

اثر سیلیسیم و نانو سیلیسیم بر ماندگاری و برخی ویژگی‌های تغذیه‌ای میکروگرین چغندر برگی در دوره پس از برداشت

پریسا محمدیان^۱، فردین قنبری^{۲*} و محمدرضا عالی منش^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۱)

چکیده

میکروگرین‌ها گیاهان جوانی هستند که به واسطه داشتن ارزش غذایی بسیار بالا، محبوبیت خاصی در بین مصرف‌کنندگان پیدا کرده‌اند. در پژوهش حاضر ماندگاری و خواص تغذیه‌ای میکروگرین چغندر برگی در دوره پس از برداشت با کاربرد سیلیسیم و نانو سیلیسیم بررسی شده است. تیمارهای سیلیسیم و نانو سیلیسیم در دو سطح شاهد و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به صورت محلول‌پاشی برگی انجام شد و پس از آن میکروگرین‌ها برداشت و به مدت ۱۲ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نتایج نشان داد که با افزایش زمان نگهداری فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز افزایش یافته و در نتیجه آن قهوه‌ای شدن بافت نیز روند افزایشی داشت. همچنین با افزایش زمان نگهداری درصد کاهش وزن، پراکسید هیدروژن، مالون دی‌الدهید و کاروتنوئید افزایش یافته و کلروفیل a، b و کل، فنل کل، فلاونوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ویتامین ث روند کاهشی داشتند. استفاده از تیمار سیلیسیم و نانو سیلیسیم سبب کاهش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و قهوه‌ای شدن بافت میکروگرین در مقایسه با شاهد شد. کاربرد سیلیسیم سبب افزایش کلروفیل کل (۳۳/۷۵ درصد)، فنل کل (۲/۴۹ درصد) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (۳۹/۷ درصد) میکروگرین در دوره پس از برداشت شد. همچنین استفاده از نانو سیلیسیم مقدار فنل کل (۵/۷۳ درصد)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۵۵ درصد) و ویتامین ث (۳۸/۷۷ درصد) را نسبت به شاهد افزایش داد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد پیش از برداشت سیلیسیم و نانو سیلیسیم سبب بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای میکروگرین چغندر برگی در دوره پس از برداشت می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پراکسید هیدروژن، فنل کل، قهوه‌ای شدن بافت، کاهش وزن، ویتامین ث

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۳. استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: F.ghanbari@ilam.ac.ir

مقدمه

سبزیجات به علت نقش روز افزونی که در رژیم غذایی انسان دارند، اهمیت تجاری پیدا کرده‌اند. همچنین، ارزش غذایی سبزیجات به عنوان منبع حیاتی مواد معدنی، ویتامین‌ها، فیبر غذایی و مقدار مناسب کربوهیدرات، پروتئین و انرژی در سراسر جهان شناخته شده است (۲۹). مصرف جوانه‌ها، میکروگرین‌ها (ریزسبزی‌ها) و گل‌های خوراکی در کشورهای توسعه یافته به سرعت در حال افزایش است، میکروگرین‌ها محصولاتی نابالغ بوده که در مدت کوتاهی بعد از ظهور اولین برگ‌های واقعی قابل برداشت و مصرف هستند، قسمت خوراکی آنها شامل ساقه منفرد، برگ‌های لپه‌ای و اولین برگ‌های واقعی ظاهر شده است. این قسمت در بالای ریشه ظاهر شده و به عنوان سبزی تازه برای سالاد استفاده می‌شوند (۲۴). محبوبیت آنها به علت رنگ‌های زنده، بافت ترد و ویژگی منحصربه فرد است که برای تزئین در سالادها، ساندویچ‌ها، سوپ، دسر و نوشیدنی استفاده می‌شوند (۴۵). میکروگرین‌ها مرحله دانهال گیاهان هستند که فرم ظریفی از انواع گیاهان خوراکی جوان هستند که از بذره‌های مختلف سبزی‌ها، گیاهان علفی، گیاهان معطر و گیاهان وحشی خوراکی به وجود می‌آیند (۸). اندازه میکروگرین‌ها به ارتفاع ۳ تا ۱۰ سانتی‌متر و پهنای آنها ۱/۲ تا ۲/۵ سانتی‌متر است و متوسط زمان تولید محصول تا برداشت ۷ تا ۲۱ روز است (۴۴).

میکروگرین‌ها به طور کلی حاوی غلظت بالایی از مواد مغذی (مانند: اسید توکفرول، بتا کاروتن و اسید اسکوربیک)، آنتی‌اکسیدان، فنولیک، ویتامین، و مواد معدنی نسبت به سبزیجات بالغ و دانه‌ها هستند (۴۴). میکروگرین‌ها با وجود اندازه کوچک دارای طعم‌های قوی، رنگ‌های روشن و زنده، بافت ترد و لطیف و رایحه قوی هستند. همچنین آنها سرشار از آنزیم‌های حیاتی، ویتامین‌ها، عناصر غذایی و آنتی‌اکسیدانی هستند. در سال‌های اخیر، میکروگرین‌ها به عنوان یک منبع غنی از مواد مغذی مطرح شده و همچنین از آنها برای تزئین سالاد، دسر، فست فودها و غیره استفاده می‌شوند (۴۴). ریزسبزی‌ها

به عنوان یک غذای کاربردی در نظر گرفته می‌شوند که دارای غلظت بالایی از مواد مغذی معدنی و مواد شیمیایی گیاهی هستند، که در سلامتی انسان نقش دارند (۴۴).

یکی از محدودیت‌های اصلی برای رشد صنعت ریزسبزی‌ها، افت سریع کیفیت است که بلافاصله پس از برداشت رخ می‌دهد، قیمت‌ها را بالا نگه داشته و تجارت را به فروش محلی محدود می‌کند. ریزسبزی‌ها پس از برداشت، به راحتی آب بافت خود را از دست داده، پژمرده و پوسیده شده و به سرعت مواد مغذی خود را از دست می‌دهند (۴۳). میکروگرین‌ها بسیار فساد پذیرند و به دلیل نابالغ بودن و ساختار بافتی ظریف دارای انبارمانی کوتاهی هستند، فساد پذیری پس از برداشت محدودترین عامل برای گسترش تولید تجاری میکروگرین‌ها است (۳۶).

سیلیسیم (Si) دومین عنصر فراوان در پوسته زمین بوده و عنصری با ساختار کریستالی شکننده با کاربرد فراوان در زمینه علوم گیاهی است (۱۳). اثر سیلیسیم بر رشد، عملکرد و کیفیت طیف وسیعی از محصولات از جمله محصولات تک لپه‌ای، برخی از محصولات دو لپه‌ای، و برخی محصولات سبزی و میوه، که به طور فعال مقادیر بالایی از سیلیسیم را در اندام‌های خود جذب و تجمع می‌دهند، تایید شده است (۲۷). علاوه بر نقش مهم غذاهای غنی شده با سیلیسیم در سلامت انسان، این عنصر می‌تواند عمر پس از برداشت سبزیجات را بیشتر کند (۷). سیلیسیم با دخالت در سنتز همی سلولز و لیگنین باعث سفتی بیشتر بافت در دوره ذخیره سازی می‌شود، که در کاهو توسط دسوزا و همکاران (۷) نیز تایید شده است. استفاده از سیلیسیم به دلیل کاهش هدر رفتن آب برگ در سبزیجات برگی به دلیل دوره مصرف کوتاه آنها باعث بهبود دوره پس از برداشت می‌شود (۷). بهبود کیفیت پس از برداشت با سیلیسیم ممکن است مربوط به تشکیل یک لایه دو گانه کوتیکول-سیلیکا باشد که از دست دادن آب در طول ذخیره سازی را کاهش می‌دهد (۲۳). در تحقیق حاضر اثرات کاربرد قبل از برداشت سیلیسیم و نانو سیلیسیم بر ماندگاری و برخی ویژگی‌های کیفی

میکروگرین چغندر برگی در دوره پس از برداشت شده است.

اندازه‌گیری شدند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. بذور چغندر برگی از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه و پس از پرایمینگ و ضدعفونی توسط هیپوکلرید سدیم یک درصد (به مدت پنج دقیقه و سپس شستشوی بذور) با تراکم ۵۰ گرم در سینی‌های کشت بدون چاهک (با ابعاد عمق ۲/۵، عرض ۳۰ و طول ۶۰ سانتی‌متر) که حاوی کوکویت و پرلیت به نسبت ۲ به ۱ بود کشت و آبیاری به صورت روزانه انجام شد. قبل از جوانه‌زنی، گیاهان در تاریکی نگهداری شده و پس از جوانه‌زنی در معرض تابش نور خورشید (گلخانه شیشه‌ای) قرار گرفتند. پس از جوانه‌زنی اولیه و استقرار گیاهان تیمارهای سیلیسیم در سه سطح شامل شاهد (آب مقطر)، سیلیسیم و نانو سیلیسیم در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر انجام شده و به صورت محلول پاشی روزانه (۷ مرتبه) ادامه یافت (۲۵). نانو سیلیسیم (خلوص: ۹۹ درصد، اندازه: ۳۰-۲۰ نانومتر، سطح ویژه: ۶۰۰-۱۸۰ مترمربع بر گرم، چگالی حقیقی: ۲/۴ گرم بر سانتی‌مترمربع) مورد استفاده در این آزمایش از شرکت نانوثانی مشهد تهیه شد. همچنین سیلیسیم به صورت دی‌اکسید سیلیسیم از شرکت Tecnan® تهیه شد. محلول غذایی یک چهارم هوگلند به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر در هر سینی کشت و سه بار در هفته به منظور تغذیه گیاهان تا پایان دوره رشد (دو هفته) استفاده شد (۳۰). میکروگرین‌ها دو هفته پس از کاشت به طور همزمان برداشت شده و در ظروف شفاف دربدار در یخچال با دمای 4 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 90 ± 5 نگهداری شده و تا روز دوازدهم به فاصله سه روز یکبار (صفر، ۳، ۶، ۹ و ۱۲) نمونه‌ها وزن و صفاتی مانند درصد کاهش وزن، رنگیزه‌های گیاهی، ویتامین ث، پراکسید هیدروژن، قهوه‌ای شدن، مالون دی آلدید، فنل کل، فلاونوئید کل، آنزیم پلی‌فنل اکسیداز و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

اندام هوایی دانه‌ها از محل طوقه از سطح بستر برش و پس از وزن‌گیری اولیه با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند. پس از پایان هر دوره انبارمانی، نمونه‌ها توزین شده و به فاصله سه روز در پنج دوره درصد کاهش وزن اندازه‌گیری و نسبت به روز شروع آزمایش (روز صفر) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد. در این رابطه WLP درصد کاهش وزن، W1 وزن نمونه‌ها در شروع آزمایش و W2 وزن نمونه‌ها در هر مرحله اندازه‌گیری است.

$$(1) \quad \text{درصد کاهش وزن} = \left((W1 - W2) / W1 \right) \times 100$$

به منظور اندازه‌گیری این صفات ۰/۱ گرم از نمونه‌های تازه را با ۳ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده تا نمونه‌ها کاملاً خرد و به صورت محلول یکنواختی درآیند، سپس نمونه در سانتریفیوژ با دور ۳۵۰۰ و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ کرده، سپس ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی را با ۲ میلی‌لیتر از استون ۸۰ درصد اضافه کرده تا نمونه‌ها برای قرائت آماده شوند. در نهایت غلظت کلروفیل a (Chl a)، کلروفیل b (Chl b)، کلروفیل کل (Chl t) و کاروتنوئید (Car) با استفاده از روابط زیر بر حسب عدد قرائت شده (A) در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۶، ۶۶۳ نانومتر محاسبه شد (۳۱).

$$(2) \quad \text{کلروفیل کل} =$$

$$[(17/76 \times A646.6) + (7/37 \times A663.6)]$$

$$(3) \quad \text{کلروفیل a} =$$

$$[(12.25 \times A663.6) - (2/55 \times A646.6)]$$

$$(4) \quad \text{کلروفیل b} =$$

$$[(20/31 \times A646) - (4/91 \times A663.9)]$$

$$(5) \quad \text{کاروتنوئید کل} =$$

$$\left[\left[(1000 \times A470) - (3/27 \times \text{Chla}) \right] - 104 [\text{Chl b}] \right] \times [5.227 \times 0.25]$$

اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن بر اساس واکنش H_2O_2 با پتاسیم یدید (KI) و با روش الکسیوا و همکاران (۴) انجام شد.

میکرولیتر AlCl_3 به محلول اضافه شد و پس از ۵ دقیقه ۲۵۰ میکرولیتر NaOH یک مولار اضافه شد. سپس جذب محلول در طول موج ۵۱۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت شد و محتوای فلاونوئید بر اساس منحنی استاندارد کوئرستین محاسبه و نتایج به صورت mg/g FW گزارش شد.

برای اندازه‌گیری مقدار فنل کل از روش فولین-سیوالتیو استفاده شد. برای این منظور ۳۰۰ میکرولیتر عصاره نمونه با ۱۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین ۱۰ درصد مخلوط شده و به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. سپس به نمونه‌ها مقدار ۱۲۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷ درصد اضافه شد و به مدت ۲ ساعت نمونه‌ها روی شیکر در تاریکی قرار گرفتند. سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار ترکیبات فنلی بر مبنای مقدار جذب ناشی از واکنش عصاره با معرف فولین-سیوالتیو و بر اساس مقایسه آن با محلول‌های استاندارد گالیک اسید محاسبه شد (۳۹).

تعیین فعالیت آنتی رادیکالی

ظرفیت پاک کردن رادیکال‌های آزاد نمونه‌ها با استفاده از روش 1, 1-diphenyl-2-picrilhydrazyl (DPPH) ارزیابی شد (۲). برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی رادیکالی ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۲۹۰۰ میکرولیتر محلول DPPH مخلوط شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفته و جذب آن‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. با استفاده از رابطه شماره ۶ فعالیت آنتی اکسیدانی بر اساس درصد محاسبه شد.

(۶) $\text{درصد فعالیت آنتی اکسیدانی} =$

$100 \times \text{عدد جذب شاهد} / (\text{عدد جذب نمونه} - \text{عدد جذب شاهد})$

فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز بر اساس روش کار و میشر (۲۱) به صورت اسپکتروفتومتری در طول موج ۴۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش شامل مواد زیر بود.

پیروگالول ۰/۰۲ مولار	۴۰۰ میکرولیتر
بافر تریس-HCL مولار	۱/۵ میلی‌لیتر

در این روش ۰/۲ گرم از بافت تازه گیاه در TCA (تری کلرواستیک اسید) ۰/۱ درصد سائیده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس به ۵۰۰ میکرولیتر از محلول رویی ۵۰۰ میکرولیتر بافر پتاسیم فسفات (pH=7) 100 mM و ۲ میلی‌لیتر پتاسیم یدید M1 اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت یک ساعت در تاریکی و در دمای اتاق قرار داده شده و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری محتوای مالون دی آلدهید مقدار ۰/۲ گرم از بافت فریز شده برگ با ۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد هضم شد. عصاره به دست آمده با استفاده از سانتریفیوژ در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس به ۲ میلی‌لیتر از محلول رویی به دست آمده از سانتریفیوژ، ۴ میلی‌لیتر محلول تری کلرواستیک اسید (TCA) ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربتوریک اسید (TBA) بود، اضافه شد. مخلوط حاصل در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد، سپس بلافاصله در یخ سرد شد و دوباره مخلوط در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر خوانده شد (۱۸).

اندازه‌گیری ویتامین ث به وسیله تیتراسیون با ۲،۶ دی کلروفنول ایندوفنول انجام گرفت (۳۳). برای تعیین میزان آسکوربیک اسید، مقدار یک سی‌سی از عصاره را با پنج سی‌سی متافسفریک مخلوط کرده و پس از سانتریفیوژ به مدت ۳ دقیقه، محلول رویی را برداشته و با ایندوفنول تیتراژ کردیم. ظهور رنگ ارغوانی نشان‌دهنده پایان تیتراسیون است. بر اساس میزان محلول مصرف شده، غلظت اسید اسکوربیک نمونه‌ها محاسبه و بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ گزارش شد.

محتوای فلاونوئید کل بر اساس روش حبیبی و عابدینی (۱۷) با اندکی تغییرات تعیین شد. به یک میلی‌لیتر از عصاره استخراج شده، ۱۰۰ میکرولیتر نیتريت سدیم ۵ درصد اضافه شده و به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. سپس ۵۰

عصاره آنزیمی ۲۰۰ میکرولیتر
از مخلوط واکنش بدون عصاره آنزیمی به عنوان شاهد اسپکتروفتومتر استفاده شد. با استفاده از ضریب خاموشی پیروگالول ۲/۶ ۱cm-1 mM آنزیم پلی فنل اکسیداز بر اساس واحد آنزیمی به ازای هر میلی گرم پروتئین گزارش شد. برای تعیین شاخص قهوه‌ای شدن، ۰/۲ گرم از نمونه میکروگرین چغندر برگی با ۵ میلی لیتر متانول ۶۰ درصد به همراه پلی وینیل پیرولیدون ساییده شد. نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از آن جذب محلول بالایی (روشناور) با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۵۰ نانومتر قرائت شد و به عنوان میزان قهوه‌ای شدن گزارش شد (۱۹).

آنالیز آماری

آنالیز آماری داده‌های حاصل از این آزمایش، با استفاده از نرم افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد محاسبه شد. رسم نمودارها نیز به وسیله نرم افزار اکسل انجام پذیرفت.

نتایج

درصد کاهش وزن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی زمان، سیلیسیم و اثرات متقابل زمان \times سیلیسیم در سطح احتمال یک درصد بر صفت کاهش وزن معنی‌دار شد (جدول ۱). بر اساس مقایسه میانگین اثرات متقابل با افزایش زمان نگهداری درصد کاهش وزن به طور معنی‌داری افزایش یافت به طوری که بیشترین کاهش وزن در تیمار شاهد ۱۲ روز پس از نگهداری مشاهده شد. در روزهای نهم و دوازدهم تیمار سیلیسیوم و نانو سیلیسیم درصد کاهش وزن را نسبت به شاهد، کاهش داد (شکل ۱).

رنگی‌های گیاهی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثرات ساده سیلیسیم و زمان و همچنین اثر متقابل آنها بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b،

کلروفیل کل و کاروتنوئید معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین رنگی‌های گیاهی نشان داد که با افزایش زمان نگهداری کلروفیل a، b و کل به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد به طوری که کمترین میزان آنها در روزهای نهم و دوازدهم برای کلروفیل a و کل و در روز نهم برای کلروفیل b به دست آمد. در روز نهم سیلیسیم (۴۳ درصد) کلروفیل a را نسبت به شاهد افزایش داد و در روز دوازدهم تیمارهای سیلیسیم و نانو سیلیسیم کلروفیل a را در مقایسه با شاهد (۲۹ درصد) افزایش دادند. در روزهای نهم تیمارهای سیلیسیم (۳۹/۷۲ درصد) و نانو سیلیسیم (۲۹/۳۱ درصد) نیز کلروفیل b را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۲ a, b, c). میزان کاروتنوئید با افزایش زمان نگهداری دارای روند افزایشی بود که نشان‌دهنده زردی بیشتر بافت میکروگرین است. در روز ششم تیمار نانو سیلیسیم بیشترین تاثیر (۴/۷۶ درصد) را در کاهش کاروتنوئید نسبت به شاهد داشت (شکل ۲ d).

پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر اصلی زمان، تیمار و اثر متقابل این تیمارها بر پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار شدند (جدول ۱). بر اساس مقایسه میانگین‌ها مقدار پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید با افزایش زمان نگهداری دارای روند افزایشی بودند، و بیشترین میزان آنها در روز دوازدهم آزمایش ثبت شد. کاربرد سیلیسیم و نانو سیلیسیم در میکروگرین چغندر برگی سبب کاهش پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید در مقایسه با شاهد شدند (شکل ۳ a, b).

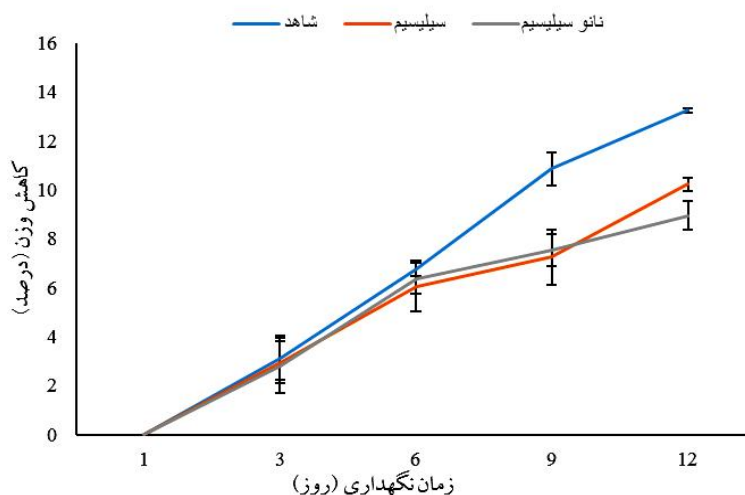
ویتامین ث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر زمان و تیمار بر مقدار ویتامین ث در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل زمان \times تیمار در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی‌دار شد

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی میکروگرین چغندر برگی تحت تأثیر سیلیسیم، نانو سیلیسیم و زمان نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد

منبع تغییرات	درجه آزادی	کاهش وزن	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	ویتامین ث
زمان	۴	۱۶۸**	۰/۰۴۷**	۰/۰۰۹**	۰/۰۶۷**	۰/۰۰۹۶**	۰/۱۲۳**
تیمار	۲	۱۲/۶**	۰/۰۱۴**	۰/۰۰۳*	۰/۰۳۰**	۰/۰۰۱۳**	۰/۰۴۳**
زمان×تیمار	۸	۳/۶۲**	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۰۷*	۰/۰۰۰۸*
خطا	۳۰	۱/۴۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۹/۸۴	۱۱/۶۸	۰/۰۰۰۳
ضریب تغییرات	-	۲۰/۱	۸/۳۱	۱۰/۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۲	۱۱/۱

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و NS عدم تفاوت در معنی‌داری است.



شکل ۱. اثر سیلیسیم و نانو سیلیسیم بر درصد کاهش وزن میکروگرین چغندر برگی در زمان‌های مختلف نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد. میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف استاندارد سه تکرار هستند.

جدول ۲). نتیجه مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که افزایش ویتامین ث با افزایش زمان دارای روند کاهشی است. تیمار نانو سیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار و ۵۲ درصدی محتوای ویتامین ث میکروگرین در روز ششم آزمایش نسبت به شاهد شد. در روز نهم و دوازدهم نیز هر دو تیمار سیلیسیم و نانو سیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار ویتامین ث نسبت به شاهد شدند (شکل ۴ a). سبب حفظ محتوای فلاونوئید نسبت به شاهد شدند (شکل ۴ b).

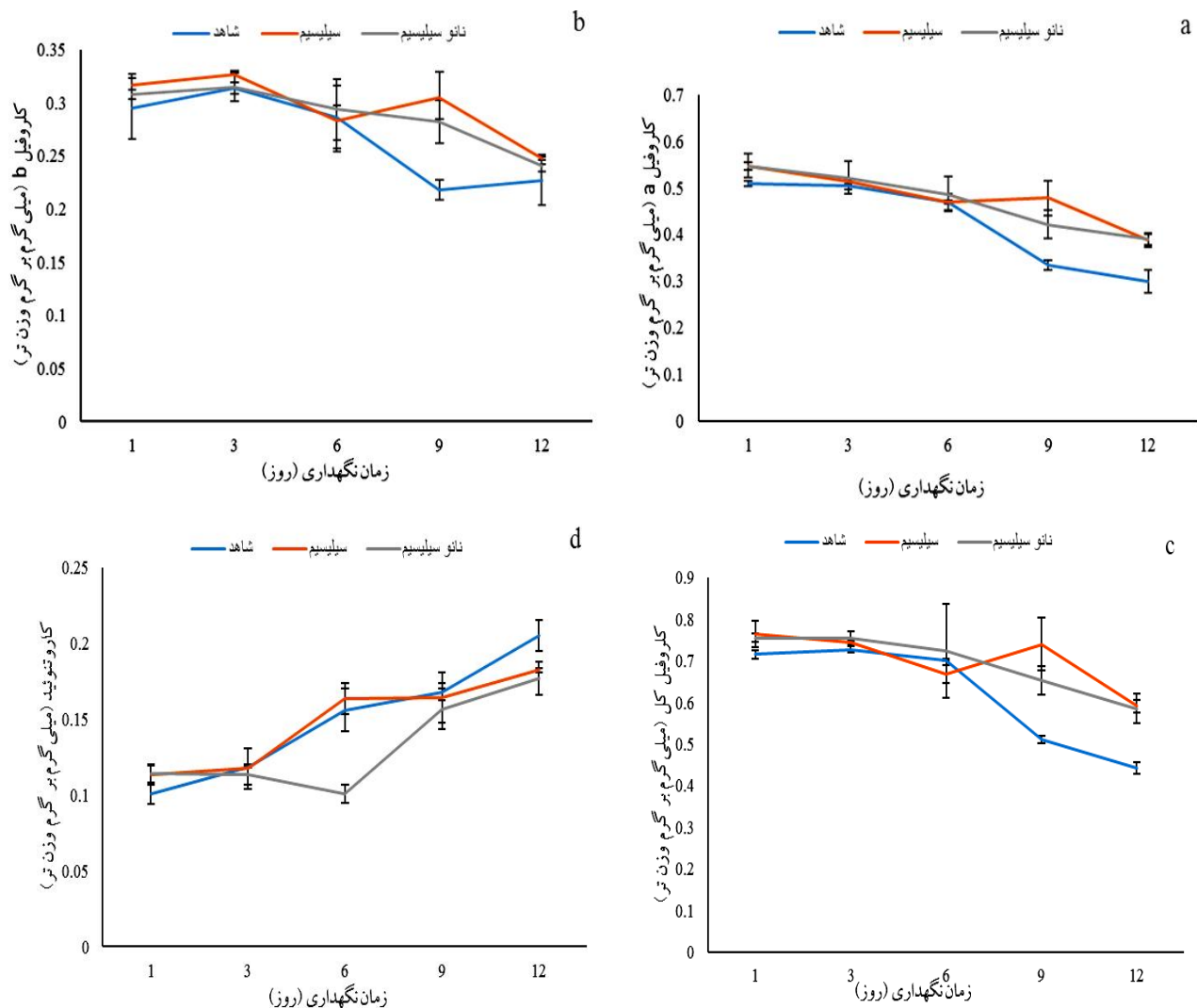
سطح احتمال یک درصد و همچنین اثرات متقابل بین آنها نیز در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای فلاونوئید معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که محتوای فلاونوئید ابتدا دارای روند افزایشی بود، اما از روز ششم به بعد کاهش یافت که این کاهش بیشتر در تیمار شاهد مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که در روز نهم و دوازدهم هر دو تیمار سیلیسیم و نانو سیلیسیم سبب حفظ محتوای فلاونوئید نسبت به شاهد شدند (شکل ۴ b).

فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر ساده زمان در سطح احتمال

فلاونوئید کل

بر اساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثر ساده زمان و تیمار در



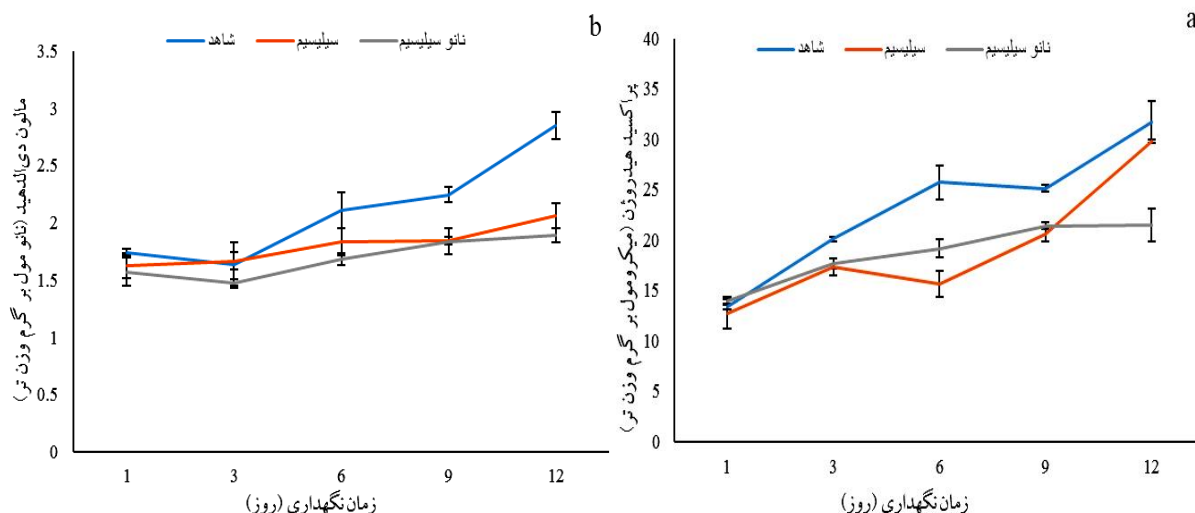
شکل ۲. اثر سیلیسیم و نانو سیلیسیم بر کلروفیل a (a)، کلروفیل b (b)، کلروفیل کل (c) و کاروتنوئید (d) میکروگرین چغندر برگی در زمان‌های مختلف نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد. میله‌های عمودی نشان دهنده انحراف استاندارد سه تکرار است.

درصد فنل کل در مقایسه با شاهد شد (شکل ۵ a). فعالیت آنتی-اکسیدانی نیز با افزایش مدت نگهداری دارای روند کاهشی بود و به کمترین میزان خود در روز دوازدهم آزمایش رسید. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در روز دوازدهم تیمارهای نانو سیلیسیم و سیلیسیم به ترتیب ۵۵ و ۳۹/۷ درصد ظرفیت آنتی اکسیدان را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۵ b).

آنزیم پلی فنل اکسیداز و شاخص قهوه‌ای شدن

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات ساده زمان و

یک درصد و اثر ساده سیلیسیم در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای فنل کل معنی‌دار شد، درحالی که اثرات متقابل این تیمارها بر مقدار فنل کل معنی‌دار نشد. همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدان کل در اثر ساده زمان و تیمار در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل تیمارها بر این صفت نیز معنی‌دار نشد (جدول ۲). با توجه به مقایسه میانگین بین تیمارها، میزان فنل کل با افزایش زمان نگهداری دارای روند کاهشی بود. نتایج نشان داد که بیشترین افزایش فنل کل در روز نهم آزمایش و در تیمار نانو سیلیسیم مشاهده شد که باعث افزایش ۱۴/۵۸

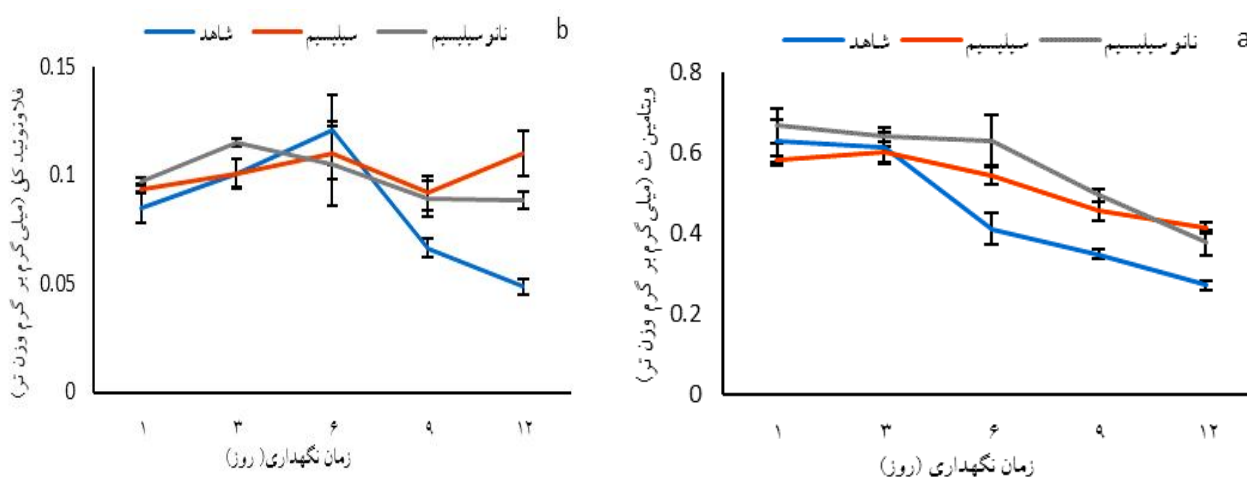


شکل ۳. اثر سیلیسیم و نانو سیلیسیم بر پراکسید هیدروژن (a) و محتوای مالون دی آلدهید (b) میکروگرین چغندر برگی در زمان‌های مختلف نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد. میله‌های عمودی نشان دهنده انحراف استاندارد سه تکرار است.

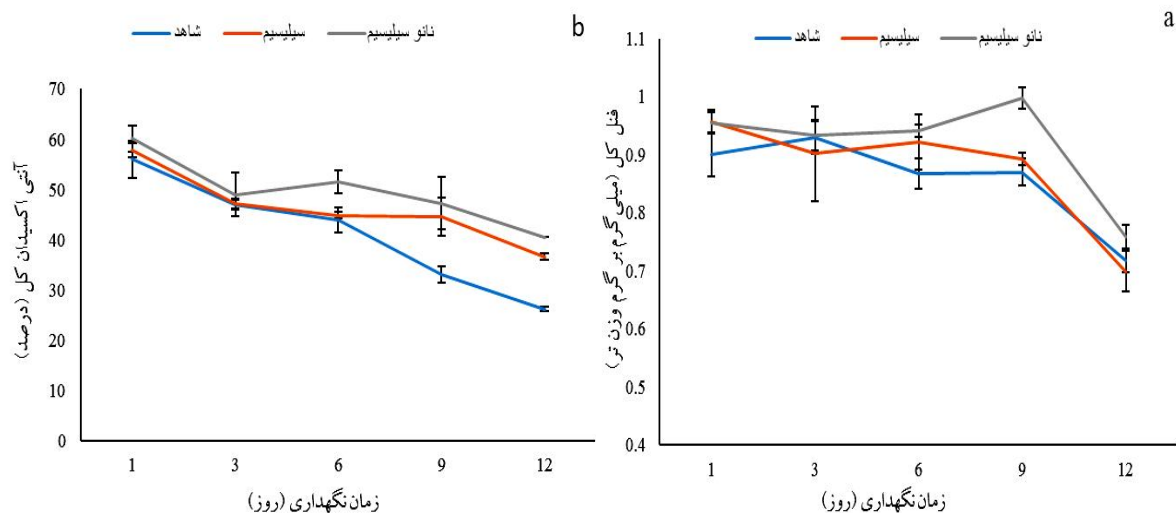
جدول ۲. تجزیه واریانس صفات ویتامین ث، فلاونوئید، فنل کل، آنتی‌اکسیدان کل، آنزیم پلی فنل اکسیداز و شاخص قهوه‌ای شدن میکروگرین چغندر برگی تحت تأثیر سیلیسیم، نانو سیلیسیم و زمان نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد

منبع تغییرات	درجه آزادی	فلاونوئید	پراکسید هیدروژن	مالون دی آلدهید	فنل کل	آنتی‌اکسیدان کل	پلی فنل اکسیداز	قهوه‌ای شدن
زمان	۴	۰/۰۰۱۶**	۲۲۸**	۰/۴۱*	۰/۰۶۱**	۵۹۳**	۰/۱۹**	۰/۱۹**
تیمار	۲	۰/۰۰۱۲**	۸۱/۷**	۰/۳۰*	۰/۰۱۲*	۲۳۷**	۰/۱۰**	۰/۱۲**
زمان×تیمار	۸	۰/۰۰۰۶*	۲۳/۸**	۰/۲۴*	۰/۰۰۲ ^{ns}	۲۸/۱ ^{ns}	۰/۰۲*	۰/۰۳*
خطا	۳۰	۰/۰۰۰۰۲	۳/۶۶	۰/۱۰	۰/۰۰۰۲	۲۳/۵	۰/۰۱	۰/۰۱
ضریب تغییرات	-	۱۶/۴	۹/۴۸	۱۷/۳۱	۶/۰۰	۱۱/۱	۱۱/۲۷	۱۱/۵

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و ns عدم تفاوت در معنی‌داری است.



شکل ۴. اثر سیلیسیم و نانو سیلیسیم بر ویتامین ث (a) و فلاونوئید کل (b) میکروگرین چغندر برگی در زمان‌های مختلف نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد. میله‌های عمودی نشان دهنده انحراف استاندارد سه تکرار است.



شکل ۵. اثر سیلیسیم و نانو سیلیسیم بر فنل کل (a) و آنتی اکسیدان کل (b) میکروگرین چغندر برگی در زمان‌های مختلف نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد. میله‌های عمودی نشان دهنده انحراف استاندارد سه تکرار است.

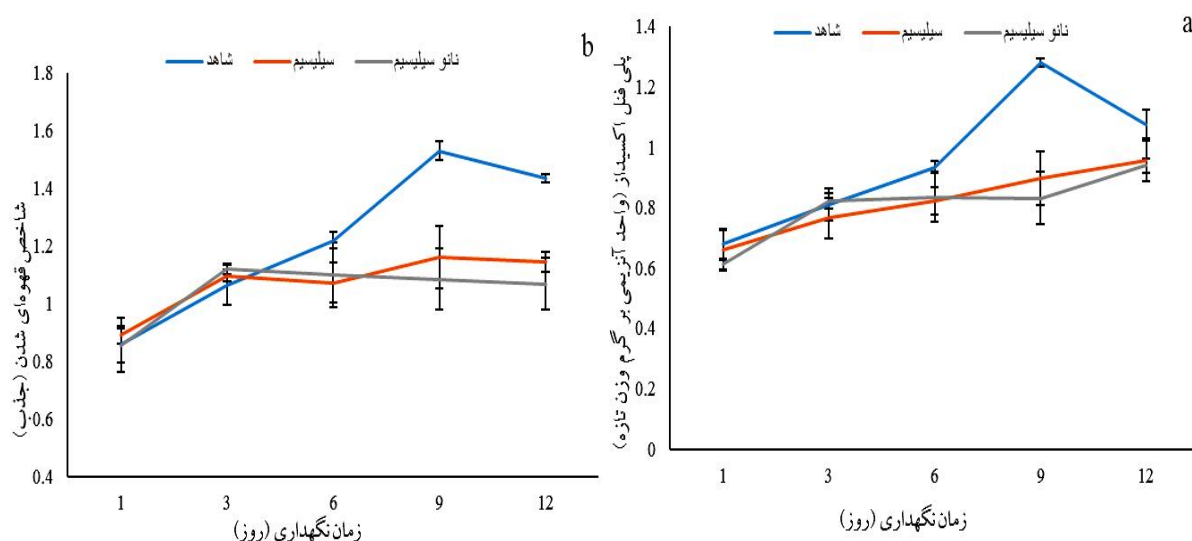
یافت، کاربرد سیلیسیم و نانوسیلیسیم باعث کمتر شدن روند کاهش وزن شد. اثر سیلیسیم و نانو سیلیسیم در جلوگیری از افت وزن که احتمالاً به خاطر حفظ ذخیره آب است، سیلیسیم با رسوب در دیواره سلول‌ها از تبخیر و تعرق آب جلوگیری می‌کند و باعث حفظ تمامیت ساختاری غشاء و دیواره سلول‌ها می‌شود. افزایش حفظ آب از طریق حفظ تمامیت ساختاری غشاء و دیواره سلول‌ها توسط سیلیسیم و نانو سیلیسیم در طی تنش‌ها توسط گونگ و همکاران (۱۶) گزارش شده است. نانو مواد باعث افزایش ماندگاری انواع مختلف مواد غذایی می‌شود و همچنین به کاهش میزان هدر رفتن مواد غذایی به دلیل آلودگی میکروبی کمک می‌کند (۳۲). عملکرد ساختاری سیلیسیم در دیواره سلولی با محتوای همی سلولز و لیگنین بالا همراه است که قادر به افزایش سفتی سلولی، بهبود کیفیت نهایی گیاهان و در نتیجه افزایش سفتی برگ می‌شود که به نوبه خود باعث کاهش اتلاف آب در گیاه شده و دوره پس از برداشت و ماندگاری را طولانی می‌کند (۱۳).

نتیجه تحقیق حاضر نشان داد که مقدار کلروفیل a, b و کل در حضور سیلیسیم و نانو سیلیسیم بیشتر از نمونه شاهد بوده است، در واقع تیمارهای سیلیسیم و نانو سیلیسیم در طول دوره انبارمانی در دمای ۴ درجه سانتی گراد روند کاهشی کلروفیل را

سیلیسیم بر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و شاخص قهوه‌ای شدن در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل آنها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). آنزیم پلی فنل اکسیداز با افزایش مدت نگهداری روند افزایشی را نشان داد، این افزایش در روز نهم نگهداری باعث اختلاف معنی‌دار تیمارها با شاهد شد. تیمارهای سیلیسیم و نانو سیلیسیم در روزهای نهم و دوازدهم میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز را نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ۶a). شاخص قهوه‌ای شدن نیز با افزایش زمان نگهداری دارای روند افزایشی بود و تیمارهای سیلیسیم و نانوسیلیسیم سبب کاهش قهوه‌ای شدن بافت خصوصاً در روزهای پایانی آزمایش شدند. به عبارت دیگر تیمارهای سیلیسیم و نانو سیلیسیم روند افزایشی قهوه‌ای شدن بافت میکروگرین چغندر برگی در دوره پس از برداشت را به تأخیر انداختند (شکل ۶b).

بحث

کاهش وزن یکی از مشکلاتی است که همواره اثر منفی بر کیفیت محصول در طول مدت نگهداری می‌گذارد (۳۸). نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش زمان نگهداری، درصد کاهش وزن در میکروگرین چغندر برگی به‌طور معنی‌داری افزایش



شکل ۶. اثر سیلیسیم و نانو سیلیسیم بر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (a) و شاخص قهوه‌ای شدن (b) میکروگرین چغندر برگی در زمان‌های مختلف نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد. میله‌های عمودی نشان دهنده انحراف استاندارد سه تکرار است.

است. گزارش شده است که کاربرد سیلیسیم در گیاه گوجه فرنگی تحت تنش شوری، باعث افزایش کلروفیل از راه تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شد (۳). از آنجا که سیلیسیم باعث افزایش تأمین مواد مغذی از جمله منیزیم و تعادل عناصر ماکرو و میکرو می‌شود و با توجه به اینکه منیزیم در ساختار کلروفیل نقش اساسی دارد افزایش کلروفیل با تیمار سیلیسیم را می‌توان انتظار داشت (۴۰). گزارش شده است که افزایش سیلیسیم با حفظ یکپارچگی غشاء کلروپلاست و افزایش آسمیلات‌های خالص دی‌اکسید کربن منجر به فعالیت فتوسنتزی بیشتر و افزایش غلظت کلروفیل می‌شود (۲۷). سیلیسیم با قرار گرفتن در دیواره‌های سلول‌های اپیدرمی، علاوه بر استحکام برگ باعث تولید بافت ناهمواری در سطح برگ می‌شود که این امر باعث به تأخیر انداختن مرگ برگ و در نتیجه حفظ محتوای کلروفیل و کاهش در میزان تعرق روزنه‌ای می‌شود. علاوه بر این افزایش در میزان کلروفیل b در تیمار با سیلیسیم و نانو سیلیسیم می‌تواند ناشی از اثر سیلیسیم در افزایش کارایی فتوسیستم II باشد که توسط آل‌آقبري و همکاران (۳) در گیاه گوجه فرنگی که تحت تنش شوری قرار گرفته بود گزارش شده است. این نتایج نشان می‌دهد که تیمارهای سیلیسیم و نانو

نسبت به شاهد کندتر کرده است. ارزیابی تغییرات در مقدار کلروفیل در طی رشد و همچنین بعد از برداشت نقش مهمی در حفظ ارزش غذایی و بازار پسندی سبزی‌ها ایفا می‌کند (۲۸). عوامل محیطی مانند نور، دما، رطوبت، اکسیژن و اتیلن و عوامل درونی گیاه مانند فعالیت کلروفیل‌از و منیزیم دکلاکتاز بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاهان مؤثر هستند (۱). تخریب کلروفیل ممکن است از افزایش غلظت اتیلن در طول ذخیره سازی ناشی شود. گزارش شده است که تخریب کلروفیل توسط اتیلن می‌تواند پاسخگوی افزایش فعالیت کلروفیل‌از باشد. در طول ذخیره سازی، سبزیجات حاوی کلروفیل دچار تغییرات یا از دست دادن رنگ می‌شوند (۱). نتیجه تحقیقات گرامی و همکاران (۱۲) در بررسی اثرات سیلیکات سدیم و سیلیکات پتاسیم در سه غلظت (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در گیاه برنج نشان داد که با افزایش سطوح تیمار سیلیسیم، مقدار کلروفیل کل و کلروفیل a و b افزایش می‌یابد. با کاهش مقدار سیلیسیم مقدار کلروفیل برگ نیز کاهش یافت. تأثیر سیلیسیم بر افزایش مقدار کلروفیل برگ از طریق تأثیر بر فعالیت آنزیم ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و جلوگیری از تخریب کلروفیل توسط سیلیسیم

سیلیسیم پیری برگ‌های میکروگرین را به تعویق انداخته و سبب حفظ کلروفیل و جلوگیری از زرد شدن برگ‌ها در دوره پس از برداشت می‌شود.

ویتامین ث یک شاخص تجاری برای تعریف ارزش غذایی میوه‌ها و سبزیجات است. عقیده بر این است که ویتامین ث به‌عنوان یک حد واسطه در بیوستز و متابولیسم برخی مواد که در سیستم ایمنی بدن دخالت دارند، شرکت می‌کند (۱۵). کاهش محتوای ویتامین ث با مدت زمان ذخیره سازی به اکسیداسیون اسید آسکوربیک به دهیدرو-آسکوربیک اسید توسط آنزیم اسید آسکوربیک اکسیداز نسبت داده شد (۲۰). طی پژوهشی که روی گیاه تربچه انجام شد نشان داد که مقدار ویتامین ث برگ و غده، طی انبار مانی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (۳۴) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. استاماتاکیس و همکاران (۴۱) افزایش معنی‌دار ویتامین ث را در گوجه‌فرنگی در نتیجه کاربرد سیلیسیم گزارش کردند. علت افزایش ویتامین ث احتمالا به‌دلیل افزایش کربوهیدرات‌ها در نتیجه کاربرد سیلیسیم و نانو سیلیسیم است، که باعث افزایش ذخایر کربوهیدراتی و در نتیجه تشکیل بیشتر ویتامین ث می‌شود. در پژوهش حاضر نیز سیلیسیم و نانو سیلیسیم مقدار ویتامین ث را در نمونه‌های میکروگرین چغندر برگی نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری حفظ کردند، که نشان‌دهنده موثر بودن این تیمارها در حفظ کیفیت میکروگرین در دوره پس از برداشت است.

فلاونوئیدها و سایر ترکیبات فنلی با داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌رادیکالی می‌توانند نقش مهمی در نگهداری محصولات غذایی و حفظ سلامت انسان ایفا کنند (۱۷). نتایج تحقیقات یوسفی و همکاران (۴۶) نشان داد که تیمار سیلیسیم (۲/۰ میلی‌مولار) تأثیر مثبت بر گیاه گل‌گاوزبان ایرانی داشته و مقدار فلاونوئید را نسبت به شاهد افزایش داده است. در تحقیق حاضر نیز تیمار سیلیسیم و نانو سیلیسیم مقدار فلاونوئید را در میکروگرین چغندر برگی نسبت به شاهد به‌طوری معنی‌داری افزایش داده است. تیمار با سیلیسیم در گیاه ذرت ترکیبات فنلیکی را تا پنج برابر افزایش داده است (۲۲). قاسمی و

همکاران (۱۴) افزایش میزان فلاونوئید را به افزایش میزان سیلیسیم برگ نسبت دادند و بیان کردند که سیلیسیم عنصری ضد تنش بوده و بنابراین یک مکانیسم احتمالی آن تحریک بیوستز فلاونوئیدها است. تحقیقات نشان دادند که سیلیسیم با افزایش توان سیستم آنتی‌اکسیدانی، به‌ویژه فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، و افزایش فنل و فلاونوئیدها باعث افزایش کیفیت و ارزش غذایی محصولات می‌شود (۱۷). سیلیسیم بر سیالیت غشاء به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم تأثیر گذاشته و باعث فعال شدن آنزیم‌ها، و همچنین باعث کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو مانند آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز در شاخساره در مقایسه با شاهد می‌شود (۲۶). در تحقیق حاضر کاربرد سیلیسیم و نانو سیلیسیم بر میکروگرین چغندر برگی باعث کاهش مقدار پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدید شد. در آزمایشی که اراسلان و همکاران (۱۰) انجام دادند، آسیب پذیری غشاء که با غلظت مالون دی‌آلدید نشان داده می‌شود با تیمار سیلیسیم به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. کاربرد سیلیسیم باعث کاهش در غلظت مالون دی‌آلدید و در پی آن غلظت پراکسید هیدروژن شد (۱۰). در تحقیق حاضر نیز تیمارهای سیلیسیم و نانو سیلیسیم باعث کاهش در غلظت مالون دی‌آلدید شده است. سیلیسیم با افزایش فعالیت آنزیم‌هایی نظیر کاتالاز و پراکسیداز باعث کاهش غلظت پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدید می‌شود (۳). به‌نظر می‌رسد که سیلیسیم به‌کار رفته در گیاهان در معرض تنش با کاهش سطوح مواد واکنش‌دهنده که باعث آسیب اکسیداتیو می‌شوند، مانند پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و همچنین متابولیت‌های ناشی از پراکسیداسیون لیپیدی، مانند مالون دی‌آلدید (MDA) اثرات تنش بر گیاه را کاهش داده و پیری بافت‌های گیاهی را به تعویق می‌اندازد (۴۸ و ۴۹). آل‌آقباری و همکاران (۳) نیز افزایش قابل توجهی در فعالیت‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز همراه با کاهش قابل توجه سطوح H_2O_2 و MDA در برگ‌های گوجه‌فرنگی در معرض شوری تیمار شده

به کینین‌ها اکسید کنند و باعث قهوه‌ای شدن بافت محصولات گیاهی، ایجاد ظاهری نامناسب و کاهش کیفیت شوند. قهوه‌ای شدن آنزیمی یکی از مهم‌ترین واکنش‌های رنگی است که میوه و سبزیجات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. قهوه‌ای شدن آنزیمی توسط برهم‌کنش آنزیم‌هایی مانند پلی فنل اکسیداز و بسترهای فنلی، باعث آسیب به بافت گیاه شده و در نهایت منجر به تولید رنگدانه‌های قهوه‌ای بر سطح محصول می‌شوند (۵). قهوه‌ای شدن یکی از مشکلات عمده در صنعت غذا محسوب می‌شود و می‌تواند خصوصیات منجر به کوتاه شدن انبارمانی، کاهش کیفیت و ارزش اقتصادی ماده غذایی شود (۶). پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش انبارمانی آنزیم پلی فنل اکسیداز دارای روند افزایشی بوده و در نتیجه آن قهوه‌ای شدن نیز افزایش یافت. اما در اثر استفاده از تیمار سیلیسیم و نانو سیلیسیم باعث کاهش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در مقایسه با شاهد شد که به‌همین دلیل قهوه‌ای شدن نیز روند کاهشی داشته است. به‌طور مشابه با این نتایج پوشش‌های کیتوزان و نانو دی اکسید سیلیسیم سبب کاهش قهوه‌ای شدن عنب، پاپایا، لونگان و سیب شد (۳۵). بنابراین علاوه بر کیفیت تغذیه‌ای، ویژگی‌های ظاهری میکروگرین چغندر برگی با کاربرد سیلیسیم و نانو سیلیسیم بهبود می‌یابد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از تیمارهای سیلیسیم و نانو سیلیسیم در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر به‌طور مؤثری سبب حفظ کیفیت تغذیه‌ای و جلوگیری از کاهش وزن میکروگرین چغندر برگی در دروه پس از برداشت شد. همچنین قهوه‌ای شدن بافت و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز با کاربرد سیلیسیم و نانو سیلیسیم کاهش یافت. به‌طورکلی تیمار نانو سیلیسیم تأثیر بهتری بر خصوصیات اندازه‌گیری شده میکروگرین نسبت به تیمار سیلیسیم داشت. بررسی پتانسیل کاربردی تیمار سیلیسیم برای نگهداری بهتر میکروگرین‌ها در دوره پس از برداشت نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

با سیلیسیم در مقایسه با گیاهانی که فقط با NaCl تیمار شده بودند، گزارش کردند. این نتایج نشان می‌دهد که تیمار سیلیسیم و نانو سیلیسیم با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید و باعث تأخیر در فرایندهای پیری آن می‌شود.

ترکیبات فنلی از جمله متابولیت‌های ثانویه گیاه هستند که نقش عمده‌ای در تنظیم رشد و نمو گیاه دارند و به‌صورت ضد آنتی‌اکسیدان در بافت‌های گیاهی تحت تنش‌های مختلف به‌وجود می‌آیند. تغییرات در تجمع ترکیبات فنلی نشان‌دهنده این است که سیلیسیم بر متابولیت‌های ثانویه تأثیر می‌گذارد (۴۷). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میکروگرین چغندر برگی مورد بررسی طی انبار کاهش پیدا کرد، این نتایج با تحقیقات انجام شده در گیاهان خردل، کاهو (۹)، اسفناج و نخود (۳۷) مطابقت داشت. سیلیسیم و نانو سیلیسیم در گیاهان عالی همراه با لیگنین باعث پلیمریزاسیون فنل شده و در نتیجه باعث افزایش تجمع فنل در بافت‌های گیاهی می‌شود (۱۱). در تحقیق حاضر نیز نانو سیلیسیم باعث افزایش معنی‌دار فنل در مقایسه با شاهد شده است. افزایش ترکیبات فنلی علاوه بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان که باعث افزایش کیفیت می‌شود، همچنین در پاسخ سلول‌ها در برابر آلودگی‌های میکروبی نیز نقش دارند (۴۲). کاهش در مقدار ترکیبات فنلی سبزی‌ها در طی انبار ارتباط نزدیکی با فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (PPO) دارد که این آنزیم از ترکیبات فنلی به‌عنوان سوبسترا استفاده کرده که این امر سبب کاهش ترکیبات فنلی و قهوه‌ای شدن بافت برگ در انبار می‌شود و از آنجا که ارتباط مستقیمی بین ترکیبات فنل برگ و فعالیت ضد اکسیدان وجود دارد کاهش مقدار ترکیبات فنلی سبب کاهش فعالیت اکسیداتیو نیز می‌شوند (۱۷). بنابراین بهبود بیوستز ترکیبات فنلی و در نتیجه افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی یکی از اثرات سودمند کاربرد سیلیسیم و نانو سیلیسیم در میکروگرین چغندر برگی است. پلی فنل اکسیدازها (PPO) از مهم‌ترین آنزیم‌ها هستند که قادرند ترکیبات فنلی را

منابع مورد استفاده

1. Aguero, M. V., M. V. Barg, A. Yommi, A. Camelo and S. I. Roura. 2008. Postharvest changes in water status and chlorophyll content of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and their relationship with overall visual quality. *Journal of Food Science* 73: 47-55.
2. Akowuah, G. A., Z. Ismail, I. Norhayati and A. Sadikun. 2005. The effects of different extraction solvents of varying polarities on polyphenols of *Orthosiphon stamineus* and evaluation of the free radical-scavenging activity. *Food Chemistry* 93: 311-317.
3. Al-aghaby, K., Z. Zhu and Q. Shi. 2005. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition* 27: 2101-2115.
4. Alexieva, V., I. Sergiev, S. Mapelli and E. Karanov. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell & Environment* 24: 1337-1344.
5. Amiot, M. J., S. Aubert and J. Nicolas. 1992. Phenolic composition and browning susceptibility of various apple and pear cultivars at maturity. *Physiological Basis of Postharvest Technologies* 343: 67-69.
6. Chen, Q. X., K. K. Song, L. Qiu, X. D. Liu, H. Huang and H. Y. Guo. 2005. Inhibitory effects on mushroom tyrosinase by p-alkoxybenzoic acids. *Food Chemistry* 91: 269-274.
7. De Souza, J. Z., R. De Mello Prado, S. Silva, T. P. Farias, J. G. Neto and J. Souza Junior. 2019. Silicon leaf fertilization promotes biofortification and increases dry matter, ascorbate content, and decreases post-harvest leaf water loss of chard and kale. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 50: 164-172.
8. Di Gioia, F., M. Renna and P. Santamaria. 2017. Sprouts, microgreens and baby leaf vegetables. pp. 403-432, In: R. Wiley and F. Yildiz (eds.), *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*, Springer, Boston.
9. DuPont, M. S., Z. Mondin, G. Williamson and K. R. Price. 2000. Effect of variety, processing, and storage on the flavonoid glycoside content and composition of lettuce and endive. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 3957-3964.
10. Eraslan, F., A. Inal, D. J. Pilbeam and A. Gunes. 2008. Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Matador) grown under boron toxicity and salinity. *Plant Growth Regulation* 55: 207-219.
11. Fang, C., Q. Wang, Y. Yu, L. Huang, X. Wu and W. Lin. 2011. Silicon and its uptaking gene Lsi1 in regulation of rice UV-B tolerance. *Acta Agronomica Sinica* 37: 1005-1011.
12. Gerami, M., A. Fallah and M. R. Khatami Moghadam. 2012. Study of potassium and sodium silicate on the morphological and chlorophyll content on the rice plant in pot experiment (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4: 658 -661.
13. Gaur, S., J. Kumar, D. Kumar, D. K. Chauhan, S. M. Prasad and P. K. Srivastava. 2020. Fascinating impact of silicon and silicon transporters in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 202: 1-11.
14. Ghasemi, K., M. Ghajar Sepanlou and M. Haddadinejad. 2019. Effect of silicon on nutrient concentration, photosynthetic pigments and fruit quality of strawberry cv. Camarosa. *Iranian Scientific Journal of Garden Plant Nutrition* 2: 85-98. (In Farsi).
15. Ghasemnezhad, A., Y. Ghasemi, K. Hemati, M. A. Ebrahimzadeh and K. Ghasemi. 2012. Effect of type of rootstock and fruit tissue on some chemical properties of page mandarin and thompson novel orange. *Journal of Plant Production* 43: 43-53.
16. Gong, H., X. Zhu, K. Chen, S. Wang and C. Zhang. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science* 169: 313-321.
17. Habibi, G. and M. Abedini. 2015. Effects of postharvest silicon application on phenolics, antioxidant system and phenylalanine ammonia-lyase activity in plum (*Prunus salicina* Shablon) fruits. *Iranian Journal of Cell-Molecular Biotechnology* 19: 93-100. (In Farsi).
18. Heath, R. L. and L. Packer. 1969. Photoperoxidation and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Biochemistry and Biophysics* 125: 189-198.
19. Hu, Y. H., C. M. Chen, L. Xu, Y. Cui, X. Y. Yu, H. J. Gao and Q. X. Chen. 2015. Postharvest application of 4-methoxy cinnamic acid for extending the shelf life of mushroom (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biology and Technology* 104: 33-41.
20. Jany, M. N. H., C. Sarker, M. A. R., Mazumder and M. F. H. Shikder. 2008. Effect of storage conditions on quality and shelf life of selected winter vegetables. *Journal of the Bangladesh Agricultural University* 6: 391-400.
21. Kar, M. and D. Mishra. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology* 57: 315-319.
22. Kidd, P. S., M. Llugany, C. H. Poschenrieder, B. Gunse and J. Barcelo. 2001. The role of root exudates in aluminium resistance and silicon-induced amelioration of aluminium toxicity in three varieties of maize (*Zea mays*

- L.). *Journal of Experimental Botany* 52: 1339-1352.
23. Korndorfer, G. H. 2006. Elementos benéficos. *Nutrição mineral de plantas* 1: 355-374.
 24. Kou, L., Y. Luo, T. Yang, Z. Xiao, E. R. Turner, G. E. Lester and M. J. Camp. 2013. Postharvest biology, quality and shelf life of buckwheat microgreens. *LWT-Food Science and Technology* 51: 73-78.
 25. Kou, L., T. Yang, X. Liu and Y. Luo. 2015. Effects of pre-and postharvest calcium treatments on shelf life and postharvest quality of broccoli microgreens. *HortScience* 50: 1801-1808.
 26. Liang, Y., Q. I. N. Chen, Q. Liu, W. Zhang and R. Ding. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology* 160: 1157-1164.
 27. Liang, Liang, Y., M. Nikolic, R. Bélanger, H. Gong and A. Song. 2015. Effect of silicon on crop growth, yield and quality. pp. 209-223, In: Yongchao, L., N. Miroslav, R. Belanger, G. Haijun, and A. Song (eds.), *Silicon in Agriculture: from Theory to Practice*, Springer, Dordrecht.
 28. Limantara, L., M. Dettling, R. Indrawati and T. H. P. Brotosudarmo. 2015. Analysis on the chlorophyll content of commercial green leafy vegetables. *Procedia Chemistry* 14: 225-231.
 29. Parveen, S., M. A. Islam and M. F. Mondal. 2004. Effects of postharvest treatments on shelf-life and quality of some vegetables. *Journal of Bangladesh Society for Agricultural Science and Technology* 1: 25-28.
 30. Poorshahabadi, L., H. Mirdehghan and H. R. Roosta. 2019. Comparison of minerals and bioactive compounds of six vegetable species in microgreen stage in hydroponic and soil production systems. *Iranian Journal of Horticultural Science* 23: 113-126. (In Farsi).
 31. Porra, R. J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis research* 73: 149-156.
 32. Pradhan, N., S. Singh, N. Ojha, A. Shrivastava, A. Barla, V. Rai and S. Bose. 2015. Facets of nanotechnology as seen in food processing, packaging, and preservation industry. *BioMed Research International* 4: 1-17.
 33. Ranganna, S. 1997. *Handbook of Analysis of Quality Control of Fruit and Vegetable Product*, Tata McGraw-Hill. New Delhi, India.
 34. Rivelli, A. R., M. C. Caruso, S. De Maria and F. Galgano. 2017. Vitamin C content in leaves and roots of horseradish (*Armoracia rusticana*): Seasonal variation in fresh tissues and retention as affected by storage conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 3: 799-806.
 35. Sami, R., M. Almatrafi, A. Elhakem, M. Alharbi, N. Benajiba and M. Helal. 2021. Effect of nano silicon dioxide coating films on the quality characteristics of fresh-cut cantaloupe. *Membranes* 11: 140-153.
 36. Samuoliene, G., A. Viršilė, A. Brazaitytė, J. Jankauskienė, S. Sakalauskienė, V. Vaštakaitė and P. Duchovskis. 2017. Blue light dosage affects carotenoids and tocopherols in microgreens. *Food Chemistry* 228: 50-56.
 37. Santos, J., M. Oliveira, E. Ibáñez and M. Herrero. 2014. Phenolic profile evolution of different ready-to-eat baby-leaf vegetables during storage. *Journal of Chromatography* 1327: 118-131.
 38. Serrano, M., D. Martinez-Romero, S. Castillo, F. Guillén and D. Valero. 2004. Role of calcium and heat treatments in alleviating physiological changes induced by mechanical damage in plum. *Postharvest Biology and Technology* 34: 155-167.
 39. Singleton, V. L. and J. A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.
 40. Sivanesan, I., M. S. Son, J. P. Lee and B. R. Jeong. 2010. Effects of silicon on growth of *Tagetes patula* L. 'Boy Orange' and 'Yellow Boy' seedlings cultured in an environment controlled chamber. *Propagation of Ornamental Plants* 10: 136-140.
 41. Stamatakis, A., N. Papadantonakis, D. Savvas, N. Lydakis-Simantiris and P. Kefalas. 2003. Effects of silicon and salinity on fruit yield and quality of tomato grown hydroponically. In: *Proceeding of International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment*, Pisa (Italy), 9-12 July 2003, pp. 141-147.
 42. Tesfay, S. Z., I. Bertling and J. P. Bower. 2010. Anti-oxidant levels in various tissues during the maturation of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 85: 106-112.
 43. Turner, E. R., Y. Luo, and R. L. Buchanan. 2020. Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: A review. *Journal of Food Science* 85: 870-882.
 44. Xiao, Z., G. E. Lester, Y. Luo and Q. Wang. 2012. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60: 7644-7651.
 45. Xiao, Z., G. E. Lester, E. Park, R. A. Saftner, Y. Luo and Q. Wang. 2015. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens. *Postharvest Biology and Technology* 110: 140-148.
 46. Yousefi, M., S. Enteshari and M Saadatmand. 2014. Effects of silica treatment on some morphological, anatomical and physiological characteristics of Iranian borage (*Echium amoenum* Fish & C.A. Mey). *Iranian Journal of Greenhouse Cultivation Sciences and Techniques* 18: 83-93. (In Farsi).

47. Zhang, F. S., X. Q. Wang, S. J. Ma, S. F. Cao, N. Li, X. X. Wang and Y. H. Zheng. 2006. Effects of methyl jasmonate on postharvest decay in strawberry fruit and the possible mechanisms involved. In: Proceeding of 5th International Conference on Managing Quality in Chains-The Integrated View on Fruits and Vegetables Quality, Bangkok, Thailand, 30 June 2006, pp. 693-698.
48. Zhu, Y. and H. Gong. 2014. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development* 34: 455-472.
49. Zhu, Z., G. Wei, J. Li, Q. Qian and J. Yu. 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science* 167: 527-533.

The Effect of Silicon and Nano-Silica on Shelf Life and Some Nutritional Characteristics of Beet Microgreens at the Post-Harvest Period

P. Mohammadian¹, F. Ghanbari^{2*} and M. R. Alymanesh³

(Received: September 20-2022; Accepted: November 02-2022)

Abstract

Microgreens are young plants that have gained popularity among consumers due to their high nutritional value. In the present study, the shelf life and nutritional properties of beet microgreens subjected to silicon and nano-silica in the post-harvest period have been investigated. Silicon and nano-silica treatments were carried out at two levels (Control and 100 mg/L as foliar spraying), after which the microgreens were harvested and kept at 4°C for 12 days. The results showed that the activity of polyphenol oxidase enzyme increased with the increase of storage time and as a result the browning of the tissue also increased. Also, with increasing storage time, the percentage of weight loss, hydrogen peroxide, malondialdehyde and carotenoid increased and chlorophyll a, b and total, total phenol, flavonoid, antioxidant capacity and vitamin C decreased. The use of silicon and nano-silica treatment decreased the activity of polyphenol oxidase enzyme and browning of the microgreen tissue compared to the control. Application of silicon increased total chlorophyll (33.75%), total phenol (2.49%) and total antioxidant capacity (39.7%) of microgreens in the post-harvest period. Also, the use of nano-silica increased the amount of total phenol (5.73%), antioxidant capacity (55%) and vitamin C (38.77%) compared to the control. In general, the results of this research showed that the pre-harvest application of silicon and nano-silica improves the nutritional characteristics of beet microgreens in the post-harvest period.

Keywords: Hydrogen Peroxide, Tissue Browning, Total phenol, Vitamin C, Weight loss

1, 2. MSc. Student and Assistant Professor, respectively, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

*: Corresponding Author, Email: F.ghanbari@ilam.ac.ir