

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

گرمای شدید انتهایی 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 انتهایی 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 انتهایی فصل در دو سطح: بدون تنش (کاشت به‌موقع؛ ۱۰ دی) و تنش گرمای انتهایی فصل (کاشت دیر هنگام؛ ۱۵ بهمن)، عامل فرعی ارقام سیب‌زمینی در سه سطح: ساتنه، ساتینا و میلوا و عامل فرعی مصرف کلسیم در چهار سطح: عدم مصرف، محلول پاشی 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 ساتنه 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 انتهایی فصل، بین عملکرد قابل فروش ارقام مورد بررسی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. مصرف نیترات کلسیم باعث بهبود عملکرد غده کل، عملکرد غده قابل فروش و غیر قابل فروش و اجزای عملکرد ارقام سیب‌زمینی شد و تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار (خاک‌مصرف) به‌طور معنی‌داری برتر از سایر تیمارها بود. اثر متقابل تنش گرمای انتهایی 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 انتهایی فصل به ترتیب باعث افزایش ۱۰/۵ درصدی و ۲۴/۵ درصدی عملکرد غده قابل فروش ارقام سیب‌زمینی شد که این موضوع نشان‌دهنده اثر نیترات کلسیم در تعدیل اثر سوء تنش گرمای انتهایی فصل در ارقام سیب‌زمینی است. بر اساس نتایج این آزمایش، مصرف خاکی نیترات کلسیم یک روش مناسب برای کاهش اثر نامطلوب تنش گرمای انتهایی 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 (مکاتبه‌کننده)
(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 سیب زمینی در مناطق گرم جنوب کشور از جمله 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 به خصوص در کشت دوم، باعث کاهش عملکرد، افت کیفیت و مدت انبارمندی غده‌ها می‌شود. سیب زمینی نیاز به آب و هوای خنک داشته و دمای مناسب برای آن در مرحله رشد رویشی ۲۵-۲۰ درجه سانتی گراد، غده دهی ۲۰ درجه سانتی گراد و فتوسنتز ۲۵-۱۶ درجه سانتی گراد 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) و همکاران (Singh *et al.*, 2009) برآورد کردند که تولید سیب زمینی در هند تا سال ۲۰۵۰ در اثر گرم شدن کره زمین به میزان ۱۳/۷۲ درصد کاهش می‌یابد. کاهش عملکرد غده سیب زمینی 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 فعال کننده آنزیم فسفاتاز بوده و نقش حیاتی در تشکیل کربوهیدرات‌ها و توسعه سیستم ریشه‌ای دارد. کلسیم در ساختمان تیغه میانی سلول‌ها و بافت‌های گیاهی به صورت پکتات کلسیم وجود داشته و باعث استحکام دیواره سلولی می‌شود. تجزیه پکتات‌ها به وسیله آنزیم پلی گالاکتوروناز صورت می‌گیرد. زمانی که کلسیم به اندازه 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، به عنوان پیام آور 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 سیب زمینی می‌شود (Jackson, 1999). کلسیم احتمالاً در پیام‌های هورمونی غده‌زایی در سیب زمینی نقش داشته و باعث تحریک و تسریع غده زایی و حجیم شدن غده‌های اولیه می‌شود (Palta and Kleinhenz, 2003). ثابت شده 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 سیب زمینی 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 سیب زمینی استفاده از ترکیبات کلسیم است. مطالعات زیادی در خصوص اثرات بهبود دهنده کلسیم بر کیفیت و عملکرد سیب زمینی در شرایط تنش گرمایی انجام شده است. کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2007) گزارش کردند که مصرف خاکی نترات کلسیم در شرایط تنش گرما باعث افزایش عملکرد غده قابل فروش سیب زمینی (۱۹/۷ درصد نسبت به شاهد) شد. راوال و همکاران (Rawal *et al.*, 2007) گزارش کردند که مصرف کلسیم به صورت گچ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) باعث کاهش میزان خسارت تنش گرما (از ۳۰ درصد در تیمار شاهد به ۱۶/۴ درصد) شد. نتایج آزمایش کومار و میناس (Kumar and Minhas, 2001) نشان داد که محلول پاشی نترات کلسیم باعث تعدیل اثر سوء تنش گرما بر رشد و عملکرد ارقام سیب زمینی شده و عکس‌العمل ارقام به محلول پاشی کلسیم متفاوت بود. توفیق و همکاران (Tawfik *et al.*, 1996) در ارزیابی اثر مصرف

آموزش کشاورزی جنوب کرمان (جیرفت) اجرا شد. تنش گرما به عنوان عامل اصلی در دو سطح؛ بدون تنش و تنش گرمای انتهای فصل، ارقام سیب زمینی به عنوان عامل فرعی در سه سطح؛ سانه، ساتینا و میلوا و کلسیم به عنوان عامل فرعی فرعی در چهار سطح؛ عدم مصرف کلسیم، محلول پاشی نیترات کلسیم با غلظت ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر در دو مرحله (شروع غده زایی و ۲۰ روز بعد از غده زایی)، محلول پاشی نیترات کلسیم با غلظت ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر در سه مرحله (شروع غده زایی، ۲۰ و ۴۰ روز بعد از غده زایی) و مصرف خاکی نیترات کلسیم (به صورت نواری و در دو طرف پشته ها) به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (شروع غده زایی و حجیم شدن غده ها) بودند. تنش گرما از طریق تغییر در تاریخ کاشت (به موقع و دیر هنگام در تاریخ ۱۵ بهمن) اعمال شد، به طوری که مرحله غده بندی و حجیم شدن غده ها با تنش گرما مواجه شود. شرایط بدون تنش از طریق کاشت به موقع (۱۰ دی) فراهم شد، به صورتی که گیاهان با تنش گرمای انتهای فصل مواجه نشوند (شکل ۱). عملیات خاک ورزی شامل شخم، دیسک و لولر طبق عرف منطقه انجام شد. هر کرت شامل پنج ردیف کاشت به طول چهار متر بود. فواصل بین ردیف ها ۷۵ سانتی متر و فاصله بین بوته ها ۲۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. قبل از کاشت جهت اطلاع از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه برداری 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

کلسیم و نیتروژن بر سیب زمینی در شرایط تنش گرما و اوزگن و پالتا (Ozgen and Palta, 2004) در ارزیابی اثر مصرف کلسیم بر کاهش اثر تنش گرما بر سیب زمینی 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 خاک دهی پای بوته ها)، ضمن تعدیل اثرات تنش گرما، باعث افزایش عملکرد غده قابل فروش (۱۲ درصد) و کیفیت انباری غده ها در دو رقم سیب زمینی شد.

نتایج آزمایش دارایی (Darabi, 2007) نشان داد که ارقام سیب زمینی بینا، آرنیدا، سانه، کاسموس و آژاکس برای کاشت زمستانه و رقم سانه برای کاشت پاییزه در استان خوزستان مناسب بودند. حسن آبادی و همکاران (Hasanabadi et al., 2002) در ارزیابی خصوصیات ارقام سیب زمینی برای کشت پاییزه، رقم سانه را به عنوان رقم برتر معرفی نمودند. یکی از راهکارهای مناسب برای کاهش اثر سوء تنش گرما در سیب زمینی، استفاده از کلسیم، به ویژه نیترات کلسیم، است. این آزمایش با هدف ارزیابی اثر استفاده از کلسیم به صورت نیترات کلسیم، به عنوان یک راه حل مناسب، ساده و اقتصادی، برای کاهش اثر نامطلوب تنش گرمای انتهای فصل در کشت زمستانه (کشت دوم) سیب زمینی در جنوب کشور اجرا شد.

مواد و روش ها

این آزمایش به صورت کرت های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال های زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ در مرکز تحقیقات و

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

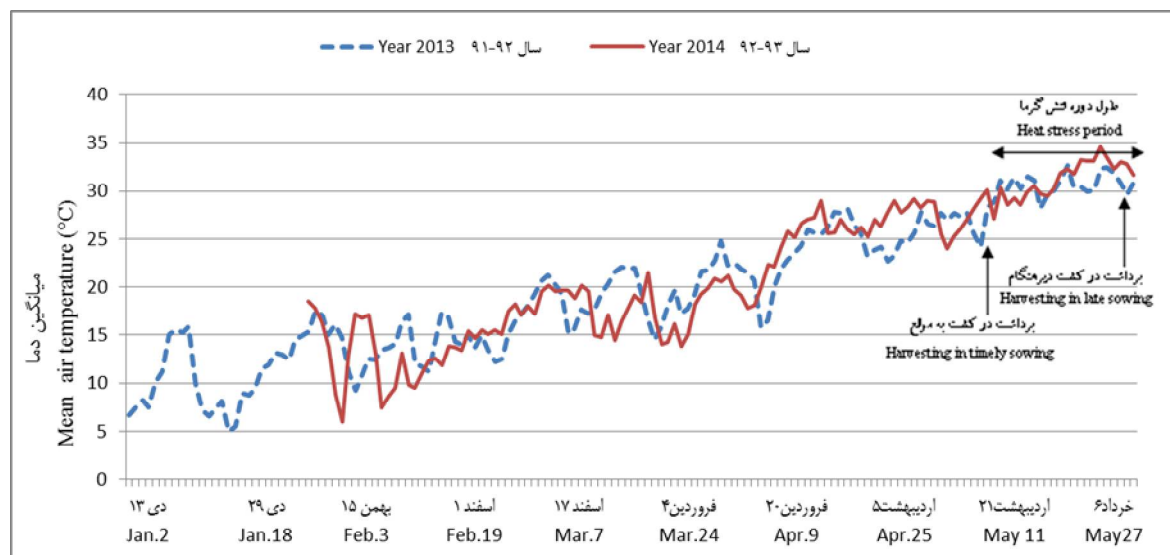
Table 1. Physical and chemical characteristics of soil in the experimental site

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

قابل فروش و غیرقابل فروش: تعداد پنج بوته به طور تصادفی از هر کرت انتخاب و تعداد غده در بوته و میانگین وزن غده‌ها اندازه گیری شد. غده‌های با وزن کم‌تر از ۲۵ گرم به عنوان غده‌های غیرقابل فروش در نظر گرفته شدند. عملکرد غده به تفکیک قابل فروش و غیرقابل فروش: از هر کرت دو ردیف میانی، پس از حذف حاشیه، برای اندازه‌گیری عملکرد غده در نظر 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 این که 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.

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 نترات کلسیم، مقدار نیتروژن استفاده شده با در نظر گرفتن محتوای نیتروژن نترات 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 به صورت 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 ۱۳۹۱-۹۲ و ۱۳۹۲-۹۳ 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



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

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

سال، تنش گرما در رقم، تنش گرما در نترات کلسیم در سطح یک درصد و اثر متقابل تنش گرما در رقم در سطح پنج درصد بر عملکرد غده قابل فروش ارقام

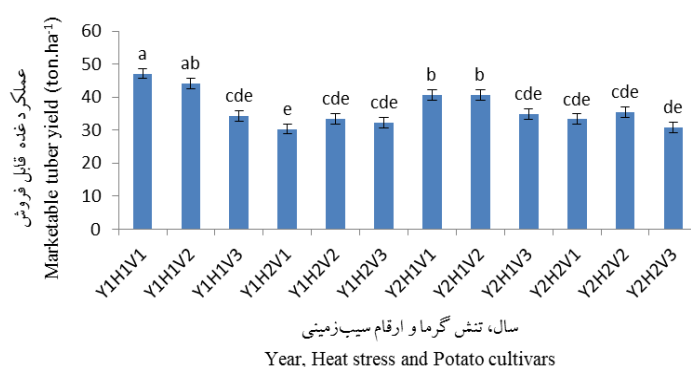
نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش گرما، رقم و نترات کلسیم به صورت مستقل و اثر متقابل تنش گرما در

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 3-Chipsona) 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 به طرف 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). این آزمایش نیز میانگین وزن غده‌های قابل فروش و میانگین تعداد غده‌های قابل فروش در بوته در شرایط تنش گرما کاهش معنی‌داری داشته و در مجموع باعث کاهش چشمگیر عملکرد غده قابل فروش گردید.

سیب‌زمینی معنی‌دار بود. ارقام سانه 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 سانه را برای کشت پاییزه در مناطق گرم جنوب کشور توصیه کردند. دارابی (Darabi, 2007) طی آزمایشی ارقام بینلا، آریندا، سانه، کاسموس و آژاکس را برای کاشت زمستانه و رقم سانه را برای کاشت پاییزه در مناطق گرمسیر استان خوزستان نظیر بهبهان، توصیه نمود.

در شرایط عدم تنش بین عملکرد غده قابل فروش ارقام سانه، 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



شکل ۲- 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؛ ۱۳۹۱-۹۲ و Y2= سال دوم؛ ۹۳-۱۳۹۲)؛ تنش گرما (H1= کشت به‌موقع؛ ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2= کشت دیر هنگام؛ ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ ارقام سیب‌زمینی (V1= سانه، V2= ساتینا و V3= میلوا)

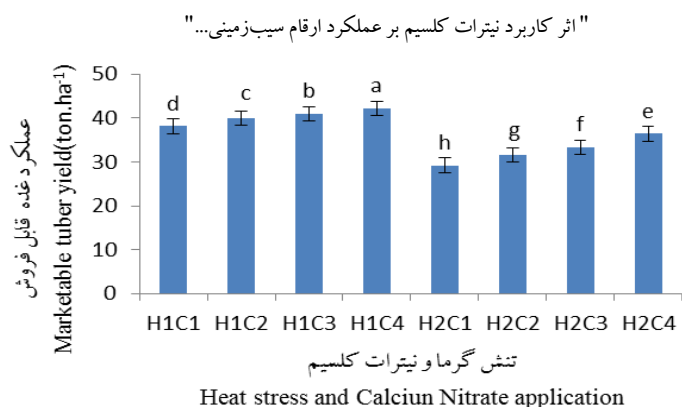
Y: Year (Y1: First year; 2013, Y2: Second year; 2014); H: Heat stress (H1: On time planting; normal, H2: Late planting; heat stress); V: Potato cultivars (V1: Sante, V2: Satena, V3: Milva)

نشان داد که محلول پاشی 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 بیش تری 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 سینه‌دوری 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

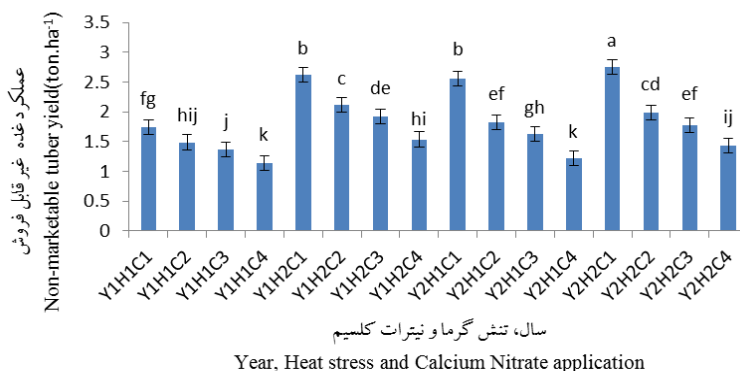
نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش گرما و نیترات کلسیم بر عملکرد غده قابل فروش معنی‌دار بود. مصرف خاکی نیترات کلسیم (۷۵ کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش و تنش باعث افزایش معنی‌دار عملکرد غده قابل فروش نسبت به تیمار عدم مصرف نیترات کلسیم شد. بیش‌ترین عملکرد غده قابل فروش مربوط به مصرف خاکی ۷۵ کیلوگرم 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 قابل فروش 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 ممانعت‌کننده 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 قابل فروش سیب‌زمینی رقم کوفری سوریا نسبت به شاهد شد. راوال و همکاران (Rawal *et al.*, 2007) گزارش نمودند که مصرف کلسیم به صورت گچ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 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)



شکل ۳- اثر متقابل تنش گرما در نیترا ت کلسیم بر عملکرد غده قابل فروش سیب زمینی

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

تنش گرما (H1= کشت به موقع؛ ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2= کشت دیر هنگام؛ ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ تیمارهای نیترا ت کلسیم (C1= عدم مصرف کلسیم؛ شاهد، C2= دو بار محلول پاشی نیترا ت کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر، C3= سه بار محلول پاشی نیترا ت کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر، C4= مصرف خاکی نیترا ت 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 نیترا ت کلسیم بر عملکرد غده غیر قابل فروش سیب زمینی

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

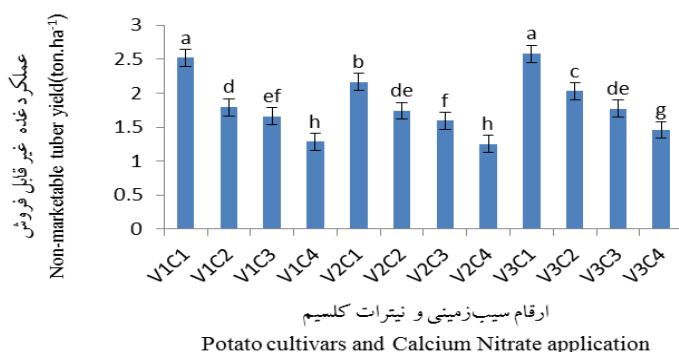
سال (Y1= سال اول؛ ۹۲-۱۳۹۱ و Y2= سال دوم؛ ۹۳-۱۳۹۲)؛ تنش گرما (H1= کشت به موقع؛ ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2= کشت دیر هنگام؛ ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ تیمارهای نیترا ت کلسیم (C1= عدم مصرف کلسیم؛ شاهد، C2= دو بار محلول پاشی نیترا ت کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر، C3= سه بار محلول پاشی نیترا ت کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر، C4= مصرف خاکی نیترا ت 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)

(Kumar and Minhas, 2001) در ارزیابی اثر محلول پاشی نیترا ت کلسیم بر تولید ۱۶ رقم و ژنوتیپ سیب زمینی در شرایط تنش گرما گزارش نمودند که عکس العمل ارقام و ژنوتیپ های مورد بررسی نسبت به نیترا ت کلسیم متفاوت بوده و بیشترین میزان افزایش عملکرد غده در تیمار عدم مصرف نیترا ت کلسیم (شاهد) در ارقام کوفری چیپسونا ۱، کوفری چیپسونا ۲ و ژنوتیپ HT/92-418 بدست آمد.

ساتینا در تیمار ۷۵ کیلوگرم نیترا ت کلسیم در هکتار (مصرف خاکی)، دارای کمترین میزان غده های غیر قابل فروش بوده و کمترین عملکرد غده غیر قابل فروش را داشتند. بیشترین میزان عملکرد غده غیر قابل فروش مربوط به ارقام سانته و میلوا در تیمار عدم مصرف نیترا ت کلسیم بود (شکل ۵). عکس العمل ارقام سیب زمینی به کلسیم متفاوت است. کومار و میناس

کومار و همکاران (Kumar et al., 2007) گزارش دادند که شرایط تنش گرما به طور معنی داری بر تر از رقم کوفری آشوکا (Kufri Ashuka) بود. عکس العمل رقم کوفری سوریا نسبت به تیمار کلسیم در



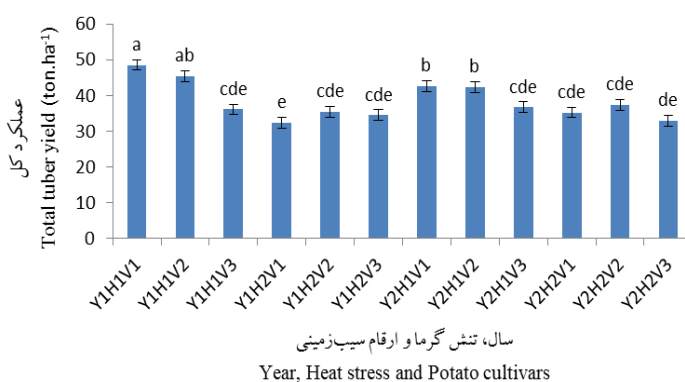
شکل ۵- اثر متقابل رقم در نیترا کلسیم بر عملکرد غده غیرقابل فروش ارقام سیب زمینی

Fig. 5. Interaction effect of cultivar × calcium nitrate on non-marketable tuber yield of potato cultivars
 ارقام سیب زمینی (V1=سانته، V2=ساتینا و V3=میلوا)؛ تیمارهای نیترا کلسیم (C1=عدم مصرف کلسیم؛ شاهد)، C2=دو بار محلول پاشی نیترا کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر، C3=سه بار محلول پاشی نیترا کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر، C4=مصرف خاکی نیترا 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)

بدون اختلاف معنی دار 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).

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش گرما در نیترا کلسیم بر عملکرد غده کل بسیار معنی دار بود. به عبارت دیگر

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش گرما در رقم در سال بر عملکرد غده کل معنی دار بود. ارقام سانته و ساتینا در شرایط بدون تنش در سال اول با عملکرد غده کل (قابل فروش 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

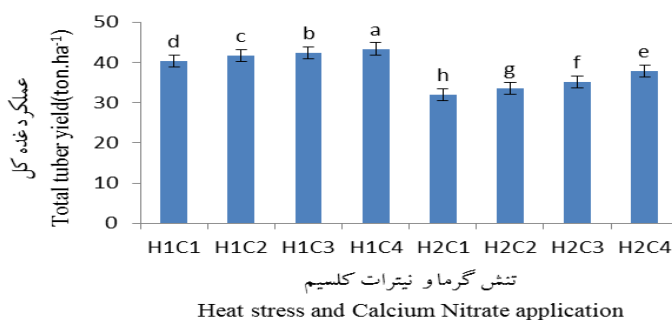


شکل ۶- اثر متقابل سال در تنش گرما بر عملکرد غده کل ارقام سیب زمینی

Fig. 6. Interaction effect of year × heat stress × cultivar on total tuber yield of potato cultivars
 سال (Y1=سال اول؛ ۱۳۹۱-۹۲ و Y2=سال دوم؛ ۱۳۹۲-۹۳)؛ تنش گرما (H1=کشت به موقع؛ ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2=کشت دیر هنگام؛ ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ ارقام سیب زمینی (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)

غده‌زایی را در سیب‌زمینی تنظیم می‌کند (Jackson, 1999). کلسیم احتمالاً در پیام‌های هورمونی غده‌زایی در سیب‌زمینی نقش داشته و باعث تحریک و تسریع غده‌زایی و حجیم شدن غده‌های اولیه می‌شود (Palta and Kleinhenz, 2003). ثابت شده 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 ممانعت‌کننده پر اکسیداسیون لپیدها 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 (2001) (kumar and Minhas, 2001)،

مصرف نیترات کلسیم باعث افزایش عملکرد غده کل هم در شرایط بدون تنش و هم در شرایط تنش گرما شد. تیمار ۷۵ 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



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 دیر هنگام؛ 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 خاک‌پاشی 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)

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 نیترا کلسیم در سال بر میانگین وزن غده قابل فروش 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 قابل فروش 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	97.0op	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 دیر هنگام؛ ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ ارقام سیب‌زمینی (V1 = ساتنه، V2 = ساتنا و V3 = میلا)؛ تیمارهای نیترا کلسیم (C1 = عدم مصرف کلسیم؛ شاهد)، C2 = دو بار محلول‌پاشی نیترا کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C3 = سه بار محلول‌پاشی نیترا کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C4 = مصرف خاکی نیترا کلسیم؛ ۷۵ کیلوگرم در هکتار)

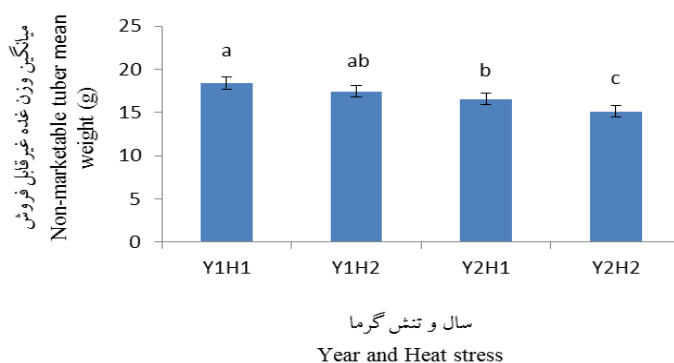
Y: Year (Y1: First year; 2013, Y2: Second year; 2014); H: Heat stress (H1: On time planting; normal, H2: Late planting; heat stress); V: Potato cultivars (V1: Sante, V2: Satena, V3: Milva); Calcium nitrate treatments (C1: Without Ca (Control), C2: Foliar application of calcium nitrate; 2500 mg.l⁻¹; 2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

سیب‌زمینی در طول دوره حجیم شدن غده‌ها، باعث افزایش میانگین وزن غده‌ها می‌شود. نتایج تحقیقات انجام شده توسط کومار و مینهاس (Kumar and Minhas, 2001)، اوزگن و پالتا (Ozgen and Palta, 2004)، کومار و همکاران (Kumar et al., 2007)، راول و همکاران (Rawal et al., 2007) و کومار و همکاران (Kumar et al., 2015) نشان دهنده اثرات بهبود دهنده کلسیم 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 حاصل شد 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).

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش گرما در رقم در نیترات کلسیم در سال بر میانگین وزن غده‌های قابل فروش در بوته معنی‌دار بود. بیش‌ترین میانگین وزن غده قابل فروش (به ترتیب ۱۳۱، ۱۳۰/۷ و ۱۲۷ گرم) و بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، مربوط به اثر متقابل رقم سانتا با مصرف خاکی نیترات کلسیم در شرایط بدون تنش، اثر متقابل رقم ساتینا با مصرف خاکی نیترات کلسیم در سال اول (به ترتیب 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 مصرف نیترات کلسیم، به خصوص مصرف خاکی آن در ارقام ساتینا و سانتا باعث افزایش میانگین وزن غده‌های قابل فروش 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



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

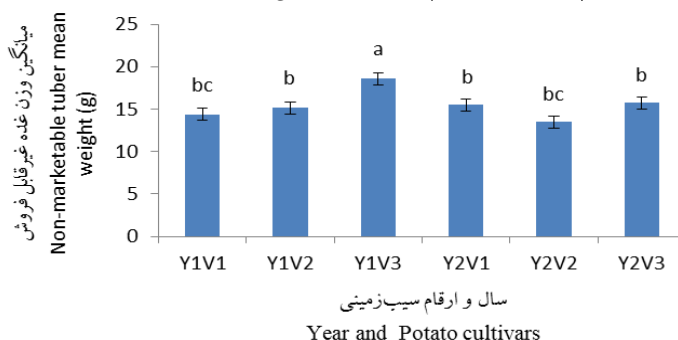
Fig. 8. Interaction effect of year \times heat stress on non-marketable tuber mean weight.plant⁻¹ of potato cultivars

سال (Y1 = سال اول؛ ۹۲-۱۳۹۱ و Y2 = سال دوم؛ ۹۳-۱۳۹۲)؛ تنش گرما (H1 = کشت به موقع؛ ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2 = کشت دیر هنگام؛ 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)

سانته و ساتینا اختلاف معنی داری مشاهده نشد. میانگین وزن غده‌های غیرقابل فروش در ارقام سانته و ساتینا در سال اول و دوم تفاوت معنی داری نداشت (شکل ۹).

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



شکل ۹- اثر متقابل سال در رقم بر میانگین وزن غده غیرقابل فروش در بوته ارقام سیب‌زمینی

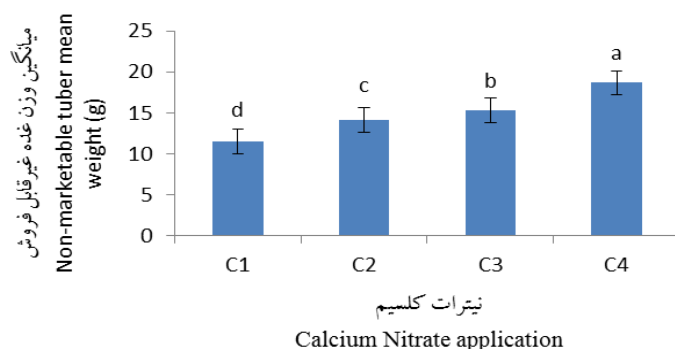
Fig. 9. Interaction effect of year × cultivar on non-marketable tuber mean weight.plant⁻¹ of potato cultivars

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)

وزن غده‌های غیرقابل فروش مربوط به تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم بود.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمارهای نیترات کلسیم باعث افزایش میانگین وزن غده‌های غیرقابل فروش شد (شکل ۱۰). بیشترین میانگین



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

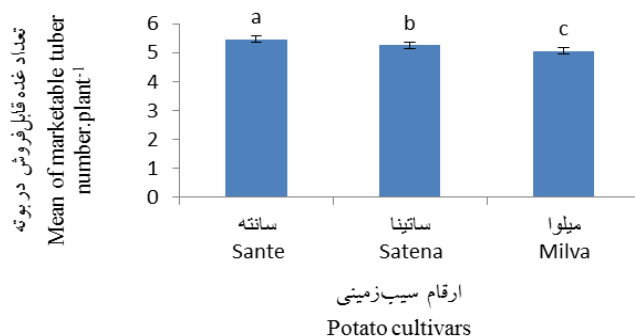
تیمارهای نیترات کلسیم (C1=عدم مصرف کلسیم؛ شاهد، C2=دو بار محلول پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C3=سه بار محلول پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، C4=مصرف خاکی نیترات کلسیم؛ ۷۵ کیلوگرم در هکتار)

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)

قابل فروش و رقم میلوا کمترین تعداد غده قابل فروش را داشتند (شکل ۱۱).

میانگین تعداد غده قابل فروش در بوته در ارقام سیب‌زمینی معنی دار بود. رقم سانته بیشترین تعداد غده

" اثر کاربرد نیترات کلسیم بر عملکرد ارقام سیب زمینی..."



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

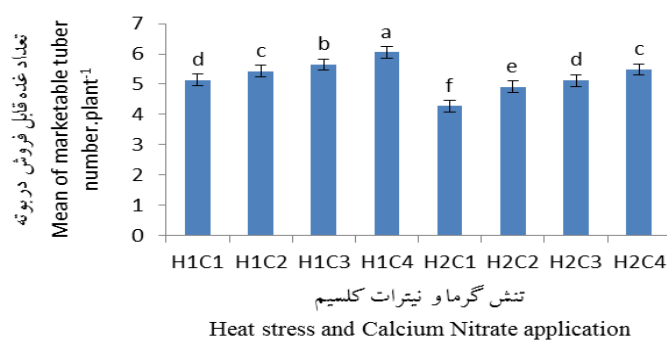
Fig. 11. Effect of cultivar on mean of marketable tuber number.plant⁻¹ of potato cultivars

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

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

تنش گرما نسبت به عدم مصرف نیترات کلسیم در شرایط مشابه شد. این موضوع نشان دهنده نقش کلسیم در فرآیند غده‌زایی در سیب زمینی به خصوص در شرایط تنش گرما می‌باشد (شکل ۱۲). نقش کلسیم در تحریک و تسریع فرآیند غده‌زایی در سیب زمینی توسط جاکسون (Jackson, 1999) و پالتا و کلینهنز (Palta and Kleinhenz, 2003) نیز گزارش شده است.

اثر متقابل تنش گرما در نیترات کلسیم بر میانگین تعداد غده قابل فروش در بوته معنی دار بود. مصرف نیترات کلسیم هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش باعث افزایش تعداد غده قابل فروش در بوته شد. مصرف نیترات کلسیم به صورت خاکی (۷۵ کیلوگرم در هکتار) باعث افزایش ۱۷/۷ درصد تعداد غده قابل فروش در شرایط بدون تنش و افزایش ۲۸/۳ درصد تعداد غده قابل فروش در شرایط



شکل ۱۲- اثر متقابل تنش گرما در نیترات کلسیم بر میانگین تعداد غده قابل فروش در بوته ارقام سیب زمینی

Fig. 12. Interaction effect of heat stress × calcium nitrate on mean of marketable tuber number

.plant⁻¹ of potato cultivars

تنش گرما (H1=کشت به موقع؛ ۱۰ دی؛ بدون تنش، H2=کشت دیرهنگام؛ ۱۵ بهمن؛ تنش گرما)؛ تیمارهای نیترات کلسیم (C1=عدم مصرف کلسیم؛ شاهد)، C2=دو بار محلول پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر، C3=سه بار محلول پاشی نیترات کلسیم؛ ۲۵۰۰ میلی گرم 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)

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 نیترا کلسیم، رقم سیب‌زمینی و میزان کلسیم قابل دسترس گیاه در خاک باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله 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.

اثر متقابل تنش گرما در رقم در نیترا 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 نیترا کلسیم در شرایط تنش گرما و رقم میلوا بدون مصرف نیترا 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 نیترا کلسیم در رقم میلوا در شرایط بدون تنش، اثر متقابل مصرف خاکی نیترا کلسیم در رقم سانه در شرایط بدون تنش و اثر متقابل مصرف خاکی نیترا 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 قابل فروش، غیرقابل فروش و مجموع

References

- Aien, A. 2010.** Impact of high temperature and CO₂ 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. Borzooee, 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.

منابع مورد استفاده

- 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.

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. Jalali²

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 stress considered as one of the major challenges of winter production of potato in warm areas of the country including the south of Kerman province. 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 superior 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