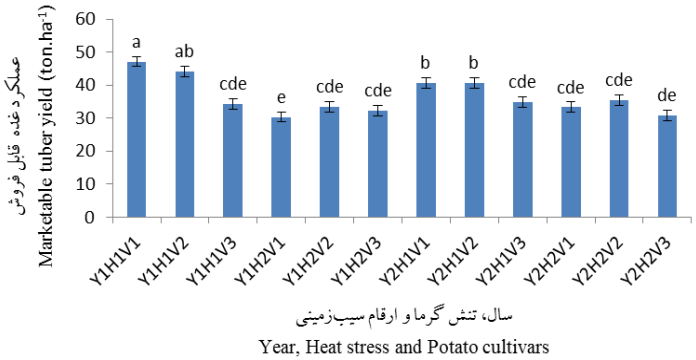
نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان دادکه اثر تنش گرما، رقم و نیترات کلسیم به‌صورت مستقل و اثر متقابل تنش گرما در سال، تنش گرما در رقم، تنش گرما در نیترات کلسیم در سطح یک درصد و اثر متقابل تنش گرما در رقم در سال در سطح پنج درصد بر عملکرد غده قابل فروش ارقام

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

سیب‌زمینی معنی‌دار بود. ارقام سانته و ساتینا در شرایط بدون تنش در سال اول (به‌ترتیب با عملکرد غده قابل فروش ۴۷/۱۵ و ۴۴/۰۹ تن در هکتار)، برتر از سایر تیمارها بودند (شکل ۲). ارقام مذکور در شرایط بدون تنش در سال دوم نیز بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، برتر از رقم میلوا در شرایط مشابه بودند. حسن‌آبادی و همکاران (Hasanabadi *et al.*, 2002) طی آزمایشی رقم سانته را برای کشت پاییزه در مناطق گرم جنوب کشور توصیه کردند. دارابی (Darabi, 2007) طی آزمایشی ارقام بینلا، آرینداء، سانته، کاسموس و آژاکس را برای کاشت زمستانه و رقم سانته را برای کاشت پاییزه در مناطق گرمسیر استان خوزستان نظیر بهبهان، توصیه نمود.

در شرایط عدم تنش بین عملکرد غده قابل فروش ارقام سانته، ساتینا و میلوا اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، اما در شرایط تنش گرما تفاوت معنی‌داری بین ارقام سیب‌زمینی وجود نداشت. کاهش شدید عملکرد غده قابل فروش ارقام مورد بررسی در شرایط تنش گرما نسبت به شرایط عدم تنش نشان داد که این ارقام برای مناطقی که مواجه با تنش گرمای انتهای فصل می‌باشند، مناسب نیستند. اخیراً ارقام سیب‌زمینی متحمل به تنش گرما معرفی شده‌اند که پتانسیل تولید بالاتری نسبت به ارقام رایج (غیرمتحمل) دارند. آئین (Aien, 2010) گزارش نمود که سیب‌زمینی رقم کوفری سوریا (Kufri Surya) (متحمل) در شرایط تنش گرما عملکرد بیش‌تری نسبت به رقم کوفری چیپسونا-۳ (Kufri Chipsona-3) داشت. سیب‌زمینی محصول فصل خنک است و دما اثر زیادی بر تسهیم مواد پرورده به اندام‌های مختلف گیاه دارد. دماهای بالا (تنش گرما) تسهیم مواد پرورده به غده‌ها را کاهش داده و انتقال آنها به سمت اندام‌های هوایی گیاه را افزایش می‌دهد (Wolf *et al.*, 1991; Lafta and Lorenzen 1995; Van Dam *et al.*, 1996 and Aien, 2010) به نظر می‌رسد که افزایش تنفس و کاهش تسهیم مواد پرورده به‌طرف غده‌ها در شرایط تنش گرما، باعث کاهش وزن غده‌ها و کاهش عملکرد غده می‌شود. کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی در شرایط تنش گرما توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Levy and Aien, 2010; Lafta and Lorenzen 1995; and veilleux, 2007). در این آزمایش نیز میانگین وزن غده‌های قابل فروش و میانگین تعداد غده‌های قابل‌فروش در بوته در شرایط تنش گرما کاهش معنی‌داری داشته و در مجموع باعث کاهش چشمگیر عملکرد غده قابل فروش گردید.



شکل۲- اثر متقابل سال در تنش گرما در رقم بر عملکرد غده قابل فروش ارقام سیب‌زمینی

Fig. 2. Interaction effect of year × heat stress × cultivar on marketable tuber yield of potato cultivars

سال (Y1= سال اول؛ ۹۲-۱۳۹۱ و Y2= سال دوم؛ ۹۳-۱۳۹۲)؛ تنش گرما (H1= کشت به‌موقع: ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2= کشت دیرهنگام: ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ ارقام سیب‌زمینی (V1= سانته، V2= ساتینا و V3= میلوا)

Y: Year (Y1: First year; 2013, Y2: Second year; 2014); H: Heat stress (H1: On time planting; normal, H2: Late planting; heat stress); V: Potato cultivars (V1: Sante, V2: Satena, V3: Milva)

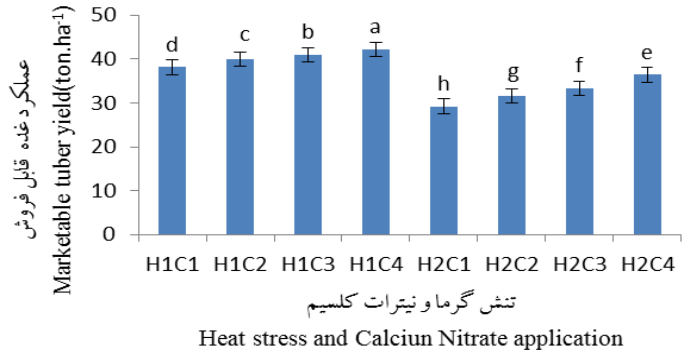
[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

نتایج نشان داد که اثرمتقابل تنش گرما و نیترات کلسیم بر عملکرد غده قابل فروش معنی‌دار بود. مصرف خاکی نیترات کلسیم (۷۵ کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش و تنش باعث افزایش معنی‌دار عملکرد غده قابل فروش نسبت به تیمار عدم مصرف نیترات کلسیم شد. بیش‌ترین عملکرد غده قابل فروش مربوط به مصرف خاکی ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم در شرایط بدون تنش و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار عدم مصرف نیترات کلسیم در شرایط تنش گرما شد (شکل ۳). مصرف خاکی نیترات کلسیم در شرایط بدون تنش باعث افزایش ۱۰/۵ درصد عملکرد غده قابل‌فروش شد، درحالی‌که مصرف خاکی نیترات کلسیم در شرایط تنش گرمایی باعث افزایش عملکرد غده قابل فروش تا ۲۴/۵ درصد شد. به نظر می‌رسد که مصرف نیترات کلسیم می‌تواند باعث تعدیل اثر نامطلوب تنش گرما در سیب‌زمینی شود. پالتا و کلینهنز (Palta and Kleinhenz, 2003) گزارش کردند که افزایش غلظت کلسیم در ناحیه ریشه، رشد و عملکرد سیب‌زمینی را از طریق افزایش میانگین وزن و اندازه غده افزایش می‌دهد. ثابت شده است که کلسیم باعث افزایش تحمل گیاه به تنش گرما می‌شود. مصرف کلسیم به شکل کلرید کلسیم قبل از اعمال تنش گرما، باعث افزایش تولید مواد ممانعت کننده پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود (Kafi *et al.*, 2010). گزارش شده است که یکی از راهکارهای مهم برای غلبه بر تنش گرما در سیب‌زمینی، استفاده از ترکیبات کلسیم است. نتایج تحقیقات زیادی اثرات بهبود دهنده کلسیم بر عملکرد سیب‌زمینی در شرایط تنش گرما را تایید کرده است. کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2007) گزارش کردند که مصرف خاکی نیترات کلسیم در شرایط تنش گرما باعث افزایش ۱۹/۷ درصد عملکرد قابل‌فروش سیب‌زمینی رقم کوفری سوریا نسبت به شاهد شد. راوال و همکاران (Rawal *et al.*, 2007) گزارش نمودند که مصرف کلسیم به صورت گچ ($CaSO_4.2H_2O$) باعث کاهش خسارت تنش گرما (از ۳۰ درصد در تیمار شاهد به ۱۶/۴ درصد) شد. نتایج آزمایش کومار و مینهاس (Kumar and Minhas, 2001) نشان داد که محلول‌پاشی نیترات کلسیم در شرایط مزرعه می‌تواند اثر سوء تنش گرما بر رشد و عملکرد ارقام سیب‌زمینی را تعدیل نماید. اوزگن و پالتا (Ozgen and Palta, 2004) در ارزیابی اثر مصرف کلسیم بر کاهش اثر تنش گرما در سیب‌زمینی در آمریکا نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. توفیق و همکاران (Tawfik *et al.*, 1996) در ارزیابی اثر مصرف کلسیم و نیتروژن در مقابله با تنش گرما در سیب‌زمینی گزارش نمودند که گیاهانی که در طول دوره تنش کلسیم و نیتروژن دریافت کرده بودند، نسبت به گیاهانی که در طول دوره تنش و یا قبل از تنش فقط نیتروژن دریافت کرده بودند، عملکرد غده و زیست توده بیش‌تری داشتند. کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2015) گزارش کردند که با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کلسیم در هکتار به صورت گچ در دو مرحله (هم‌زمان با کاشت و ۲۰ تا ۲۵ روز بعد از کاشت)، عملکرد غده قابل فروش ارقام سیب‌زمینی کوفری بهار و کوفری سیندوری ۱۲ درصد افزایش یافت. این یافته‌ها نتایج آزمایش حاضر مبنی بر افزایش عملکرد غده قابل فروش در شرایط تنش گرما در اثر مصرف نیترات کلسیم را تایید می‌کنند.

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش گرما در نیترات کلسیم در سال بر عملکرد غده غیرقابل فروش بسیار معنی‌دار بود. مصرف نیترات کلسیم در هر دو شرایط تنش گرما و بدون تنش، باعث کاهش عملکرد غده‌های غیرقابل فروش شد. بیش‌ترین عملکرد غده غیرقابل فروش مربوط به عدم مصرف نیترات کلسیم در شرایط تنش گرما در سال دوم بود، درحالی‌که اثر متقابل مصرف خاکی نیترات کلسیم در شرایط بدون تنش در سال اول و در سال دوم دارای کم‌ترین میزان غده غیرقابل فروش بوده و در یک گروه آماری قرار گرفتند. اثر متقابل مصرف خاکی نیترات کلسیم در شرایط تنش گرما در سال‌های اول و دوم تفاوت معنی‌داری داشتند (شکل ۴).

نتایج نشان داد که اثر متقابل رقم در نیترات کلسیم بر عملکرد غده غیرقابل فروش معنی‌دار بود. ارقام سانته و

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

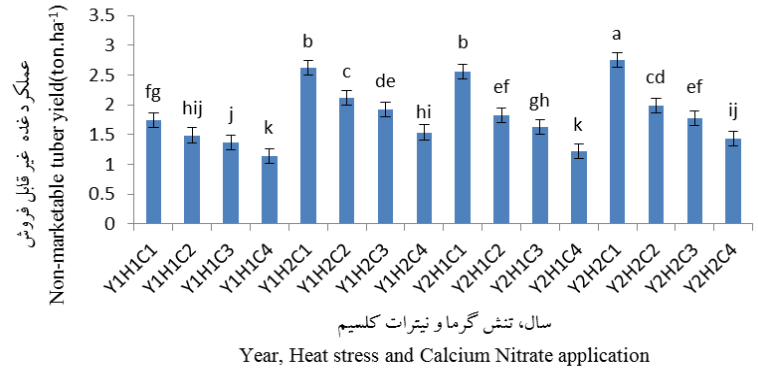


شکل ۳- اثر متقابل تنش گرما در نیترات کلسیم بر عملکرد غده قابل فروش ارقام سیب‌زمینی

Fig. 3. Interaction effect of heat stress × calcium nitrate on marketable tuber yield of potato cultivars

تنش گرما (H1= کشت به‌موقع: ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2= کشت دیرهنگام: ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ تیمارهای نیترات کلسیم (C1= عدم مصرف کلسیم؛ شاهد)، C2= دو بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C3= سه بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ، C4= مصرف خاکی نیترات کلسیم؛ ۷۵ کیلوگرم در هکتار)

H: Heat stress (H1: On time planting; normal, H2: Late planting; heat stress); Calcium nitrate treatments (C1: Without Ca (Control), C2: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l^{-1}; 2 times, C3: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l^{-1}; 3 times, C4: Soil application of calcium nitrate; 75 kg.ha^{-1})



شکل ۴- اثر متقابل سال در تنش گرما در نیترات کلسیم بر عملکرد غده غیرقابل فروش ارقام سیب‌زمینی

Fig. 4. Interaction effect of year × heat stress × calcium nitrate on non-marketable tuber yield of potato cultivars

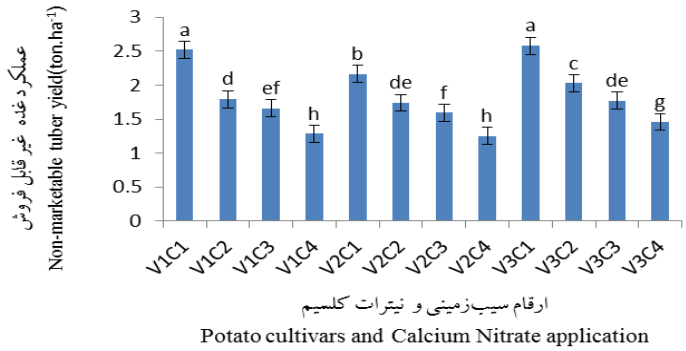
سال (Y1= سال اول؛ ۹۲-۱۳۹۱ و Y2= سال دوم؛ ۹۳-۱۳۹۲)؛ تنش گرما (H1= کشت به‌موقع: ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2= کشت دیرهنگام: ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ تیمارهای نیترات کلسیم (C1= عدم مصرف کلسیم؛ شاهد)، C2= دو بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C3= سه بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ، C4= مصرف خاکی نیترات کلسیم؛ ۷۵ کیلوگرم در هکتار)

Y: Year (Y1: First year; 2013, Y2: Second year; 2014); H: Heat stress (H1: On time planting; normal, H2: Late planting; heat stress); Calcium nitrate treatments (C1: Without Ca (Control), C2: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l^{-1}; 2 times, C3: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l^{-1}; 3 times, C4: Soil application of calcium nitrate; 75 kg.ha^{-1})

ساتینا در تیمار ۷۵ کیلوگرم نیترات کلسیم در هکتار (مصرف خاکی)، دارای کم‌ترین میزان غده‌های غیرقابل فروش بوده و کم‌ترین عملکرد غده غیرقابل فروش را داشتند. بیش‌ترین میزان عملکرد غده غیرقابل فروش مربوط به ارقام سانته و میلوا در تیمار عدم مصرف نیترات کلسیم بود (شکل ۵). عکس‌العمل ارقام سیب‌زمینی به کلسیم متفاوت است. کومار و مینهاس (Kumar and Minhas, 2001) در ارزیابی اثر محلول‌پاشی نیترات کلسیم بر تولید ۱۶ رقم و ژنوتیپ سیب‌زمینی در شرایط تنش گرما گزارش نمودند که عکس‌العمل ارقام و ژنوتیپ‌های مورد بررسی نسبت به نیترات کلسیم متفاوت بوده و بیش‌ترین میزان افزایش عملکرد غده در تیمار عدم مصرف نیترات کلسیم (شاهد) در ارقام کوفری چیپسونا ۱، کوفری چیپسونا ۲ و ژنوتیپ HT/92-418 بدست آمد.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2007) گزارش دادند که عکس‌العمل رقم کوفری سوریا نسبت به تیمار کلسیم در شرایط تنش گرما به‌طور معنی‌داری برتر از رقم کوفری آشوکا (Kufri Ashuka) بود.



شکل ۵- اثر متقابل رقم در نیترات کلسیم بر عملکرد غده غیرقابل فروش ارقام سیب‌زمینی

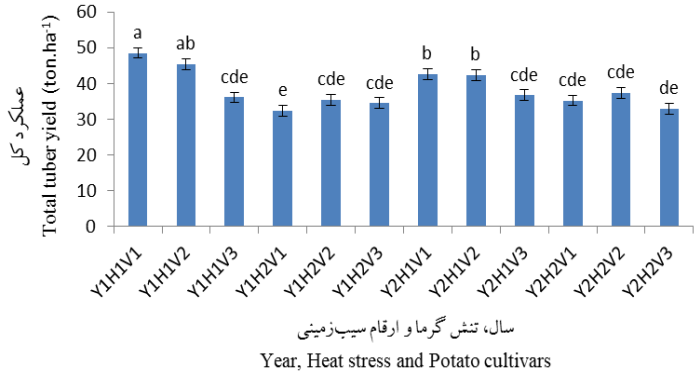
Fig. 5. Interaction effect of cultivar × calcium nitrate on non-marketable tuber yield of potato cultivars

ارقام سیب‌زمینی (V1= سانته، V2= ساتینا و V3= میلوا)؛ تیمارهای نیترات کلسیم (C1= عدم مصرف کلسیم؛ شاهد)، C2= دو بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C3= سه بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C4= مصرف خاکی نیترات کلسیم؛ ۷۵ کیلوگرم در هکتار)

V: Potato cultivars (V1: Sante, V2: Satena, V3: Milva); Calcium nitrate treatments (C1: Without Ca (Control), C2: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l^{-1}; 2 times, C3: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l^{-1}; 3 times, C4: Soil application of calcium nitrate; 75 kg.ha^{-1})

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش گرما در رقم در سال بر عملکرد غده کل معنی‌دار بود. ارقام سانته و ساتینا در شرایط بدون تنش در سال اول با عملکرد غده کل (قابل‌فروش و غیرقابل فروش) ۴۸/۵ و ۴۵/۲ تن در هکتار در یک گروه آماری قرار گرفتند و برتر از سایر تیمارها بودند. در سال دوم نیز ارقام سانته و ساتینا در شرایط بدون تنش بدون اختلاف معنی‌دار در یک گروه آماری قرار گرفتند و برتر از رقم میلوا بودند. ارقام مورد بررسی در شرایط تنش گرما از نظر عملکرد غده کل تفاوت چندانی با یکدیگر نداشتند (شکل ۶).

نتاج نشان داد که اثر متقابل تنش گرما در نیترات کلسیم بر عملکرد غده کل بسیار معنی‌دار بود. به‌عبارت‌دیگر



شکل ۶- اثر متقابل سال در تنش گرما در رقم بر عملکرد غده کل ارقام سیب‌زمینی

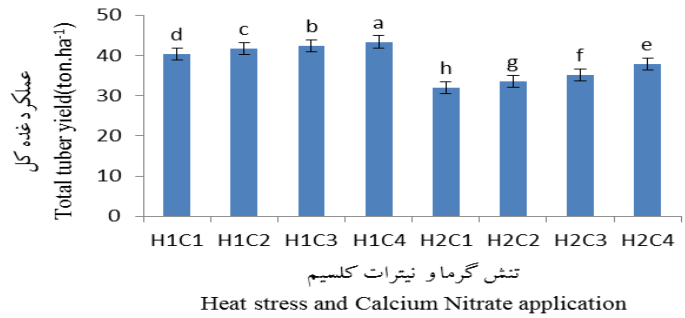
Fig. 6. Interaction effect of year × heat stress × cultivar on total tuber yield of potato cultivars

سال (Y1= سال اول؛ ۹۲-۱۳۹۱ و Y2= سال دوم؛ ۹۳-۱۳۹۲)؛ تنش گرما (H1= کشت به‌موقع: ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2= کشت دیرهنگام: ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ ارقام سیب‌زمینی (V1= سانته، V2= ساتینا و V3= میلوا)

Y: Year (Y1: First year; 2013, Y2: Second year; 2014); H: Heat stress (H1: On time planting; normal, H2: Late planting; heat stress); V: Potato cultivars (V1: Sante, V2: Satena, V3: Milva)

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

مصرف نیترات کلسیم باعث افزایش عملکرد غده کل هم در شرایط بدون تنش و هم در شرایط تنش گرما شد. تیمار۷۵ کیلوگرم نیترات کلسیم هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش، برتری معنی‌داری نسبت به شاهد و تیمارهای سه بار و دو بار محلول‌پاشی در شرایط مشابه داشت (شکل ۷). میزان اثر مصرف نیترات کلسیم در افزایش عملکرد غده کل در شرایط تنش ۱۸/۷ درصد و در شرایط بدون تنش ۷/۵ درصد بود که نشان دهنده اثر بیشتر نیترات کلسیم در شرایط تنش گرمای می‌باشد و نشان می‌دهد که کلسیم باعث تعدیل شدت تنش گرما بر سیب‌زمینی می‌شود. کلسیم وظایف مهمی در گیاه دارد؛ از جمله وجود کلسیم برای حفظ دیواره سلولی و ساختار غشاء ضروری است و در بسیاری از فرآیندهای طبیعی رشد و نمو از جمله تقسیم سلولی، رشد طولی سلول، پاسخ به تنش‌های زیستی و غیر زیستی و پاسخ به پیام‌های هورمونی و رشد و تمایز گیاه، به‌عنوان پیام‌آور ثانویه عمل می‌کند (Ruiz *et al.*, 2003; White and Broadley 2003). غلظت بالای کلسیم در ناحیه ریشه باعث بهبود پایداری غشای سلولی و کارکرد بهتر سلول شده و در نتیجه به گیاه برای مقابله با تنش گرما کمک می‌کند (Tawfik *et al.*, 1996). کلسیم فرآیند غده‌زایی را در سیب‌زمینی تنظیم می‌کند (Jackson, 1999). کلسیم احتمالاً در پیام‌های هورمونی غده زایی در سیب‌زمینی نقش داشته و باعث تحریک و تسریع غده زایی و حجیم شدن غده‌های اولیه می‌شود (Palta and Kleinhenz, 2003). ثابت‌شده است که کلسیم تحمل گیاه به تنش گرما را افزایش داده و مصرف کلسیم به شکل کلرید کلسیم قبل از وقوع تنش گرما، باعث افزایش تولید مواد ممانعت کننده پر اکسیداسیون لیپیدها می‌شود (Kafi *et al.*, 2010). نتایج آزمایش آناتومیکی برگ بوته‌های سیب‌زمینی رشد یافته در شرایط تنش گرما نشان داد که افزایش حجم سلول‌ها دچار اختلال شده و با افزوده شدن کلسیم به محیط ریشه، این اختلال مرتفع شد (Kleinhenz and Palta, 2002). آن‌ها هم‌چنین گزارش دادند که کلسیم مورد نیاز برای رشد سیب‌زمینی در شرایط تنش گرما بیش از کلسیم مورد نیاز در شرایط بدون تنش است. به نظر می‌رسد که در آزمایش حاضر کلسیم با شرکت در ساختار غشای سلولی، با تحریک و تسریع غده‌زایی و حجیم شدن غده‌ها، باعث بهبود عملکرد غده در شرایط تنش گرما شده است. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج کومار و مینهاس(kumar and Minhas, 2001)،



شکل ۷-اثر متقابل تنش گرما در نیترات کلسیم بر عملکرد غده کل ارقام سیب‌زمینی

Fig. 7. Interaction effect of heat stress × calcium nitrate on total tuber yield of potato cultivars

تنش گرما (H1= کشت به‌موقع: ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2= کشت دیرهنگام: ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ تیمارهای نیترات کلسیم (C1= عدم مصرف کلسیم؛ شاهد)، C2= دو بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C3= سه بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ، C4= مصرف خاکی نیترات کلسیم؛ ۷۵ کیلوگرم در هکتار)

H: Heat stress (H1: On time planting; normal, H2: Late planting; heat stress); Calcium nitrate treatments (C1: Without Ca (Control), C2: Foliar application of calcium nitrate; 2500 $mg.l^{-1}$; 2 times, C3: Foliar application of calcium nitrate; 2500 $mg.l^{-1}$; 3 times, C4: Soil application of calcium nitrate; 75 $kg.ha^{-1}$)

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

اوزگن و پالتا (Ozgen and Palta, 2004)، کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2007)، راوال و همکاران (Rawal *et al.*, 2007) و کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2015) که گزارش نمودند مصرف کلسیم باعث افزایش عملکرد سیب‌زمینی در شرایط تنش گرما می‌شود، مطابقت و همخوانی دارد.

جدول ۲- اثر متقابل تنش گرما در رقم در نیترات کلسیم در سال بر میانگین وزن غده قابل‌فروش در بوته و میانگین تعداد غده غیرقابل فروش در بوته ارقام سیب‌زمینی

Table 2. Interaction effects of heat stress × cultivar × calcium nitrate × year on marketable tuber mean weight.plant^{-1} and mean of non-marketable tuber number.plant^{-1} of potato cultivars

تیمارهای آزمایشی Treatments	میانگین وزن غده قابل‌فروش در بوته Marketable tuber mean weight.plant^{-1} (g)	میانگین تعداد غده غیرقابل فروش در بوته Mean of non-marketable tuber number.plant^{-1}
Y1H1V1C1	110.7ghi	1.5klmnop
Y1H1V1C2	120.3bc	1.2opqrs
Y1H1V1C3	127.0a	1.1qrs
Y1H1V1C4	131.0a	1.1s
Y1H1V2C1	108.3hij	1.6jklmno
Y1H1V2C2	115.0defg	1.5klmnop
Y1H1V2C3	119.3bcd	1.4mnopqr
Y1H1V2C4	130.7a	1.2pqrs
Y1H1V3C1	92.7qrs	2.2de
Y1H1V3C2	99.3mnop	1.8ghijk
Y1H1V3C3	104.0jklm	1.6ilklmn
Y1H1V3C4	116.0cde	1.5klmnop
Y1H2V1C1	88.3stu	1.8hijk
Y1H2V1C2	104.7jkl	1.6jklmn
Y1H2V1C3	111.0fghi	1.5klmnop
Y1H2V1C4	118.0bcd	1.1qrs
Y1H2V2C1	95.0pqr	2.2defg
Y1H2V2C2	105.3jkl	1.8ghijk
Y1H2V2C3	112.7efgh	1.8hijkl
Y1H2V2C4	120.7b	1.4lmnopq
Y1H2V3C1	84.7u	2.8b
Y1H2V3C2	94.3pqr	2.3de
Y1H2V3C3	97.3opq	2.1efgh
Y1H2V3C4	104.0jklm	1.6jklmno
Y2H1V1C1	91.7rst	1.7hijklm
Y2H1V1C2	99.0nop	1.4mnopqr
Y2H1V1C3	103.7jklmn	1.3nopqrs
Y2H1V1C4	115.7de	1.0st
Y2H1V2C1	88.7stu	2.4cd
Y2H1V2C2	101.7lmno	1.6jklmno
Y2H1V2C3	103.3klmn	1.4lmnopq
Y2H1V2C4	115.3def	1.0st
Y2H1V3C1	87.0u	1.9fghij
Y2H1V3C2	95.0pqr	1.2pqrs
Y2H1V3C3	99.3mnop	1.1rs
Y2H1V3C4	107.7ijk	0.7t
Y2H2V1C1	85.7u	2.8b
Y2H2V1C2	94.7pqr	2.2defg
Y2H2V1C3	97.7op	1.9fghij
Y2H2V1C4	103.3klmn	1.6jklmno
Y2H2V2C1	84.7u	3.3a
Y2H2V2C2	95.7pqr	2.8b
Y2H2V2C3	98.0op	2.8b
Y2H2V2C4	107.7ijk	2.0efghi
Y2H2V3C1	76.3v	3.3a
Y2H2V3C2	84.7u	2.7bc
Y2H2V3C3	87.3tu	2.6bc
Y2H2V3C4	97.0opq	2.2def
LSD	4.189	0.2957

سال (Y1= سال اول؛ ۹۲-۱۳۹۱ و Y2= سال دوم؛ ۹۳-۱۳۹۲)؛ تنش گرما (H1= کشت به‌موقع: ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2= کشت دیرهنگام: ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ ارقام سیب‌زمینی (V1= سانته، V2= ساتینا و V3= میلوا)؛ تیمارهای نیترات کلسیم (C1= عدم مصرف کلسیم؛ شاهد)، C2= دو بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C3= سه بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ، C4= مصرف خاکی نیترات کلسیم؛ ۷۵ کیلوگرم در هکتار)

Y: Year (Y1: First year; 2013, Y2: Second year; 2014); H: Heat stress (H1: On time planting; normal, H2: Late planting; heat stress); V: Potato cultivars (V1: Sante, V2: Satena, V3: Milva); Calcium nitrate treatments (C1: Without Ca (Control), C2: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l^{-1}; 2 times, C3: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l^{-1}; 3 times, C4: Soil application of calcium nitrate; 75 kg.ha^{-1})

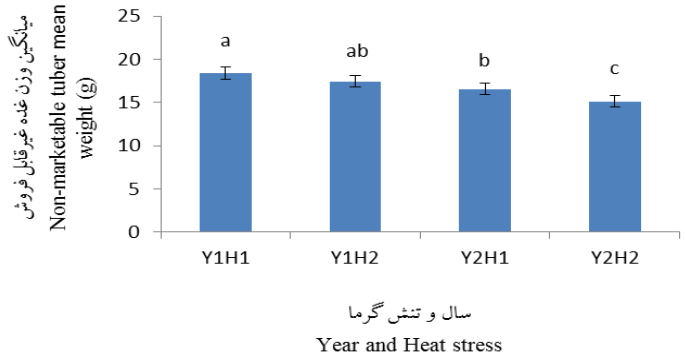
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش گرما در رقم در نیترات کلسیم در سال بر میانگین وزن غده‌های قابل‌فروش در بوته معنی‌دار بود. بیش‌ترین میانگین وزن غده قابل‌فروش (به‌ترتیب ۱۳۱، ۱۳۰/۷ و ۱۲۷ گرم) و بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، مربوط به اثر متقابل رقم سانته با مصرف خاکی نیترات کلسیم در شرایط بدون تنش، اثر متقابل رقم ساتینا با مصرف خاکی نیترات کلسیم در شرایط بدون تنش و اثر متقابل رقم سانته با محلول‌پاشی نیترات کلسیم در سه مرحله در شرایط بدون تنش در سال اول آزمایش بود، اما در شرایط تنش گرما ارقام ساتینا و سانته با مصرف خاکی نیترات کلسیم در سال اول (به‌ترتیب با میانگین وزن غده ۱۲۰/۷ و ۱۱۸ گرم در بوته) تیمارهای برتر آزمایش بوده و در گروه دوم قرار گرفتند. رقم میلوا در شرایط تنش گرما و بدون مصرف کلسیم در سال دوم، کم‌ترین میانگین وزن غده را داشت (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهد که مصرفنیترات کلسیم، به‌خصوص مصرف خاکی آن در ارقام ساتینا و سانته باعث افزایش میانگین وزن غده‌های قابل‌فروش نسبت به شاهد (عدم مصرف کلسیم) شد. به نظر می‌رسد که کلسیم در شرایط تنش گرما با اثرات مثبتی از جمله بهبود تسهیم مواد پرورده به غده‌ها، باعث افزایش وزن غده در بوته شده است. اوزگن و پالتا (Ozgen and Palta, 2004) و کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2015) گزارش دادند که مصرف کلسیم در سیب‌زمینی در طول دوره حجیم شدن غده‌ها، باعث افزایش میانگین وزن غده‌ها می‌شود. نتایج تحقیقات انجام‌شده توسط کومار و مینهاس (Kumar and Minhas, 2001)، اوزگن و پالتا (Ozgen and Palta, 2004)، کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2007)، راوال و همکاران (Rawal *et al.*, 2007) و کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2015) نشان دهنده اثرات بهبود دهندهکلسیم بر عملکرد سیب‌زمینی در شرایط تنش گرما است. میانگین وزن غده، یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد در سیب‌زمینی است و به نظر می‌رسد که افزایش قابل ملاحظه میانگین وزن غده‌ها در شرایط تنش گرما، یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش عملکرد سیب‌زمینی در تحقیق حاضر بوده است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مصرف نیترات کلسیم، اثر متقابل تنش گرما در سال و اثر متقابل رقم در سال بر میانگین وزن غده‌های غیرقابل فروش ارقام سیب‌زمینی معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش گرما در سال نشان داد که بیش‌ترین میانگین وزن غده غیرقابل فروش در شرایط بدون تنش و در سال اول آزمایش حاصل‌شد که با میانگین وزن غده غیرقابل فروش در شرایط تنش گرما در سال اول، تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین میانگین وزن غده غیرقابل فروش مربوط به شرایط تنش گرما و در سال دوم آزمایش بدست آمد (شکل ۸).



شکل ۸- اثر متقابل سال در تنش گرما بر میانگین وزن غده غیرقابل فروش در بوته ارقام سیب‌زمینی

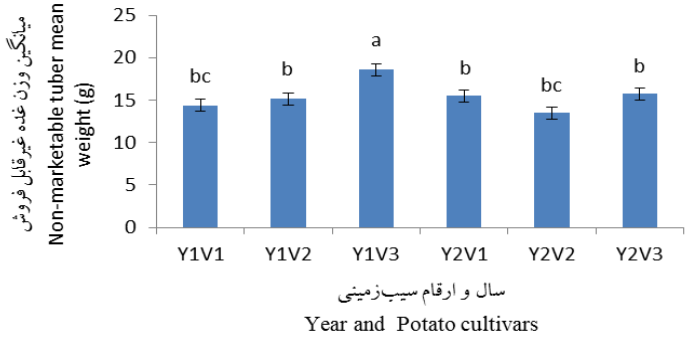
Fig. 8. Interaction effect of year × heat stress on non-marketable tuber mean weight.plant^{-1} of potato cultivars

سال (Y1= سال اول؛ ۹۲-۱۳۹۱ و Y2= سال دوم؛ ۹۳-۱۳۹۲)؛ تنش گرما (H1= کشت به‌موقع: ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2= کشت دیرهنگام: ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)

Y: Year (Y1: First year; 2013, Y2: Second year; 2014); H: Heat stress (H1: On time planting; normal, H2: Late planting; heat stress)

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در سال نشان داد که رقم میلوا در سال اول بیش‌ترین میانگین وزن غده‌های غیرقابل فروش را داشت و در گروه اول قرار گرفت، اما در سال دوم بین رقم میلوا با ارقام سانته و ساتینا اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. میانگین وزن غده‌های غیرقابل فروش در ارقام سانته و ساتینا در سال اول و دوم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۹).



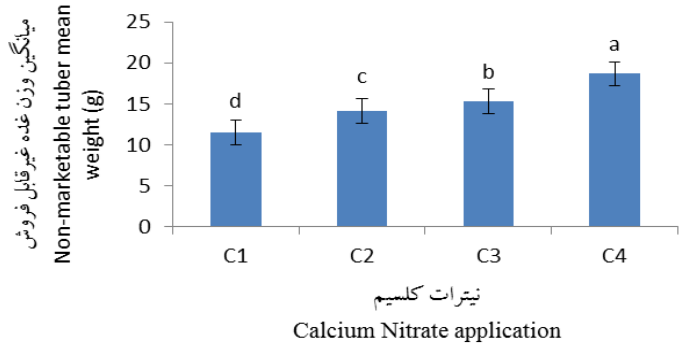
شکل۹- اثر متقابل سال در رقم بر میانگین وزن غده غیرقابل فروش در بوته ارقام سیب‌زمینی

Fig. 9. Interaction effect of year × cultivar on non-marketable tuber mean weight.plant^{-1} of potato cultivars

سال (Y1= سال اول؛ ۹۲-۱۳۹۱ و Y2= سال دوم؛ ۹۳-۱۳۹۲)؛ تنش گرما (H1= کشت به‌موقع: ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2= کشت دیرهنگام: ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ ارقام سیب‌زمینی (V1= سانته، V2= ساتینا و V3= میلوا)

Y: Year (Y1: First year; 2013, Y2: Second year; 2014); H: Heat stress (H1: On time planting; normal, H2: Late planting; heat stress); V: Potato cultivars (V1: Sante, V2: Satena, V3: Milva)

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمارهای نیترات کلسیم باعث افزایش میانگین وزن غده‌های غیرقابل فروش شد (شکل ۱۰). بیش‌ترین میانگین وزن غده‌های غیرقابل فروش مربوط به تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم بود.



شکل ۱۰- اثر نیترات کلسیم بر میانگین وزن غده غیرقابل فروش در بوته ارقام سیب‌زمینی

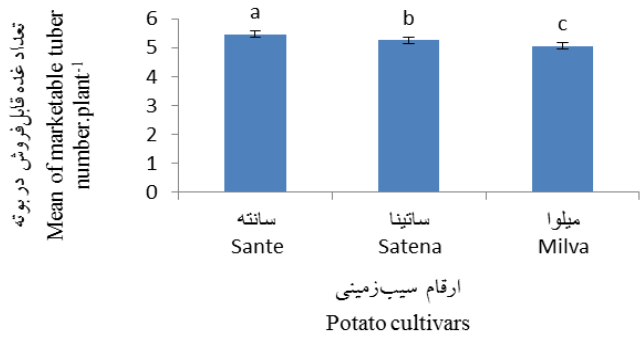
Fig. 10. Effect of calcium nitrate on non-marketable tuber mean weight.plant^{-1} of potato cultivars

تیمارهای نیترات کلسیم (C1= عدم مصرف کلسیم؛ شاهد)، C2= دو بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C3= سه بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ، C4= مصرف خاکی نیترات کلسیم؛ ۷۵ کیلوگرم در هکتار)

Calcium nitrate treatments (C1: Without Ca (Control), C2: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l^{-1}; 2 times, C3: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l^{-1}; 3 times, C4: Soil application of calcium nitrate; 75 kg.ha^{-1})

میانگین تعداد غده قابل‌فروش در بوته در ارقام سیب‌زمینی معنی‌دار بود. رقم سانته بیش‌ترین تعداد غده قابل‌فروش و رقم میلوا کم‌ترین تعداد غده قابل‌فروش را داشتند (شکل ۱۱).

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]



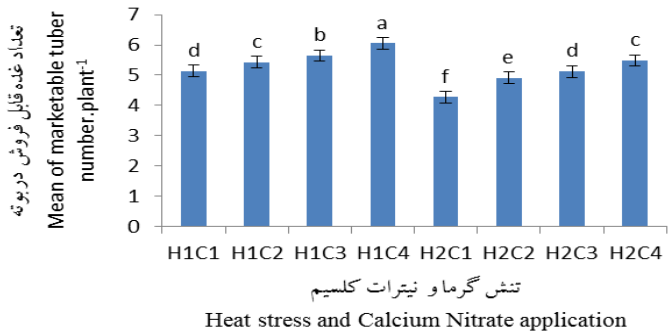
شکل ۱۱- اثر رقم بر میانگین تعداد غده قابل فروش در بوته ارقام سیب‌زمینی

Fig. 11. Effect of cultivar on mean of marketable tuber number.plant^{-1} of potato cultivars

ارقام سیب‌زمینی (V1= سانته، V2= ساتینا و V3= میلوا)

V: Potato cultivars (V1: Sante, V2: Satena, V3: Milva)

اثر متقابل تنش گرما در نیترات کلسیم بر میانگین تعداد غده قابل‌فروش در بوته معنی‌دار بود. مصرف نیترات کلسیم هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش باعث افزایش تعداد غده قابل‌فروش در بوته شد. مصرف نیترات کلسیم به‌صورت خاکی (۷۵ کیلوگرم در هکتار) باعث افزایش ۱۷/۷ درصد تعداد غده قابل‌فروش در شرایط بدون تنش و افزایش ۲۸/۳ درصد تعداد غده قابل‌فروش در شرایط تنش گرما نسبت به عدم مصرف نیترات کلسیم در شرایط مشابه شد. این موضوع نشان دهنده نقش کلسیم در فرآیند غده‌زایی در سیب‌زمینی به‌خصوص در شرایط تنش گرما می‌باشد (شکل ۱۲). نقش کلسیم در تحریک و تسریع فرآیند غده‌زایی در سیب‌زمینی توسط جاکسون (Jackson, 1999) و پالتا و کلینهنز (Palta and Kleinhenz, 2003) نیز گزارش‌شده است.



شکل ۱۲- اثر متقابل تنش گرما در نیترات کلسیم بر میانگین تعداد غده قابل‌فروش در بوته ارقام سیب‌زمینی

Fig. 12. Interaction effect of heat stress × calcium nitrate on mean of marketable tuber number .plant^{-1} of potato cultivars

تنش گرما (H1= کشت به‌موقع: ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2= کشت دیرهنگام: ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ تیمارهای نیترات کلسیم (C1= عدم مصرف کلسیم؛ شاهد)، C2= دو بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C3= سه بار محلول‌پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ، C4= مصرف خاکی نیترات کلسیم؛ ۷۵ کیلوگرم در هکتار)

H: Heat stress (H1: On time planting; normal, H2: Late planting; heat stress); Calcium nitrate treatments (C1: Without Ca (Control), C2: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l^{-1}; 2 times, C3: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l^{-1}; 3 times, C4: Soil application of calcium nitrate; 75 kg.ha^{-1})

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

اثر متقابل تنش گرما در رقم در نیترات کلسیم در سال بر میانگین تعداد غده غیرقابل فروش در بوته معنی‌دار بود. بیش‌ترین میانگین تعداد غده غیرقابل فروش در بوته (۳/۳ و ۳/۳ عدد در بوته) از اثر متقابل رقم ساتینا بدون مصرف نیترات کلسیم در شرایط تنش گرما و رقم میلوا بدون مصرف نیترات کلسیم در شرایط تنش گرما در سال دوم آزمایش به‌دست‌آمد که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند و در گروه اول قرار گرفتند (جدول ۲). اثر متقابل مصرف خاکی نیترات کلسیم در رقم میلوا در شرایط بدون تنش، اثر متقابل مصرف خاکی نیترات کلسیم در رقم سانته در شرایط بدون تنش و اثر متقابل مصرف خاکی نیترات کلسیم در رقم ساتینا در شرایط بدون تنش در سال دوم آزمایش، کم‌ترین تعداد غده غیرقابل فروش در بوته را داشتند (جدول ۲). نتایج گزارش شده توسط برخی از محققان حاکی از عدم تأثیر کلسیم بر تعداد غده قابل‌فروش، غیرقابل فروش و مجموع تعداد غده‌ها است (Kumar *et al.,* 2015). اوزگن و پالتا (Ozgen and Palta, 2004) گزارش نمودند که کلسیم اضافی در خاک در طول دوره غده‌زایی می‌تواند باعث کاهش تعداد غده در بوته شود. کومار و همکاران (Kumar *et al.,* 2007) گزارش نمودند که تیمار کلسیم باعث تغییر در تعداد کل غده سیب‌زمینی نشد، اما باعث کاهش تعداد غده غیرقابل فروش شد. عدم انطباق نتایج این تحقیق با یافته‌های محققان مذکور می‌تواند مربوط به تفاوت در زمان اعمال تیمارهای نیترات کلسیم، رقم سیب‌زمینی و میزان کلسیم قابل دسترس گیاه در خاک باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از آقای مهندس سید عبدالرضا موسوی مدیرعامل و آقای مهندس احمد بینا عضو هیئت‌مدیره شرکت سهامی کشت و صنعت جیرفت جهت تأمین اعتبار این پروژه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Aien, A. 2010. Impact of high temperature and CO_2 on physiological and biochemical characteristics of potato cultivars. Ph.D. Thesis. Indian Agricultural Research Institute. New Delhi. India.

Darabi, A. S. 2007. Effects of autumn and winter planting and temperature stress on total yield, marketable yield and yield components of some potato cultivars. Seed Plant J. 23: 373-386. (In Persian with English abstract).

Hartmut, K. and S. B. Sabine. 1997. Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.). Tuber and whole plant. Potato Res. 40:135-153.

Hasanabadi, H., A. S. Darabi, Y. Mirzaee, M. Hayatzadeh, K. Khiri and M. Khodadadi. 2002. Investigate of quantitative and qualitative suitable potato cultivars for autumn planting. Final Project Report. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. (In Persian with English abstract).

Jackson, S. D. 1999. Multiple signaling pathways control tuber induction in potato. Plant Physiol. 119: 1-8.

Kafi, M., A. Borzoee, M. Salehi, A. Kamandi, A. Masoumi and J. Nabati. 2010. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Jahade-e-Daneshghahi Mashhad Press (In Persian).

Kleinhenz, M. D. and J. P. Palta. 2002. Root zone calcium modulates the response of potato plants to heat stress. Physiol. Plant. 115: 111-118.

Kumar, D. and J. S. Minhas. 2001. Effect of calcium nitrate as foliar nutrient on potato crop grown under heat stress. J. Indian Potato Assoc. 28: 127-128.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

Kumar, D., J. S. Minhas and B. P. Sin. gh2007. Calcium as a supplementary nutrient for potatoes grown under heat stress in sub-tropics. Potato J. 34: 159-163.

Kumar, P., S. Rawal, D. Kumar, R. Kumar, N. Saini, R. Chand and K. S. Sandhu. 2015. Influence of calcium dose and time of application on tuber yield and processing quality of potato (*Solanum tuberosum*). Ann. Agric. Res. 36: 28-37.

Lafta, A. M. and J. H. Lorenzen. 1995. Effect of high temperature on plant growth and carbohydrate metabolism in potato. Plant Physiol. 109: 637-643.

Levy, D. and R. E. Veilleux. 2007. Adaptation of potato to high temperatures and salinity. A Review. Am. J. Potato Res. 84: 487-506.

Malekouti, M. L. and H. Rezaee. 2001. Role of Sulfur, Calcium and Magnesium on Improving Yield and Quality of Agricultural Productions. Agricultural Education Press. (In Persian).

Ozgen, S. and J. P. Palta. 2004. Supplemental calcium application influences potato tuber number and size. Hort. Sci. 40: 102-105.

Palta, J. P. and M. D. Kleinhenz. 2003. Influence of supplemental calcium fertilization on potato tuber size and tuber number. In: Proceedings of XXVI International Horticultural Congress; Potatoes Healthy Food for Humanity (Ed.: Vada, R.Y.), Acta Hortic. 619: 329-336.

Rawal, S., N. S. Rana and D. Kumar. 2007. Mitigation of heat stress in potato through calcium nutrition. Potato J. 34: 111-112.

Ruiz, J. M., R. M. Rivero, I. Lo´pez-Cantarero and L. Romero. 2003. Role of Ca in the metabolism of Phenolic compounds in tobacco leaves (*Nicotiana tabacum* L.). Plant Growth Regul. 41: 173 – 177.

Singh, J. P., S. S. Lal and S. K. Pandey. 2009. Effect of climate change on potato production in India. Central Potato Research Institute, Shimla, Newsletter, 40: 17-18.

Tawfik, A. A., M. D. Kleinhenz and J. P. Plata. 1996. Application of calcium and nitrogen for mitigating heat stress effects on potatoes. Am. Potato J. 73: 261-273.

Van Dam, J., P. L. Kooman and P. C. Struik. 1996. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato *(Solanum tuberosum* L.). Potato Res. 39: 51-62.

White, P. J. and M. R. Broadley. 2003. Calcium in plants. Ann. Bot. 92: 487-511.

Wolf, S., A. Marani and J. Rudich. 1990. Effects of temperature and photoperiod on assimilate partitioning in potato plants. Ann. Bot. 66: 513-520.

Wolf, S., A. Marani and J. Rudich. 1991. Effect of temperature on carbohydrate metabolism in potato plants. J. Exp. Bot. 42: 619-625.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]

Effect of calcium nitrate on yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars under terminal heat stress condition in south of Kerman province

Aien, A.,[*1] and A. Jalali[2]

ABSTRACT

Aien, A., and A. Jalali. 2018. Effect of foliar application of calcium nitrate application on yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars under terminal heat stress condition in south of Kerman province**. Iranian Journal of Crop Sciences. 20(3): 193 - 208. (In Persian).**

Terminal heat sterss considered as one of the major challenges of winter production of potato in warm areas of the country including the south of Kerman provience. To determine the suitable strategy for mitigating terminal heat stress injury, a split-split plot experiment based on randomized complete block design with three replications was conducted in South Kerman Agricultural Research and Education Center (Jiroft), Iran, for 2 years (2013 and 2014). The main factor was heat stress: normal (on time planting; Dec. 31) and terminal heat stress (late planting; Feb. 4) and three potato cultivars; Satina, Sante and Milva and four calcium applications; (without calcium nitrate application, foliar application of 2500 $mg.l^{-1}$ calcium nitrate in two and three stages and soil application of 75 $kg.ha^{-1}$ calcium nitrate in two stages) were in sub and sub-sub plots, respectively. Results showed that heat stress reduced marketable yield and the weight and number of marketable tubers per plant. Sante and Satina cultivars produced the highest marketable tuber yield in normal condition (47.15 and 44.9 $ton.ha^{-1}$, respectively), but under heat stress conditions, the difference between marketable tuber yield of those cultivars was not significant. The application of calcium nitrate improved marketable, non-marketable and total tuber yield and its components in potato cultivars and soil application of 75 $kg.ha^{-1}$ of calcium nitrate was significantly suprior than the other treatments. The interaction effect of terminal heat stress and calcium nitrate applications on marketable and total tuber yield, mean weight and number of marketable and non-marketable tuber was significant. Soil application of calcium nitrate (75 $kg.ha^{-1}$) increased marketable tuber yield of potato cultivars under normal and terminal heat stress conditions (10.5 and 24.5%, respectively) that revealed the mitigating effect of calcium nitrate on terminal heat stress in potato cultivars. It concluded that soil application of calcium nitrate seems to be an appropriate method to reduce the adverse effects of terminal heat stress in winter potato production.

Key words: Calcium nitrate, Potato, Heat stress, Tuber yield and Winter cultivation.

Received: October, 2017 Accepted: August, 2018

1. Assistant Prof., South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Jiroft, Iran (Corresponding author) (Email: A.Aien@areo.ac.ir)
2. MSc., South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Jiroft, Iran

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.2.9]