کاربرد پلی‌آمین‌ها به منظور افزایش پتانسیل عمر انباری و حفظ ویژگی‌های کیفی میوه‌ها طی انبارمانی

سید حسین میردهقان
گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان

چکیده

پلی‌آمین‌ها (پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین) از ترکیبات کاتیونی نیتروژن‌دار هستند که در همه گیاهان وجود دارند، و در فرآیندهای بیشماری از جمله نمو میوه و رسیدگی نقش دارند. بیوسنتز این ترکیبات از اسیدآمینه‌های اورنتین و آرژنین است که پس از واکنش-هایی تولید پوتریسین می‌کند و در نهایت پس از تامین گروه‌های آمینوپروپیل از S-آدنوزیل متیونین تولید اسپرمیدین و اسپرمین خواهد کرد. همچنین S-آدنوزیل متیونین به عنوان حدواسط سنتز اتیلن محسوب می‌شود که باعث شده سنتز پلی‌آمین‌ها و اتیلن با هم رقابت داشته باشند. افزون بر مورد ذکر شده پلی‌آمین‌ها در شکل آزاد به عنوان یک عامل ضد پیری شناخته شده است که به دلیل وجود بار مثبت توانایی ترکیب با اجزای منفی دیواره سلول و غشای پلاسمایی را دارد و قادر است سبب حفظ سفتی و پیوستگی غشای سلولی شود. نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده بیانگر آن است که کاربرد قبل و پس از برداشت این ترکیبات باعث بهبود ویژگی‌های کیفی میوه در زمان برداشت و طی انبارمانی شود. برگولی و همکاران (2002) نشان دادند که کاربرد اسپرمیدین (0/1، 1 و 5 میلی‌مولار)، اسپرمین (2 میلی‌مولار) و پوتریسین (10 میلی‌مولار) به‌صورت معنی‌داری نرم‌شدن میوه‌ی هلو را به تأخیر انداخت. نتایج مشابهی از کاربرد قبل و پس از برداشت این ترکیبات بر آلو، انار، توت‌فرنگی، پسته تازه، گلابی، انبه و آووکادو و بهبود خصوصیات مهم میوه طی انبارمانی وجود دارد. کاربرد پلی‌آمین‌ها همچنین سبب تاخیر و کاهش در تولید اتیلن، فعالیت آنزیم‌های ACS و ACO می‌شود و آنزیم‌های نرم‌کننده دیواره سلولی (اگزوپلی‌گالاکتروناز و پکتین‌استراز) را به تأخیر می‌اندازد. همچنین اثرات ضد قارچی این ترکیبات به‌دلیل ممانعت از رشد میسلیوم‌های قارچی و دیگر پاتوژن‌های بیماری‌زا به اثبات رسیده است. لذا با توجه به موارد ذکر شده استفاده از پلی‌آمین‌ها قبل و پس از برداشت می‌تواند به عنوان یک استراتژی مهم به منظور افزایش پتانسیل عمر انباری میوه و بهبود ویژگی‌های انبارمانی آن در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: پوتریسین، اسپرمیدین، اسپرمین، فعالیت میکروبی، سفتی

مقدمه: اهمیت وافر میوه‌ها و سبزی‌ها در رژیم غذایی انسان به عنوان تامین‌کننده اصلی ویتامین‌ها، مواد معدنی، فیبر و ترکیبات ضداکسیدانی بر هیچکس پوشیده نیست. متاسفانه بخش زیادی از فرآورده‌های تولید شده باغبانی هر سال از بین می‌روند، که دلایل متعددی دارد. از جمله عواملی که موجب تلفات میوه و سبزی می‌شوند، شامل آسیب‌های مکانیکی، پوسیدگی و خسارت سرمازدگی در سردخانه می‌باشند. وجود اتیلن در مراحل مختلف زنجیره بازاررسانی از تولید تا مصرف نیز به عنوان عامل تشدید کننده پیری محسوب شده که به طور غیر مستقیم سبب افزایش تلفات خواهد شد. لذا راهکارهای مناسبی جهت جلوگیری و یا کاهش ضایعات فرآورده‌های باغبانی ضروری به نظر می‌رسد.

پلی‌آمین‌ها ترکیبات آلیفاتیک کاتیونی با وزن مولکولی پایین، همراه با گروه‌های نیتروژنی هستند که دارای دو یا بیشتر گروهای آمینی می‌باشند. این ترکیبات در همه سلول‌های یوکاریوتی (جانوران و گیاهان) یافت می‌شوند و در فرآیندهای فیزیولوژیکی متنوع گیاهان، حیوانات و میکروارگانیسم‌ها اثر می‌گذارند. در اندام‌های گیاهی وجود پلی‌آمین‌ها سبب رشد و تمایزیابی سلول‌ها و همچنین واکنش به انواع تنش‌ها می‌شود. پلی‌آمین‌های عمده موجود در گیاهان شامل پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین است، که به سه شکل آزاد[1]، باند

[1] -Free

شده قابل حل[2] و باند شده غیرقابل حل[3] وجود دارد. پلی‌آمین‌های باند شده قادرند با ترکیبات مختلفی از جمله سینامیک اسید اتصال یافته و به‌عنوان منبعی برای پلی‌آمین‌های آزاد باشند که در زمان نیاز به محل هدف انتقال یافته و مورد استفاده قرار می‌گیرند (Valero and Serrano, 2010).

بیوسنتز پلی‌آمین‌ها: پیش‌ماده اولیه برای بیوسنتز پوتریسین، اسیدهای‌آمینه اورنیتین و آرژنین می‌باشد. در واقع سنتز دی‌آمین پوتریسین در حیوانات، قارچ‌ها، باکتری‌ها و گیاهان به‌طور مستقیم از دکربوکسیلاسیون اورنیتین توسط آنزیم اورنیتین دکربوکسیلاز می‌باشد. برخلاف حیوانات و قارچ‌ها که اورنیتین دکربوکسیلاز مهم‌ترین آنزیم و محدودکننده سنتز پلی‌آمین‌ها می‌باشد، در گیاهان آنزیم آرژنین دکربوکسیلاز نقش کلیدی را ایفا می‌کند. برای تشکیل پوتریسین از آرژنین دو مسیر وجود دارد، در مسیر اول آرژنین توسط آنزیم آرژیناز به اورنتین تبدیل می‌شود و سپس پوتریسین سنتز می‌شود. در مسیر دوم آرژنین توسط آنزیم آرژنین دکربوکسیلاز به فرم آگمانتین تبدیل می‌شود و سپس توسط آنزیم آگمانتین ایمونوهیدرولاز به ان-کاربومویل پوتریسین سنتز می‌شود که این ماده توسط آنزیم ان-کاربومویل پوتریسین آمیدوهیدرولاز به پوتریسین تبدیل می‌گردد. اسپرمیدین و اسپرمین با اضافه شدن گروه‌های آمینوپروپیل به پوتریسین سنتز می‌شوند. بدین ترتیب اسپرمیدین توسط آنزیم اسپرمیدین سینتاز از پوتریسین حاصل می‌شود و اسپرمیدین نیز تحت تأثیر آنزیم اسپرمین‌سینتاز به اسپرمین تبدیل می‌شود. در این مرحله دکربوکسیله شدن S-آدنوزیل متیونین به‌عنوان دهنده گروه آمینوپروپیل عمل می‌کند. S-آدنوزیل متیونین پیش‌ماده مورد نیاز برای سنتز اتیلن می‌باشد که به سبب پیش‌ماده‌ی مشترک برای سنتز پلی‌آمین‌ها و اتیلن، بین اسپرمین و اسپرمیدین با اتیلن برای این حدواسط رقابت به وجود می‌آید. بنابراین اثرات فیزیولوژیکی اتیلن در گیاهان با تیمار پلی‌آمین‌ها حالت آنتاگونیسمی دارد و به عبارتی سنتز یکی نقش بازدارندگی از سنتز دیگری را دارا می‌باشد (Valero and Serrano, 2010).

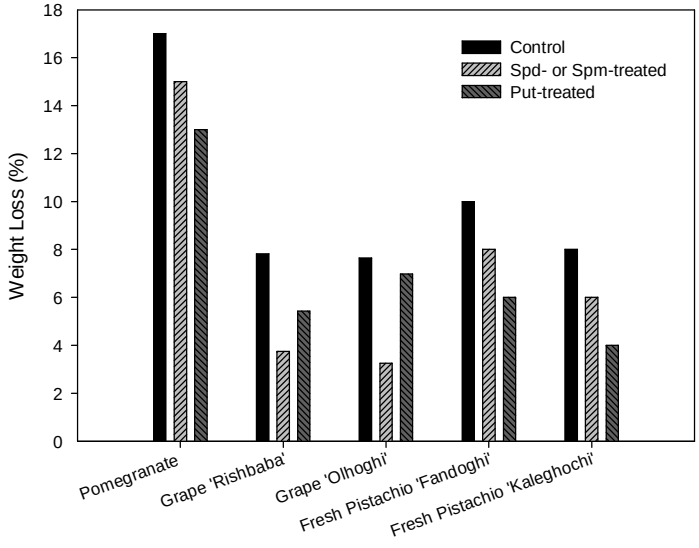
پلی‌آمین‌ها و نمو میوه: پلی‌آمین‌ها در فرآیند فیزیولوژیکی کلی از نمو گل تا رشد میوه و رسیدگی نقش دارند. افزایش در همه پلی‌آمین‌ها و یا در یک پلی‌آمین خاص باعث گلدهی می‌شود و بازدارنده‌های بیوسنتز اتیلن سبب ممانعت از گلدهی می‌شود، لازم به ذکر است که در مورد ذکر شده کاربرد خارجی اسپرمیدین سبب شده که نقش ممانعت کنندگی دوباره بی‌اثر شود. همچنین تغییر در مقدار پلی‌آمین‌ها طی رشد و نمو بسیاری از میوه‌ها مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. صرف‌نظر از وجود برخی از استثنائات، به‌طور کلی میزان پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین طی مراحل اولیه‌ی رشد میوه زیاد است اما طی فازهای بعدی نمو میوه کاهش می‌یابد. در واقع کاهش پلی‌آمین‌ها در مراحل آخر رشد میوه به عنوان سیگنالی برای رسیدگی میوه در نظر گرفته شده است. در حقیقت در بسیاری از میوه‌ها با آغاز رسیدگی میوه روی درخت از غلظت پلی‌آمین‌ها کاسته می‌شود. همان‌گونه که قبلا نیز بیان شد S-آدنوزیل متیونین به عنوان حدواسط سنتز پلی‌آمین‌ها و اتیلن می‌باشد و رابطه‌ی رقابتی بین پلی‌آمین‌ها و اتیلن برای منبع محدودی از حدواسط مشترک وجود دارد (Valero and Serrano, 2010). این دو ترکیب اثرات متضادی در رسیدن و پیری میوه‌ها دارند. همچنین اثبات شده است که سطوح کاهش‌یافته پلی‌آمین‌ها با افزایش تولید اتیلن همبسته شده است. یک رابطه بین افزایش میزان پوتریسین و تأخیر در رسیدن میوه گوجه‌فرنگی ذکر شده است (Dibble *et al.*, 1988).

کاربرد قبل و پس از برداشت پلی‌آمین‌ها: گزارشات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد استفاده از پلی‌آمین‌ها قبل و پس از برداشت قادر است سبب افزایش عمرانباری میوه شود و ویژگی‌های کیفی میوه طی انبارمانی نیز حفظ گردد. این تاثیرات مثبت بر

[2] -Conjugate-soluble
[3] -Conjugate-insoluble

پارامترهایی مانند کاهش وزن، سفتی میوه‌ها طی انبارمانی، کنترل پوسیدگی، کاهش تولید اتیلن، حفظ رنگ میوه‌ها، مواد جامد محلول و ویتامین ث بسیاری از میوه‌ها و سبزی‌ها گزارش شده است. با این وجود این تاثیرات بر 4 شاخص مهم و عمده که پس از برداشت از اهمیت بیشتری برخوردار است مورد بررسی دقیق قرار می‌گیرد.

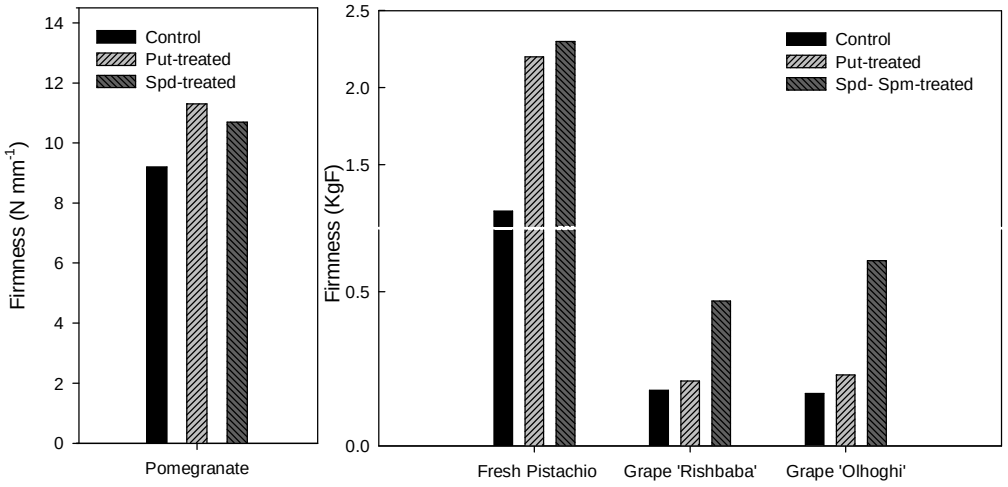
تاثیر بر کاهش وزن: نتایج کاربرد پلی‌آمین‌های مختلف بر کاهش وزن میوه‌های انار، ارقام مختلف انگور و پسته تازه پس از انبارداری در شکل 1 نشان داده شده است. این نتایج بیانگر آن است که غوطه‌ورکردن پس از برداشت انار در محلول پوتریسین و اسپرمیدین 1 میلی‌مولار، محلول‌پاشی قبل از برداشت درختان انگور با پوتریسین و اسپرمیدین 1 میلی‌مولار و محلول‌پاشی قبل از برداشت درختان پسته با پوتریسین و اسپرمین 1 میلی‌مولار به طور موثری سبب کاهش وزن میوه‌های ذکر شده پس از انبارداری شد. در پژوهش‌های مشابه کاهش وزن و سرعت تنفس کم‌تر در میوه‌های تیمار شده با پوتریسین و اسپرمیدین گزارش شده است. به‌عنوان مثال میوه‌های انبه که در محلول‌هایی حاوی چندین غلظت از پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین (0/01، 0/5 و 1 میلی‌مولار) غوطه‌ور شده بودند درصد کاهش وزن کم‌تری داشتند (Malik and Singh, 2005). نشان داده شده است که کاربرد قبل و پس از برداشت پلی‌آمین-ها سبب افزایش غلظت آن‌ها در زمان برداشت و پس از آن طی انبارمانی در میوه‌های تیمار شده می‌شود. سطوح افزایش‌یافته پوتریسین و اسپرمیدین درون‌زا پس از تیمار با پلی‌آمین‌ها با تثبیت و حفظ یکپارچگی غشاء و تاخیر در فرآیند پیری سبب کنترل کاهش وزن میشود



شکل 1- تاثیر کاربرد قبل (انگور و پسته تازه) و پس از برداشت (انار) پلی‌آمین‌های مختلف بر کاهش وزن میوه‌های مختلف پس از انبارداری

تاثیر بر سفتی و خسارت مکانیکی: آنالیز مجدد داده‌های به دست آمده از کاربرد انواع مختلف پلی‌آمین در انار، انگور و پسته تازه در شکل 2 نشان داده شده است. کاربرد پس از برداشت پوتریسین و اسپرمیدین در انار، محلول‌پاشی قبل از برداشت پوتریسین و اسپرمیدین در انگور و همچنین محلول‌پاشی قبل از برداشت پوتریسین و اسپرمین در پسته تازه سبب افزایش سفتی میوه‌های تیمار شده گردید. والرو و همکاران (1998) نیز طی گزارشی اظهار داشتند که غوطه‌وری میوه‌های لیمو در محلول‌های پوتریسین و اسپرمیدین

توانست از طریق حفظ میزان پلی‌آمین‌های درون‌زا سفتی میوه را نسبت به شاهد طی دوره‌ی انبارمانی افزایش دهد. نتایج پژوهش‌های دیگر نیز بیانگر آن است که استفاده از پلی‌آمین‌ها سبب افزایش سفتی در آلو (Khan *et al*., 2007)، توت فرنگی (Zokaee Khosroshahi *et al*., 2007) و سیب و نیز کاهش نرم‌شدن آن در انبار صفر درجه می‌شود (Kramer *et al*., 1989).



شکل 2- تاثیر کاربرد قبل (انگور و پسته تازه) و پس از برداشت (انار) پلی‌آمین‌های مختلف بر سفتی میوه‌های مختلف پس از انبارداری

صدمات مکانیکی نوعی تنش محسوب می‌شوند که به خودی خود متابولیسم میوه را تغییر داده و در نتیجه کیفیت میوه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. پلی‌آمین‌ها قادرند به واسطه‌ی استحکام بخشی به دیواره‌ی سلولی از صدمات مکانیکی وارد شده به فرآورده‌ها طی برداشت، حمل و نقل و نیز انبارمانی ممانعت کنند. آزمایش پرزویسنت و همکاران (2002) به منظور بررسی اثرات تیمار پوتریسین برون‌زا جهت بهبود عمر قفسه‌ای میوه‌های آلو و نقش پلی‌آمین‌ها در افزایش مقاومت میوه‌ها بیانگر این واقعیت است. بدین منظور میوه‌ها پس از برداشت به روش غوطه‌وری با پوتریسین تیمار شدند، سپس توسط نیروی 50 نیوتنی به میوه‌ها صدمه مکانیکی وارد گردید و در دمای 10 درجه سلسیوس نگه‌داری شدند. نتایج نشان داد که به واسطه‌ی نیروی 50 نیوتنی تغییر شکل میوه پس از صدمه مکانیکی ایجاد شد که به‌صورت معنی‌داری در میوه‌های شاهد نسبت به تیمار شده‌ها بالاتر و میزان سفتی آن‌ها کم‌تر بود. اندازه‌گیری میزان پوتریسین و اسپرمیدین نشان داد میزان این پلی‌آمین‌ها در میوه‌های شاهد صدمه دیده نسبت به میوه‌های شاهد صدمه ندیده بالاتر است. افزایش در مقدار پلی‌آمین‌های مختلف به‌عنوان یک مکانیسم حفاظتی و یا پاسخ فیزیولوژیکی در مقابل آسیب‌های مکانیکی گزارش شده است. نتایج مشابهی در این زمینه برای دیگر میوه‌های تیمار شده با پلی‌آمین‌ها نیز یافت شد و مشاهده گردید که میوه‌های شاهد حساسیت بیش‌تری به صدمات مکانیکی وارد شده نشان می‌دهند زیرا ناحیه آسیب دیده در میوه‌های تیمار شده تخریب بافت، نشت یون و قهوه‌ای شدن کم‌تری را نسبت به تیمار شاهد نشان داده است (Valero and Serrano, 2010).

ارتباط مؤثر پلی‌آمین‌ها در به تأخیر انداختن پیری و حفظ سفتی بافت‌ها استدلالی است که به بار مثبت پلی‌آمین‌ها نسبت داده شده است، به‌طوری‌که می‌توانند به گروه کربوکسیل مواد پکتینی دیواره اتصال یابند، این اتصال مانع از دسترسی آنزیم‌های تجزیه کننده‌ی دیواره‌ی سلولی مانند اگزو پلی‌گالاکتروناز، اندوپلی‌گالاکتروناز و پکتین استراز به مواد پکتینی شده و در نتیجه منجر به کاهش سرعت نرم‌شدن فرآورده طی انبارمانی می‌شود (Valero and Serrano, 2010). علاوه بر این گزارش شده است که پلی‌آمین‌ها به‌عنوان کاتیون‌های آلی همانند کاتیون‌های غیرآلی (آهن و کلسیم کلرید) فعالیت پکتین استراز را در گوشت گریپ فروت کاهش می‌دهند

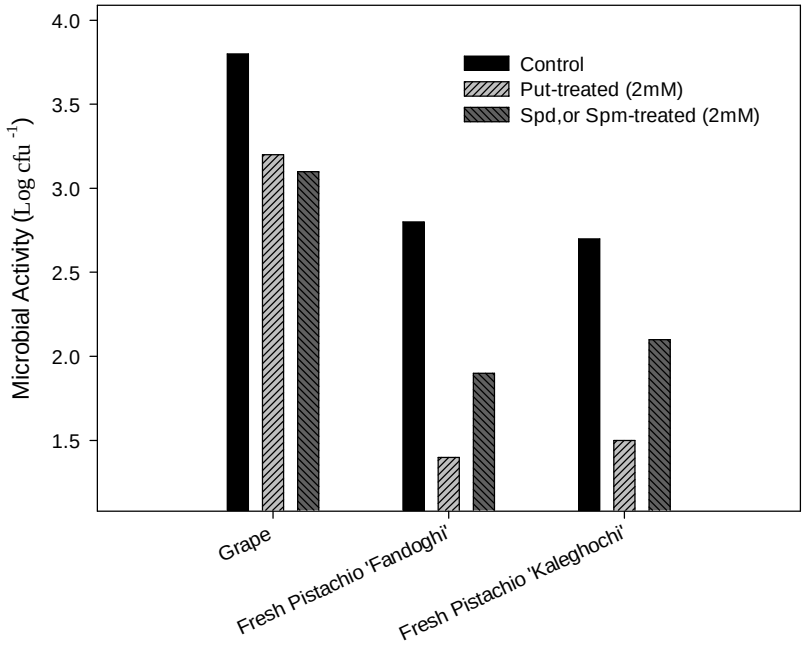
(Leiting and Wicker, 1997). خان و همکاران (2007) طی آزمایشی با کاربرد پوتریسین به غلظت‌های 0، 0/1، 1 و 2 میلی‌مولار به‌صورت قبل و پس از برداشت و اندازه‌گیری آنزیم‌های نرم‌کننده میوه آلو نشان دادند که با افزایش غلظت پوتریسین فعالیت آنزیم‌های اندوپلی‌گالاکتروناز، اگزو پلی‌گالاکتروناز و پکتین استراز در بافت پوست و گوشت میوه‌های تیمار شده نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش یافته است. کاربرد اسپرمیدین (0/1، 1 و 5 میلی‌مولار)، اسپرمین (2 میلی‌مولار) و پوتریسین (10 میلی‌مولار) به‌صورت معنی‌داری نرم‌شدن میوه‌ی هلو را به تأخیر انداخت (Bregoli *et al*., 2002). در این آزمایش سفتی میوه‌ها 3 و 6 هفته پس از انبار در مقایسه با میوه‌های تیمار نشده به‌صورت معنی‌داری حفظ گردید.

تاثیر بر فعالیت میکروبی و پوسیدگی: ضایعات و عوارض ناشی از وجود قارچ و دیگر عوامل بیماری‌زا بر میوه‌ها و سبزی‌های مختلف سبب ایجاد بیماری‌ها و پوسیدگی‌های پس از برداشت میوه در هنگام نگه‌داری و عرضه به بازار می‌گردد. از طرف دیگر مشخص شده است که برخی از قارچ‌ها قادر به تولید مایکوتوکسین‌هایی هستند که برای سلامتی انسان مضر است. نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده بیانگر آن است که استفاده از پلی‌آمین‌ها، پتانسیل کاهش فعالیت میکروبی و در نتیجه پوسیدگی را دارد (شکل 3). این نتایج از داده‌های حاصل از کاربرد قبل از برداشت پوتریسین و اسپرمیدین (2میلی‌مولار) در انگور و کاربرد قبل از برداشت پوتریسین و اسپرمین (2میلی‌مولار) در پسته تازه به دست آمده است.

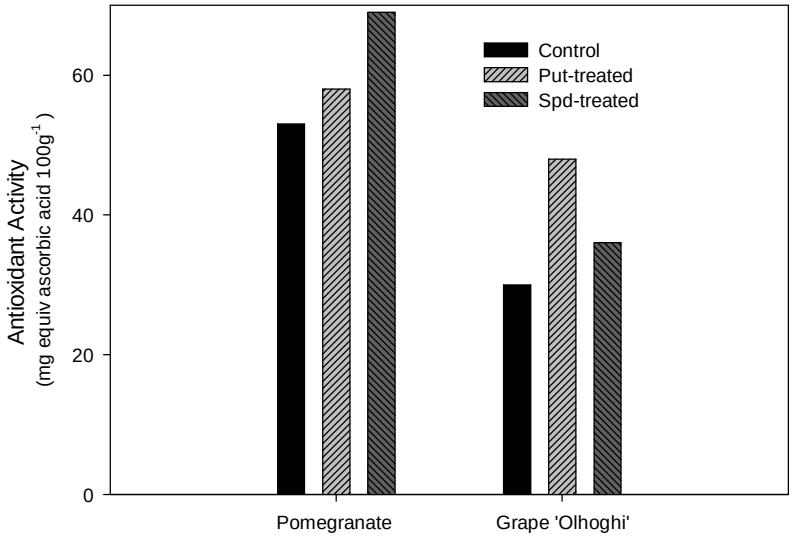
اثبات شده است که لیپازها و پروتئازها از جمله آنزیم‌های مهم در تخریب غشاهای سلولی می‌باشند و اکثر پاتوژن‌ها ظرفیت تولید این آنزیم‌ها را دارند. دیواره‌های سلولی نیز می‌توانند به‌عنوان یک مانع فیزیکی بین پاتوژن‌ها و محتویات سلول عمل نمایند. همچنین دیواره‌های سلولی مخازن پویایی از پروتئین‌های ضدمیکروبی و متابولیت‌های ثانویه می‌باشند (Walters, 2000). در آزمایش انجام شده توسط بوت (2006) نشان داده شد که طی پوسیدگی قارچی ساقه ذرت فعالیت آنزیم‌های پکتین متیل استراز، سلولاز و پروتئازها افزایش یافته است. در این بررسی پکتیناز مهم‌ترین آنزیم در شروع فرآیند تخریب دیواره سلولی بود، به‌گونه‌ای که با وارد شدن پاتوژن به میزبان، دیواره سلولی تحت تأثیر فعالیت آنزیم‌های پکتیناز و سلولاز شروع به تخریب نمود به‌علاوه پس از آسیب غشاء توسط پروتئازها و لیپازها، گسترش پاتوژن نیز رخ داد. در گزارشی دیگر نیز بیان شد که پاتوژن‌ها توانایی تولید آنزیم‌های تخریب‌کننده ترکیبات دیواره سلولی (پکتین، سلولز و همی‌سلولز) را دارند. با توجه به این که پلی‌آمین‌ها قادرند با اتصال به گروه کربوکسیل دیواره سلولی و نیز اتصال به گروه فسفات فسفولیپیدهای غشاء مانع از دسترسی آنزیم‌های تجزیه‌کننده به دیواره سلولی و غشاها گردند، لذا کاربرد پلی‌آمین‌ها به طور موثری سبب کاهش گسترش آلودگی میکروبی و پوسیدگی‌های پس ازبرداشت خواهد شد.

کاولی و والترز (2002) دریافتند که سطوح پلی‌آمین‌های آزاد و اتصالی متشکل از پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین یک الی چهار روز در ادامه مایه‌کوبی به میزان زیادی افزایش یافتند. همچنین در واکنش فوق حساسیت جو به سفیدک پودری فعالیت دو آنزیم پوتریسین هیدروکسی‌سیناموییل ترانسفراز و تیرامین فرولیل‌کوآنزیم آ ترانسفراز افزایش یافت، این دو آنزیم در اتصال پلی‌آمین‌ها به ترکیبات فنلی (هیدروکسی سینامیک اسیدها) و تولید هیدروکسی سینامیک اسید آمیدها نقش دارند، در این آزمایش کاولی و والترز نشان دادند که 4-1 روز پس از تلقیح میزان هیدروکسی سینامیک اسید آمیدها افزایش یافتند. هیدروکسی سینامیک اسید آمیدها با اتصال به دیواره‌های سلولی همانند حفاظی محکم عمل کرده و مانع از تجزیه آنزیمی دیواره می‌شوند. اثرات ضد قارچی این ترکیبات به‌دلیل ممانعت از رشد میسلیوم‌های قارچی نیز نشان داده شده است (Walters, 2000).

شکل 3- تاثیر کاربرد قبل از برداشت پلی‌آمین‌های مختلف بر فعالیت میکروبی میوه‌های انگور و ارقام مختلف پسته پس از انبارداری



تاثیر بر فعالیت ضداکسیدانی و دیگر ویژگی‌های میوه: نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به میزان فعالیت ضداکسیدانی انار و انگور تیمار شده با پلی‌آمین‌ها بیان‌گر آن است که فعالیت ضداکسیدانی میوه‌های تیمار شده نسبت به نمونه‌های شاهد بیشتر است. خصوصیات ضداکسیدانی پلی‌آمین‌ها در چندین پژوهش نشان داده شده است و عنوان شده است که این خصوصیات ضداکسیدانی پلی‌آمین‌ها وقتی به اسیدهای فنلی متصل می‌شوند مشخص‌تر می‌گردد. اثر ضداکسیدانی پلی‌آمین‌ها به تعداد گروه‌های آمینی موجود در ملکول آن‌ها همبسته است به‌طوری که اسپرمین نسبت به اسپرمیدین اثر ضداکسیدانی بیش‌تری دارد و فعالیت ضداکسیدانی این دو نسبت به پوتریسین بالاتر است. همانند ضداکسیدان‌ها، پلی‌آمین‌ها نیز لیپیدهای غشاء را در مقابل آسیب اکسیداتیو حفظ نموده و در نتیجه منجر به حفظ تعادل در سلول‌های گیاهی می‌شوند (Rodriguez-Kessler *et al*., 2006). در حقیقت اثر ضداکسیدانی پلی‌آمین‌ها به توانایی آن‌ها در تنظیم بیان ژن‌های کدکننده‌ی آنزیم‌های ضداکسیدانی برمی‌گردد، به‌عنوان مثال اسپرمیدین بیان ژن‌های کدکننده‌ی پراکسیداز را در گیاهان تنباکو تحریک می‌کند (Hiraga *et al*., 2000). علاوه بر این بیان شده است که پلی‌آمین‌ها می‌توانند به‌عنوان حذف‌کننده‌های رادیکال‌های آزاد نیز عمل کنند.



شکل4- تاثیر کاربرد قبل (انگور) و پس از برداشت (انار) پلی‌آمین‌های مختلف بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی پس از انبارداری

مقدار ترکیبات فنلی میوه‌های انار تیمار شده با اسپرمیدین و پوتریسین به روش غوطه‌وری و تحت فشار که به مدت 60 روز در دمای 2 درجه سلسیوس انبار شده بودند نسبت به نمونه‌های تیمار نشده بیشتر بود (Mirdehghan *et al*., 2007b). لذا با توجه به نقش آنتی-اکسیدانی ترکیبات فنلی ممکن است تیمار با پلی‌آمین‌ها به طور غیر مستقیم سبب افزایش فعالیت ضداکسیدانی شود.

تاثیر برتولید اتیلن: خان و همکاران (2007) گزارش کردند که محلول‌پاشی درختان آلو یک هفته قبل از برداشت تجاری و نیز تیمار پس از برداشت آن‌ها توسط غلظت‌های متفاوتی از پوتریسین (0، 0/1، 1 و 2 میلی‌مولار)، توانست به طور موثری تولید اتیلن، فعالیت آنزیم‌های ACS و ACO را کاهش دهد. نتایج مشابهی از تیمار 1 میلی‌مولار پوتریسین بر هلو (Bregoli *et al*., 2002)، گلابی، آووکادو و زردآلو گزارش شده است. بررسی جامع والرو و سرانو بیانگر آن است که نفوذپذیری تحت خلاء پوتریسین 1 میلی‌مولار سبب کاهش تولید اتیلن به میزان 44% در هلو، 73% در زردالو و 38 تا 93 % در ارقام مختلف آلو می‌شود (Valero and Serrano, 2010). آن‌ها همچنین نشان دادند که در ارقامی از آلو که میزان تولید اتیلن بیشتر است، قدرت بازدارندگی کاربرد پوتریسین کمتر مشهود است.

تاثیر بر خسارت سرمازدگی: اگرچه نگهداری میوه‌ها و سبزی‌ها موثرترین روش برای حفظ کیفیت پس از برداشت است، ولی فرآورده‌های باغبانی که منشا گرمسیری و نیمه گرمسیری دارند در صورت مواجه شدن با دماهای سرد متحمل خسارت سرمازدگی می-شوند. این ناهنجاری که علایمی مانند قهوه‌ای شدن، نشت الکترولیت‌ها، آب گزیدگی دارد سبب کاهش پتانسیل عمرانباری و از دست رفتن کیفیت میوه خواهد شد. گزارش شده است که استفاده از پلی‌آمین‌ها به طور موثری سبب کاهش خسارت سرمازدگی می‌شود. در میوه انار غوطه ور کردن میوه سبب کاهش قهوه ای شدن و کاهش نشت الکترولیت می‌شود. به طور کلی این نتایج بیاتگر آن است که پلی‌آمین‌ها با توانایی اتصال به فسفولیپیدها در غشاء سبب ثبات بیشتر شده و با تاخیر در تغییر فاز و پراکسیداسیون در غشاء خسارت سرمازدگی را کاهش می‌دهد.

جدول1- تاثیر تیمارهای پوتریسین و اسپرمیدین بر شاخص‌های سرمازدگی و تنفس میوه‌های انار پس از انبارداری

ویژگی اندازه‌گیری شده / تیمار	قهوه‌ای شدن پوست (%)	نشت الکترولیت‌ها (%)	تنفس ($nmolg^{-1}$)
شاهد	55/24±2/3	59/21±1/42	573±13
پوتریسین (1 میلی-مولار)	32/45±1/9	52/45±2/38	505±43
اسپرمیدین (1 میلی-مولار)	32/52±0/8	52/14±0/60	554±24

چشم‌انداز کاربرد پلی‌آمین‌ها و سلامت انسان: اگرچه اثرات مثبت استفاده از پلی‌آمین‌ها بیشمار است ولی کاربرد تجاری آن‌ها با محدودیت‌هایی همراه است. باید توجه داشت که اگرچه پلی‌آمین‌ها به طور طبیعی وجود دارند ولی استفاده خارجی آن‌ها روی میوه-ها و غلظت نهایی آن‌ها که در میوه باقی می‌ماند کمتر ازحد بحرانی باشد. پلی‌آمین‌ها در غلظت کم در سلول‌های گیاهان، جانوران و انسان برای حفظ فعالیت متابولیکی لازم می‌باشند، با این وجود در غلظت‌های بالا سمیت ایجاد می‌کنند. مقدار پلی‌آمین موجود در غذاها بسیار گسترده و متفاوت است و از چند نانومول تا چند میکرومول متغیر است. مطالعه‌ای که در کشورهای انگلستان، ایتالیا، اسپانیا و سوئد انجام شده است، نشان می‌دهد که مقدار پلی‌آمین جذب شده برای بزرگسالان شامل 211910 نانو مولار پوتریسین، 86959 نانومولار اسپرمیدین و 54704 نانومولار اسپرمین در روز است. در کل مقدار پلی‌آمین موجود در میوه‌ها و سبزی‌ها کمتر از گوشت و به ویژه گوشت ماهی است و در میان میوه‌ها، مرکبات حاوی بیشترین مقدار پوتریسین (450 نانو مولار در گرم) می‌باشد. اگرچه‌که گزارش شده است که وجود پلی‌آمین‌های موجود در میوه‌ها برای سلامت انسان مخاطره‌انگیز نیست، ولی پژوهش‌های بیشتری مورد نیاز است تا تمام ابعاد تاثیرات بیولوژیکی مصرف میوه‌های غنی شده از پلی‌آمین‌ها درک شود (Valero and Serrano, 2010).

نتیجه‌گیری کلی: حفظ ویژگی‌های فیزیکی غشاها و دیواره‌های سلولی اهمیت بحرانی در حفظ صفات کیفی و انبارمانی فرآورده-های باغبانی دارد. از بین رفتن یکپارچگی غشا و سست شدن دیواره همزمان با مراحل پایانی نمو میوه منجر به پیری و در نهایت مرگ فرآورده می‌شود. پلی‌آمین‌ها با داشتن بار مثبت توانایی اتصال با اجزاء منفی غشاها و دیواره سلول را دارند و با حفظ یکپارچگی و استحکام دیواره سبب تاخیر در فرایند پیری و کاهش ضایعات میوه‌ها و سبزی‌ها می‌شود. لذا در کنار نتایج مفید حاصل از آزمایشات اولیه، پژوهش‌ها بیشتری مورد نیاز است تا اثرات همه جانبه آن‌ها روی رشد، بلوغ و پیری میوه ها و سبزی‌ها و همچنین تاثیرات آن بر سلامت انسان به طور کامل مورد بررسی قرار گیرد.

منابع:

Bregoli, A. M., S. Scaramagli, G. Costa, E. Sabatini, V. Ziosi, S. Biondi and P. Torrigiani. 2002. Peach (*Prunus persica* L.) fruit ripening: Aminoethoxyvinylglycine (AVG) and exogenous polyamines affect ethylene emission and flesh fimness. Plant Physiology, 114: 472-481.

Dibble, A. R. G., P. J. Davies and M. A. Mutschler. 1988. Polyamine content of long-keeping alcobaca tomato fruit. Plant Physiology, 86: 338-340.

Hiraga, S., H. Ito, H. Yamakawa, N. Ohtsubo, S. Seo, I. Mitsuhara, H. Matsui, M. Honma and Y. Ohashi. 2000. An HR-induced tobacco peroxidase gene is responsive to spermine, but not to salicylate, methyl jasmonate, and ethephon. Molecular Plant-Microbe Interactions, 13: 210–216.

Khan, A. S., Z. Singh and N. A. Abbasi. 2007. Pre-storage putrescine application suppresses ethylene biosynthesis and retards fruit softening during low temperature storage in 'Angelino' plum. Postharvest Biology and Technology, 46: 36-46.

Kramer, G. F., C. Y. Wang and W. S. Conway. 1989. Correlation of reduced softening and increased polyamine levels during low-oxigen storage of 'McIntosh' apples. Journal of the American Society for Horticultural Science, 114: 924-946.

Leiting, V. A. and L. Wicker. 1997. Inorganic cations and polyamines moderate pectinesterase activity. Journal of Food Science, 62: 253-255.

Malik, A. U. and Z. Singh. 2005. Pre-storage application of polyamines improves shelf life and fruit quality of mango. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 80: 363-369.

Mirdehghan, S. H., M. Rahemi, S. Castillo, D. Martinez-Romero, M. Serrano and D. Valero. 2007a. Pre-storage application of polyamines by pressure or immersion improves shelf-life of pomegranate stored at chilling temperature by increasing endogenous polyamine levels. Postharvest Biology and Technology, 44: 26-33

Mirdehghan, S. H., M. Rahemi, M. Serrano, F. Guillen, D. Martinez-Romero and D. Valero. 2007b. The application of polyamines by pressure or immersion as a tool to maintain functional properties in stored pomegranate arils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55: 755–760.

Perez-Vicente, A., D. Martinez-Romero, A. Carbonell, M. Serrano, F. Riquelme, F. Guillen and D. Valero. 2002. Role of polyamines in extending shelf life and the reduction of mechanical damage during plum (*Prunus salicina* Lindl.) storage. Postharvest Biology and Technology, 25: 25–32.

Rodriguez-Kessler, M., A. Alpuche-Solis, O. A. Ruiz and J. F. Jimenez-Bremont. 2006. Effect of salt stress on the regulation of maize (*Zea mays* L.) genes involved in polyamine biosynthesis. Plant Growth Regulatory, 48: 175-185.

Valero, D. and M. Serrano. 2010. Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality. CRC Press. USA.

Valero, D., M. Serrano, D. Martinez-Romero and F. Riquelme. 1997. Polyamines, ethylene, and physicochemical changes in low-temperature stored peach (*Prunus persica* L. cv. Maycrest). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45, 3406–3410.

Zokaee Khosroshahi, M. R., M. Esna-Ashari and A. Ershadi. 2007. Effect of exogenous putrescine on postharvest life of strawberry fruit. Scientia Horticulturae, 114: 27-32.

Valero, D., D. Martinez-Romero, and F. Riquelme. 1998. Influence of postharvest treatment with putrescine and calcium on endogenous polyamines, firmness, and abscisic acid in lemon (*Citrus lemon* L. Burm cv. Verna). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46: 2102–2109.

Walters, D. R. 2000. Polyamines in plant-microbe interactions. Physiology and Molecular Plant Pathology, 57: 137-146.