

تاثیر تیمار اسیدسالیسیلیک و نانو زئولیت‌های حاوی پرمنگنات پتاسیم بر حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی کلم براکلی رقم ایتالیکا پلنک

فرزاد آزاد شهرکی^{۱*}، امیر حسن اسعدیان^۲

۱- عضو هیات علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی سرایان، دانشگاه بیرجند

(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۳)

چکیده

در این پژوهش تاثیر تیمار اسیدسالیسیلیک در ۲ سطح (صفر و ۲ میلی‌مول در لیتر) و نانو زئولیت حاوی پرمنگنات پتاسیم در ۲ سطح (صفر و ۱۰ گرم) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عمر انباری گلچپه‌های کلم براکلی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها در سردخانه در دمای ۱ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۹۰-۹۵ درصد به مدت ۲۴ روز نگهداری شدند. نمونه‌ها در روز قبل از انباری و در طول دوره نگهداری با فاصله ۴ روز از سردخانه خارج شده و به منظور ایجاد حالت مشابه در خرده فروشی‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفته و سپس از نظر فاکتورهای مختلف کیفی و کمی نظیر کاهش وزن، کیفیت ظاهری، اتیلن، مواد جامد محلول کل، اسید قابل تیتراسیون، ویتامین ث، رنگ ظاهری، کلروفیل، کارتنوئید، فنول کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تیمار اسیدسالیسیلیک و نانو زئولیت حاوی پرمنگنات پتاسیم و تیمار توام نانو زئولیت حاوی پرمنگنات پتاسیم و اسیدسالیسیلیک، تاثیر معنی‌داری در حفظ کیفیت ظاهری و خصوصیات کمی و کیفی نسبت به گلچپه‌های شاهد داشتند. همچنین تیمار توام نانو جاذب اتیلن و اسید سالیسیلیک بهترین اثر را در حفظ کیفیت ظاهری، جلوگیری از تخریب کلروفیل و ممانعت از زردی و پیری گلچپه‌ها و حفظ مواد فراسودمند نشان داد.

کلید واژگان: ویتامین ث، رنگ سطحی، کلروفیل، تولید اتیلن

۱- مقدمه

کلم براکلی سبزی گل‌آذینی بوده و بخش خوراکی آن را جوانه‌های زایشی تشکیل می‌دهد. این جوانه‌ها از ارزش غذایی بالایی برخوردار بوده و سرشار از کلسیم، آهن، پتاسیم و ویتامین‌های A و E می‌باشند. گلچه‌های تازه کلم براکلی به دلیل محتوای کالری پایین، فیبرهای خوراکی زیاد، اسید آسکوربیک فراوان و ترکیبات ضدسرطان متعدد شامل انواع فیتوکمیکال‌ها مانند گلوکوزینولات‌ها، ایزوتیوسیانات‌ها، آنتی-اکسیدان‌ها و فلاونوئیدها مشهور می‌باشند [۱ و ۲]. گلوکوزینولات‌ها و ایزوتیوسیانات‌ها به عنوان ترکیبات اولیه‌ای هستند که به دلیل وجودشان، کلم براکلی جز خوراکی‌های فراسودمند قرار می‌گیرد. غذاهای فراسودمند استانداردهای مورد نیاز سلامتی را بیشتر از خوراکی‌های معمولی فراهم می‌کنند و با تأثیری که بر سیستم‌های فعال بدن می‌گذارند از بروز بیماری‌های مهم مربوط به قلب و عروق و صدمات سلولی جلوگیری می‌کنند و در نتیجه از پیشرفت بیماری‌های خطرناکی مانند سرطان می‌کاهند [۳]. گلچه‌های براکلی هنگامی برداشت می‌شوند که گلچه‌ها نابالغ و در حال رشد سریع می‌باشند. این نوع برداشت با ایجاد اختلال در دریافت مواد غذایی، انرژی و هورمون، از طریق القا یک تنش بافتی شدید، موجب تسریع فرآیند پیری می‌شود [۴]. پیری به مرحله‌ای از رشد اطلاق می‌شود که در آن به واسطه واکنش‌های کاتابولیکی، غشاء لایه‌های داخلی تخریب شده و فروپاشی کلروپلاست باعث افت فتوسنتز شده، تخریب ماکرومولکول‌ها اتفاق می‌افتد و در نهایت مجموعه فرآیندهای درون سلولی به صورت آثار پیری در ظاهر گیاه مشهود شده و گیاه در برابر حمله و تجزیه میکروبی آسیب پذیر می‌شود [۵]. رنگ سبز براکلی ویژگی کیفی مهمی برای مصرف‌کنندگان است. تسریع این مرحله منجر به افزایش تولید اتیلن، و از بین رفتن رنگ سبز و زردی گلچه‌های براکلی در اثر تخریب کلروفیل، و همچنین از بین رفتن پروتئین، لیپید و آسکوربیک می‌شود. به بیانی دیگر همزمان با از بین رفتن کیفیت ظاهری، کیفیت غذایی سبزی نیز در حال تغییر است و افت ارزش غذایی باعث می‌شود که هدف از مصرف سبزی‌ها زیر سوال برود [۶-۸]. مواد شیمیایی خاص مانند نمک‌های کلسیمی، اسیدهای آلی و هورمون‌های مبتنی بر گیاه برای گسترش عمر قفسه‌ای محصولات فسادپذیر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اسیدسالیسیلیک به طور طبیعی در قلمرو گیاهی گسترش یافته است [۹] و در گروه هورمون‌های گیاهی درون‌زا قرار می‌گیرد [۱۰]. اسیدسالیسیلیک یک تنظیم‌کننده رشد درون‌زا از گروه ترکیبات فنولی است [۱۱] که به‌طور گسترده‌ای برای بهبود کیفیت و کنترل ضایعات پس از برداشت تعدادی از محصولات به کار رفته است [۱۲]. گزارش شده است که اسیدسالیسیلیک در اثر توقف فعالیت ACC اکسیداز [۱۳] مانع تبدیل ACC به اتیلن و تاخیر پیری می‌شود [۱۴]. نقش اسیدسالیسیلیک و مشتقات آن بر کاهش سرعت افت کیفیت و صدمه سرمازدگی در خیار و گوجه‌فرنگی [۱۵]، و فلفل شیرین [۱۶]، تاخیر در فرآیند رسیدن موز [۱۷] و سیب [۱۸]، گسترش عمر قفسه‌ای از طریق ممانعت از تولید اتیلن و فعالیت آنزیمی کیوی [۱۹] مورد بررسی قرار گرفته است.

استفاده از فناوری‌های جدید بسته‌بندی از جمله بسته‌بندی فعال با استفاده از جاذب‌های اتیلن نقش اساسی در حفظ کیفیت، سلامت و افزایش عمر انبارمانی محصول بسته‌بندی شده همراه با جلب رضایت مصرف‌کننده ایفا می‌کند [۲۰]. زئولیت‌ها مواد کریستالی سیلیکات آلومینیومی هستند که به منظور جذب اتیلن مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین مشخص شده است که در صورت کاربرد آنها به صورت ترکیب با اکسیدکننده‌ها یا کاتالیست‌های اتیلن، اثر آنها بیشتر می‌شود [۲۱]. پرمنگنات پتاسیم اکسیدکننده‌ای قوی است که بیشترین کاربرد تجاری را در حذف اتیلن دارد [۲۲]. این ماده باعث اکسید شدن اتیلن به اتیلن گلیکول و یا اسیداستیک می‌شود که در طی این فرآیند، رنگ آن از ارغوانی به قهوه‌ای تغییر می‌یابد [۲۳]. اگرچه، به علت خاصیت سمی زیادی که پرمنگنات پتاسیم دارد باید به گونه‌ای مورد استفاده قرار گیرد که در تماس مستقیم با مواد غذایی قرار نگیرد [۲۴]. همچنین تحقیقات نشان می‌دهند که دلیل نسبت بالای سطح به وزن نانوذرات [۲۵]، به منظور افزایش سطح تماس پرمنگنات پتاسیم با اتمسفر محیط و افزایش میزان اثرگذاری، محلول اشباع پرمنگنات پتاسیم را می‌توان بر روی بسترهای مناسب و مواد معدنی بی‌اثر از قبیل سلیکاژل، کربن فعال، پرلیت، زئولیت یا آلومینا قرار داد و یا از گلوله‌های حاصل از آن در بسته‌های کوچک، فیلم‌های بسته‌بندی و یا فیلترها، استفاده نمود. این محصولات را می‌توان در بسته‌بندی، تجهیزات سردخانه و یا طی حمل و نقل میوه به کار برد [۲۶ و ۲۷]. این سیستم‌ها روی

تعیین میزان درصد کاهش وزن: برای اندازه‌گیری کاهش وزن، نمونه‌ها قبل از بسته‌بندی با ترازوی الکترونیکی با دقت ۰/۱ گرم وزن شدند؛ سپس هر نمونه‌ای که از انبار خارج شد دوباره وزن و درصد کاهش وزن محاسبه گردید.

ارزیابی کیفیت ظاهری: برای ارزیابی کیفیت ظاهری از یک مقیاس ۵-۱ و سیستم نمره‌دهی استفاده شد، ۵= عالی، سبز تیره با فشردگی کامل و بدون آسیب، ۳= متوسط، سبز روشن با فشردگی و آسیب ملایم، ۱= غیرقابل فروش، زرد و شل [۳۴].

میزان تولید اتیلن: سرهای موجود در داخل هر بسته پس از اندازه‌گیری وزن در داخل ظرف‌های پلاستیکی مجهز به سیتم قرار گرفته و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند. ۱ میلی‌لیتر از گاز موجود در فضای بالای ظرف پلاستیکی به وسیله ونوجکت و سوزن دو سر مخصوص نمونه‌گیری و میزان تولید اتیلن با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل شیماتزو مدل A-14 بر اساس $nL.g^{-1} h^{-1}$ بیان شد.

اندازه‌گیری مواد جامد محلول کل (TSS): چند قطره از عصاره صاف شده سبزی با استفاده از قطره چکان روی منشور دستگاه رفرکتومتر مدل RF ۴۰ ریخته و عدد قرائت گردید. عدد حاصل بیانگر مواد جامد محلول است که به صورت درجه بریکس بیان شد.

اندازه‌گیری درصد اسید قابل تیتراسیون (TA): ۱۰ میلی لیتر از عصاره صاف شده سبزی با ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شد و سپس با استفاده از سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به $pH=8.1-8.2$ تیتر شد.

اندازه‌گیری ویتامین ث: ۱۰ میلی لیتر از عصاره صاف شده سبزی در یک ارلن ریخته شد، مقدار ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شده، ۲ میلی‌لیتر نشاسته ۱٪ به آن افزوده و سپس با محلول ید ۱٪ نرمال که حاوی ۱۶ گرم یدور پتاسیم در لیتر است، تیتر شد، ظهور رنگ آبی تیره بادوام پایان آزمایش خواهد بود. چون هر لیتر از محلول ید ۱٪ نرمال معادل ۰/۸۸ میلی‌گرم اسیدآسکوربیک است، بنابراین مقدار ویتامین ث در عصاره سبزی با استفاده از فرمول زیر بدست می‌آید [۳۵].

$$\text{گرم در } 100 \text{ گرم نمونه تازه} = \left(\frac{0.88}{100} \times \text{مقدار محلول ید مصرفی} \right) \times \text{ویتامین ث (میلی)}$$

بسیاری از محصولات مانند پاپایا [۲۸]، گیلان تک‌دانه [۲۹]، سیب [۳۰]، کیوی [۳۱]، موز [۳۲]، کاهوی سالادی و کلم چینی [۳۳] به کار برده شده است و حذف اتیلن باعث تاخیر در فرآیند رسیدگی، پیری و سایر نابسامانی‌ها و در نهایت حفظ کیفیت محصول شده است.

این تحقیق با هدف بررسی اثر نانوزئولیت‌های آغشته به پرمنگنات پتاسیم به عنوان جاذب اتیلن در بسته‌بندی براکلی و تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک بر کنترل شدت تنفس و تولید اتیلن به منظور افزایش عمر انبارمندی، حفظ کیفیت، ارزش غذایی و همچنین حفظ سطح بالای ترکیبات زیست فعال تا زمان رسیدن محصول به دست مصرف کننده انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

گلچپه‌های براکلی رقم ایتالیکا از یک تولیدکننده محلی در منطقه محمدشهر کرج، با در نظر گرفتن شاخص‌های بلوغ و چارت رنگی دانشگاه دیویس در سال ۱۳۹۵ تهیه و پس از ۲۴ ساعت پیش‌سرمایی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بلافاصله به موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج منتقل شدند. گلچپه‌ها با اندازه (به طور میانگین ۱۱۰ گرم) و رنگ یکنواخت و بدون نقص ظاهری انتخاب شدند. به منظور اعمال تیمار هورمونی گلچپه‌ها در ۲ دسته در محلول اسیدسالیسیلیک با غلظت ۲ میلی‌مول در لیتر به مدت ۵ دقیقه فرو برده شده سپس روی کاغذ صافی و در معرض هوا خشک شدند. سایر گلچپه‌ها بدون اعمال تیمار هورمونی در ظروف پلاستیکی قرار داده شدند. در نیمی از ظروف (شاهد و تیمار شده با اسیدسالیسیلیک) بسته‌های محتوی نانوزئولیت ۱۰ گرم پوشش داده شده با پرمنگنات پتاسیم قرار داده شد و سپس تمام ظروف محتوی نمونه‌ها با استفاده از سلفون کاملاً پوشانده شد. نمونه‌های تیمار شده همراه با نمونه‌های شاهد در سردخانه ۱ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۹۵-۹۰٪ به مدت ۲۴ روز نگهداری شدند. میوه‌های موجود در هر تیمار در هر مرحله از نمونه‌برداری در روز صفر (قبل از انباری) و روزهای ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ انبارداری به صورت تصادفی از سردخانه خارج شده و برای ایجاد حالت مشابه با خرده‌فروشی‌ها، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط طبیعی (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰٪) قرار گرفته و سپس در آزمایشگاه از نظر صفات کمی و کیفی زیر مورد بررسی قرار گرفتند.

درو در دقیقه سانتیفریژ شدند. در نهایت میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH بیان شد [۳۹].

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: این آزمایش در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. داده‌ها پس از جمع‌آوری، مرتب شده و با استفاده از نرم‌افزارهای MSTATC و SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ادر سطح احتمال ۱٪ انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

درصد کاهش وزن: در این بررسی، وزن سرها در طول دوره انبارمانی در تمام تیمارها و شاهد کاهش یافت، اما نمونه‌های شاهد با افت وزن ۳۲٪، در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین میزان کاهش وزن را دارا بوده و تیمار توام نانوجاذب اتیلن و اسیدسالیسیلیک بیشترین ممانعت را در برابر افت وزن به عمل آورده است (جدول ۲). از دست‌دهی رطوبت و متعاقباً افت وزن، اصلی‌ترین مشکل انبارداری براکلی است که بازارپسندی آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۴۰]. یکی از دلایل کاهش وزن گلچه‌های کلم براکلی افزایش نفوذپذیری غشا سلولی در مرحله پیری است که با پیشرفت پیری افزایش می‌یابد، به عبارتی با اغفرایش مدت زمان انبارمانی بر این کاهش وزن افزوده می‌شود. از دیگر دلایل کاهش وزن، تبخیر و تعرق، تنفس و فعالیت‌های متابولیکی محصولات در دوره پس از برداشت است [۴۱]. بر اساس اظهارات مانسه و همکاران [۴۲] اسیدسالیسیلیک به عنوان دهنده الکترون، باعث تولید رادیکال‌های آزادی می‌شود که موجب ممانعت از تنفس معمولی و متعاقباً منجر به کاهش افت وزن محصول می‌شود. اسید سالیسیلیک از طریق بستن روزنه‌ها می‌تواند باعث کاهش سرعت تنفس و به حداقل‌رسانی کاهش وزن محصول شود [۴۳ و ۴۴]. بنابراین به نظر می‌رسد تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک با تاثیر بر فعالیت‌های متابولیکی منجر به حفظ ثبات غشا، کاهش سرعت تنفس، تعرق و تولید اتیلن و همچنین نانوجاذب آغشته به پرمنگنات پتاسیم از طریق جذب گازهایی که باعث افزایش سرعت تنفس و تولید اتیلن می‌شوند باعث کاهش آب از دست‌دهی شده و به این ترتیب افت وزن

رنگ ظاهری: رنگ ظاهری هر گلچه در ۳ نقطه از سطح با استفاده از رنگ‌سنج مینولتا^۱ (مدل CR ۴۰۰) قبل از اعمال تیمار و پس از خروج از انبار در هر نمونه در دمای اتاق اندازه‌گیری شد و شاخص‌های L^* ، a^* و b^* اندازه‌گیری شدند شاخص L^* یا میزان روشنایی از رنگ سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰)، شاخص a^* یا میزان قرمزی از سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) و شاخص b^* یا میزان زردی از آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) می‌باشند.

اندازه‌گیری کلروفیل کل، a و b و کارتنوئید: ۰/۵ گرم از گلچه‌های فریزداری شده با ۱۲۰۰ میکرولیتر متانول به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در تاریکی قرار گرفت. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و چرخش ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه سانتیفریژ شد. میزان جذب مایع رویی در ۲ طول موج ۶۶۵ و ۶۵۲ نانومتر خوانده شد و با کاربرد ۳ فرمول زیر میزان کلروفیل کل، a و b محاسبه گردید [۳۷ و ۳۶].

$$Ca = 16.29 \times A_{665} - 8.54 \times A_{652}$$

$$Cb = 30.66 \times A_{665} - 13.5A$$

$$Ca+b = 22.12 \times 652 + 2.71 \times A_{665}$$

اندازه‌گیری میزان فنول کل: ۰/۵ گرم از گلچه‌های فریزداری شده در ۴ میلی لیتر الکل اتانول همگن شده و سپس عصاره توسط دستگاه سانتیفریژ صاف گردید. سپس به ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره اتانولی صاف شده، ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فولین، یک میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷٪ و ۸ میلی لیتر آب مقطر افزوده شد. میزان جذب مخلوط واکنش، پس از قرارگیری در حمام آب گرم به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۲۵ نانومتر قرائت گردید [۳۸]. فنول کل بر اساس میلی‌گرم اسیدگالیک موجود در کیلوگرم وزن‌تر نمونه بیان شد.

اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل: ظرفیت آنتی-اکسیدانی عصاره‌ها از طریق خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد ۱ و ۱ دی فنیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) تعیین شد. برای این منظور ۳۰۰ میکرولیتر متانول به ۳۰ میلی‌گرم نمونه فریزداری شده اضافه گردید. محلول حاصل به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰

همراه با اسیدسالیسیلیک پایین‌ترین میزان تولید اتیلن را نشان داده است. تیمار براکلی با اسیدسالیسیلیک احتمالاً با تاثیر بر متابولیسم تنفسی و دخالت در فعالیت آنزیم‌های موثر در بیوسنتز اتیلن (ACC اکسیداز) و همچنین نانوجاذب از طریق جذب گازهای اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و اتیلن باعث کاهش تولید اتیلن نسبت به نمونه‌های شاهد و نمونه‌های موجود در بسته‌های نانوجاذب و تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک شده است. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که تیمار اسیدسالیسیلیک تولید اتیلن را در گلچه‌های براکلی رقم ایتالیکا کاهش داده و ظهور علائم پیری را به تاخیر می‌اندازد (جدول ۲). گزارش شده است که درصد افت وزن در میوه‌های خرمالوی تیمار شده با اسیدسالیسیلیک [۴۷] و میوه موز بسته‌بندی شده در کیسه‌های پلی‌اتیلنی حاوی پرمنگنات پتاسیم [۵۱] در طول مدت نگهداری در مقایسه با نمونه‌های شاهد پایین‌تر بود. به‌طورکلی اسیدسالیسیلیک به عنوان هورمون ضدپیری اثرات ضد و تقیضی بر میزان تولید اتیلن نشان داده است.

میزان مواد جامد محلول کل (TSS): بررسی نتایج حاصل از مقایسه تیمارهای مختلف با شاهد نشان داد از نظر میزان مواد جامد کل اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود داشت. به‌طوری‌که مقدار آن از ۸/۲ در شروع آزمایش تا ۴/۹ در نمونه‌های شاهد و تا ۶/۹، ۶/۵۴، و ۷/۳۲ به ترتیب در بسته‌های حاوی نانوجاذب اتیلن، اسیدسالیسیلیک و تیمار توام نانوجاذب و اسیدسالیسیلیک کاهش یافت که این امر نشان‌دهنده پتانسیل تیمارهای مذکور به ویژه تیمار توام نانوجاذب و اسیدسالیسیلیک در کاهش میزان تغییرات مواد جامد محلول کل از طریق کاهش شدت تنفس و تولید اتیلن (جدول ۳ و ۴) و ممانعت از واکنش‌های کاتابولیکی و تجزیه مواد در طول مدت نگهداری براکلی در انبار می‌باشد (جدول ۲). این نتایج با نتایج خادمی و همکاران [۴۶] که بیان کردند تیمار پس از برداشت خرمالو با اسیدسالیسیلیک در حفظ مواد جامد محلول کل موثر است منطبق بود. همچنین نتایج حاضر با نتایج رضائی خلج و همکاران [۵۲] در رابطه با تاثیر تیمار نانوزئولیت آغشته به پرمنگنات پتاسیم در حفظ میزان مواد جامد محلول کل کلم چینی و کاهو مطابقت دارد.

درصد اسید قابل تیتراسیون (TA): میزان اسید قابل تیتراسیون یک روند کاهشی را در طی مدت انبارمندی نشان

را کاهش داده‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های خسروی و همکاران [۳۰] که گزارش کردند قطعات بریده شده^۱ سیب تیمار شده با نانوزئولیت‌های آغشته به پرمنگنات پتاسیم افت وزن کمتری را در مقایسه با شاهد نشان دادند، مطابقت دارد. نتایج پژوهش سردابی و همکاران [۴۵] نیز نشان داد که کاربرد نانوزئولیت‌های حاوی پرمنگنات پتاسیم در کاهش افت وزن سیب‌های 'رد دلشیس' و 'گلدن دلشیس' موثر بوده است. همچنین نتایج مشابهی در خصوص کاهش میزان افت وزن در طول دوره انبارمندی در میوه‌های خرمالو [۴۶] و هلو [۴۷]، و توت فرنگی [۴۸] تیمار شده با سطوح مختلف اسیدسالیسیلیک گزارش شده است.

کیفیت ظاهری: به مرور زمان در طول دوره نگهداری از کیفیت گلچه‌ها کاسته شده است. بررسی نتایج حاصل از میانگین تمام تیمارها با شاهد نشان داد که تیمار توام نانو جاذب اتیلن و اسیدسالیسیلیک باعث حفظ بهتر کیفیت شده است. اما نمونه‌های شاهد با افت شدید کیفیت مواجه هستند به‌طوری‌که گلچه‌های شاهد از روز دوازدهم انباری غیرقابل عرضه و مصرف می‌باشند (جدول ۲). همچنین با توجه به نتایج جدول و به‌طورکلی با مقایسه با شاهد و نانو جاذب اتیلن، به نظر می‌رسد که تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک با کاهش افت وزن و تخریب کلروفیل، حفظ خصوصیات ارگانولپتیکی و بصری، ضمن افزایش انبارمندی سبب حفظ کیفیت و بازاریابندی براکلی می‌شود (جدول ۲).

میزان تولید اتیلن: با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش و همچنین یافته‌های راشینگ [۴۹] و مخلوف و همکاران [۵۰] در خصوص تغییرات شدت تنفس و تولید اتیلن، می‌توان براکلی را به عنوان یک محصول فرازگرا طبقه‌بندی کرد. میزان تولید اتیلن در تمام نمونه‌ها در شروع آزمایش ۳/۳ نانولیتتر در گرم در ساعت بود و میزان آن تا روز ۱۲ افزایش یافته و پس از آن کاهش نشان داد (جدول ۲ و ۴). بررسی اثرات متقابل تیمار هورمونی و نانوجاذب و همچنین مقایسه میانگین تیمارهای مختلف با شاهد نشان داد که گلچه‌های مربوط به تیمار توام نانوجاذب و اسیدسالیسیلیک مقدار تولید اتیلن کمتری در مقایسه با شاهد داشتند (جدول ۲). به نظر می‌رسد که تاثیر تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک در کاهش تولید اتیلن بیشتر از نانوجاذب اتیلن بوده است، چرا که تیمار نانوجاذب

می‌دهد (جدول ۴) که به نظر می‌رسد اسیدهای آلی موجود در براکلی در طول مدت نگهداری در انبار در اثر مصرف تدریجی آنها به عنوان منبع انرژی در فعالیت تنفسی کاهش می‌یابد. همچنین مقایسه میانگین تیمارهای مختلف با شاهد نشان داد که بسته حاوی نانوجاذب و تیمار اسیدسالیسیلیک و تیمار توام نانوجاذب و اسیدسالیسیلیک دارای بیشترین میزان اسیدقابل تیتراسیون هستند، که این امر احتمالاً ناشی از کاهش فرآیند تنفس و متابولیسم سبزی در دمای پایین در تیمارهای ذکر شده می‌باشد (جدول ۲). در چند پژوهش دیگر نیز به تاثیر تیمار پرمنگنات پتاسیم در سه بستر متفاوت (سیلت، ورمی‌کولیت، سیلیکاژل) در میوه گرمسیری ساپوتا [۵۳] و بستر زئولیت در میوه سیب [۴۵ و ۲۲] در جلوگیری از کاهش اسیدهای آلی اشاره شده است. همچنین نتایج مشابهی در رابطه با تاثیر تیمار پس از برداشت اسیدسالیسیلیک بر حفظ اسیدهای آلی میوه خرمالو [۴۶] و توت فرنگی [۱۱] گزارش شده است. علی‌رغم این که شدت تنفس محصولات باغبانی در دماهای پایین و به خصوص با اعمال تیمارهای هورمونی و نانوجاذب‌های اتیلن بسیار کاهش می‌یابد، کاهش قندها و اسیدها در طول مدت انبارمانی، در اثر مصرف آنها، به عنوان سوبسترای اصلی در متابولیسم تنفسی باعث تغییراتی در مقادیر مواد جامد محلول و درصد اسیددیده قابل تیتراسیون می‌شود [۵۴].

رنگ ظاهری: بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمارهای مختلف با شاهد نشان داد از نظر میزان درخشندگی (L^*) اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت. به طوری که مقدار آن از ۳۵/۲۸ در شروع آزمایش تا ۳۹/۸۴ در نمونه‌های شاهد و تا ۳۷/۱۵، ۳۷/۵۴ و ۳۶/۳۷ به ترتیب در بسته‌های حاوی نانوجاذب اتیلن، تیمار اسیدسالیسیلیک و تیمار توام نانوجاذب و اسیدسالیسیلیک افزایش یافت که این امر نشان‌دهنده حفظ بهتر درخشندگی در طول مدت نگهداری در این تیمارها می‌باشد (جدول ۲). افزایش میزان درخشندگی در طول دوره انبارمانی ممکن است ناشی از تخریب و تجزیه کلروفیل و کاهش در رنگ سبز باشد [۵۵] نتایج مشابهی در خصوص افزایش درخشندگی در براکلی در طول دوره نگهداری در انبار با اتمسفر کنترل شده و انبار معمولی گزارش شده است [۵۵ و ۵۶].

مولفه a^* در طول دوره انبارمانی سرد برای تیمار اسیدسالیسیلیک و تیمار توام نانوجاذب اتیلن و اسیدسالیسیلیک ثابت بود اما در نمونه‌های شاهد و نانوجاذب اتیلن به ترتیب از مقدار $a^* = -۵/۶۱$ در شروع دوره انباری به $-۴/۲۶$ ، $-۴/۸۷$ افزایش یافت. مولفه b^* در تمام تیمارها به ویژه در شاهد در طی مدت انبارداری افزایش یافت، که با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری تغییرات میزان کلروفیل و کارتنوئید در این آزمایش با افزایش مقادیر a^* و b^* در طول مدت انبارمانی با کاهش رنگ سبز و زرد شدن سر گلچه‌های براکلی مواجه هستیم. مقادیر b^* تا پایان دوره انباری افزایش می‌یابد اما این افزایش در بسته‌های حاوی نانوجاذب اتیلن، تیمار اسیدسالیسیلیک و تیمار توام نانوجاذب و اسیدسالیسیلیک در مقایسه با شاهد کندتر صورت می‌گیرد. این مسئله به این معنا است که کاهش رنگ سبز و افزایش رنگ زرد در نمونه‌های شاهد بالاتر از سایر تیمارهاست. سایر محققین نیز به تاثیر مثبت اتمسفر تعدیل یافته و تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک در حفظ رنگ و طولانی شدن عمر قفسه ای براکلی اشاره کرده اند [۵۷ و ۵۸].

کلروفیل کل، a و b و کارتنوئید: کاهش کلروفیل یکی از نشانه‌های پیری براکلی است که ۱ روز پس از انبارمانی در معرض هوا شروع شده و تقریباً ظرف ۳ روز کامل می‌شود. کلروفیل کل متشکل از کلروفیل a و کلروفیل b است و چون کلروفیل a رنگدانه اصلی در براکلی است، تغییرات کلروفیل کل تحت تاثیر کلروفیل a می‌باشد [۵۶]. مطالعه کلروفیل به تفکیک نشان داد که تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک و تیمار توام نانوجاذب اتیلن و اسیدسالیسیلیک باعث حفظ کلروفیل a و کلروفیل کل در طی انبارمانی گشت (جدول ۳)؛ به طوری که تخریب کلروفیل را تا ۸ روز پس از انبارمانی به طور معنی‌داری به تاخیر می‌اندازد (جدول ۳)، که منطبق با تحقیقات دیگری است که در این زمینه در میوه کیوی [۵۶] و براکلی [۴۰] انجام شده است. با توجه به نتایج حاصل از تغییرات تولید اتیلن در طول دوره انبارمانی و مقایسه آن با نتایج ارزیابی کلروفیل در این دوره، به نظر می‌رسد که اتیلن نقش مستقیمی در تخریب کلروفیل ایفا می‌کند (جدول ۴). به طوری که با اوج گرفتن اتیلن تا روز ۸ میزان کلروفیل روند رو به کاهشی را پیموده و همراه با کاهش آن تا پایان دوره انباری تقریباً بدون تغییر باقی مانده است. نتایج مشابهی در خصوص تاثیر افزایش

است (جدول ۳ و ۴). هرچند گلچه‌های موجود در بسته‌های حاوی نانوجاذب و اسیدسالیسیلیک و تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک از میزان ویتامین‌ث بیشتری برخوردار بودند، اما بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود نداشت (جدول ۳). آسکوربیک اسید (ویتامین ث) یکی از مهمترین پارامترهای کیفی در محصولات میوه ای و سبزی ها به شمار می رود. در رژیم غذایی انسان حدود ۹۱٪ آسکوربیک اسید از طریق میوه ها و سبزی ها تامین می شود [۶۲]. محتوای آسکوربیک اسید در محصولات انبار شده کاهش می یابد که ناشی از مصرف اسیدهای آلی در فرآیند تنفس و اسیدیته قلیایی است که باعث تخریب ویتامین‌ث می‌شود یا در اثر تبدیل به قندها است [۴۰]. پیشرفت پیری در دوره پس از برداشت نهایتاً منجر به افت کیفیت و کاهش آسکوربیک اسید می‌شود [۶۳]. نتایج این آزمایش با نتایج فرناندز لئون و همکاران [۵۶] و خلیلی و همکاران [۴۰] در رابطه با کاهش پیوسته محتوای آسکوربیک اسید در کلم براکلی در طول مدت نگهداری مطابقت داشت. تاثیر تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک در حفظ ویتامین ث بیشتر از نانوجاذب اتیلن و همچنین نمونه‌های شاهد بود که از کمترین میزان آسکوربیک اسید برخوردار بودند؛ این مسئله احتمال می‌رود ناشی از افزایش تبدیل اسیدهای آلی به قندها و متعاقباً افزایش اسیدیته باشد که با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری اسید قابل تیتراسیون در این آزمایش با کاهش اسیدهای آلی در طول مدت انبارمانی با کاهش ویتامین‌ث مواجه هستیم. این با نتایج محققین دیگر مبتنی بر تاثیر اسیدسالیسیلیک در حفظ اسیدهای آلی از طریق کاهش فعالیت‌های متابولیکی و نیز تاثیر غیرمستقیم بر مسیر آنزیمی تبدیل اسیدهای آلی به قندها و نهایتاً حفظ محتوای آسکوربیک اسید مطابقت دارد [۶۴ و ۶۵ و ۱]. همچنین به نظر می‌رسد نانوجاذب‌ها از طریق جذب گازهای دخیل در فرآیند تنفس با کاهش فعالیت آنزیم‌هایی مانند آسکوربیک اسید اکسیداز و پراکسیداز باعث ممانعت از تخریب آنزیمی آسکوربیک اسید می‌شود. این با نتایج بایرت و همکاران [۶۶ و ۶۷] که بیان کردند اتمسفر تعدیل‌یافته منجر به حفظ آسکوربیک اسید می‌شود، مطابقت دارد.

میزان فنول کل: میزان فنول کل یک روند کاهشی را در طی مدت انبارمانی در تمام تیمارها به ویژه شاهد نشان می‌دهد. به طوری که میزان آن از ۹۱/۲۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم در شروع

شدت تنفس و تولید اتیلن بر محتوای کلروفیل در براکلی تحت تیمار سائیتوکینین و اتمسفر تعدیل یافته در طول دوره انبارمانی گزارش شده است [۴۰ و ۵۰]. اسیدسالیسیلیک و ترکیب اسیدسالیسیلیک با نانو گرنول‌های آغشته به پرمنگنات پتاسیم از یک طرف با تاثیر بر تولید اتیلن و از طرف دیگر با حفظ ویتامین‌ث به عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدان در کلروپلاست مانع از اکسیداسیون ترکیبات کلروپلاست‌ها و کلروفیل شده است [۶]. این تاثیر می‌تواند ناشی از تحریک بیوستز کلروفیل توسط اسیدسالیسیلیک و همچنین کاهش فعالیت آنزیم‌های مخرب کلروفیل مانند آنزیم‌های کلروفیل‌لاز و منیزیم دکلاتاز باشد [۵۹].

بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری محتوای کارتنوئید کل در طی مدت انبارمانی در بسته‌های حاوی نانوجاذب اتیلن و تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک در مقایسه با شاهد نشان داد به لحاظ کارتنوئید کل اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت، به طوری که در پایان ۲۴ روز انبارمانی کاهش کارتنوئید از میزان ۱/۴۰ در شروع آزمایش تا ۰/۶۳ در میوه‌های شاهد و تا ۰/۸۶، ۰/۹۱ و ۱/۰۶ به ترتیب در گلچه‌های موجود در بسته‌های حاوی نانوجاذب اتیلن، تیمار هورمونی و تیمار توام نانوجاذب و اسیدسالیسیلیک در پایان روز ۲۴ کاهش یافته است (جدول ۱)، هر چند بین ۳ تیمار از نظر آماری اختلافی مشاهده نشد، اما گلچه‌های مربوط به تیمار توام نانوجاذب و اسیدسالیسیلیک از محتوای کارتنوئید بیشتری برخوردار بود (جدول ۱). محتوای کارتنوئید در براکلی علاوه بر بتاکاروتن شامل لوتئین می‌باشد که از آنتی‌اکسیدان‌های قوی و فعال است [۶۰] و حفظ آن می‌تواند نکته مهمی در حفظ ارزش غذایی براکلی باشد. نتایج مشابهی توسط سایر محققان در خصوص تغییرات کارتنوئید کل در طول دوره انباری سرد، گزارش شده است [۶۱].

مقدار آسکوربیک اسید (ویتامین‌ث): ویتامین‌ث در طول دوره انبارمانی هم در گلچه‌های شاهد و هم در گلچه‌های موجود در بسته‌های حاوی نانوجاذب اتیلن و تیمار شده با اسیدسالیسیلیک کاهش یافت و این کاهش به ترتیب برای گلچه‌های شاهد و جاذب اتیلن، بیشتر از تیمار اسیدسالیسیلیک و تیمار توام نانوجاذب و اسیدسالیسیلیک بود. به طوری که میزان آن از ۴۶/۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم در شروع آزمایش به ۳۸/۲ در شاهد و به ۴۰/۹ در بسته‌های نانوجاذب کاهش یافته

اسیدسالیسیلیک به عنوان ترکیب فنولی باعث تنظیم برخی از سیستم‌های دفاعی محصول و بیوستز ترکیبات مغذی نظیر ترکیبات دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود [۶۸]. در این پژوهش نیز همبستگی مستقیمی بین ظرفیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد و سایر خصوصیات کیفی مانند محتوای آسکوربیک اسید براکلی مشاهده شد (جدول ۱ و ۳). همچنین وانگ و همکاران [۶۹] بیان کردند که اسیدسالیسیلیک از طریق تحریک فعالیت آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش صدمه سرمازدگی در میوه هلو شد.

نتیجه‌گیری کلی

کلم براکلی از سوپر سبزی‌هاست. طبق نتایج این پژوهش متناسب با طولانی شدن مدت انبارمانی گلچ‌های کلم براکلی، هم میزان کلروفیل و هم میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدان مانند مواد فنولی، ویتامین ث و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاهش می‌یابد. به طور کلی استفاده از نانوگرانول‌های آغشته به پرمنگنات پتاسیم و همچنین تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک به میزان چشم‌گیری با ممانعت از افت وزن و زردی گلچ‌های کلم براکلی باعث جلوگیری از کاهش کیفیت و افزایش عمر انبارمانی شد. درحالی‌که گلچ‌های شاهد با افت شدید کیفیت مواجه بوده و از روز دوازدهم انباری غیرقابل عرضه و مصرف بودند. طبق نتایج به دست آمده از این پژوهش استفاده از تیمار توام نانوچاذب اتیلن و اسیدسالیسیلیک ضمن حفظ کیفیت ظاهری گلچ‌ها، راه‌کار مناسبی برای حفظ مواد فراسودمند است.

سپاسگذاری

از آنجا که امکانات فنی و مالی برای انجام این تحقیق توسط مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج فراهم آمده است، لذا نگارندگان بدین وسیله مراتب تقدیر و تشکر خود را اعلام می‌دارند.

آزمایش به ۶۶/۶ در شاهد و به ۸۰/۵ و ۸۲/۸ در گلچ‌های موجود در بسته‌های حاوی نانوچاذب و تیمارهورمونی اسیدسالیسیلیک در پایان دوره انباری کاهش یافت (جدول ۳). گلچ‌های مربوط به تیمار توام نانوچاذب و اسیدسالیسیلیک از بالاترین میزان موادفنولی برخوردار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری اتیلن در این آزمایش و یافته‌های فرناندز لئون و همکاران [۵۶] در خصوص تاثیر تغییرات تنفس و تولید اتیلن بر میزان مواد فنولی، به نظر می‌رسد کاهش سریع محتوای فنول کل در نمونه‌های شاهد ناشی از سرعت بالای تنفس براکلی انبار شده باشد که ممکن است موجب افزایش متابولیسم و بنابراین تخریب ترکیبات فنولی شود [۱]. این درحالیست که تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک و کاربرد نانوچاذب با کاهش شدت تنفس و تولید اتیلن مانع از واکنش‌های کاتابولیکی و کاهش روند تخریب و کاهش محتوای ترکیبات فنولی شده است.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل: براکلی به دلیل محتوای بالای ویتامین‌ها و ترکیبات پلی‌فنولی متعدد با عملکرد آنتی‌اکسیدانی بالا، از فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد بسیار بالایی برخوردار است [۵۶ و ۱]. در این بررسی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در طول دوره انبارمانی در تمام تیمارها و شاهد کاهش یافت و این کاهش به ترتیب برای نمونه‌های شاهد و بسته‌های حاوی نانو گرانول آغشته به پرمنگنات پتاسیم و تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک بیشتر از تیمار توام نانوچاذب و اسیدسالیسیلیک بود، به طوری‌که بالاترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار توام نانوچاذب و اسیدسالیسیلیک و کمترین آن در گلچ‌های شاهد مشاهده گردید (جدول ۱). این با نتایج جعفرپور و همکاران [۳۹] که اعلام کردند ظرفیت آنتی-اکسیدانی گلچ‌های کلم براکلی طی مدت زمان انبارمانی و پیری کاهش می‌یابد، مطابقت دارد. به نظر می‌رسد تاثیر تیمار هورمونی اسیدسالیسیلیک در حفظ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتر از نانوگرانول‌های آغشته به پرمنگنات پتاسیم بوده است.

Table 1 Influence of salicylic acid and potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles and co-treatment of them on antioxidant activity and Carotenoids of broccoli florets during storage

Characters	Treatments	Storage time (days)						
		0	4	8	12	16	20	24
Antioxidant activity	Control	243.23 a	158.2 f	164.87ef	150.20f	135.30g	102.57 i	96.92ij
	Nano		166.9 e	177.6de	168.8e	152.4 f	139.15 g	120.2h
	SA		189.9d	190.4 d	177.87de	167.35e	162.8ef	151.4f
	SA +Nano		220.9b	211.7bc	203.82c	220.64 b	215.35bc	181.7de
Carotenoids	Control	1.4 a	1.27bcde	1.04efg	0.99ef	0.87fg	0.75 g	0.63fg
	Nano		1.36abcd	1.22abcde	1.06efg	0.98ef	0.96ef	0.86fg
	SA		1.37abc	1.36abcd	1.20abcde	1.22abcde	1.11def	0.91efg
	SA +Nano		1.37abc	1.40a	1.34abcd	1.25abcde	1.18abcde	1.06efg

Values within each row with the same letters are not statistically different, according to Duncan's multiple range test at $P \leq 1\%$.

Table 2 Mean comparison of the influence of salicylic acid and potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles and co-treatment of them on visual quality, weight loss, color, TSS and TA of broccoli florets during storage

Treatment	Visual quality	Weight loss (%)	L*	a*	b*	TSS (°Brix)	TA (%)
Control	2.57 f	32.34 a	39.84 a	-4.26 a	14.4 a	4.9 b	0.11 b
Nano	4 d	12.38 e	37.54cde	-4.87 bcd	13.22 b	6.54 a	0.157 a
SA	4.25 c	12.46 e	37.15 de	-5.05 defg	12.4 bc	6.9 e	0.166 a
SA +Nano	4.52 b	11.12 e	36.37 ef	-5.34 fg	11.94 c	7.36 a	0.17 a

Values within each column with the same letters are not statistically different, according to Duncan's multiple range test at $P \leq 1\%$.

Table 3 Mean comparison of salicylic acid and potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles effects and co-treatment of them on ethylene production, Chlorophylls, Vitamin C and total phenols of broccoli florets during storage

Treatment	Ethylene (nL.g ⁻¹ .h ⁻¹)	Chlorophylls (mg.g ⁻¹ FW)	Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ FW)	Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ FW)	Vitamin C (mg/100g)	Total Phenol Content
Control	4.5a	0.085 c	0.065 b	0.019 b	38.2 cd	66.6 d
Nano	3.01 b	0.118 b	0.075 b	0.028 b	40.9 abcd	80.5 bc
SA	2.64 c	0.173 a	0.166 a	0.055 a	42.15 abc	82.8 b
SA +Nano	2.39 d	0.177 a	0.122 a	0.058 a	42.8 a	86.4 e

Values within each column with the same letters are not statistically different, according to Duncan's multiple range test at $P \leq 1\%$.

Table 4 Effect of different days of storage on total soluble solids, titrable acidity, ethylene production, firmness, vitamin C of broccoli florets

Storage time (month)	TSS (°Brix)	TA (%)	Ethylene (nL.g ⁻¹ .h ⁻¹)	Chlorophylls (mg.g ⁻¹ FW)	Vitamin C (mg/100g)
0	8 a	0.190 a	3.30b	0.180 c	46.90 a
4	8.08 a	0.183 a	3.70 a	0.17 cd	41.12 a
8	7.03 b	0.176 ab	3.56 ab	0.17 cd	38.23 a
12	6.21 cd	0.162 bc	3.85 a	0.13 d	34.30 a
16	6.41 bc	0.151 cd	2.70 c	0.93 a	31.93 a
20	6.29 bcd	0.145 cd	2.62 c	0.88 a	29.21 a
24	5.65 d	0.140 d	2.35 c	0.81 b	26.95 a

Values within each column with the same letters are not statistically different, according to Duncan's multiple range test at $P \leq 1\%$.

منابع

- [10] Raskin, I. 1992. Salicylate, a new plant hormone. *Plant Physiology* 99: 799-803
- [11] Karlidag, H., E. Yildirim, and M. Turan. 2009. Exogenous applications of salicylic acid affect quality and yield of strawberry grown under antifrost heated greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172: 270-276
- [12] Peng, L., and Y. Jiang. 2006. Exogenous salicylic acid inhibits browning of fresh-cut Chinese water chestnut. *Food Chemistry* 94: 535-540
- [13] Fan, C. and Q.Y. Xiang. 2001. Phylogenetic relationships within *Cornus* (*Cornaceae*) based on 26S rDNA sequences. *American Journal of Botany* 88: 1131-1138
- [14] Leslie, C.A. 1988. Inhibition of ethylene biosynthesis by salicylic acid. *Plant Physiology* 88:833-837
- [15] Jayaraman, K.S. and P.S. Raju. 1992. Development and evaluation of a permanganate-based thylene scrubber for extending the shelf life of fresh fruit and vegetables. *Journal of Food Science Technology* 29: 77-83
- [16] Fung, R., C.Wang, D. Smith, K. Gross and M. Tian. 2004. MeSA and MeJA increase steady-state transcript levels of alternative oxidase and resistance against chilling injury in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *Plant Science* 166: 711-719
- [17] Srivastava, M.K. and U.N. Dwivedi. 2000. Ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Science* 158: 87-96
- [18] Yan, T., Q.G. Shen, and C.D. Liu. 1998. Effects of salicylic acid (SA) on ripening fruits. *Chinese Bulletin of Botany* 15: 61-64
- [19] Mirzaei moghadam, H., M.H. Khosh Taghaza, and A. Salimi. 2014. The evaluation of potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles and storage time on physicochemical characters of kiwi fruit. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (1): 37-49
- [20] Wismer, W.V. 2009. In: Florkowski, W.J., Consumer eating habits and perceptions of fresh produce quality. R., Shewfelt, B., Brueckner, Prussia, S. E. (Eds), *Postharvest handling, a system approach*. (2nd ed.) Elsevier Inc 23-42
- [21] Cutter, C.N. 2002. Microbial control by packaging: a review. *Critical Review in Food Science and Nutrition* 42: 151-61
- [22] Khosravi, F., M. Khosravi, and E. Pourseyedi. 2015. Effect of nano zeolite and
- [1] Vallejo, F., C. Garcia-Viguera, and F. Tommas-Barberén. 2003. Health-promoting compounds in broccoli as influenced by refrigerated transport and retail sale period. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51: 3029-3034
- [2] Fernández-León, M.F., A.M. Fernández-León, M. Lozano, M.C. Ayuso, and D. González-Gómez. 2013. Different postharvest strategies to preserve broccoli quality during storage and shelf life: Controlled atmosphere and 1-MCP. *Journal of Food Chemistry* 23: 809-813
- [3] Xiao, Z., G.E. Lester, Y. Luo, and Q. Wang. 2012. Assesment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of agricultural and Food Chemistry* 60: 7644-7651
- [4] Costa, L.C., M.C. Pedro, R.C. Alicia, and A.M. Gustavo. 2005. Effect of ethephon and 6-benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and a peroxidase-linked chlorophyll bleaching during post-harvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20°C. *Journal of Postharvest Biology and Technology* 35: 191-9
- [5] Jayaraman, K.S. and P.S. Raju. 1992. Development and evaluation of a permanganate-based thylene scrubber for extending the shelf life of fresh fruit and vegetables. *Journal of Food Science Technology* 29: 77-83
- [6] Tian, M.S., T. Islam, D.G. Stevenson, and D.E. Irving. 1997. Color, ethylene production, respiration, and compositional changes in broccoli dipped in hot water. *Jornal of American Society for Horticultural Science* 122: 112-116
- [7] Page, T., G. Griffiths, and V. Buchanan-Wollaston. 2001. Molecular and biochemical character-rization of post-harvest senescence in broccoli. *Plant Physiology* 125: 718-727
- [8] Ku, V.V.V. and R.B.H. Wills. 1999. Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli. *Postharvest Biology and Technology* 17: 127-32
- [9] Raskin, I., H. Skubatz, W. Tang, and B.J.D. Meeuse. 1990. Salicylic acid levels in thermogenic and nonthermogenic plants. *Annual Botany* 66: 376-383

- ethylene absorbent in polyethylene bags to delay ripening of bananas during storage. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 10: 237-240
- [33] Rezaii Khalaj, Y., B. Ghareyazie, M. Emadpour, and A. Omrani. 2009. Effect of the removal of ethylene hormone by potassium permanganate coated zeolite nanoparticles on the increased quality and quantity of storage of iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.) and chinese cabbage (*Brassica pekinensis*). *Journal of Agricultural Science and Natural Resources* 15(6): 188-97
- [34] Toivonen, P.M.A., and J.R. Dell. 2001. Chlorophyll fluorescence, fermentation product accumulation, and quality of stored broccoli in modified atmosphere packaging and subsequent air storage. *Journal of Postharvest Biology and Technology* 23: 61-9
- [35] Majedi, M. (1995). *Chemical Methods for Food Testing*. (1st ed.). Jihad Publication of Tehran University. Tehran.
- [36] Eason, J.R., D.J. Ryan, B. Page, L.M. Watson, and S.A. Coupe. 2007. Harvested broccoli (*Brassica oleraceae* L.) responds to high CO₂ and low O₂ atmosphere by inducing stress-response genes. *Postharvest Biology and Technology* 43: 358-365
- [37] Porra, R. J., W.A. Thompson, and P.E. Kriedemann. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectrometry. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics* 975: 384-394
- [38] Meyers, K.J., C.B. Watkins, M.P. Pritts, & R.H. Liu. 2003. Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 6887-6892
- [39] Jafarpour, F., D. Bakhshi, M. Ghasem Nezhad, and R. Sajedi. 2014. Effect of putricin on postharvest quality, phenolic compounds and antioxidant capacity of broccoli (*Brassica oleracea* L. cv *Italica*) florets. *Journal of Horticultural Science* 3: 303-311
- [40] Khalili, F., M. Shekarchi, Y. Mostofi, M. Pirali Hamedani, and N. Adib. 2009. Effect of Cytokinin on the accumulation of potassium permanganate on shelf life and quality of cut apple. *International Journal of Life Sciences* 9 (2): 55 – 60
- [23] Vermeiren, L., F. Devlieghere, M. Van-Beest, N. De-Kruijf, and J. Debevere. 1999. Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science and Technology* 10: 77-86
- [24] Kerry, J. and P. Butler. 2008. Smart packaging technologies for fast moving consumer goods. (pp.97-134). John Wiley and Sons.
- [25] Azeredo, H. M.C. D. 2009. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International* 42: 1240-1253
- [26] Mehyar, G.F. & Han. J. H. (2011). Active Packaging for Fresh-Cut Fruits and Vegetables. In: A. L., Brody, H., Zhuang, & J. H. Han (Eds). *Modified Atmosphere Packaging for Fresh-Cut Fruits and Vegetables*. (2nd ed.). (pp. 267-83). Blackwell Publishing Ltd.
- [27] Jayaraman, K.S. and P.S. Raju. 1992. Development and evaluation of a permanganate-based thylene scrubber for extending the shelf life of fresh fruit and vegetables. *Journal of Food Science Technology* 29: 77-83
- [28] Jayathung K.G.L.R., H.U.K.C. Prasad, M.D. Fernando, and K.B. Palipane. 2011. Prolonging the postharvest life of papaya using modified atmosphere packaging. *Journal of Agricultural Technology* 7(2): 507-518
- [29] Emadpour, M., B. Ghareyazi, Y. Rezaei Kalaj, A. Omrani, and G.H. Mohammadi, 2009. Effect of potassium permanganate-coated nano- zeolites on cherry quality and shelf life. *Journal of Agricultural Engineering Research* 10: 11- 26
- [30] Khosravi, F., M. Khosravi, and E. Pourseyedi. 2015. Effect of nano zeolite and potassium permanganate on shelf life and quality of cut apple. *International Journal of Life Sciences* 9 (2): 55 – 60
- [31] Mirzaei moghadam, H., M.H. Khosh Taghaza, and A. Salimi. 2014. The evaluation of potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles and storage time on physicochemical characters of kiwi fruit. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (1): 37-49
- [32] Scott, K., W. McGlasson, and E. Roberts. 1970. Potassium permanganate as an

- florets. *Journal of Horticultural Science* 25: 88–90
- [50] Makhlof, J., C. Willemot, J. Arul, F. Castaigne, and J. Emond. 1989. Regulation of ethylene biosynthesis in broccoli flower buds in controlled atmospheres. *Journal of American Society of Horticultural Science* 114: 955-958
- [51] Scott, K., W. McGlasson, and E. Roberts. 1970. Potassium permanganate as an ethylene absorbent in polyethylene bags to delay ripening of bananas during storage. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 10: 237-240
- [52] Khademi, O. Zamani, Z. Mostofi, Y. Kalantari, S. Ahmadi, A. 2012. Extending Storability of Persimmon Fruit cv. Karaj by Postharvest Application of Salicylic Acid. *Journal of Agricultural Science and Technology* 14: 1067-1074
- [53] Rezaii Khalaj, Y., B. Ghareyazie, M. Emadpour, and A. Omrani. 2009. Effect of the removal of ethylene hormone by potassium permanganate coated zeolite nanoparticles on the increased quality and quantity of storage of iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.) and chinese cabbage (*Brassica pekinensis*). *Journal of Agricultural Science and Natural Resources* 15(6): 188-97
- [54] Duha, R.S., S. Nath and J. Kabir. Ethylene absorbents and ripening behavior of Sapota fruit. In: *Proceedings of National Symposium on Production, Utilization and Export of Underutilized Fruits with Commercial Potentialities*, November 2006; West Bengal, India, 249-253. available from: www.cabdirect.org
- [55] Mostofi, Y., H., Seyed Hajizadeh, A. Talaei, and M.A. Ebrahimzadeh Mousavi. 2007. Maintaining of quality and extending storability of Iranian local apple Golab Kohanz by Modified atmosphere packaging. *Seed and Plant* 23: 87-99
- [56] Joaquín H.J.H. L. Hasperué, A.R. Lemoine, A. Vicente, R. Chaves, and G.A. Martínez. 2015. Postharvest senescence of florets from primary and secondary broccoli inflorescences. *Postharvest Biology and Technology*, 104: 42–47
- [57] Fernández-León, M.F., A.M. Fernández-León, M. Lozano, M.C. Ayuso, and D. González-Gómez. 2013. Different postharvest strategies to preserve broccoli quality during storage and shelf life: fermentation products, vitamin C and quality maintenance of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* plenk) packed under modified atmosphere. *Journal of Medicinal Plants* 26(2): 53-62
- [41] Smith, S., J. Geeson, and J. Stow. 1987. Production of modified atmospheres in deciduous fruits by the use of films and coatings. *Horticultural Science* 22 (5): 772-776
- [42] Manthe B , Schulz M , Schnabl H (1992) Effects of salicylic acid on growth and stomatal movements of *Vicia faba* L – evidence for salicylic acid metabolism. *J Chem Ecol* 18:1525–39
- [43] Zheng, Y., and Q. Zhang. 2004. Effects of polyamines and salicylic acid postharvest storage of 'Ponkan' mandarin. *Acta Horticulturae* 632: 317-320
- [44] Porra, R. J., W.A. Thompson, and P.E. Kriedemann. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectrometry. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics* 975: 384–394
- [45] Sardabi, F., J. Mohtadinia, F. Shavakhi, and A. Ashraf Jafari. 2013. Effect of 1-methylcyclopropene and potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles on extending the shelf life and quality of Golden and Red Delicious apples. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology* 8 (2): 135-144
- [46] Mostofi, Y. and Najafi, F. 2005. *Analytical methods in horticulture*. Tehran University Publication.
- [47] Awat, R.M. 2013. Effect of post-harvest salicylic acid treatments on fruit quality of peach cv. "Flordaprince" during cold storage. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 7: 920-927
- [48] Babalar, M., M. Asghari A.R. Talaei and A. Khosroshahi. 2007. Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of Selva strawberry fruit. *Food Chemistry* 105:449–453
- [49] Rushing, J.W. 1990. Cytokinins affect respiration, ethylene production, and chlorophyll retention of packaged broccoli

- [64] Kader, A.A. (ed.). 2002. Postharvest technology of horticultural crops. (3rd ed). University of California, Agriculture and Natural Resources, Oakland, Publication 3311
- [65] Yuan, G., B. Sun, J. Yuan, and Q. Wang. 2010. Effect of 1 methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets. *Food Chemistry* 118: 774–781
- [66] Nath, A., B. Bagchi, L.K. Misra, and C.D. Bidyut. 2011. Changes in post-harvest phytochemical qualities of broccoli florets during ambient and refrigerated storage. *Food Chemistry* 127: 1510–1514
- [67] Barth, M.M., E.L. Kerbel, A.K. Perry and S.J. Schmidt. 1993. Modified atmosphere packaging affects ascorbic acid, enzyme activity and market quality of broccoli. *Journal of Food Science* 58: 140 – 3
- [68] Barth M.M., E.L. Kerbel, S. Broussard and S.J. Schmidt. 1993. Modified atmosphere packaging protects market quality in broccoli spears under ambient temperature storage. *Journal of Food Science* 58: 1070 - 2
- [69] Huang, R., R. Xia, Y. Lu, L. Hu and Y. Xu. 2008. Effect of preharvest salicylic acid spray treatment on post-harvest antioxidant in the pulp and peel of ‘Cara cara’ navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: 229-236
- Controlled atmosphere and 1-MCP. *Journal of Food Chemistry* 23: 809–813
- [58] Elwan, M.W.M., M.A.M. El-Hamahmy. 2009. Improved productivity and quality associated with salicylic acid application in greenhouse pepper. *Scientia Horticulturae* 122(4): 521- 526
- [59] Wei, J.N, L.H. Wang, J.H. Zhao, C.Y. Li, F. Ge, and L. Kang. 2011. Ecological trade-offs between jasmonic acid-dependent direct and indirect plant defences in tritrophic interactions. *New Phytologist* 189: 557–567
- [60] Kaewsuksaeng, S. 2011. Chlorophyll Degradation in Horticultural Crops. *Journal of Science and Technology* 8(1): 9–19
- [61] Funamoto, Y., N. Yumauchi, T. Shigenaga and M. Shigyo. 2002. Effects of heat treatment on chlorophyll degrading enzymes in stored broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Postharvest Biology and Technology* 24: 163-170
- [62] Bergquist, S., U.E. Gertsson, Y.G. Lotta, M. Nordmark, and E. Olsson. 2006. Influence of growth stage and postharvest storage on ascorbic acid and carotenoid content and visual quality of baby spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86: 346-355
- [63] Akhtar, A., N.A. Abbasi and A. Hussain. 2010. Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loquat fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany* 42(1): 181-188

Influence of salicylic acid and potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles on quality maintenance and storability extension of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* plenk)

Azad Shahraki, F. ^{1*}, Asadian, A. H. ²

1. Faculty of Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
2. Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Sarayan, University of Birjand, Birjand, Iran

(Received: 2016/12/24 Accepted: 2017/02/11)

In this research the efficacy of salicylic acid (SA) at 2 levels (0 and 2 mL^{-1}) and potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles at 2 levels (0 and 10 g) on physicochemical attributes and storage life of broccoli florets were evaluated. The samples were stored at 1°C and 90-95% relative humidity for 24 days. Samples were taken initially and at 4-day intervals during storage and to simulate market conditions they were placed at room temperature for 24 hr, and then qualitative and quantitative parameters such as weight loss, visual quality, ethylene, total soluble solid, titrable acidity, vitamin C, surface color, chlorophyll, total phenol and total antioxidant capacity, were measured. The results showed that SA treatment and potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles and SA combined with potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles had significant effect in the maintaining visual quality and quantitative and qualitative characters than control florets. Also, SA combined with potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles showed the best effect in retaining of visual quality, preventing chlorophyll degradation and yellowing inhibition, as well as maintaining functional substances.

Keywords: Vitamin C, Surface color, Chlorophyll, Ethylene production

* Corresponding Author E-Mail Address: farzad_shahrakiazad@yahoo.com