بررسی ویژگی‌های کیفی، فیزیکوشیمیایی و ماندگاری قارچ تکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) با کاربرد اسید سیتریک و کلرید کلسیم

محمد قندالی[a]، الهام دانائی[b*]

[a] *دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران*
[b] *دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱

چکیده

مقدمه: قارچ تکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) دارای ارزش غذایی بالایی است اما به دلیل نداشتن پوشش محافظ طبیعی به سرعت کیفیت خوراکی خود را از دست می‌دهد، کاربرد تیمارهای پس از برداشت نظیر اسید سیتریک به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان ضد پیری و کلرید کلسیم به دلیل نقش یون کلسیم در استحکام دیواره سلولی می‌تواند موجب حفظ کیفیت و ماندگاری قارچ تکمه‌ای گردد، هدف از این پژوهش بررسی اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر ویژگی‌های کیفی، فیزیکوشیمیایی و ماندگاری قارچ تکمه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی شامل دو عامل غوطه‌وری با اسید سیتریک (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) و کلرید کلسیم (صفر، ۱ و ۲ درصد) و ماندگاری پس از برداشت (شروع آزمایش، ۴، ۸ و ۱۲ روز) در ۳ تکرار انجام شد. جهت اعمال تیمارها قارچ‌ها به مدت ۲ دقیقه در غلظت‌های مختلف اسید سیتریک و کلرید کلسیم غوطه‌ور شده و سپس در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و در روزهای مشخص جهت ارزیابی صفات مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تیمارها اثر معنی‌داری بر متغیرهای اندازه‌گیری شده داشتند، بطوریکه پس از ۱۲ روز انبارداری میزان کاهش وزن، نشت یونی و درجه قهوه‌ای شدن در شاهد بیشتر از سایر تیمارها بود. همچنین بیشترین درجه بسته بودن کلاهک، میزان مواد جامد محلول، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد، بدست آمد. بیشترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز نیز در تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۱ درصد بود. بیشترین میزان اسید آسکوربیک و اسیدیته قابل تیتراسیون نیز در تیمار اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد و بیشترین میزان فنول در تیمار اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۱ درصد مشاهده شد. همچنین عمر انبارمانی با ۱۳/۶ روز در تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد بیشترین و شاهد با ۶/۳ روز کمترین بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد پس از برداشت اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار به همراه کلرید کلسیم ۲ درصد جهت حفظ کیفیت، بازارپسندی و عمر انبارمانی قارچ تکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *اسید سیتریک، انبارمانی، فعالیت آنزیم، کلرید کلسیم*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: dr.edanaee@yahoo.com

مقدمه

قارچ تکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) یکی از محصولات پروتئینی مهم است که مصرف آن در رژیم غذایی انسان رو به افزایش است، زیرا منبع غنی از چندین اسیدآمینه ضروری، ویتامین‌های B_2، نیاسین، فولات و مواد معدنی هستند (Izanloo and Sadeghi Mahoonak, 2023). عمر انبارمانی قارچ تازه در دمای معمولی بین ۱ الی ۳ روز و در دمای ۴ درجه ۴ تا ۷ روز است، زیرا قارچ‌ها به دلیل ساختار اپیدرمی نازک و متخلخل و سرعت تنفس بالا به سرعت دچار فساد می‌شود و کیفیت خوراکی خود را از دست می‌دهند و همچنین به دلیل داشتن آنزیم تیروزیناز و وجود ترکیبات فنولی، مستعد قهوه‌ای شدن آنزیمی هستند (Ramezani *et al*., 2018) از سویی دیگر فعالیت باکتری *Pesudompnas tolasii* نیز با ایجاد لکه‌های قهوه‌ای موجب کاهش بازارپسندی این محصول می‌شود. داشتن کلاهک گرد، سفید، بدون لکه و ساقه راست از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت قارچ تکمه‌ای است که امروزه با استفاده از ترکیبات مختلف می‌توان کیفیت و ماندگاری قارچ تکمه‌ای را افزایش داد (Shamlou *et al*., 2019).

اسید سیتریک یک اسید آلی ضعیف است که به‌عنوان نگهدارنده طبیعی در صنایع غذایی کاربرد دارد، زیرا این ترکیب با کاهش pH و اسیدی کردن محیط مانع رشد و توسعه میکروارگانیسم‌ها و همچنین موجب کاهش فعالیت پلی فنول اکسیداز می‌شود و درنتیجه از قهوه‌ای شدن محصولات باغبانی جلوگیری می‌کند و از سویی دیگر به دلیل نقش آنتی‌اکسیدانی آن مانع از فساد و افزایش عمر انبارداری محصولات می‌شود (Jalili Marandi and Shafai Abbas Abad, 2014). نتایج تحقیق Javan Jebelli و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد، غوطه‌ور کردن قارچ تکمه‌ای در اسید سیتریک ۵ درصد، میزان فنول کل را افزایش داد درحالی‌که فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل را کاهش داد. در پژوهشی دیگر غوطه‌ور کردن قارچ تکمه‌ای در اسید سیتریک ۵۰ گرم در لیتر به مدت ۳۰ دقیقه موجب افزایش پارامتر سفیدی، کاهش تغییرات کلی رنگ، اندیس قهوه‌ای شدن و کاهش pH گردید (Pasban *et al*., 2013). همچنین Soroori و همکاران (۲۰۲۱) گزارش نمودند محلول‌پاشی اسید سیتریک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کربوهیدرات کل، فنول، فلاونوئید، درصد آنتی‌اکسیدان کل، پروتئین و عمر انبارداری را در گل خوراکی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) افزایش داد. در میوه هلو (*Prunus persica* L.) نیز کاربرد اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار درصد افت وزن را کاهش و استحکام، اسیدیته قابل تیتر، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنول کل و عمر انبارمانی را افزایش داد (Alhaj Alali *et al*., 2023).

یکی از مهم‌ترین عناصر در افزایش و حفظ کیفیت محصولات باغبانی کلسیم است. کلسیم موجب استحکام دیواره سلولی و تنظیم تراوایی غشای سلولی می‌گردد که از این طریق در به تأخیر انداختن پیری نقش مؤثری دارد، همچنین کلسیم از طریق کلاته نمودن فنول از اکسیداسیون آن ممانعت می‌کند (Sarlak *et al*., 2016). Öz و Eker (۲۰۲۲) کاهش از دست دادن وزن، درجه باز شدن کلاهک و همچنین افزایش مواد جامد محلول و استحکام قارچ تکمه‌ای را با کاربرد کلسیم کلراید ۱ درصد گزارش نمودند. در پژوهشی دیگر کلرید کلسیم ۰/۴۵ درصد موجب کاهش درجه قهوه‌ای شدن قارچ تکمه‌ای(*Agaricus bisporus*) شد، درحالی‌که درجه باز شدن کلاهک، سفتی بافت و اسیدیته قابل تیتراسیون را افزایش داد (Sarlak *et al*., 2016). در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) نیز کاربرد کلرید کلسیم ۲ درصد موجب افزایش استحکام، محتوای فنول کل و فعالیت آنزیم‌های پلی فنول اکسیداز، پراکسیداز و فنیل آلانین آمولینیاز و عمر انبارمانی شد (Mazumder *et al*., 2021).

لذا هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر بهبود ویژگی‌های کیفی، فیزیکوشیمیایی و ماندگاری قارچ تکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر بهبود ویژگی‌های کیفی، فیزیکوشیمیایی و ماندگاری قارچ تکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) آزمایشی در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار انجام شد. در این پژوهش ابتدا قارچ‌های خوراکی تکمه‌ای سفید سالم و با اندازه تقریبی یکسان، تهیه شد. تیمارها شامل دو عامل غوطه‌وری با اسید سیتریک (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) و

کلرید کلسیم (صفر، ۱و ۲ درصد) و ماندگاری پس از برداشت (شروع آزمایش، ۴، ۸ و ۱۲ روز) بود. برای تهیه غلظت‌های مورد نظر اسید سیتریک و کلرید کلسیم از آب مقطر به‌عنوان حلال استفاده شد. قارچ‌ها به مدت ۲ دقیقه در غلظت‌های مختلف اسید سیتریک و کلرید کلسیم غوطه‌ور شده و به مدت ۲۰ دقیقه در محیط آزمایشگاه برای خشک شدن باقی ماندند. پس از اعمال تیمارها در هر ظرف ۵ قارچ چیده شد و ظروف حاوی قارچ‌های تیمار شده به سردخانه با دمای ۱±۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۸۰ درصد، منتقل شدند و در روز شروع آزمایش، چهارمین، هشتمین و دوازدهمین روز پس از برداشت ارزیابی انجام شد.

- درصد کاهش وزن

درصد کاهش وزن نمونه‌ها از طریق اختلاف وزن نمونه‌ها پیش و پس از انبارداری با استفاده از معادله ۱ زیر محاسبه شد (Dareini *et al*., 2014).

(۱) درصد کاهش وزن = [وزن‌تر اولیه / (وزن‌تر اولیه− وزن‌تر ثانویه)] × ۱۰۰

- نشت یونی

جهت اندازه‌گیری نشت یونی غشاء سلول ابتدا نمونه‌ها در بن‌ماری با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شدند و پس از خروج نمونه‌ها از بن‌ماری میزان EC_1 با دستگاه EC متر، بدست آمد. سپس فالکون‌ها را به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرارداده و پس از سرد شدن، میزان EC_2 یادداشت شد. در نهایت درصد نشت یونی غشاء سلول با استفاده از معادله ۲ زیر محاسبه شد (Abdossi and Danaee, 2023).

(۲) درصد نشت یونی غشاء سلول = $(EC_1 / EC_2) \times ۱۰۰$

- مواد جامد محلول

میزان مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفراکتومتر (RA-620/RA-600, KEM ژاپن) اندازه‌گیری و برحسب بریکس بیان شد (Shahi *et al*., 2019).

- اسیدیته قابل تیتراسیون

میزان اسیدیته با روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال برحسب درصد اسید سیتریک اندازه‌گیری شد (Hosseinzadeh Rostam Kalaei *et al*., 2022).

- درجه بسته بودن کلاهک

درجه بسته بودن کلاهک قارچ‌ها در محدوده عدد ۱ تا ۳ نمره دهی شد که عدد ۱ برای بیشترین باز شدن کلاهک، ۲ برای نیمه باز بودن کلاهک و ۳ برای بسته بودن کامل کلاهک منظور گردید (Sarlak *et al*., 2016).

- درجه قهوه‌ای شدن

درجه قهوه‌ای شدن قارچ‌ها به‌وسیله پنج نفر به‌صورت ظاهری از ۱ تا ۵ نمره دهی شد که عدد ۱ بیشترین درجه قهوه‌ای شدن و کمترین بازارپسندی، عدد ۵ کمترین درجه قهوه‌ای شدن و بیشترین بازارپسندی را نشان می‌دهد (Ramezani *et al*., 2018).

- میزان اسید آسکوربیک

میزان اسید آسکوربیک موجود در قارچ‌ها به روش تیتر با ۲ و ۶ دی کلروفنول اندوفنول برحسب میلی‌گرم (اسید آسکوربیک) در ۱۰۰ گرم وزن تر نمونه محاسبه شد (Soroori *et al*., 2021).

- میزان فنول

میزان فنول با استفاده از معرف فولین سیکالتیو و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV Visible مدل Spectro Flex 6600) در طول‌موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری و برحسب میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم وزن‌تر بیان شد (Asefi and Jafarian, 2018).

- آنزیم کاتالاز

جهت سنجش آنزیم کاتالاز از روش Liu و همکاران (۲۰۱۳) استفاده شد و جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر قرائت و برحسب واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین بیان شد.

- آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز با استفاده از روش شرح داده‌شده توسط Shekari و همکاران (۲۰۲۲) و در

طول‌موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و برحسب واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین بیان شد.

- آنزیم پراکسیداز

فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش Putter (۱۹۷۴) در طول‌موج ۵۳۰ نانومتر اندازه‌گیری و درنهایت برحسب واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

- عمر انبارمانی

قارچ‌های تیمار شده در سردخانه با دمای ۱±۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۸۰ درصد، قرار داده شدند و عمر انبارمانی آن‌ها با توجه علائمی مانند باز شدن و قهوه‌ای شدن کلاهک و پلاسیدگی، برحسب روز یادداشت شد (Noorbakhesh and Danaee, 2021).

- تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با ۳۶ تیمار و ۳ تکرار و هر تکرار حاوی ۵ قارچ تکمه‌ای انجام شد. آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۳ صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای Duncan در سطح ۱ و ۵ درصد انجام شد. نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم گردید.

یافته‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر ساده تیمار بر کلیه صفات در سطح ۱درصد معنی‌دار شد. اثر ساده زمان بر میزان نشت یونی، مواد جامد محلول، درجه بسته بودن کلاهک و قهوه‌ای شدن، فنول و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز در سطح ۱ درصد و بر درصد کاهش وزن، اسیدیته قابل تیتراسیون، ویتامین ث و فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل تیمار در زمان بر درصد کاهش وزن، میزان اسیدیته قابل تیتراسیون، ویتامین ث، درجه بسته بودن کلاهک و قهوه‌ای شدن، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد درحالی‌که بر میزان نشت یونی، مواد جامد محلول و فنول در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

همان‌طور که از شکل ۱ نمایان است کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی موجب کاهش درصد افت وزن قارچ تکمه‌ای نسبت به شاهد گردید، بطوریکه بیشترین درصد کاهش وزن با ۳۶/۳۹ درصد در شاهد دوازدهمین روز آزمایش و کمترین با ۱/۸۵ درصد در تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد در چهارمین روز آزمایش بود که با تیمار اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد چهارمین روز آزمایش اختلاف معنی‌داری نداشت.

نتایج نشان داد که نشت یونی در طول دوره پس از برداشت افزایش یافت و کاربرد اسید سیتریک و کلرید پتاسیم موجب بهبود نشت یون نسبت به شاهد گردید بطوریکه شاهد در دوازدهمین روز آزمایش بیشترین (۵۲/۴۳ درصد) و تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار+ کلرید کلسیم ۲ درصد در روز چهارم آزمایش کمترین (۱۷/۶۴ درصد) نشت یونی را نشان داد (شکل ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، کیفیت و ماندگاری قارچ تکمه‌ای (*Agaricus bisporus*)

Table 1- Variance analysis of the effect of citric acid and calcium chloride on the physicochemical properties, quality and shelf life of *Agaricus bisporus*

Source of variation	Means of Square												
	DF[a]	Weight loss	Ion leakage	Soluble solids	Titratable acidity	Cap closure degree	Browning index	Ascorbic acid	Phenol	Peroxidase	Catalase	Super oxide dismutase	Shelf life
Treatment	8	**19.269	**11.211	**3.917	**2.117	**7.528	**2.846	**5.107	**11.385	**8.025	**6.043	**5.946	**11.458
Time	3	*47.256	**27.149	**7.026	*5.467	**19.286	**8.129	*15.834	*26.043	*16.493	*15.285	**19.157	----
Treatment × Time	24	**5.175	*6.032	*1.482	**0.518	**1.341	**0.187	**2.974	*6.582	**3.565	**1.921	**0.753	----
Error	---	0.014	0.067	0.29	0.007	0.006	0.010	0.008	0.137	0.038	0.023	0.011	0.037
CV (%)	----	10.37	11.59	11.64	10.83	10.74	11.41	9.42	11.32	10.45	12.71	10.53	9.35

a) Degrees of freedom

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

* and ** are significant at the 5% and 1% levels, Respectively

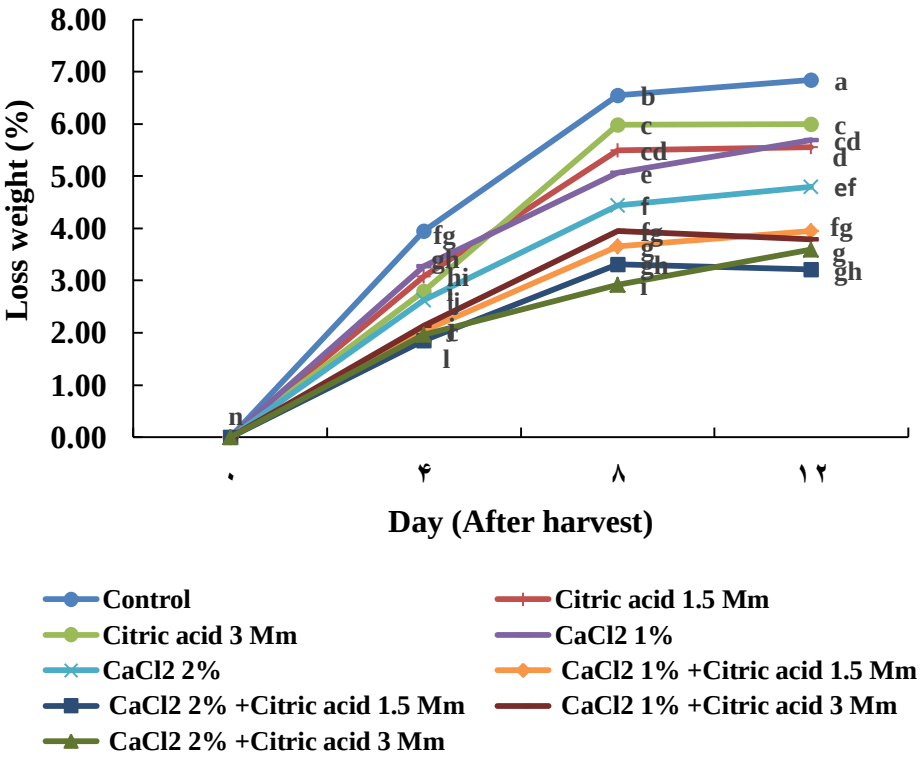

Figure 1- The effect of citric acid and calcium chloride on the weight loss of *Agaricus bisporus* after harvesting

شکل ۱- اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر کاهش وزن قارچ تکمه ای (*Agaricus bisporus*) پس از برداشت

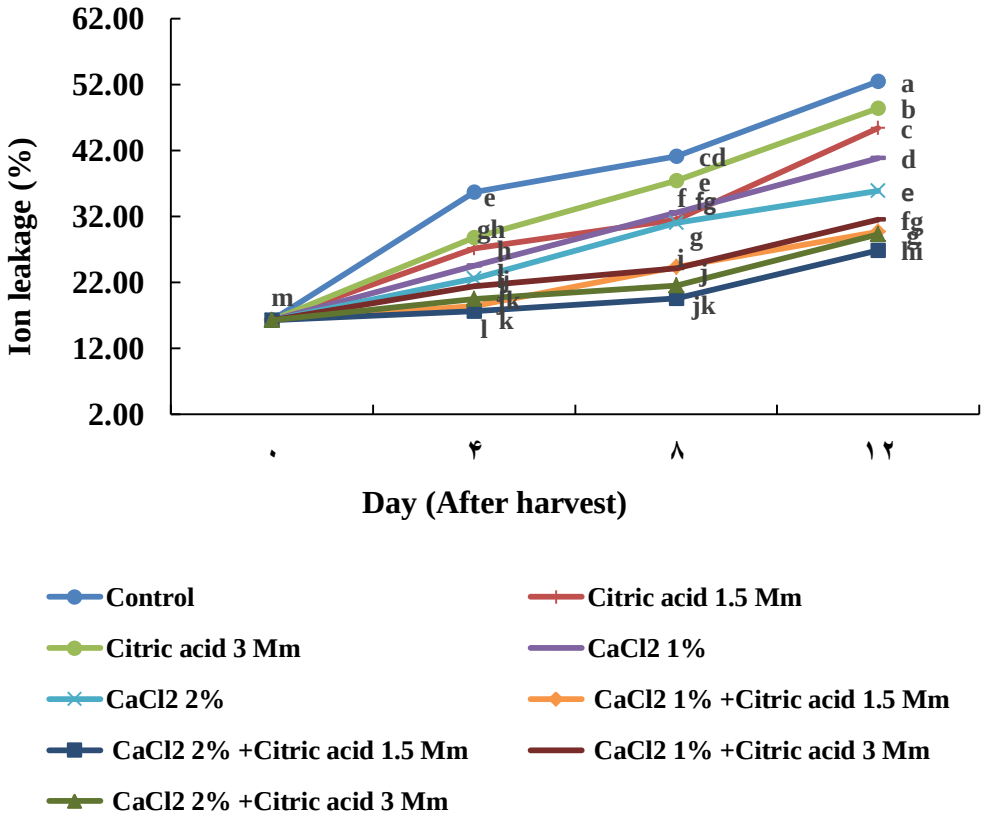

Figure 2- The effect of citric acid and calcium chloride on ion leakage of *Agaricus bisporus* after harvesting

شکل ۲- اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر نشت یونی قارچ تکمه ای (*Agaricus bisporus*) پس از برداشت

شکل ۳ بیانگر کاهش نزولی مواد جامد محلول پس از برداشت می‌باشد در حالیکه کاربرد اسید سیتریک و کلرید کلسیم موجب افزایش مواد جامد محلول گردید، بیشترین مواد جامد محلول با ۷/۴۴ بریکس در تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد در روز چهارم آزمایش و کمترین با ۳/۵۰ بریکس در شاهد دوازدهمین روز آزمایش بدست آمد.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، میزان اسیدیته قابل تیتراسیون پس از برداشت کاهش یافت، بیشترین اسیدیته قابل تیتر (۲/۹۹ درصد) در تیمار اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد در چهارمین روز آزمایش و کمترین (۱/۴۸ درصد) در شاهد روز دوازدهم آزمایش مشاهده شد (شکل ۴).

نتایج به دست آمده نشان داد، در اکثر تیمارهایی که تحت کاربرد اسید سیتریک و کلرید کلسیم قرار گرفتند درجه بسته بودن کلاهک اختلاف معنی‌داری نداشت، اما بسته بودن کامل کلاهک قارچ با درجه ۳ در دوازدهمین روز آزمایش در تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد و باز شدن کلاهک با درجه ۱ نیز در شاهد هشتمین و دوازدهمین روز آزمایش و تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار دوازدهمین روز آزمایش مشاهده شد (شکل ۵).

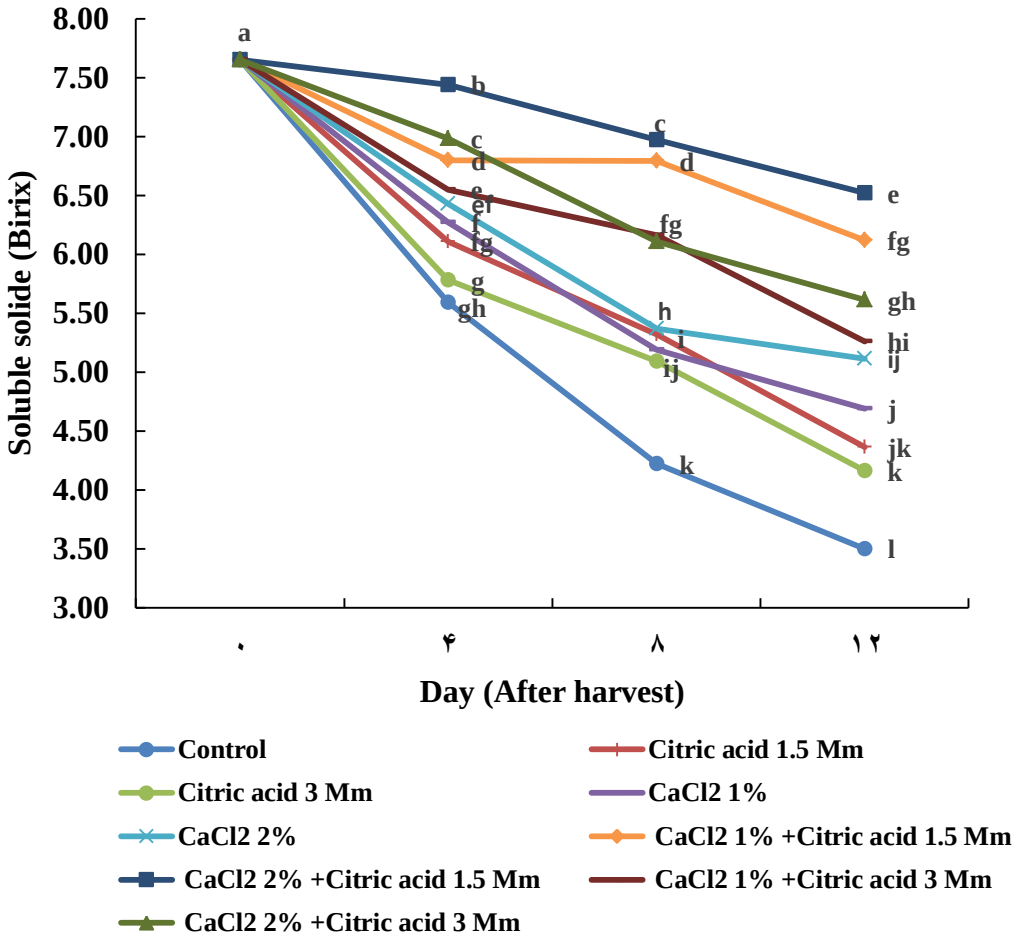

Figure 3- The effect of citric acid and calcium chloride on soluble solids of *Agaricus bisporus* after harvesting

شکل ۳- اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر مواد جامد محلول قارچ تکمه ای (*Agaricus bisporus*) پس از برداشت

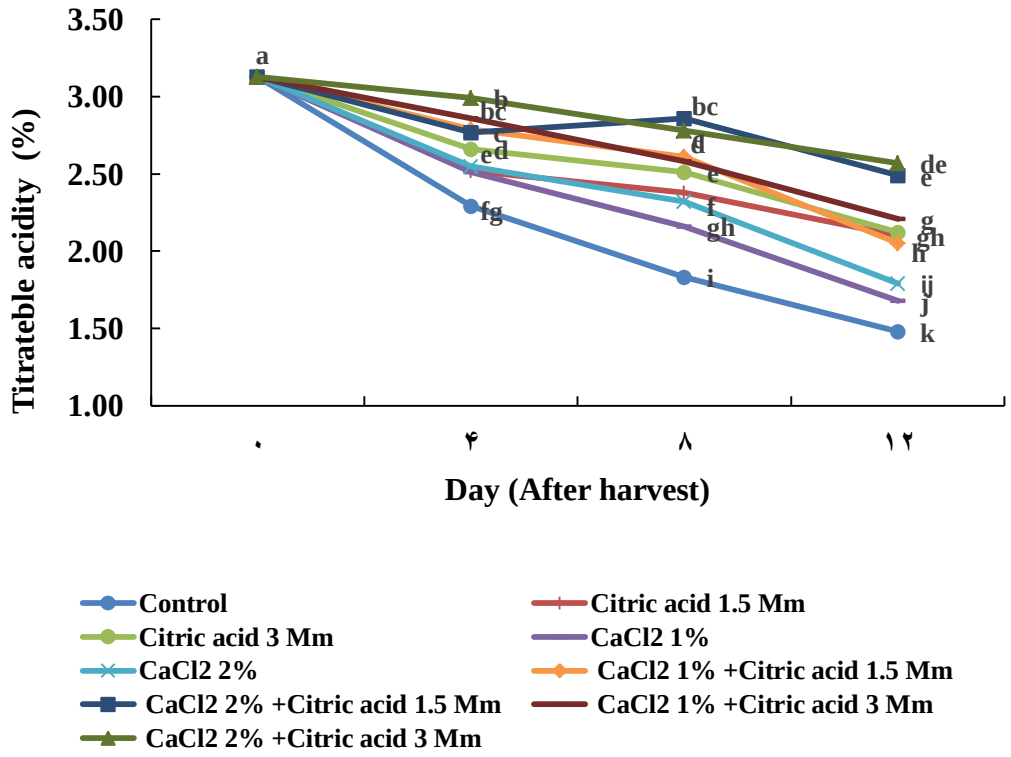

Figure 4- The effect of citric acid and calcium chloride on titratable acidity of *Agaricus bisporus* after harvesting

شکل ٤- اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر اسیدیته قابل تیتراسیون قارچ تکمه ای (*Agaricus bisporus*) پس از برداشت

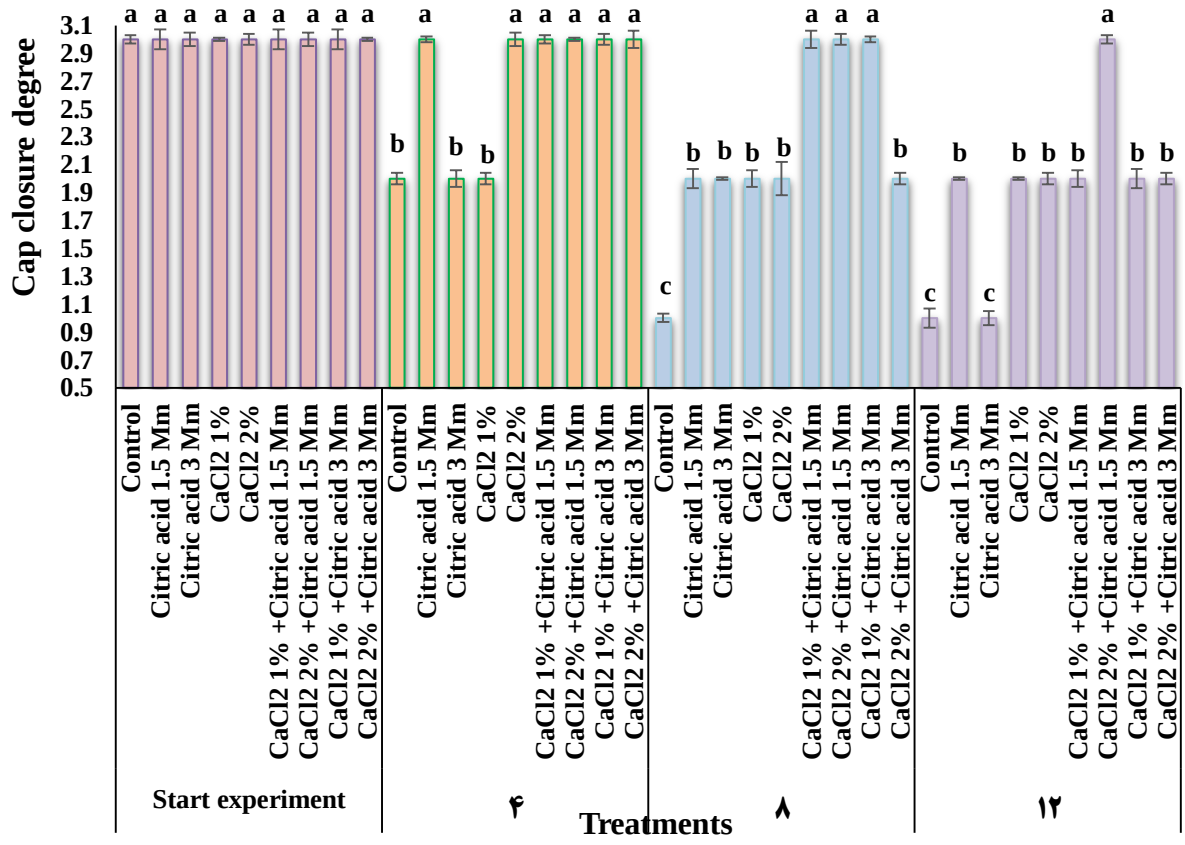

Figure 5- The effect of citric acid and calcium chloride on the closure cap of *Agaricus bisporus* after harvesting

شکل ٥- اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر درجه بسته بودن کلاهک قارچ تکمه ای (*Agaricus bisporus*) پس از برداشت

شکل ۶ نمایانگر این است که بیشترین درجه قهوه‌ای شدن با درجه ۱ در تیمار شاهد دوازدهمین روز آزمایش و کمترین با درجه ۵ در تیمارهای اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد در دوازدهمین و هشتمین روز آزمایش و تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۱ درصد در چهارمین روز آزمایش مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

نتایج نشان داد، میزان اسید آسکوربیک در طی روزهای انبارداری روند نزولی داشت، بیشترین اسید آسکوبیک با ۳/۷۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر در تیمار اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد در چهارمین روز آزمایش و کمترین با ۱/۱۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر در شاهد دوازدهمین روز آزمایش بود (شکل ۷).

همان‌طور که از شکل ۸ نمایان است، میزان فنول پس از برداشت روند نزولی داشت و کاربرد اسید سیتریک و کلرید کلسیم میزان فنول قارچ تکمه‌ای را افزایش داد. بیشترین میزان فنول کل (۴۴/۷۷ میلی‌گرم در گرم) در تیمار اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۱ درصد در روز چهارم آزمایش بود و کمترین (۱۴/۶۸ میلی‌گرم در گرم) در شاهد دوازدهمین روز آزمایش مشاهده شد.

نتایج نشان داد، کاربرد اسید سیتریک و کلرید کلسیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی قارچ تکمه‌ای را افزایش داد بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۷/۶۴ واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین) در تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد در چهارمین روز آزمایش و کمترین (۲/۸۸ واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین) در شاهد دوازدهمین روز آزمایش بود (شکل ۹).

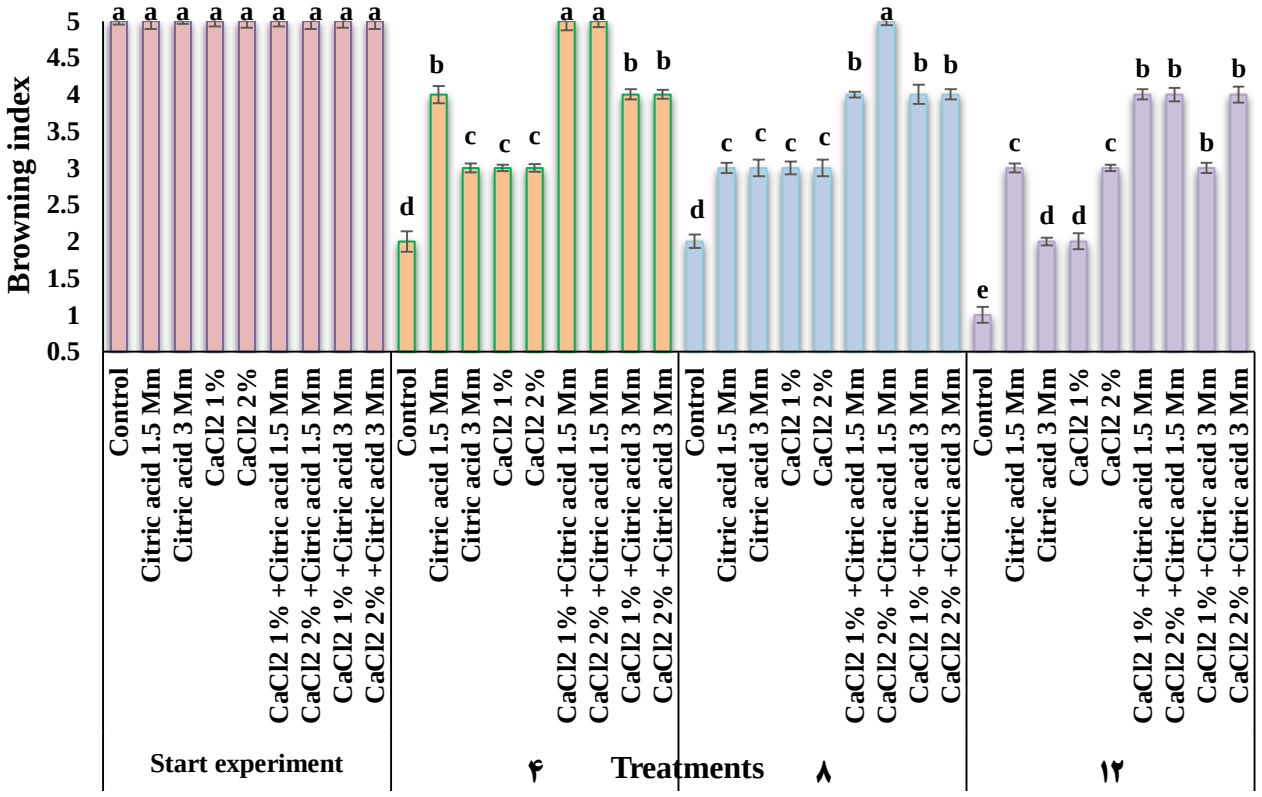

Figure 6- The effect of citric acid and calcium chloride on the browning index of *Agaricus bisporus* after harvesting

شکل ٦- اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر شاخص قهوه ای شدن قارچ تکمه ای (*Agaricus bisporus*) پس از برداشت

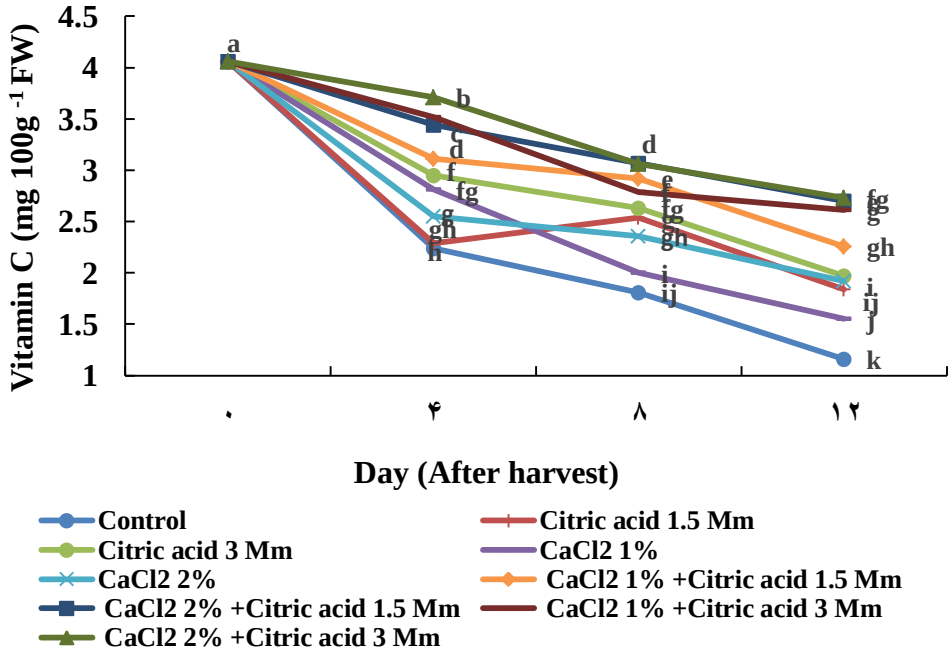

Figure 7- The effect of citric acid and calcium chloride on ascorbic acid of *Agaricus bisporus* after harvesting

شکل ۷- اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر اسید آسکوربیک قارچ تکمه ای (*Agaricus bisporus*) پس از برداشت

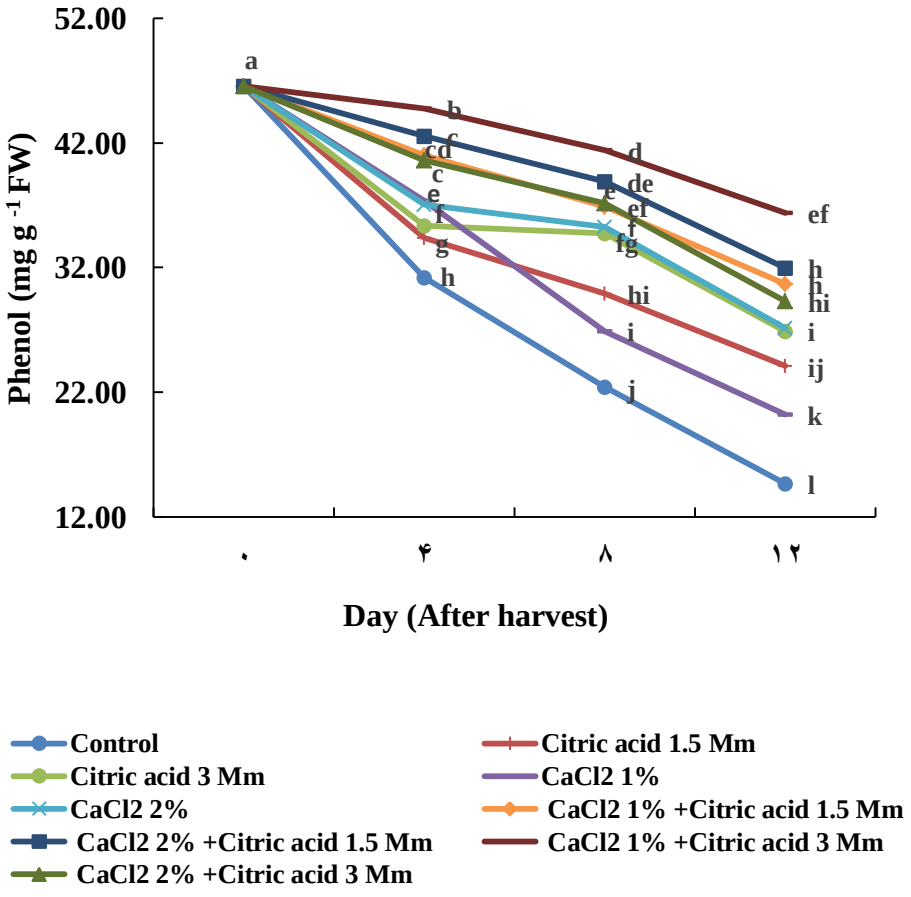

Figure 8- The effect of citric acid and calcium chloride on phenol of *Agaricus bisporus* after harvesting

شکل ۸- اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر فنول قارچ تکمه ای (*Agaricus bisporus*) پس از برداشت

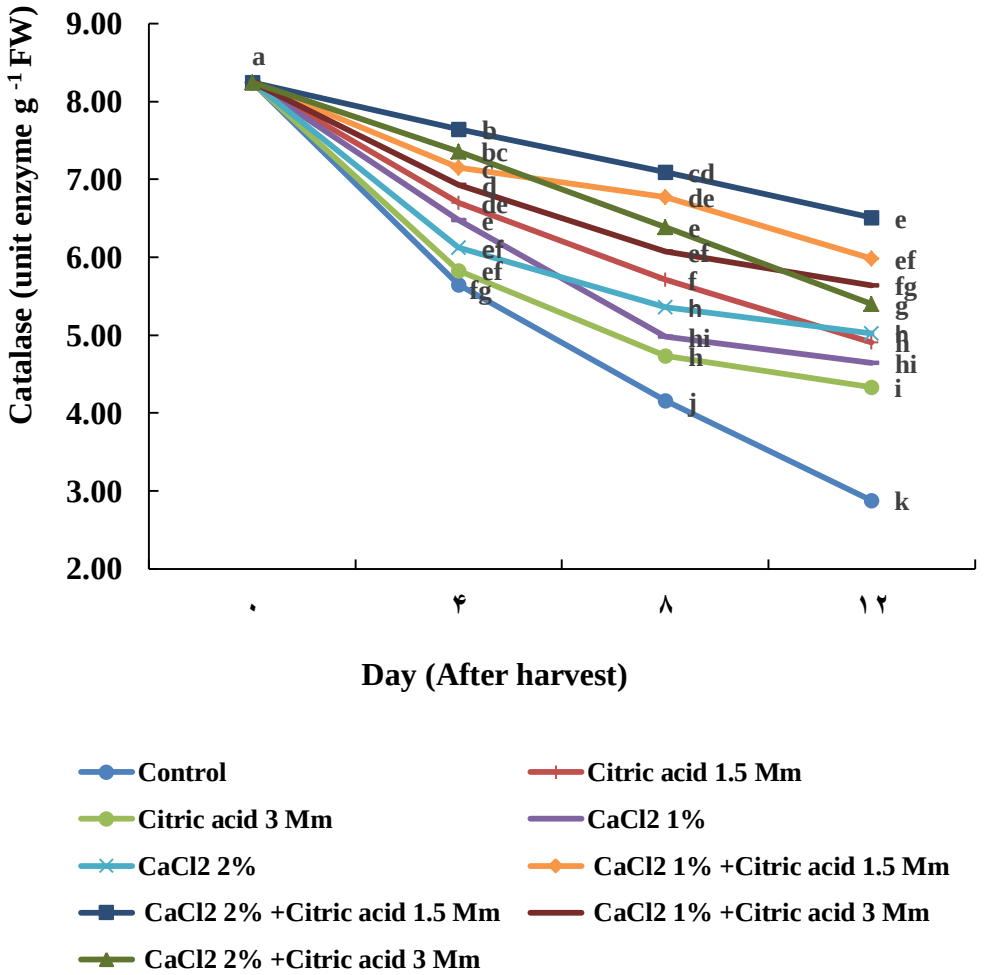

Figure 9- The effect of citric acid and calcium chloride on catalase enzyme activity of *Agaricus bisporus* after harvesting.

شکل ۹- اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر فعالیت آنزیم کاتالاز قارچ تکمه ای (*Agaricus bisporus*) پس از برداشت.

در این پژوهش بیشترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (۴/۸۰ واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین) در تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۱ درصد در چهارمین روز آزمایش و کمترین (۲/۴۴ واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین) در شاهد دوازدهمین روز آزمایش بود (شکل ۱۰).

شکل ۱۱ بیانگر این است که بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۱۰/۳۷ واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین) در تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد در چهارمین روز آزمایش و کمترین (۴/۷۳ واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین) در شاهد دوازدهمین روز آزمایش مشاهده شد.

نتایج نشان داد کاربرد اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار و کلرید کلسیم ۲ درصد (۱۳/۶۷ روز) عمر انبارمانی را افزایش داد که با تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۱ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت و در شاهد (۶/۳۳ روز) نیز کمترین عمر انبارمانی بدست آمد (شکل ۱۲).

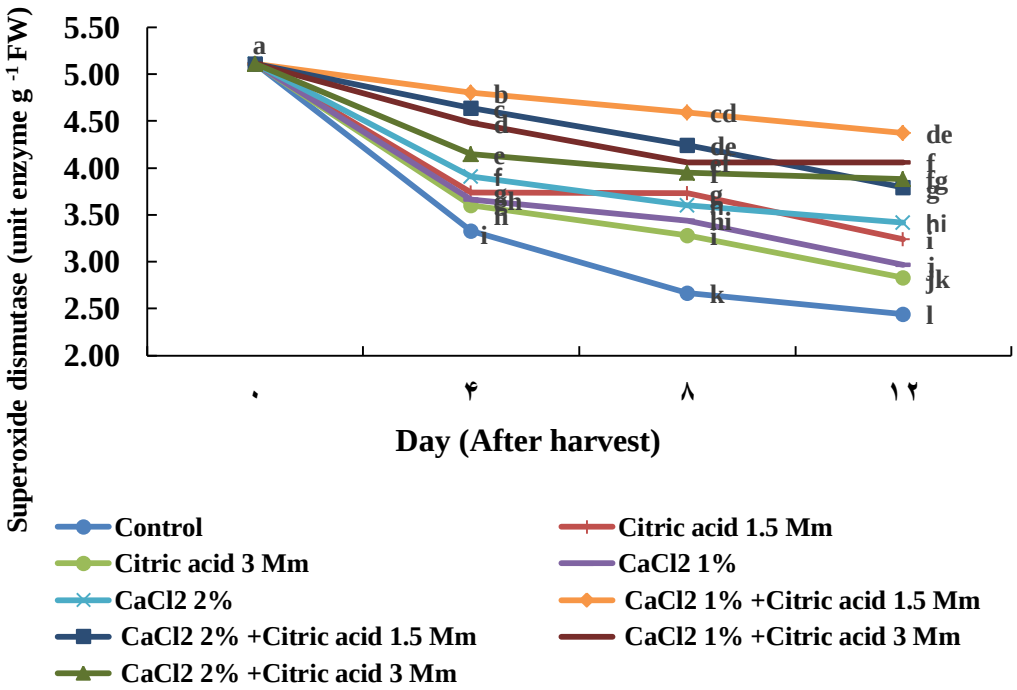

Figure 10- The effect of citric acid and calcium chloride on superoxide dismutase enzyme activity of *Agaricus bisporus* after harvesting

شکل ۱۰- اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز قارچ تکمه ای (*Agaricus bisporus*) پس از برداشت

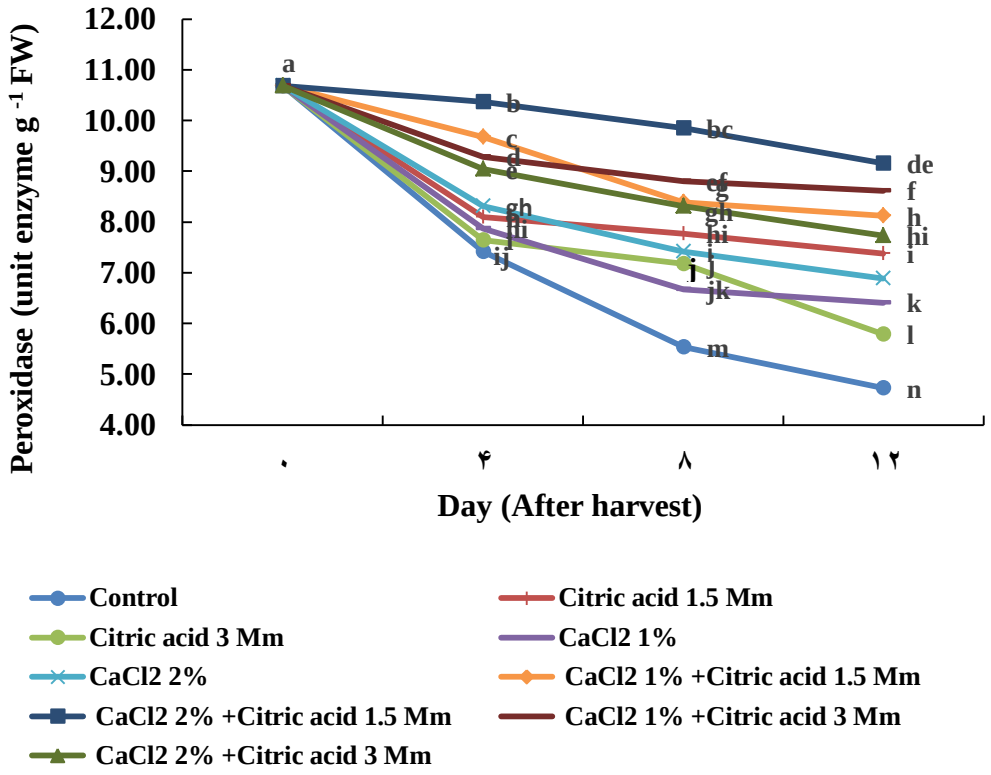

Figure 11- The effect of citric acid and calcium chloride on peroxidase enzyme activity of *Agaricus bisporus* after harvesting

شکل ۱۱- اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز قارچ تکمه ای (*Agaricus bisporus*) پس از برداشت

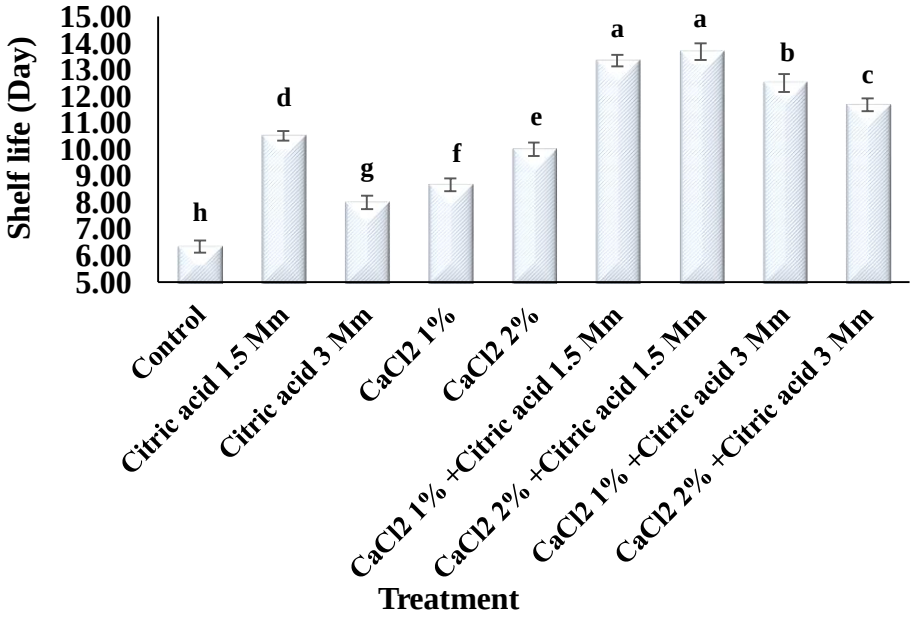

Figure 12- The effect of citric acid and calcium chloride on shelf life of *Agaricus bisporus*

شکل ۱۲- اثر اسید سیتریک و کلرید کلسیم بر ماندگاری پس از برداشت قارچ تکمه ای (*Agaricus bisporus*)

بحث

کاهش وزن در محصولات تازه عمدتاً به دلیل کاهش رطوبت و املاح ناشی از تبخیر و تنفس می‌باشد (Cosme Silva *et al*., 2017). در این پژوهش با گذشت زمان کاهش وزن و نشت یون در قارچ‌های خوراکی مشاهده شد، زیرا قارچ تکمه‌ای به دلیل عدم وجود کوتیکول ضخیم، طی فرآیند تعرق آب خود را از دست می‌دهد و درنتیجه انبارمانی این محصول به شدت پایین می‌آید (Li *et al*., 2021). همچنین زخم یا برش در بافت‌ها نیز موجب افزایش تنفس و افزایش سرعت کاهش وزن محصول می‌شود (Khan *et al*., 2014) و از سویی دیگر واکنش‌های اکسیداسیون و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء نشت یونی را در قارچ تکمه‌ای افزایش می‌دهد (Wanga *et al*., 2014). درحالی‌که تیمار قارچ‌های خوراکی توسط اسید سیتریک و کلرید کلسیم درصد کاهش وزن و نشت یونی را به‌طور قابل‌توجهی کاهش دادند، زیرا اسید سیتریک به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی و نقش آن در مهار رادیکال‌های آزاد و همچنین به‌عنوان ترکیب اسمزی با بستن روزنه‌ها موجب کنترل کاهش وزن و نشت یون می‌گردد (Hussain *et al*., 2017) و یون کلسیم نیز به دلیل ورود به ماتریکس دیواره سلولی و غشاء موجب افزایش پایداری غشاء سلولی و حفظ فشار تورژسانس و کاهش از دست دادن آب و نشت یون می‌شود (Khan *et al*., 2014) مطابق با یافته‌های این پژوهش Shamlou و همکاران (۲۰۲۳) و Sarlak و همکاران (۲۰۱۶) نیز به ترتیب کاهش درصد افت وزن قارچ تکمه‌ای با کاربرد اسید سیتریک و کلرید کلسیم را گزارش نمودند. همچنین نتایج Öz و Eker (۲۰۲۲) نیز نشان داد کاربرد کلرید کلسیم تأثیر مثبتی بر کاهش درصد افت وزن و نشت یونی قارچ تکمه‌ای داشت.

با افزایش زمان نگهداری میزان مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتر کاهش یافت که می‌توان دلیل آن را به افزایش تنفس نسبت داد (Fartash Naeimi *et al*., 2021)، همچنین میزان مواد جامد محلول و اسیدیته با تولید اتیلن در ارتباط است تیمار قارچ‌های خوراکی با اسید سیتریک موجب می‌شود تا اسید سیتریک خارجی وارد چرخه تری کربوکسیلیک اسید شود و سنتز سیترات سنتتاز را مهار کند و درنتیجه سرعت تولید اتیلن کاهش می‌یابد (Hussain *et al*., 2017). نتایج Alhaj Alali و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد کاربرد اسید سیتریک مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون میوه هلو را در طول دوره انبارمانی افزایش داد. همچنین کلسیم نیز با کاهش واکنش‌های اکسیداسیونی موجب تأخیر در افزایش مقدار مواد جامد محلول گردید (Wanga *et al*., 2014) که مطابق با نتایج

این آزمایش در میوه کیوی نیز کاربرد اسید سیتریک و کلرید کلسیم میزان مواد جامد را افزایش داد (Tapia-Rodriguez *et al*., 2021).

بروز علائم پیری در قارچ تکمه‌ای با باز شدن کلاهک همراه است که می‌تواند مربوط به کاهش وزن، آماس سلولی و محتوای فسفولیپیدها باشد که درنتیجه کیفیت و بازارپسندی قارچ‌های خوراکی را کاهش می‌دهد (Sarlak *et al*., 2016). تیمار قارچ‌های خوراکی توسط اسید سیتریک و کلرید کلسیم به‌طور مؤثری موجب کاهش درجه باز شدن کلاهک قارچ تکمه‌ای گردید، زیرا تیمار اسید سیتریک به‌عنوان ترکیب آنتی‌اکسیدان و ضد پیری (Soroori *et al*., 2021) و کلرید کلسیم نیز به دلیل کاهش سرعت تنفس سلولی باز شدن کلاهک را به تعویق می‌اندازد (Khan *et al*., 2014). نتایج این آزمایش با نتایج Sarlak و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت داشت.

یکی از شاخص‌های مؤثر در بازارپسندی قارچ تکمه‌ای، شاخص قهوه‌ای شدن می‌باشد که در این پژوهش با افزایش زمان انبارمانی شاخص قهوه‌ای شدن در قارچ تکمه‌ای افزایش یافت، درحالی‌که کاربرد تیمارها پس از برداشت نظیر اسید سیتریک و کلرید کلسیم موجب کاهش شاخص قهوه‌ای شدن گردید. Pasban و همکاران (۲۰۱۳) دلیل کاهش شاخص قهوه‌ای شدن در قارچ تکمه‌ای را با کاربرد اسید سیتریک به کاهش pH محیط و واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی نسبت دادند. همچنین کاربرد کلرید کلسیم در قارچ تکمه‌ای نیز موجب افزایش پایداری غشا گردید و از فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز و در نهایت قهوه‌ای شدن کاسته می‌شود (Sarlak *et al*., 2016) مطابق با یافته‌های این پژوهش در گیاه لوفا نیز کاربرد کلرید کلسیم موجب کاهش شاخص قهوه‌ای شدن گردید (Feng *et al*., 2022).

میزان اسید آسکوربیک قارچ تکمه‌ای با افزایش زمان نگهداری کاهش یافت، اسید آسکوربیک برای ساخته‌شدن اتیلن به‌عنوان کوفاکتور برای ACC اکسیداز عمل می‌کند، درنتیجه در طول دوره انبارمانی میزان اسید آسکوربیک کاهش می‌یابد کاربرد اسید سیتریک با کاهش pH و اسیدی کردن محیط، مانع فعالیت آنزیم سنتاز می‌شود درنتیجه از ساخته‌شدن اتیلن جلوگیری به عمل آورده و مانع مصرف اسید آسکوربیک می‌گردد (Soroori *et al*., 2021) و کلسیم نیز از طریق اتصال به غشاء موجب پایداری اسید آسکوربیک می‌شود و از اتصال رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن به غشاء جلوگیری و مانع از تجزیه اسید آسکوربیک می‌شود (Karamnezhad *et al*., 2015). نتایج این تحقیق با نتایج Safa و همکاران (۲۰۱۵) در گیلاس تکدانه و Jakhar و Pathak (۲۰۱۸) در انبه مطابقت دارد.

فنول‌ها ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند که در طول دوره انبارمانی به دلیل اینکه سوبسترای آنزیم پلی فنول اکسیداز هستند کاهش می‌یابند (Zarbakhsh and Rastegar, 2018). دلیل افزایش ترکیبات فنولی با کاربرد سیتریک اسید می‌تواند مربوط به نقش آن در افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیالاز (PAL) که آنزیم کلیدی مسئول بیوسنتز فنولی است، باشد (Alhaj Alali *et al*., 2023). Jebelli Javan و همکاران (۲۰۱۵) نیز تأثیر اسید سیتریک بر افزایش فنول قارچ تکمه‌ای را گزارش نمودند. همچنین کلسیم نیز با اثر بر آنزیم‌های مؤثر در سنتز و اکسیداسیون فنول‌ها نظیر فنیل آلانین آمونیالیاز، پراکسیداز، پلی فنول اکسیداز در چرخه متابولیسم اسیدهای فنولیک نقش مؤثری دارد (Najafi and Barzegar, 2022). مطابق با یافته‌های این پژوهش Mazumder و همکاران (۲۰۲۱) گزارش نمودند که کاربرد کلرید کلسیم میزان فنول را در گوجه‌فرنگی افزایش داد.

گیاهان از طریق آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بر تنش اکسیداتیو غلبه می‌کنند و میزان گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهند. آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز نقش مهمی در دفاع آنتی‌اکسیدانی طی فرآیندهای رسیدن و انبارمانی محصولات باغبانی ایفا می‌کنند و اولین خط مهار گونه‌های فعال اکسیژن را تشکیل می‌دهد که سوپر اکسید را به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کند. سپس پراکسید هیدروژن توسط آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز به اکسیژن و آب تجزیه می‌شود (Bal, 2020) اسید سیتریک از طریق اسیدی کردن محیط و کلرید کلسیم نیز با تأثیر بر فعالیت رسیدگی محصولات، کاهش سرعت تنفس و عمر پس از برداشت شرایط بهینه را برای فعالیت این آنزیم‌ها فراهم می‌کند و از این طریق موجب مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن و آسیب به پروتئین‌ها را کاهش می‌دهد (Kou *et*

al., 2015; Soroori *et al*., 2021). نتایج این پژوهش با نتایج Allahveran و همکاران (۲۰۱۸) در میوه سیب و Feng و همکاران (۲۰۲۲) در میوه گیاه لوفا مشابهت دارد.

نتایج نشان داد کاربرد اسید سیتریک و کلرید کلسیم عمر انبارمانی را افزایش داد. اسید سیتریک با کاهش pH و اسیدی کردن محیط و درنتیجه ممانعت از فعالیت آنزیم سنتاز که در محیط قلیایی فعالیت می‌کند، از ساخت اتیلن جلوگیری می‌کند درنتیجه از طریق کاهش تنفس عمر انبارمانی قارچ تکمه‌ای را افزایش می‌دهد (Spinardi, 2005). همچنین کلسیم نیز بر پایدارسازی غشاء و تشکیل پکتات کلسیم که بر استحکام تیغه میانی دیواره سلولی مؤثر است، در ارتباط است و با کاهش سرعت تنفس عمر انباری آن را افزایش می‌دهد (Fahmideh *et al*., 2018). مطابق با نتایج این پژوهش Alhaj Ala و همکاران (۲۰۲۳) افزایش عمر انبارمانی میوه هلو را در شرایط کاربرد اسید سیتریک و Jakhar و Pathak (۲۰۱۸) افزایش عمر انبارمانی میوه انبه با کاربرد کلرید کلسیم گزارش نمودند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش کاربرد پس از برداشت اسید سیتریک و کلرید کلسیم سبب بهبود کیفیت، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ماندگاری قارچ تکمه‌ای گردید بطوریکه در تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد کمترین درصد کاهش وزن، نشت یونی و درجه قهوه‌ای شدن و بیشترین درجه بسته بودن کلاهک، میزان مواد جامد محلول، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز بدست آمد و بیشترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز نیز در تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۱ درصد بود. همچنین میزان ویتامین ث و اسیدیته قابل تیتراسیون در تیمار اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد و میزان فنول نیز در تیمار اسید سیتریک ۳ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۱ درصد افزایش یافت. بیشترین عمر انبارمانی نیز در تیمار اسید سیتریک ۱/۵ میلی‌مولار + کلرید کلسیم ۲ درصد بدست آمد. به‌طورکلی کاربرد اسید سیتریک با غلظت ۱/۵ میلی مولار به همراه کلرید کلسیم ۲ درصد در جهت حفظ کیفیت، بازارپسندی و ماندگاری قارچ تکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) پیشنهاد می‌شود.

منابع

Abdossi, V. & Danee, E. (2019). Effects of Some Amino Acids and Organic Acids on Enzymatic Activity and Longevity of *Dianthus caryophyllus* cv. Tessino on at Pre-Harvest Stage. Journal of Ornamental Plants, 9(2), 93-104. https://doi.org/ 20.1001.1.22516433.2019.9.2.2.7

Alhaj Alali, F., Askari Sarcheshmeh, M. A. & Bababalar, M. (2023). Evaluating the effects of citric acid application on reducing decay, maintaining edibility and shelf life of peach fruits in cold storage. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 10(2), 149-160.
https://doi.org/10.22059/ijhst.2022.328720.490.

Allahveran, A., Farokhzad, A., Asghari, M. & Sarkhosh A. (2018). Foliar application of ascorbic and citric acids enhanced 'Red Spur' apple fruit quality, bioactive compounds and antioxidant activity. Physiology and Molecular Biology of Plants, 24(3), 433-440. https://doi.org/ 10.1007/s12298-018-0514-7.

Asefi, N. & Jafarian, P. (2018). Evaluation of the effect of different heat pretreatment on chemical properties of grape juice. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 15(3), 65-72. [In Persian]

Bal, E. (2020). Effect of melatonin treatments on biochemical quality and postharvest life of nectarines. Journal of Food Measurement and Characterization, 15(1), 1-8. https://doi.org/ 10.1007/s11694-020-00636-5.

Cosme Silva, G. M., Silva, W. B ,.Medeiros, D. B., Salvador, A. R., Cordeiro, M .H. M., Silva, N. M. & Mizobutsi, G. P .(2017). The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv .Palmer) fruit during storage. Food Chemistry, 237, 378-372. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.12.

Dareini, H., Abdossi, V. & Danaee, E. (2014). Effect of some essential oils on postharvest quality and vase life of gerbera cut flowers (*Gerbera Jamesonii* cv.Sorbet). European Journal of Experimental Biology, 4(3), 276-280.

Fahmideh, L., Tavakoli, M., Omranipour S. & Rajabi A. (2018). Investigating the effect of post-harvest treatments of Spermidine, Calcium chloride and temperature on quality and storage characteristics of Chico fruit (*Manilkara zapota* L.) in Minab city. Iranian Journal of Neutral Science and Food Technology, 13 (2), 89-98 [In Persian]

Fartash Naeimi, E., Khoshtaghaza, M. H. & Abbasi, S. (2021). Effect of gamma irradiation and different packagings on the shelf life of

edible Mushrooms (*Agaricus bisporus*). *innovative food technologies*, 9(1), 47-61. https://doi.org/10.22104/jift.2021.5049.2054 [In Persian]

Feng, Y., Feng, C., Wang, Y., Gao, S., Sun, P., Yan, Z., Su, X., Sun, Y. & Zhu, Q. (2022). Effect of $CaCl_2$ treatment on enzymatic browning of fresh-cut Luffa (*Luffa cylindrica*). *Horticulturae*, *8*, 473. https://doi.org/10.3390/horticulturae8060473.

Hussain, S.B., Shi, C.Y., Guo, L.X., Kamran, H.M., Sadka, A. & Liu, Y.Z. (2017). Recent advances in the regulation of Citric acid metabolism in Citrus fruit. Critical Reviews in Plant Sciences, 36(4), 241–256. https://doi.org/10.1080/07352689.2017.1402850.

Hosseinzadeh Rostam Kalaei, M., Vahid Abdossi, V & Danaee, E. (2022). Evaluation of foliar application of selenium and flowering stages on selected properties of Iranian Borage as a medicinal plan. Journal of Scientific Reports, 12, 1-10. https://doi.org/10.1038/s41598-022-16241-z.

Izanloo, I. & Sadeghi Mahoonak, A. (2023). The effect of ultrasound pretreatment on hydrolysis time by pepsin enzyme to produce antioxidant peptides from edible mushroom (*Agaricus bisporus*) protein. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(3), 29-44. https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.78786.1203 [In Persian]

Jakhar, M. & Pathak, S. (2016). Effect of pre-harvest nutrients application and bagging on quality and shelf life of Mango (*Mangifera indica* L.) fruits cv. Amrapali. Journal of Agricultural Science and Technology, 18 (3), 717-729. https://doi.org/20.1001.1.16807073.2016.18.3.23.5.

Jalili Marandi, R. & Shafai Abbas Abad, Z. (2014). The effect of post-harvest treatments of citric acid and salicylic acid on the quality characteristics of Sardroud pear fruit during the storage period. Plant Production (Journal of Agricultural Sciences), 38(1), 131-143. [In Persian]

Jebelli Javan, A., Nikmanesh, A., Keykhosravy, K., Maftoon, S., Aminzare, M., Bayani, M., Parsaiemehr, M. & Raeisi, M. (2015). Effect of Citric acid dipping treatment on bioactive components and antioxidant properties of sliced Button Mushroom (*Agaricus bisporus*). Journal of Food Quality and Hazards Control, 2, 20-25.

Karamnezhad, F., Hajilou, J. & Tabatabaei, S. J. (2015). Effect of postharvest treatments of $CaCl_2$ at different temperatures on fruit quality and storage life of peach cv. Kousari. Plant production technology, 7(2), 191-202. [In Persian]

Khan, ZU., Aisikaer, G., Khan, RU., Bu, J., Jiang, Z., Ni, Z. & Ying, T. (2014). Effects of composite chemical pretreatment on maintaining quality in button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. Postharvest Biology and Technology, 95, 36-41. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.04.001.

Kou, X., M. Wu, L. Li, S. Wang, Z. Xue, B. Liu and Y. Fei. 2015. Effects of CaCl2 dipping and pullulan coating on the development of brown spot on 'Huangguan' pears during cold storage. Postharvest Biology and Technology, 99, 72-63. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.08.001.

Li, L., Kitazawa, H., Zhang, X., Zhang, L., Sun, Y., Wang, X. & Yu, S. (2021). Melatonin retards senescence via regulation of the electron leakage of postharvest white mushroom (*Agaricus bisporus*). Food Chemistry, 340, 127833. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127833.

Liu, W., Zou, L., Liu, J., Zhang, Z., Liu, Ch. & Liang, R. (2013). The effect of citric acid on the activity thermodynamics and conformation of mushroom polyphenol oxidase. Food Chemistry, 140, 289-295. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.028.

Mazumder, M.N.N., Misran, A., Ding, P., Wahab, P.E.M. & Mohamad, A. (2021). Effect of harvesting stages and Calcium Chloride application on postharvest quality of Tomato fruits. Coatings, 11, 1445 . https://doi.org/10.3390/coatings11121445.

Najafi, R. & Barzegar, T. (2022). The effect of foliar spray of different Calcium sources on antioxidant properties and quality of Cauliflower (*Brassica oleracea* cv. botrytis 'Romanesco'). Journal of Horticultural Science, 36(3), 589-577. https://doi.org/10.22067/jhs.2021.70150.1047 [In Persian]

Noorbakhesh, Sh. & Danaee, E. (2021). Effect of Chitosan and Aloe vera application on oxidative stability and nutritional value of Strawberry fruit (*Fragaria ananassa*) cv. Camarosa. Journal of Human Environment and Health Promotion, 7(4), 189-196. https://doi.org/189-96. 10.52547/jhehp.7.4.189.

Öz, A. T., Eker, T. (2022). Evaluating the effect of Calcium Chloride plus Sodium Alginate treatments on Button Mushroom shelf life quality. Hacettepe Journal of Biology and

Chemistry, 50(4), 387-396. https://doi.org/10.15671/hjbc.1031433.

Pasban, A., Mohebbi, M., Pourazerang, H. & Varidi, M. (2013). The Effect of Ascorbic Acid, Citric acids and Sodium Metabisulphite on colour and foaming properties of Mushroom Purees (*Agaricus bisporus*). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 9(2), 139-145. https://doi.org/10.22067/ifstrj.v9i2.25674 [In Persian]

Putter, j. (1974). In: Methods of enzymatic analysis 2(Ed Bergemeyer, A.) Academic press. New York. p. 685.

Ramezani, E., Olfati, J. & Razavipoor, T. (2018). The Effect of different treatments on storage life and postharvest quality of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*). Journal of Crop Production and Processing, 7 (4), 135-147. https://doi.org/10.29252/jcpp.7.4.135 [In Persian]

Safa, M., Hajilou, J., Nagshiband Hasani, R. & Ganbari Najar, M. (2015). Effect of postharvest xalic Acid and Calcium Chloride on quality attributes of Sweet Cherry (*Prunus avium* L.). *Journal of Horticultural Science*, 29(2), 196-206. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.29791 [In Persian]

Sarlak F, Khademi O, Erfani Moghadam J. (2016). Assessment the effects of some postharvest treatments on increasing storability of bottom mushroom. Journal of food science and technology, 14 (64), 50-43 [In Persian]

Shahi, P., Abdossi, V. & Poornamdari, E. (2019). Investigating the effect of various forms of Zinc on Pomegranate and Pomegranate juice characteristics. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 16(4), 81-90. [In Persian]

Shamlou, S., Vaziri, A., Shekarabi, A. & Safekordi, A.A. (2019). Extending the shelf life of edible button mushroom (*Agaricus bisporus*) by edible coatings on the basis of natural polymers. Iranian Journal of food science and technology, 16(91), 243-256. [In Persian]

Shekari, A., Naghsiband Hassani, R., Soleimani Aghdam, M., Rezaii, M. & Janatizadeh, A. (2022). The effect of postharvest treatments of melatonin and γ-aminobutyric acid on improving antioxidant activity and reducing browning of fresh cut button mushroom (*Agaricus bisporus*) during cold storage. *Journal of Plant Production Research*, 29(4), 45-61. https://doi.org/10.22069/jopp.2022.19347.2859 [In Persian]

Soroori, S., Danaee, E., Hemmati, K., Ladan Moghadam, A. (2021). The metabolic response and enzymatic activity of *Calendula officinalis* L. to foliar application of spermidine, citric acid and proline under drought stress and in a postharvest condition. Journal of Agriculture Science and Technology, 23 (6), 1339-1353. https://doi.org/20.1001.1.16807073.2021.23.6.6.9.

Spinardi, A. M. (2005). Effect of harvest date and storage on antioxidant systems in pears. Acta Horticulturae, 682, 655-662. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.682.11.

Tapia-Rodriguez, M. R., Bernal-Mercado, A. T., Palomares-Navarro, J. J., Sugich-Miranda, R., Enciso-Martinez, Y., Cruz-Valenzuela, M. R., de Siqueira Oliveira, L., Ayala-Zavala, F. & Ayala-Zavala, J. F. (2021). Citric acid and $CaCl_2$ extended the shelf life, maintained antioxidant capacity, and improved sensory attributes of fresh-cut kiwifruit. Journal of Horticulture and Postharvest Research, 4, 67-80. https://doi.org/10.22077/jhpr.2021.4725.1243.

Wanga, Y., Xie, X. &. Long, L. E. (2014). The effect of postharvest calcium application in hydro-cooling water on tissue calcium content, biochemical changes and quality attributes of sweet cherry fruit. Food Chemistry, 160, 22-30. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.073.

Zarbakhsh, S. & Rastegar, S. (2018). Assessment of physicochemical properties and bioactive compound of date fruit (Phoenix dactylifera) in two cultivars, "Piarom" and "Zahedi"'. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 14(1), 177-186. https://doi.org/10.22067/ifstrj.v14i1.60214 [In Persian]

Investigating the Qualitative, Physicochemical Characteristics and Shelf-Life of *Agaricus bisporus* using Citric Acid and Calcium Chloride

M. Ghandali [a], E. Danaee [b*]

[a] MSc Student of the Department of Horticultural Sciences, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran.

[b] Associate Professor of the Department of Horticultural Sciences, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran.

Received: 23 October 2024 Accepted: 1 September 2024

Abstract

Introduction: Mushroom (*Agaricus bisporus*) has a high nutritional value, but due to the lack of a natural protective coating, this product quickly loses its edible quality. the application of post-harvest treatments such as citric acid as an anti-aging antioxidant and calcium chloride due to the role of calcium ions in the strength of the cell wall, the quality and shelf life of the mushroom can be the aim of this research is to investigate the effect of citric acid and calcium chloride on qualitative, physicochemical characteristics and shelf life of *Agaricus bisporus*.

Materials and Methods: This research was carried out in a completely randomized design including two factors of dipping with citric acid (0, 1.5 and 3 mM) and calcium chloride (0, 1 and 2%) and postharvest shelf life (after of the product, 4, 8 and 12 days) were performed in three replicates. In order to apply the treatments, the mushrooms were dipped in different concentrations of citric acid and calcium chloride for 2 minutes, then they were kept at 4°C and were transferred to the laboratory on certain days to evaluate the desired traits.

Results: The results showed that the treatments had a significant effect on the measured variables, therefor on the twelfth day of storage in the treatment of citric acid 1.5 mM + calcium chloride 2%, the lowest percentage of weight loss, ion leakage and browning index were observed, and the highest degree of cap closure, amount of soluble solid, activity of peroxidase and catalase enzymes were obtained. The highest activity of superoxide dismutase enzyme was in the treatment of citric acid 1.5 mM + calcium chloride 1%. The highest amount of ascorbic acid and titratable acidity was observed in the treatment of citric acid 3 mM + calcium chloride 2% and the highest amount of phenol were observed in the treatment of citric acid 3 mM + calcium chloride 1%. The longest storage life with 13.6 days was in the treatment of citric acid 1.5 mM + calcium chloride 2% and while the lowest storage of 6.3 days was related to the control.

Conclusion: The results of this research indicated that the use of citric acid of 1.5 mM along with calcium chloride of 2% after harvesting is recommended to preserve the quality, marketability and shelf life of *Agaricus bisporus*.

***Keywords*:** *Calcium Chloride, Citric Acid, Enzyme Activity, Shelf Life.*

* Corresponding Author: dr.edanaee@yahoo.com