علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۴ (ص ۶۵۸-۶۴۹)

تأثیر نوع پلی‌آمین بر انبارمانی میوهٔ آلو، رقم 'شابلون'

صبا شکراله فام[1*]، جعفر حاجی‌لو[2] و فریبزر زارع نهندی[3]
۱، ۲ و ۳. کارشناس ارشد، دانشیار و استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۷/۳۰)

چکیده

در این آزمایش تأثیر سه نوع پلی‌آمین پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین بر عمر پس از برداشت میوهٔ آلو رقم 'شابلون' بررسی شد. میوه‌ها در محلول پلی‌آمین‌ها با دو غلظت ۱ و ۲ میلی‌مولار و نیز آب مقطر (تیمار شاهد) به‌مدت ۵ دقیقه غوطه‌ور و در سردخانه‌ای با دمای ۰/۵± ۱/۵ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ـ ۸۵ درصد انبار شدند. آزمایش در قالب فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار و ۶ زمان انبارداری در سه تکرار انجام شد. پس از شروع انبارداری، هر هفته یک بار میزان سفتی بافت، اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون و pH میوه‌ها، مواد جامد محلول و کاهش وزن اندازه‌گیری شد. همچنین میزان تولید اتیلن در سه هفته انبارداری و میزان فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز در هفتهٔ اول و آخر انبارمانی مطالعه شد. پلی‌آمین‌ها به‌طور معناداری تولید اتیلن را نسبت به میوه‌های شاهد کاهش دادند و سبب حفظ سفتی میوه‌ها شدند. در بین پلی‌آمین‌ها اسپرمین ۲ میلی‌مولار، مؤثرترین نوع پلی‌آمین در حفظ سفتی بافت بود. این تیمار به همراه پوتریسین ۲ میلی‌مولار و اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار در جلوگیری از تولید اتیلن نیز مؤثر واقع شدند، درحالی‌که در جلوگیری از فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز، تقریباً بین سه نوع پلی‌آمین اختلاف معناداری مشاهده نشد. تیمار پلی‌آمین‌ها به‌طور معناداری از کاهش وزن میوه‌ها در طول دورهٔ انبارداری جلوگیری کرد.

واژه‌های کلیدی: **اتیلن، پلی‌گالاکتروناز، سفتی، عمر پس از برداشت، کاهش وزن.**

مقدمه

پلی‌آمین‌ها ترکیبات پلی‌کاتیونیک آلی با وزن مولکولی پایین هستند که تقریباً در همهٔ موجودات زنده یافت می شوند و در طیف وسیعی از فرایندهای فیزیولوژیکی ازجمله رشد و نمو و واکنش به تنش‌های محیطی نقش ایفا می‌کنند (Valero *et al.*, 2002). پلی‌آمین‌های موجود در گیاهان شامل پوتریسین (دی‌آمین)، اسپرمیدین (تری‌آمین) و اسپرمین (تتراآمین) هستند که به‌دلیل طبیعت کاتیونی خود با ماکرومولکول‌های آنیونی همانند DNA، RNA، فسفولیپیدها و پروتئین‌های خاص واکنش می‌دهند (Heby & Persson, 1990).

پلی‌آمین‌های مختلف تعداد بارهای مثبت متفاوت دارند و با افزایش تعداد بار مثبت میل اتصالی آنها به مولکول‌های آنیونی افزایش می‌یابد (Valero *et al.*, 2002).

تیمار با پلی‌آمین‌های برون‌زاد، رسیدن و پیری را در بسیاری از میوه‌ها به تأخیر می‌اندازد. از سوی دیگر اتیلن سبب تسریع این فرایندها می‌شود. بیوسنتز پلی‌آمین‌ها و اتیلن از یک پیش‌مادهٔ مشترک یعنی اس‌ـ آدنوزیل متیونین[1] است و به همین سبب اتیلن و پلی‌آمین‌ها بر سر استفاده از پیش‌مادهٔ مشترک خود رقابت می‌کنند و بیوسنتز یکی، اثر بازدارندگی بر سنتز دیگری دارد. این دو تنظیم‌کنندهٔ رشد گیاهی تأثیرات

* تلفن: ۰۹۱۴۴۲۰۵۲۹۵
E-mail: shokrani2000@gmail.com
1. S-Adnosyl methionine

متقابل با یکدیگر طی دورهٔ رسیدن و پیری محصول دارند. Zokaee *et al.* (2008) در آزمایشی روی میوه‌های فرازگرا و نافرازگرا مشاهده کردند تیمار پلی‌آمین به‌طور معناداری تولید اتیلن را در میوه‌ها نسبت به شاهد کاهش داد.

مادهٔ اولیه برای بیوسنتز پوتریسین، اسید آمینه‌های اورنیتین و آرژینین است. اسپرمیدین توسط آنزیم اسپرمیدین سنتاز از پوتریسین حاصل می‌شود و اسپرمیدین تحت تأثیر آنزیم اسپرمین سنتاز به اسپرمین تبدیل می‌شود. در مراحل اولیهٔ نمو گیاهان در مرحلهٔ تقسیم سلولی پلی‌آمین‌ها به بیشترین مقدار خود سنتز می‌شوند و سپس با رسیدن به مرحلهٔ پیری و رسیدن میوه‌ها کاهش می‌یابند که هم‌زمان میزان تولید اتیلن افزایش می‌یابد (Takahashi & Kakehi, 2010).

یکی از تأثیرات مهم تیمار برون زاد پلی‌آمین‌ها حفظ یا افزایش سفتی بافت است. افزایش سفتی میوه‌های چهار رقم آلو در تیمار با پلی‌آمین‌ها به ارتباط آنها با مواد پکتیکی موجود در دیوارهٔ سلولی نسبت داده می شود، پلی‌آمین‌ها به بارهای منفی ترکیبات فسفولیپیدی یا مکان‌های آنیونیک روی غشاها به‌صورت کووالانس باند می‌شوند بنابراین، پایداری و استحکام غشاها را تغییر می‌دهند (Serrano *et al.*, 2003). علاوه بر این باندشدن پلی‌آمین‌ها با مواد پکتیکی میزان دسترسی آنزیم‌های تخریب‌کنندهٔ دیوارهٔ سلولی را کاهش می‌دهد (Martinez-Romero *et al.*, 2002). کاهش نرم‌شدن میوه ممکن است به‌دلیل کاهش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ دیوارهٔ سلولی ازجمله اندو پلی‌گالاکتروناز، اگزو پلی‌گالاکتروناز و متیل استراز باشد (Khan *et al.*, 2008).

استفاده از پلی‌آمین‌ها پس از برداشت میوه و قبل از انبار، تکنیکی برای به تأخیر انداختن رسیدن در بسیاری از محصولات است (Sood & Nagar, 2008). کاربرد پلی‌آمین‌ها پس از برداشت برای افزایش عمر انباری در انواع ارقام آلو (Perez-Vicente *et al.*, 2002)، هلو (Bregoli *et al.*, 2002)، زردآلو (Martinez-Romero *et al.*, 2002)، انار (Mirdehghan *et al.*, 2007) و توت‌فرنگی (Zokaee Khosroshahi *et al.*, 2006) گزارش شده است.

ازآنجاکه بیشتر ارقام آلو میوه‌های فرازگرا دارند و در آنها افزایش میزان تنفس و تولید اتیلن به‌صورت هم‌زمان طی دورهٔ پس از برداشت میوه روی می‌دهد (Serrano *et al.*, 2003)، کاهش سرعت رسیدن و به تعویق انداختن پیری در این نوع میوه‌ها به‌منظور افزایش انبارمانی آنها بسیار ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به اثر متضاد پلی‌آمین‌ها با اتیلن، پس از برداشت میوه‌ها برای افزایش عمر انباری از پلی‌آمین‌ها استفاده می‌شود. هدف از این پژوهش نیز بررسی اثر پلی‌آمین‌های مختلف بر ویژگی های کیفی و انباری میوهٔ آلو رقم 'شابلون' طی شش هفته انبارمانی آن بوده است.

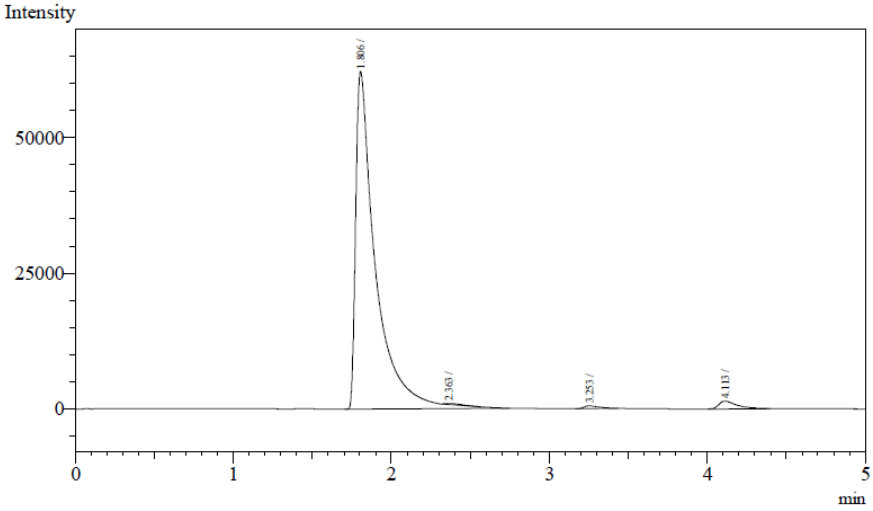
مواد و روش‌ها

میوهٔ آلو (*Prunus salicinia*) رقم 'شابلون'[1] در مرحلهٔ بلوغ تجاری (شاخص برداشت میوه‌ها مقدار مواد جامد محلول کل به‌طور متوسط ۰/۵± ۱۵/۵)، از یک باغ تجاری واقع در شهرستان شبستر برداشت و به آزمایشگاه بیولوژی گل دهی و فیزیولوژی رشد و نمو دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تبریز منتقل شدند. آزمایش در قالب فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار و ۶ زمان انبارداری (به‌ترتیب فاکتور اول و دوم) در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل پوتریسین (مرک، آلمان)، اسپرمین و اسپرمیدین (اپلیکم، آلمان) در دو غلظت ۱ و ۲ میلی‌مولار، و آب مقطر (شاهد) بودند. پس از حذف میوه‌های معیوب، برای اعمال تیمارها از روش غوطه‌وری به‌مدت ۵ دقیقه استفاده شد. میوه‌ها پس از انجام تیمار از محلول خارج و در سبد ریخته شدند و به‌مدت یک ساعت در دمای معمولی اتاق خشک و سپس در سردخانه با دمای ۰/۵± ۱/۵ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ـ ۸۵ درصد انبار شدند. هر هفته یک بار و طی شش مرحله (روزهای هفتم، چهاردهم، بیست‌ویکم، بیست‌وهشتم، سی‌وپنجم و چهل‌ودوم پس از شروع انبارداری) اندازه‌گیری‌های مربوطه روی میوه ها به شرح زیر صورت گرفت.

1. Shablon

اندازه‌گیری اتیلن

میزان اتیلن تولیدشده با استفاده از دستگاه کروماتوگراف گازی (SHIMADZU, JAPAN) مدل ۲۰۱۱ اندازه‌گیری شد. در هفته‌های اول، سوم و ششم انبارداری، چهار میوه پس از تعیین حجم و وزن در ظرف شیشه‌ای یک‌لیتری قرار داده شدند و پس از یک ساعت قراردادن در دمای اتاق (۲۰- ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد)، نمونهٔ گازی داخل ظرف با استفاده از سوزن دوسر و ظرف خلأ (با نام تجاری ونوژکت) هفت میلی‌لیتری برداشت شد. سپس یک میلی‌لیتر از نمونهٔ گاز توسط سرنگ همیلتون از ونوژکت برداشته و به دستگاه GC تزریق شد (شکل ۱). (ستون از نوع HP-5µs ساخت آگیلنت آمریکا (Agilent) با طول ۲۹/۶ متر و دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، مقدار تزریق یک سی سی و دمای نهایی ستون ۳۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد). میزان اتیلن تولیدشده برحسب نانولیتر بر کیلوگرم میوه در ساعت محاسبه شد.



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	1.806	542148	62171	0.000		S		
2	2.363	1441	186	0.000		T		
3	3.253	3392	506	0.000				
4	4.113	11370	1448	0.000				
Total		558351	64311					

شکل ۱. نمونه‌ای از خروجی دستگاه جی‌سی (تیمار اسپرمین ۲ میلی‌مولار)

میزان فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز

مقدار پروتئین استخراج‌شده از گوشت میوه با استفاده از تغییر رنگ معرف کوماسی بلو تعیین شد (Bradford, 1976) از نمونهٔ استخراج‌شده (پروتئین استخراج‌شدهٔ بافت‌ها) در حضور پلی‌گالاکترونیک اسید[1] و بافر سدیم استات[2] محلول واکنش تهیه شد. پس از قرارگرفتن محلول واکنش در دمای ۳۰ درجه به‌مدت ۴۵ دقیقه واکنش آنزیمی انجام شد. از بافر بورات برای متوقف‌کردن واکنش آنزیمی استفاده شد. پس از افزودن سیانو استامید، دانسیتهٔ نوری در طول موج ۲۷۶ نانومتر به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (SPEKOL 1500) ساخت کشور آلمان تعیین شد. از روی منحنی استاندارد ترسیم‌شده با کمک گالاکترونیک اسید و جایگذاری دانسیته‌های نوری بالا در معادلهٔ به‌دست‌آمده از منحنی استاندارد غلظت آنزیم محاسبه شد. غلظت‌های به‌دست‌آمده فعالیت آنزیم را براساس مایکرومول در دقیقه در حجم محلول واکنش نشان می‌داد (Huber, 1983). میزان فعالیت آنزیم پلی‌گالاکترونیاز در هفته‌های اول و آخر انبارمانی اندازه‌گیری شد.

سفتی بافت

آزمون سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه پنترومتر مدل FT-011 با نوک میلهٔ نفوذکنندهٔ ۸ میلی‌متری، از دو

1. Polygalactronic acid
2. Sodium acetate

سمت مقابل هم و پس از برداشتن پوست میوه انجام شد. سفتی بافت براساس بیشترین نیروی لازم برای نفوذ نوک میله در میوه برحسب کیلوگرم نیرو بیان شد.

کاهش وزن میوه‌ها

کاهش وزن میوه‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام شد. برای این منظور در ابتدای آزمایش قبل از اعمال تیمارها، ۴ عدد میوه به‌صورت تصادفی توزین شد. هر هفته بلافاصله بعد از خروج از سردخانه، میوه‌های موجود در هر تکرار دوباره وزن و درصد کاهش وزن به‌صورت زیر محاسبه شد.

$$\text{کاهش وزن (٪)} = \frac{\text{(وزن اولیه- وزن ثانویه)}}{\text{وزن اولیه}} \times ۱۰۰$$

پی‌اچ عصارهٔ میوه‌ها و اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون

برای سنجش پی‌اچ آب میوه از عصارهٔ صاف‌شدهٔ میوه استفاده شد و با استفاده از دستگاه پی‌اچ متر دیجیتالی ساخت تایوان، در دمای ۲۰درجهٔ سانتی‌گراد قرائت شد. برای اندازه‌گیری اسیدهای آلی میوه نیز از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال استفاده شد و اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون برحسب گرم در ۱۰۰ میلی لیتر اسید مالیک بیان شد. برای این منظور ۱۰ میلی لیتر آب میوه با ۲۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط و سپس تیتر شد (Mostofi & Najafi, 2005).

مواد جامد محلول

مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی (مدل PAL-1 ساخت شرکت Atago ژاپن) در دمای اتاق برحسب درجهٔ بریکس قرائت شد.

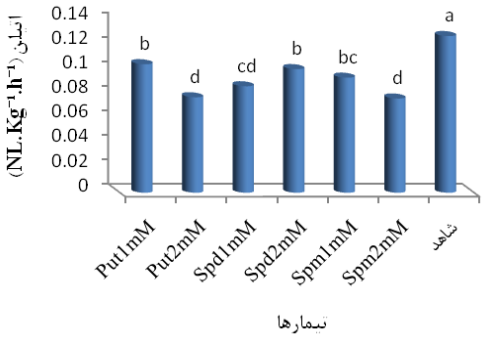
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS تجزیه و تحلیل شد و مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح معناداری یک درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر پلی‌آمین‌ها بر تولید اتیلن

مقایسهٔ میانگین تأثیر تیمارها بر تولید اتیلن میوه‌ها نشان داد که پلی‌آمین‌ها به‌طور معنا داری از تولید اتیلن در میوه‌ها جلوگیری کرده‌اند. در بین پلی‌آمین‌ها، اسپرمین و پوتریسین ۲ میلی‌مولار بهترین تیمارها در جلوگیری از تولید اتیلن میوه ها بودند. بعد از آنها نیز اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار قرار داشت. تیمار شاهد بیشترین تولید اتیلن را نشان داد (شکل ۲). در طول دورهٔ انبارداری تولید اتیلن میوه‌ها به‌تدریج تا هفتهٔ سوم انبارداری کاهش یافته ولی در هفتهٔ ششم افزایش جزئی در تولید اتیلن مشاهده شده است (شکل ۳).

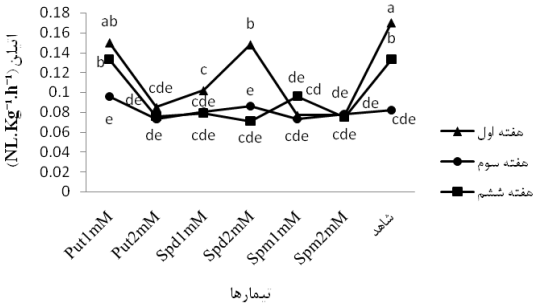


شکل ۲. اثر تیمارها بر تولید اتیلن (تیمارها به‌ترتیب شامل Put: پوتریسین، Spd: اسپرمیدین، Spm: اسپرمین)

مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار و زمان انبارداری بر تولید اتیلن میوه‌ها نشان داد که اثر تیمارها در جلوگیری از تولید اتیلن وابسته به زمان است به‌طوری‌که کمترین تولید اتیلن در هفتهٔ ششم انبارداری در میوه‌های تیمارشده با اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار بود که بین این تیمار و اسپرمین و پوتریسین ۲ میلی‌مولار و اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار اختلاف معناداری وجود نداشت. به‌طورکلی، پلی‌آمین‌ها به‌طور معناداری از تولید اتیلن ممانعت کردند (شکل ۳).

ممانعت از تولید اتیلن بارزترین ویژگی پلی‌آمین‌ها است و بسیاری از آزمایش‌ها نقش ضد اتیلنی پلی‌آمین‌ها را تأیید می‌کنند. تیمار برون‌زاد پلی‌آمین‌ها در زردآلو (Martinez-Romero *et al.*, 2002)، ارقام مختلف آلو (Serrano *et al.*, 2003)، شلیل (Torrigiani *et al.*, 2004)، توت‌فرنگی (Zokaee Khosroshahi *et al.*, 2007) و هلو (Bregoli *et al.*, Zokaee, Khosroshahi & Esna-Ashari, 2002 2008;) بیوسنتز اتیلن را به‌شدت کاهش داده است.

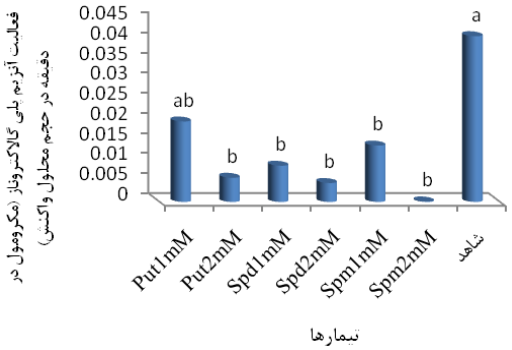
پلی‌آمین‌ها با جلوگیری از رونویسی، سنتز و فعالیت آنزیم ای‌سی‌سی سنتاز[1] تولید اتیلن را تحت تأثیر قرار می دهند. همچنین گزارش شده است پلی‌آمین‌ها فعالیت ای‌سی‌سی اکسیداز[2] را از طریق حذف رادیکال‌های آزاد سوپراکسید که برای تبدیل ای‌سی‌سی به اتیلن ضروری‌اند بلوکه می‌کند (Zokaee Khosroshahi *et al*., 2007). توانایی پلی‌آمین‌ها در متوقف‌کردن فعالیت آنزیم ای‌سی‌سی اکسیداز با از بین‌بردن رادیکال های آزاد سوپراکسید که برای تبدیل ای‌سی‌سی به اتیلن ضروری هستند، به کاهش تولید اتیلن منجر می‌شود (Drolet *et al*., 1986; Bors *et al*., 1989).



شکل ۳. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار و زمان انبارداری بر اتیلن تولیدشده (تیمارها به‌ترتیب شامل Put: پوتریسین، Spd: اسپرمیدین، Spm: اسپرمین)

تأثیر پلی‌آمین‌ها بر میزان فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز

مقایسهٔ میانگین اثر تیمارها بر فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز نشان داد که تیمار با پلی‌آمین‌ها به‌طور معنا داری فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز را نسبت به میوه‌های شاهد کاهش داد. با اینکه در بین پلی‌آمین‌ها اختلاف معنا داری وجود ندارد، ولی بهترین و کارآمدترین تیمار اسپرمین ۲ میلی‌مولار و ضعیف‌ترین تیمار پوتریسین ۱ میلی‌مولار بودند (شکل ۴). پلی‌گالاکتروناز به‌منزلهٔ اولین آنزیم مسئول رسیدن میوه گزارش شده است که فعالیت آن به از بین رفتن پکتین و نرم‌شدن میوه وابسته است (Huber, 1983). کاهش نرم‌شدن میوه با کاربرد پلی‌آمین ممکن است به‌دلیل کاهش فعالیت آنزیم های تجزیه‌کنندهٔ دیوارهٔ سلولی ازجمله اندو پلی‌گالاکتروناز، اگزو پلی‌گالاکتروناز و متیل استراز باشد (Khan *et al*., 2008). باندشدن پلی‌آمین‌ها با مواد پکتیکی میزان دسترسی آنزیم‌های تخریب‌کنندهٔ دیوارهٔ سلولی و هیدرولتیکی را به مواد پکتینی کاهش می‌دهد. مشخص شده است که فعالیت آنزیم گالاکتروناز با افزایش غلظت پلی‌آمین‌ها کاهش می‌یابد (Martinez-Tellez *et al*., 2002). تأثیر پلی‌آمین‌ها در افزایش سفتی میوه از طریق ایجاد کراس‌لینک‌ها بین گروه کربوکسیل و مواد پکتیکی موجود در دیوارهٔ سلولی است، که این اتصال همچنین از فعالیت آنزیم‌های ازبین‌برندهٔ دیوارهٔ سلولی مثل پکتین متیل استراز، پلی‌گالاکتروناز و پکتین استراز جلوگیری می‌کند درنتیجه سبب کاهش نرم‌شدن میوه در طول دورهٔ انبارداری می‌شود (Valero *et al*., 1997).



شکل ۴. اثر تیمارها بر فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز (تیمارها به‌ترتیب شامل Put: پوتریسین، Spd: اسپرمیدین، Spm: اسپرمین)

تأثیر پلی‌آمین‌ها بر سفتی بافت

اثر تیمار و زمان‌های مختلف انبارداری بر سفتی بافت میوه‌ها در سطح آماری ۱ درصد معنادار بود درحالی‌که اثر متقابل این دو فاکتور معنادار نبود (جدول ۱). سفتی بافت تمامی میوه‌ها طی انبارداری کاهش یافت ولی تیمار پلی‌آمین‌ها به‌صورت معناداری ($P<0/01$) سبب حفظ سفتی میوه‌ها شد (شکل ۵ ب). سفتی بافت میوه‌ها همبستگی مثبتی با تعداد بارهای مثبت پلی‌آمین‌ها و غلظت‌های تیمارشدهٔ آنها دارد. میوه هایی که حاوی مقادیر زیادی از مولکول‌های با ظرفیت کاتیونی زیاد بودند، سفتی و عمر پس از برداشت بیشتری نیز داشتند. ظرفیت کاتیونی پلی‌آمین‌ها به‌ترتیب زیر است:

1. ACC-synthase
2. ACC-oxidase

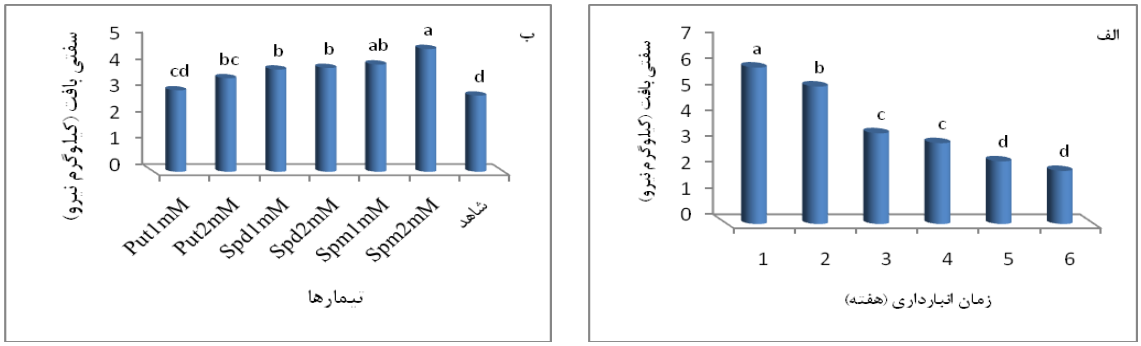
پوتریسین> اسپرمیدین > اسپرمین (Valero *et al.*, 2002). بیشترین میزان سفتی میوه مربوط به بیشترین غلظت اسپرمین بود و بعد از آن نیز اسپرمین ۱ و اسپرمیدین ۱ و ۲ میلی مولار سبب حفظ سفتی میوه شدند. ولی میوه‌های شاهد کمترین سفتی را نشان دادند (شکل ۵ ب). سفتی بافت در طول دورهٔ انبارداری کاهش معناداری داشت به‌طوری‌که در دو هفتهٔ پایانی کمترین سفتی در میوه‌ها مشاهده شد (شکل ۵. الف).

پلی‌آمین‌ها به‌دلیل ماهیت کاتیونی خود سبب حفظ سفتی بافت میوه‌ها می‌شوند زیرا اتصال آنها به ماکرو مولکول‌های آنیونی همچون پکتین‌ها ثبات و پایداری دیوارهٔ سلولی را افزایش می‌دهد. البته به‌طور غیرمستقیم با تنظیم آنزیم‌های مرتبط با غشاها از سیالیت آنها می‌کاهند (Zokaee Khosroshahi *et al.*, 2007; Zokaee, Khosroshahi & Esna-Ashari, 2008). اتصال یادشده همچنین مانع از فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ دیواره ازجمله پکتین استراز، پکتین متیل استراز و پلی‌گالاکتروناز می شود و نرم‌شدن میوه‌ها در انبار کاهش می‌یابد (Valero *et al.*, 2002).

جدول ۱. تجزیهٔ واریانس ویژگی‌های بررسی‌شده در طول دورهٔ انبارداری

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات				
		کاهش وزن	سفتی بافت	مواد جامد محلول	pH عصارهٔ بافت	اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون
تیمار	۶	۳۴/۱۸۷ **	۶/۵۷ **	۲۵/۸۲ **	۰/۰۱ *	۰/۰۴۸ **
زمان	۵	۵۰۳/۱۴۸ **	۵۳/۴۷۲ **	۳۳/۸۰ **	۰/۶۵۸ **	۳/۱۳۶ **
تیمار × زمان	۳۰	۱/۱۳۹ ns	۰/۲۵۱ ns	۱/۷۱۵ ns	۰/۰۱۱ **	۰/۰۲۳ **
خطا	۸۴	۰/۷۱۴	۰/۸۱۹	۱/۴۹۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷

ns: عدم اختلاف معنادار؛ * و **: به‌ترتیب در سطوح ۵ و ۱ درصد معنادار است.



شکل ۵. اثر زمان انبارداری (الف) و تیمارها (ب) بر سفتی بافت میوه‌ها

(تیمارها به‌ترتیب شامل Put: پوتریسین، Spd: اسپرمیدین، Spm: اسپرمین)

تأثیر پلی‌آمین‌ها بر pH و اسیدیته

جدول تجزیهٔ واریانس ویژگی‌های بررسی‌شده در طول دورهٔ انبارداری نشان داد که اثر تیمار و زمان انبارداری و نیز تأثیرات متقابل دو فاکتور در pH عصارهٔ بافت و اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون معنادار بود (جدول ۱). در طول دورهٔ انبارداری میوه‌ها، pH روند افزایشی و اسیدیته روند کاهشی داشته است (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش شدید تنفس، به‌دلیل تولید اتیلن و تسریع پیری در طول دورهٔ انبارداری سبب مصرف اسیدهای آلی و کاهش اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون می‌شود. ازآنجاکه اسیدهای آلی به‌منزلهٔ سوبسترا برای واکنش‌های آنزیمی تنفس به کار می‌روند، انتظار می‌رود طی دورهٔ پس از برداشت اسیدیتهٔ میوه کاهش و مقادیر pH آن افزایش یابد. البته pH عصارهٔ میوه‌ها تا هفتهٔ چهارم انبارداری افزایش یافت و از هفتهٔ چهارم به بعد کاهش در pH عصارهٔ میوه ها مشاهده شد

(جدول ۲) که به نظر می‌رسد تأخیر موقتی در سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌ها مانع تجزیهٔ اسیدهای آلی و تبدیل آنها به قند شده باشد (Rahemi, 2005) تیمار با پلی‌آمین‌ها روند افزایشی pH و کاهشی اسیدیته را کند می‌کند. ازآنجاکه نقش پلی‌آمین‌ها در به تأخیر انداختن رسیدن میوه و کاهش تولیدات اتیلن و سرعت تنفسی به اثبات رسیده است، سبب کاهش سرعت تغییرات pH و اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون می‌شوند.

معناداربودن اثر متقابل تیمار و زمان انبارداری بر pH عصارهٔ میوه‌ها و اسیدیته نشان داد که اثر تیمارها در این دو صفت وابسته به زمان است به‌طوری‌که بیشترین میزان pH عصارهٔ میوه‌ها در هفتهٔ چهارم انبارداری و در تیمار شاهد و پوتریسین ۲ میلی‌مولار و کمترین میزان pH عصارهٔ میوه‌ها در هفتهٔ اول در میوه‌های تیمارشده با اسپرمیدین ۱ و ۲ میلی‌مولار و نیز پوتریسین ۱ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۲). دربارهٔ اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون میوه‌ها نیز بیشترین میزان در هفتهٔ اول و در تیمار پوتریسین و اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار و کمترین میزان آن در هفتهٔ ششم انبارداری و تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳). در دو صفت pH و اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون میوه‌ها، در بین سه نوع پلی‌آمین، پوتریسین و اسپرمیدین مؤثرتر از اسپرمین عمل کرده‌اند.

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار و زمان انبارداری بر pH عصارهٔ بافت

زمان (هفته) / تیمارهای مختلف	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم
پوتریسین ۱ میلی‌مولار	۳/۳۶f-j	۳/۴۳e-h	۳/۵۳b-f	۳/۶b-e	۳/۲j	۳/۲h-j
پوتریسین ۲ میلی‌مولار	۳/۴۶d-g	۳/۴f-i	۳/۶b-e	۳/۸۳a	۳/۲j	۳/۳g-j
اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار	۳/۳۶f-j	۳/۴۶d-g	۳/۶۳b-d	۳/۶b-e	۳/۲j	۳/۳g-j
اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار	۳/۳۶f-j	۳/۴f-i	۳/۶b-e	۳/۷ab	۳/۲j	۳/۳g-j
اسپرمین ۱ میلی‌مولار	۳/۴۷d-f	۳/۴۳e-h	۳/۵۳b-f	۳/۶b-e	۳/۳g-j	۳/۴f-i
اسپرمین ۲ میلی‌مولار	۳/۵c-f	۳/۴f-i	۳/۶۳b-d	۳/۷ab	۳/۲۶h-j	۳/۴f-i
شاهد	۳/۴f-i	۳/۵۳b-f	۳/۶۳b-d	۳/۸۳a	۳/۲j	۳/۲۳ij

میانگین‌های با حروف مشابه در سطح ۱ درصد آزمون دانکن تفاوت معناداری ندارند.

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار و زمان انبارداری بر اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون

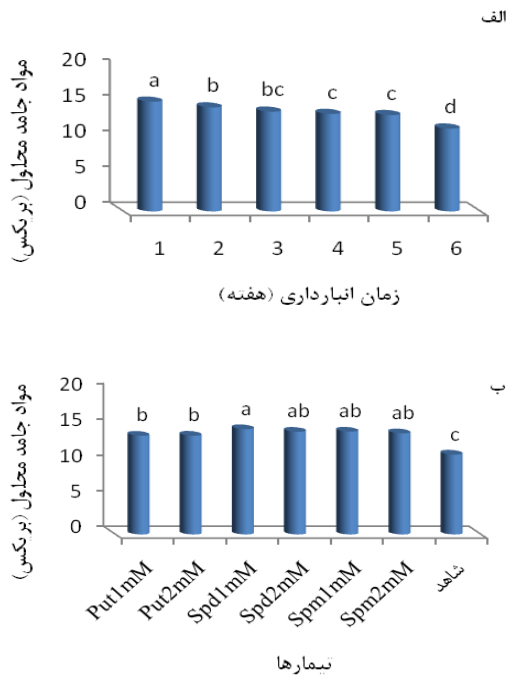
زمان (هفته) / تیمارهای مختلف	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم
پوتریسین ۱ میلی‌مولار	۱/۴۹c	۰/۶۸e-g	۰/۶۵ e-h	۰/۶۳ e-h	۰/۴۶ g-j	۰/۴۸ g-j
پوتریسین ۲ میلی‌مولار	۱/۷۵a	۰/۶۳e-h	۰/۵۸ e-i	۰/۶۶ e-h	۰/۵۷ e-j	۰/۴۶ g-j
اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار	۱/۴cd	۰/۶۴e-h	۰/۶۵ e-h	۰/۶۱ e-h	۰/۵۷ e-j	۰/۴۷ g-j
اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار	۱/۶۸ab	۰/۶۵e-h	۰/۵۵ e-j	۰/۷۱ ef	۰/۶۱ e-h	۰/۵۲ e-j
اسپرمین ۱ میلی‌مولار	۱/۲۶d	۰/۷۸e	۰/۵۱ f-j	۰/۵۸ e-i	۰/۵۳ f-j	۰/۳۷ ij
اسپرمین ۲ میلی‌مولار	۱/۳۶cd	۰/۶۴e-h	۰/۴۸ f-j	۰/۵۹ e-i	۰/۵۱ f-j	۰/۴۵ h-j
شاهد	۱/۵۵bc	۰/۵۲f-j	۰/۵۴ f-j	۰/۵۳ f-i	۰/۵۲ f-j	۰/۳۴ j

میانگین‌های با حروف مشابه در سطح ۱ درصد آزمون دانکن تفاوت معناداری ندارند.

تأثیر پلی‌آمین‌ها بر مواد جامد محلول

در طول دورهٔ انبارداری مقدار مواد جامد محلول کاهش یافت (شکل ۶. الف). به‌طوری‌که بیشترین مقدار مواد جامد محلول در هفتهٔ اول و کمترین میزان آن در پایان دورهٔ انبارداری مشاهده شد. کاهش مواد جامد محلول بر اثر شکستن کربوهیدرات‌ها و مواد پکتیکی، هیدرولیز پروتئین‌ها و تجزیهٔ گلیکوساکاریدها به واحدهای کوچک‌تر طی فرایند تنفس است (Ball, 1997). معنا داربودن اثر تیمارها بر میزان مواد جامد محلول در سطح آماری ۱ درصد نشان داد که استفاده

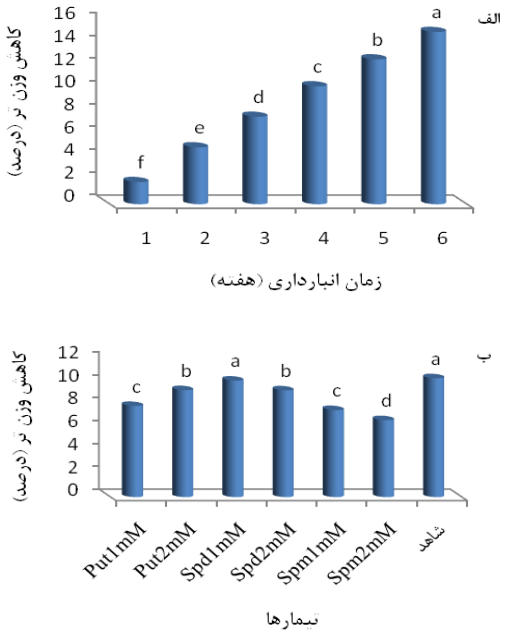
از پلی‌آمین‌ها به‌طور معناداری تغییرات مواد جامد محلول را کاهش می‌دهد و سبب حفظ میزان مواد جامد محلول می‌شود. تغییرات اندک و تدریجی مواد جامد محلول میوه‌ها بر اثر تیمار پلی‌آمین‌ها را می‌توان به کاهش تولید اتیلن و کندشدن روند رسیدن میوه‌ها نسبت داد (Zokaee *et al.*, 2008). در بین پلی‌آمین‌ها اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار مؤثرترین تیمار در حفظ مواد جامد محلول میوه‌هاست. با اینکه بین این تیمار و بقیهٔ پلی‌آمین‌ها اختلاف معناداری وجود ندارد (شکل ۶. ب)، ولی اسپرمین و اسپرمیدین به‌دلیل ظرفیت کاتیونی بیشتر نسبت به پوتریسین اتصال قوی‌تری به ماکرومولکول‌های دیوارهٔ سلولی داشتند درنتیجه تغییرات اندکی در مقدار مواد جامد محلول ایجاد کردند.



شکل ۶. اثر زمان انبارداری (الف) و تیمارها (ب) بر مواد جامد محلول (تیمارها به‌ترتیب شامل Put: پوتریسین، Spd: اسپرمیدین، Spm: اسپرمین)

تأثیر پلی‌آمین‌ها بر درصد کاهش وزن میوه‌ها

وزن میوه‌ها در طول دورهٔ انبارداری به‌تدریج کاهش پیدا کرد، به‌طوری‌که در بین زمان‌های مختلف انبارداری بیشترین درصد کاهش وزن در هفتهٔ ششم مشاهده شد (شکل ۷). تیمار پلی‌آمین‌ها به‌طور معناداری از کاهش وزن میوه‌ها در طول دورهٔ انبارداری جلوگیری کرد. در بین تیمارها اسپرمین ۲ میلی‌مولار بهترین و مؤثرترین تیمار در ممانعت از کاهش وزن میوه‌ها بود و بعد از آن نیز اسپرمین و پوتریسین ۱ میلی‌مولار قرار داشت. بدیهی است که افزایش تعرق از سطح میوه در طول دورهٔ انبارداری مهم‌ترین عامل کاهش وزن است. پلی‌آمین‌ها با اتصال به غشای سلولی سبب پایداری غشا و حفظ واکس لایهٔ کوتیکول می‌شود و بدین‌ترتیب نقش مهمی در کاهش تبادلات آب از پوست میوه ایفا می‌کند. همچنین پلی‌آمین‌ها با کاهش سرعت تنفس و تولید اتیلن، حفظ تورژسانس سلول‌ها و حفاظت از غشاها سبب کاهش ازدست‌دهی رطوبت می‌شوند (Zokaee *et al.*, 2008).



شکل ۷. اثر زمان انبارداری (الف) و تیمارها (ب) بر کاهش وزن میوه‌ها (تیمارها به‌ترتیب شامل Put: پوتریسین، Spd: اسپرمیدین، Spm: اسپرمین)

نتیجه‌گیری

استفاده از پلی‌آمین‌های برون‌زاد عمر پس از برداشت و کیفیت میوه را بهبود می‌بخشند. این ترکیبات پلی‌کاتیونیک با کاهش تولید اتیلن و فعالیت آنزیم پلی‌گالاکترونار، افزایش سفتی بافت، کاهش از دست دادن آب و کندکردن روند تغییرات اسیدیته و پی‌اچ، رسیدن و پیری را به تأخیر انداختند و به‌میزان شایان توجهی سبب افزایش انبارمانی آلو با حفظ ویژگی‌های

کمی و کیفی آن شدند. در جلوگیری از تولید اتیلن میوه‌ها و حفظ سفتی بافت، پلی‌آمین‌هایی با ظرفیت کاتیونی بیشتر بهتر عمل کردند درحالی‌که در جلوگیری از فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز، در بین پلی‌آمین‌ها اختلاف معناداری وجود نداشت. تیمار با پلی‌آمین‌ها همچنین روند افزایشی پی‌اچ و کاهشی اسیدیته را کند کردند و سبب حفظ مواد جامد محلول میوه‌ها شدند.

REFERENCES

1. Ball, J.A. (1997). *Evaluation of two lipid-based edible coatings for their ability to preserve postharvest quality of green bell peppers*. Master Thesis. Faculty of the Virginia Polytechnic and state University, Blacksburg, Virginia, USA.
2. Bors, N., Langebartels, C., Mitchel, C. & Sanderman, H. (1989). Polyamines as radical scavengers and protectants against ozone damage. *Journal of Phytochemistry*, 28, 1589-1595.
3. Bradford, MM. (1976). A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein-dye binding. *Journal of Annal Biochemical*, 72, 248-254.
4. Bregoli, A.M., Scaramagli, S., Costa, G., Sabatini, E., Ziosi, V., Biondi S. & Torrigiani, P. (2002). Peach (*Prunus persica* L.) fruit ripening: aminoethoxyvinylglycine (AVG) and exogenous polyamines affect ethylene emission and flesh firmness. *Journal of Plant Physiology*, 114, 472-481.
5. Drolet, G., Dumbroff, E.B., Legge, R.L. & Thompson, J.E. (1986). Radical scavenging properties of polyamines. *Journal of Phytochemistry*, 25, 367-371.
6. Heby, O. & Persson, L. (1990). Molecular genetics of polyamine synthesis in eukaryotic cells. *Journal of Trends in Biochemical Sciences*, 15, 153-158.
7. Huber, DJ. (1983). The role of cell wall hydrolyses in fruit softening. *Journal of Horticultural Review*, 5, 169-219.
8. Khan, A.S. Singh, Z., Abbasi, N.A. & Swinny, E.E. (2008). Pre or post-harvest application of putrescine and low temperature storage affect fruit ripening and quality of Agelino plum. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 88, 1687-1695.
9. Martinez-Romero, D., Serrano, M., Carbonell, A., Burgos, L., Riquelme F. & Valero. D. (2002). Effects of postharvest putrescine treatment on extending shelf life and reducing mechanical damage in apricot. *Journal of Food Science*, 67, 1706-1712.
10. Martinez-Tellez, M.A., Ramos-Clamont, M.G., Gardea, A.A. & Vargas-Arispuro, I. (2002). Effect of infiltrated polyamines on polygalacturonase activity and chilling injury responses in Zucchini Squash (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Biochemical and Biophysical Research Communications*, 295(1), 98-101.
11. Mirdehghan, S., Rahimi, M., Castillo, S., Martinez-Romero, D., Serrano, M. & Valero, D. (2007). Pre-storage application of polyamins by pressure or immersion improves shelf life of pomegranate stored at chilling temperature by increasing andogenous polyamine level. *Journal of Post harvest Biology and Technology*, 44(1), 26-33.
12. Mostofi, Y. & Najafi, F. (2005). *Laboratory analytical methods in horticultural science.* Tehran University Publication. (in Farsi)
13. Perez-Vicente, A., Martinez-Romero, D., Carbonell, A., Srrano, M., Riquelme, F., Guillen, F. & Valero, D. (2002). Role of polyamines in extending shelf life and reduction of mechanical damage during plum (*Prunus Salicina* Lind L.) storage. *Journal of Postharvest Biology and Technology*, 25(1), 25-32.
14. Rahemi, M. (2005). *Postharvest physiology: an introduction to physiology and handling of fruits, vegetables and ornamental plants* (3rd ed.). Shiraz University Publication. (in Farsi)
15. Serrano, M., Martinez-Romero, D. Guillen F. & Valero. D. (2003). Effects of exogenous putrescine on improving shelf life of four plum cultivar. *Journal of Postharvest Biology and Technology*, 30, 259-271.
16. Sood, S. & Nagar, P.K. (2008). Post-harvest alteration in polyamins and ethylene in two diverse rose species. *Journal of Acta Physiology Plant*, 30, 243-248.
17. Valero, D., Serrano, M., Martinea-Madrid, M.C. & Riquelme, F. (1997). Polyamines, Ethylen and physiochemical changes in low temperature-stored peach (*Prunus Persica* L. CV. Maycrest). *Journal of Agriculture and Food Chemistery*, 45, 3406-3410.
18. Valero, D., Vicente, AP., Romero, DM., Castilo, S. & Guillen, FS. (2002). Plum storability improved after calcium and heat postharvest treatments. *Journal of Food Science*, 67, 2571-2575.
19. Takahashi, T. & Kakehi, J.I. (2010). Polyamine: Ubiquitous polycations with unique roles in growth and stress responses. *Journal of Annals of botany*, 105, 1-6.
20. Torrigiani, P., Bregoli, A. M., Ziosi, V., Scaramagli, S., Ciriaci, T., Rasori, A., Biondi, S. & Costa, G. (2004). Preharvest polyamine and AVG applications modulate fruit ripening in Stark Red Gold nectarines. *Journal of Postharvest Biology and Technology*, 33, 293-308.

21. Zokaee Khosroshahi, M.R., Esna-Ashari, M., Ershadi, A. & Ahmadi. A. (2006). Effect of exogenous putrescine on post-harvest life of strawberry fruit, cultivar Selva. *Journal of Agricultural research, soil, water and plant in agriculture*, 6(1). (in Farsi)
22. Zokaee Khosroshahi, M.R., Esna-Ashari, M. & Ershadi, A. (2007). Effect of exogenous putrescine on post-harvest life of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) fruit, cultivar Selva. *Journal of Scientia Horticulturae*, 114, 27-32.
23. Zokaee, Khosroshahi, M.R. & Esna-Ashari, M. (2008). Effect of putrescine on shelflife and postharvest physiology of strawberry, apricot, peach and cherry. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(45). (in Farsi)
24. Zokaee, Khosroshahi, M.R. & Esna-Ashari., M. (2008). Effect of exogenous putrescine treatment on the quality and storage life of peach (*Prunus persica* L.) fruit. *Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 1, 278-287.

Iranian Journal of Horticultural Science, Vol. 46, No. 4, Winter 2016

Effect of polyamines on storage life of plum fruit cv. 'Shablon'

Saba Shokrallah fam[1*], Jafar Hajiloo[2] and Fariborz Zare Nahandi[3]
1, 2, 3. Former M. Sc. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran
(Received: May 4, 2014 - Accepted: Oct. 22, 2014)

ABSTRACT

In this experiment, effects of three polyamines (putrescine, spermidine and spermine) on postharvest life of plum fruit cv. 'Shablon' were studied. Fruit was dipped in solution of polyamines with 1 and 2 mM and distilled water (control) for 5 min in a cold storage at 1.5±0.5°C and 80-85% RH. Experiment was conducted in a factorial with a complete randomized design with 7 treatments and 6 storage time with three replications. Fruit firmness, titratable acidity and pH, soluble solids and weight loss were evaluated once a week. Also, the rate of ethylene production was determined in three weeks, and polygalacturonase enzyme activity was measured at the first and last of storage life. Polyamines reduced ethylene production significantly and was maintained the fruit firmness. The most effective treatment in maintaining the firmness was 2 mM spermine. Also, this treatment was effective in preventing of ethylene production with 2 mM putrescine and 1 mM spermidine. No difference was found between the three polyamines in prevention of polygalacturonase enzyme activity. Polyamine treatments were prevented fruit weight loss significantly during storage.

Keywords: ethylene, firmness, polygalacturonase, storage life, weight loss.

* Corresponding author E-mail: shokrani2000@gmail.com Tel: +98 914 4205295