

The Effect of Foliar Application of Different Concentrations of Calcium on the Fruit Quality of Golden Delicious Apple Before Harvest

Keyvan Pirouti¹, Ismail Nabizadeh^{2*}, Khadijah Ahmadi³, Masoud Haqshenas⁴

1- Researcher of Miandoab Agricultural Research and Natural Resources Station, West Azarbaijan, Iran.
(pirotykivan@gmail.com)

2- Corresponding authors and Associate Professor, Department of Agrothechnology, Faculty of Agricultural and Natural Resources Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
(nabizadeh.esmaeil@gmail.com)

3- Ph.D. in Crop Physiology, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran.
(kh.ahmadi612@gmail.com)

4- Ph.D. Student in Horticulture, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
(haghshenas@gmail.com)

Received Date: 19/06/2022

Accepted Date: 15/10/2022

Abstract

Introduction: Apple (*Malus domestica* Borkh.), belongs to the Rosaceae family and is one of the most important economic fruits in the world. Apple trees grow best in well-drained, deep, and fertile soils, and the availability of nutrients influences the overall yield and quality of fruits produced in orchards. The importance of increasing calcium in apple fruit to improve its quality has led to research in major apple production areas around the world. Calcium is a critical component in maintaining the hardness of fruits during storage, as it is responsible for the integrity of the cell. Thus, the softening of the fruit may result from the loss of calcium in the middle of the plate and/or its absence in the bonds between the peptic molecules. When treated during the pre-harvest period, the entrance of calcium into fruits delays the fruit's softening and ripening rate, thereby slowing down the decay of cell walls. The pre-harvest use of calcium can slow down the aging of fruits without adversely affecting the consumer quality of fruits. The preferred method to increase the calcium concentration of the fruit is to apply foliar application of various calcium compounds before harvesting. In this research, the effects of foliar application of different calcium compounds on the quality parameters of Golden Delicious apple fruit were evaluated.

Material and methods: In this study, three different calcium compounds including calcium chloride (CaCl_2), calcium nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) and calcium oxide (CaO) in concentrations of 0.5%, 1% and 1.5% and control (distilled water) were used to evaluate the effects of calcium on the quality characteristics of Golden Delicious apples. This design was implemented as a factorial experiment based on randomized complete blocks in three replications. The experiment was recorded at two harvest times and after 4 months of storage in the refrigerator (4°C and 85-95% relative humidity).

Results and discussion: Results and discussion: Based on the results obtained from the two experiments, the traits affected by different sources of calcium fertilizer and the interaction effects of calcium fertilizer sources were not concentrated. According to the results, different concentrations had a significant impact on the studied traits. The mean comparison results indicated that with the increase in the concentrations of calcium sources, the fruit firmness traits (4.87% and 8% at harvest and 4 months after storage, respectively) and organic acid (0.67% and 0.38% at harvest and 4 months after storage, respectively) increased. Additionally, with the increase in the concentrations of calcium sources, the total soluble solids (13.06% and 11.95% at harvest and 4 months after storage, respectively) and pH (3.61 and 4 at harvest and 4 months after storage, respectively) had the lowest values. Overall, spraying calcium sources at a concentration of 1% at harvest effectively improved the fruit quality and storage capability of the Delicious apple variety.

Conclusions: Based on the observations made at the time of harvesting and after storage in cold storage, high concentrations of fertilizer sources, especially in the treatment of 1.5%, caused burns and damage to fruits. Therefore, despite the effectiveness of these treatments in increasing the firmness of the fruit compared to the control, the use of this concentration is not recommended. Since there was no burn effect at the concentration of 1% and it had a greater effect on increasing the firmness of the fruit texture than other treatments, it can be used as a result. Foliar application was used at harvest time and 4 months after refrigeration, and this concentration showed its efficiency in this experiment.

Keywords: Calcium, Fruit firmness, Golden Delicious Apple, Organic Acid.

اثر محلول پاشی غلظت‌های مختلف کلسیم بر کیفیت میوه سیب (رقم گلدن دلشز) روی پایه‌های بذری

کیوان پیروتی^۱، اسمعیل نبی‌زاده^{۲*}، خدیجه احمدی^۳، مسعود حق شناس^۴

۱- محقق ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی میاندوآب، آذربایجان غربی، ایران
(pirotykivan@gmail.com)

۲- نویسنده مسئول و دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد، مهاباد، ایران
(nabizadeh.esmaeil@gmail.com)

۳- دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، ایران
(kh.ahmadi612@gmail.com)

۴- دانشجوی دکتری تخصصی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
(haghshenas@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹

چکیده

اهمیت افزایش کلسیم میوه سیب جهت بهبود کیفیت آن منجر به انجام تحقیقاتی در مناطق عمده تولید سیب در جهان گشته است. روش رایج جهت افزایش غلظت کلسیم میوه به کارگیری محلول پاشی ترکیبات مختلف کلسیمی قبل از برداشت است. در این مطالعه جهت ارزیابی اثرات کلسیم بر خصوصیات کیفی سیب (رقم گلدن دلشز) از سه ترکیب مختلف کلسیمی شامل کلرور کلسیم، نترات کلسیم و اکسید کلسیم در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد و شاهد (آب مقطر) استفاده گردید. این طرح به صورت آزمایش فاکتوریل طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شده است. دو آزمایش جداگانه یکی در زمان برداشت و آزمایش دوم چهار ماه بعد از نگهداری در یخچال (با دمای ۳-۴ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۸۵-۹۵٪) یادداشت برداری شد و نتایج به دست آمده باهم مقایسه گردید. براساس نتایج بدست آمده دو آزمایش، صفات تحت اثر ساده منابع مختلف کود کلسیم و اثر متقابل منابع کود کلسیم در غلظت قرار نگرفت. همچنین اثر ساده غلظت‌های مختلف تأثیر معنی داری بر صفات کیفیت میوه سیب داشتند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش غلظت صفات سفتی میوه (۸ و ۴/۸۷ درصد به ترتیب در زمان برداشت و ۴ ماه بعد از نگهداری) و اسید آلی (۰/۶۷ و ۰/۳۸ درصد به ترتیب در زمان برداشت و ۴ ماه بعد از نگهداری) افزایش پیدا کردند. همچنین با افزایش غلظت منابع کلسیم صفات مواد جامد محلول کل (۱۳/۰۶ و ۱۱/۹۵ درصد به ترتیب در زمان برداشت و ۴ ماه بعد از نگهداری) و pH (۴ و ۳/۶۱ به ترتیب در زمان برداشت و ۴ ماه بعد از نگهداری) دارای کمترین مقدار بودند. به طور کلی، محلول پاشی منابع کلسیم در غلظت یک درصد در زمان برداشت به طور مؤثری کیفیت میوه و قابلیت نگهداری سیب رقم گلدن دلشز را بهبود بخشید.

کلمات کلیدی: اسید آلی، کلسیم، سفتی میوه، سیب رقم گلدن دلشز.

مقدمه

سیب یکی از مهم ترین میوه های اقتصادی در جهان است. سیب (*Malus domestica*) متعلق به خانواده Rosaceae است که منشأ آن در خاورمیانه در حدود ۶۰۰۰ سال پیش است و از هزاران سال پیش در آسیا و اروپا پرورش داده می شود (Pandita et. al., 2016). درختان سیب در خاک های با زهکشی خوب، عمیق و حاصلخیز بهترین رشد را دارند و در دسترس بودن مواد مغذی بر عملکرد و کیفیت کلی میوه های تولیدشده در باغات تأثیر می گذارد (Motesharezadeh et al, 2021). اگرچه کاربرد خاکی روش رایج استفاده از کود در درختان میوه است، اما محلول پاشی برای پاسخ سریع، روشی ایده آل برای رفع کمبود عناصر غذایی است. محلول پاشی استفاده مؤثر و اقتصادی از کودها است، علاوه بر این گیاهان گهگاه با سرعتی بالاتر از قابلیت پشتیبانی ریشه رشد می کنند تا مواد معدنی را به بافت های مهم برگ، گل و میوه منتقل کنند. محلول پاشی اغلب به غلبه بر کمبود مواد مغذی و حفظ سطوح بهینه مواد مغذی در آن بافت های حیاتی کمک می کند (Almeida and Gomes 2017). بهره وری، کیفیت میوه و ظرفیت ذخیره سازی درختان میوه توسط عوامل متعددی تعیین می شود که یکی از آن ها تغذیه معدنی درخت است. کلسیم (Ca) یک یون تنظیم کننده اصلی در محصولات باغی است که از طریق مکانیسم های فیزیکی و بیوشیمیایی نقش حیاتی در رسیدن میوه دارد (Hocking et al., 2016). کلسیم جزء مهمی از دیواره سلولی گیاه است و رشته های پکتین را به هم متصل می کند و به حفظ سفتی میوه پس از برداشت کمک می کند (Gao et al., 2019). جذب و انتقال کلسیم از طریق جریان تعرق انجام می شود و بر خلاف بسیاری از مواد مغذی دیگر، کلسیم متحرک آبکش نیست و نمی تواند به راحتی از یک اندام به اندام دیگر منتقل شود (de Freitas and Mitcham, 2012). کمبود کلسیم می تواند به دلیل در دسترس بودن کم کلسیم یا تنش آبی باشد که منجر به تعرق پایین می شود، زیرا

کلسیم نمی تواند از بافت های قدیمی تر و از طریق آبکش توزیع شود (Thomas and Adarsh, 2020). کلسیم از طریق آوند چوبی منتقل می شود و به محض اینکه تقسیم سلولی متوقف شود و گسترش سلولی بعدی آغاز شود، کلسیم اضافی بسیار کمی وارد میوه می شود (Lurie, 2009). به همین دلیل، محلول پاشی های کلسیم یک عمل باغبانی معمولی برای گونه های مختلف میوه برای بهبود یکپارچگی سلول های میوه، مقاومت در برابر بیماری، کیفیت، یا به حداقل رساندن وقوع کمبود کلسیم است (Val and Fernández, 2011). با این حال، پاسخ به محلول-پاشی های کلسیم متغیر است و تولیدکنندگان میوه اغلب نتایج متناقضی را به دست می آورند (Crisosto et al., 2000). محلول پاشی شاخ و برگ درخت سیب با کودهای کلسیم که به طور انحصاری از طریق برگ ها استفاده می شود می تواند به طور قابل توجهی در تأمین بهتر کلسیم میوه ها در مقایسه با نوع شاهد کمک کند، هم چنین محلول پاشی کلسیم تأثیر مثبتی در بهبود سفتی سیب دارد (Murtić et al., 2017).

کلسیم را می توان از طریق نیترات کلسیم، کلرید کلسیم، هیدروکسید کلسیم و غیره اعمال کرد. تقریباً تمام ویژگی های قبل از برداشت مؤثر در بروز لکه تلخی سیب می تواند به طور مستقیم یا غیرمستقیم با تغذیه کلسیم میوه ها مرتبط باشد و این اختلالات دوره ذخیره سازی را به چند ماه محدود می کند (Almeida and Gomes 2017). کلسیم نقش مهمی در ساختار و استحکام دیواره سلولی، ساختار و عملکرد غشاء، به عنوان یک یون متقابل در اندامک های ذخیره و به عنوان یک مولکول سیگنال در سیتوزول ایفا می کند (Ahmed and Palta, 2017). مطالعات گزارش کرده اند که محتوای کم کلسیم میوه منجر به نرم شدن و قهوه ای شدن سریع گوشت می شود (Hepler, 2005). بر این اساس، میوه های تیمار شده با کلسیم سفت تر هستند و میزان قهوه ای شدن هسته کمتری دارند (Hatoum et al., 2014). هدف از این پژوهش بررسی اثرات محلول پاشی

ترکیبات مختلف کلسیم بر پارامترهای کیفی میوه سیب (رقم گلدن دلشز) بود.

مواد و روش ها

این تحقیق در شهرستان مهاباد (واقع در استان آذربایجان غربی و به مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۳ دقیقه الی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه نیمکره شمالی) در سال ۱۳۹۹ در روستای اگریقاش اجرا گردید. ارتفاع شهرستان از سطح دریا ۱۳۵۲ متر است. محدوده حرارتی منطقه تحت تأثیر توده های هوایی مختلف، متضمن سرماهای شدید و نوسانات اقلیمی بوده و میانگین سالانه دمای منطقه ۱۲/۹ درجه و متوسط دمای حداکثر مطلق ۴۱/۲ درجه در مردادماه و متوسط دمای حداقل مطلق ۱۹/۸- در بهمن ماه است. میانگین سالانه بارندگی منطقه ۴۱۳ میلی متر و محدوده آن مدیترانه ای است. حداکثر بارش ماهانه که ۱۹٪ کل بارش سالانه را تشکیل می دهد و در اردیبهشت و فروردین ماه ۱۴۰۰ با متوسط ۲۰ میلی متر و حداقل بارش ماهانه در مردادماه ۱۴۰۰ برابر ۱/۲ میلی متر بود.

مشخصات درختان مورد آزمایش

درختان سیب مورد آزمایش از رقم گلدن دلشز بوده که روی پایه های بذری پیوند شده اند. درختان ۳۰ ساله و به فواصل ۶ در ۶ متر کشت شده بودند. مراقبت های باغی از درختان هر سال عملیات کود دهی، هرس، مبارزه با آفات و بیماری ها در صورت لزوم انجام شده است. خاکی که درختان در آن کشت شده بودند دارای بافت لوم رسی با درصد قابل توجهی رس های سیلیکاتی ۲:۱ با خاصیت تورم پذیری و جذب رطوبت زیاد بود. باغ مورد آزمایش کلاً فاقد سنگ و سنگریزه در سطح و تحت الارض بوده و عمق خاک از ۱۵۰-۹۰ سانتی متر و در بعضی از نقاط عمق خاک به بیش از ۱۵۰ سانتی متر نیز می رسد. شوری خاک ناچیز و قابلیت هدایت الکتریکی آن کم تر از ۴ میلی موس بر سانتی متر بوده و سطح آب تحت الارض در کلیه قسمت های آن در اعماق پایین تر از ۲-۳ متری قرار داشت. مشخصات نمونه تجزیه خاک باغ محل اجرای آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ویژگی های شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه

Table 1- Chemical and physical characteristics of field soil

30 cm 0-	Chemical and physical properties of soil
Clay Loam	Texture
0.4	EC (ds/m)
8	pH
50	SP (%)
17	TNV
1.5	OC (%)
0.73	Total N (%)
3.6	P (ppm)
200	K (ppm)

روش اجرای آزمایش

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی (فاکتور اول ترکیب کلسیمی در سه سطح: کلرور کلسیم، نترات کلسیم، اکسید کلسیم و

فاکتور دوم غلظت در چهار سطح: ۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) با ۱۲ تیمار در ۳ تکرار شامل ۳۶ واحد آزمایشی در بهار سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ استفاده شد. به این ترتیب که بعد از برداشت محصول، طی چند نوبت مراجعه به باغ،

را تنظیم کرده به طوری که روی صفحه مدرج، درصد قند در عصاره میوه قرائت شد.

اندازه گیری pH

برای اندازه گیری pH عصاره میوه از روش پتانسیومتری، با محلول های بافر با pH = ۴ و ۷ دستگاه pH متر را تنظیم و سپس ۱۰ تا ۲۰ میلی لیتر از عصاره میوه را در ظرفی ریخته و الکترود شیشه ای pH متر را در محلول فروبرده و عدد مربوطه را قرائت شد. بعد از هر بار استفاده لازم است که الکتروود را با آب مقطر شسته و کاملاً پاک کرده و سپس برای نمونه بعدی استفاده شد.

اندازه گیری اسید آلی میوه (TA)

برای اندازه گیری اسید آلی میوه ۱۰ میلی لیتر از عصاره میوه را توسط پیپت برداشته و در لوله آزمایش ریخته و به آن ۴۰-۲۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. به محلول تهیه شده ۲ تا ۳ قطره شناساگر (معرف) فنل فتالین یک درصد اضافه گردید. سپس عمل سنجش حجمی (تیتراسیون) توسط هیدرو اکسید سدیم ۰/۱ نرمال (دسی نرمال) انجام گرفت. هنگامی که رنگ محلول حاوی عصاره میوه تغییر کرد (قرمز روشن)، عمل تیتراسیون خاتمه یافت. برای اطمینان می توان در حین تیتراسیون، pH عصاره را نیز اندازه گیری شد. زمانی که pH به ۸/۱ رسید عمل تیتراسیون را متوقف و مقدار سود مصرفی را یادداشت نمود زیرا معرف فنل فتالین در محیط اسیدی بی رنگ بوده اما در محیط قلیایی (pH = ۸/۳-۱۰) به رنگ قرمز تبدیل می شود. سپس مقدار اسید آلی از فرمول زیر محاسبه شد:

$$A = \frac{S.N.F.E}{C} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

A: مقدار اسید در عصاره میوه (g/100 ml)، S: مقدار NaOH مصرف شده، N: نرمالیت NaOH (۰/۱)، F: فاکتور NaOH (۱)، C: مقدار عصاره میوه (۱۰ میلی لیتر) و E: اکی والان اسید مورد نظر (۰/۰۶۷ = اسید مالیک) است. از آنجایی که اسید آلی غالب سیب، اسید مالیک است لذا اکی والان آن ۰/۰۶۷ است.

درختان استاندارد سیب رقم گلدن دلشز (۳۰ ساله) مورد نظر که دارای قدرت و فرم یکسانی بودند به تعداد مورد نظر (۳۶ اصله) انتخاب گردیده و از هر درخت سه شاخه تقریباً یکسان به طول ۱/۵-۲ متر در سه طرف مختلف درخت انتخاب گردید. اتیکت مربوط به هر شاخه نصب شد. طی دو مرحله یکی زمان برداشت و دیگری بعد از چهار ماه نگهداری در سردخانه، صفات سفتی میوه، TSS، اسیدیته، میزان کلسیم و pH میوه اندازه گیری شدند. در زمان برداشت، میوه های هر کدام از تیمارها به طور جداگانه برداشت شده و در جعبه های مجزا قرار داده شدند. نیمی از آن ها جهت انجام آنالیزهای مربوط به زمان برداشت بلافاصله به آزمایشگاه ایستگاه تحقیقات کشاورزی کهریز منتقل شده و بقیه در سردخانه در شرایط ۳-۴ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۸۵ درصد نگهداری شدند تا پس از ۴ ماه دوباره صفات مورد نظر اندازه گیری شد.

محلول پاشی

محلول های تهیه شده به طور جداگانه در بطری های سربسته ریخته شد. در زمان فندقه شدن میوه های سیب به فاصله هر دو هفته یکبار محلول پاشی طی ۴ نوبت تکرار شد و برای هر غلظت، از سم پاش های دستی ۱/۵ لیتری جداگانه استفاده شد. عملیات محلول پاشی از ساعت ۸-۱۰ صبح روزهای تعیین شده و قبل از گرمای ظهر انجام گرفت و محلول پاشی بر روی تمام سطح میوه های شاخه های علامت گذاری شده انجام گرفت به طوری که کاملاً خیس شدند.

اندازه گیری مواد جامد محلول کل (TSS)

برای اندازه گیری قندها از دستگاه رفاکتومتر دستی استفاده گردید. به این ترتیب که ابتدا با استفاده از آب مقطر صفحه مدرج را صفر کرده، سپس سرپوش منشور کنار زده شده و چند قطره از عصاره میوه را که قبلاً تهیه شده بود روی آن ریخته شد. دوباره سرپوش منشور را گذاشته و برای مشاهده واضح صفحه مدرج، با دکمه، عدسی شیئی

تجزیه داده‌ها

فاکتورهای آزمایش شامل ترکیب کلسیمی در سه سطح (کلرور کلسیم، نیترات کلسیم و اکسید کلسیم) و غلظت در چهار سطح (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) با ۱۲ تیمار در ۳ تکرار شامل ۳۶ واحد آزمایشی بودند. بعد از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج

سفتی میوه در زمان برداشت

نتایج تجزیه واریانس صفت سفتی میوه نشان داد که

بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نیترات کلسیم و اکسید کلسیم) و اثر متقابل منابع کود در غلظت اختلاف معنی‌دار وجود ندارد ولی برای غلظت‌های مورد استفاده در سطح احتمال ۱٪ اختلاف آماری وجود دارد (جدول ۲). مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی نشان داد که غلظت‌های مصرفی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ در یک گروه آماری واقع شده و با افزایش غلظت کلسیم سفتی میوه سیب بیشتر شده است. هر سه غلظت مصرفی نسبت به شاهد برتری دارند، ولی از نظر آماری تفاوتی در بین آن‌ها نیست و این برتری در غلظت یک درصد دارای بیش‌ترین مقدار با میانگین ۸/۱ درصد است (جدول ۳).

جدول ۲- میانگین مربعات صفات مورد بررسی تحت غلظت‌های مختلف کود کلسیم در زمان برداشت

Table 2- Mean square of investigated traits under concentrations of calcium fertilizer at harvest time

S.O.V	Df	Fruit Firmness	TSS	TA	pH
Ca fertilizer (Ca)	2	0.238 ^{ns}	1.434 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.041 ^{ns}
Concentration (C)	3	2.863**	9.383**	0.025*	0.214**
Ca × C	6	0.657 ^{ns}	1.703 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.029 ^{ns}
Error	22	0.307	0.908	0.006	0.028
CV (%)	-	7.24	6.89	12.07	4.5

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

^{ns}, * and ** are non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین غلظت‌های مختلف کود کلسیم بر صفات کیفی سیب در زمان برداشت

Table 3- Comparison of different average concentrations of calcium fertilizer on quality traits of apples at harvest time

Concentration (%)	Fruit Firmness (kg/cm ²)	TSS (Brix)	TA (Malic acid %)	pH
Control	6.84 ^b	15.3 ^a	0.55 ^b	3.96 ^a
0.5	7.7 ^a	13.78 ^b	0.63 ^{ab}	3.73 ^b
1	8.1 ^a	13.2 ^b	0.67 ^a	3.67 ^b
1.5	8 ^a	13.06 ^b	0.66 ^a	3.61 ^b

حروف یکسان در بین ارقام در یک ستون تفاوت معنی‌داری ندارد (آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵).

The same letters among cultivars within the same column are not significantly different (Duncan test at 0.05 significant level).

مواد جامد محلول کل (TSS) در زمان برداشت

طبق نتایج تجزیه واریانس مواد جامد محلول تحت تأثیر منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نیترات

کلسیم و اکسید کلسیم)، و اثر متقابل منابع کود در غلظت‌های مصرفی قرار نگرفت. همچنین اثر غلظت‌های مورد استفاده در سطح احتمال یک درصد بر مواد جامد

محلول کل در زمان برداشت معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی نشان داد که با افزایش غلظت‌های مصرفی از ۰/۵ تا ۱/۵ باعث کاهش مواد جامد محلول شد و هر سه غلظت مصرفی نسبت به شاهد کاهش نشان دادند که بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول مربوط به شاهد با میانگین ۱۵/۳ بود (جدول ۳).

اسید آلی (TA) در زمان برداشت

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) برای صفت اسید قابل تیتراسیون نشان داد که بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نترات کلسیم و اکسید کلسیم) و اثر متقابل منابع کود در غلظت‌های مصرفی اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. ولی برای غلظت‌های مورد استفاده (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵) در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری وجود دارد. طبق نتایج مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی مصرفی نشان داد که با افزایش غلظت‌های مصرفی کود کلسیم (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) نسبت به شاهد برتری نشان دادند و غلظت یک درصد دارای بیش‌ترین میزان اسید آلی با میانگین ۰/۶۷ درصد بود (جدول ۳).

pH در زمان برداشت

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) برای صفت pH نشان داد که بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم،

نترات کلسیم و اکسید کلسیم) و اثر متقابل منابع کود در غلظت‌های مصرفی اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. ولی برای غلظت‌های مورد استفاده (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۰) در سطح احتمال ۱٪ اختلاف آماری وجود دارد. مقایسه میانگین برای غلظت‌های مصرفی مصرفی نشان داد که با افزایش غلظت‌های مصرفی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ در یک گروه آماری واقع شده و هر سه غلظت مصرفی نسبت به شاهد (با میانگین ۳/۹۶) کاهش پیدا کردند (جدول ۳).

نتایج حاصل از غلظت و منابع کود کلسیمی بر سفتی میوه بعد از چهار ماه نگهداری در سردخانه

نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف بعد از چهار ماه نگهداری در سردخانه در جدول ۴ آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس برای سفتی میوه نشان داد که بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نترات کلسیم و اکسید کلسیم) در سطح احتمال ۵ درصد (جدول ۴) و برای غلظت‌های مورد استفاده (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف آماری وجود دارد. بین اثر متقابل منابع کود در غلظت‌های مصرفی اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی مصرفی نشان داد که غلظت‌های مصرفی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد در یک گروه آماری واقع شده و هر سه غلظت مصرفی نسبت به شاهد برتری دارند و بیش‌ترین مقدار سفتی میوه مربوط به غلظت یک درصد با میانگین ۴/۸۷ درصد بود (جدول ۵).

جدول ۴- میانگین مربعات صفات مورد بررسی تحت تأثیر کود با منبع کلسیم بعد از ۴ ماه نگهداری در سرد خانه
Table 2- Mean square of investigated traits under the effect of fertilizer with calcium source after 4 months of storage in cold house

S.O.V	Df	Fruit Firmness	TSS	TA	pH
Ca fertilizer (Ca)	2	0.969 ^{ns}	1.848 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.058 ^{ns}
Concentration (C)	3	1.757**	6.438**	0.042*	0.128**
Ca × C	6	0.066 ^{ns}	0.164 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.018 ^{ns}
Error	22	0.211	0.57	0.003	0.019
CV (%)	-	10.3	6.01	16.8	3.41

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.
^{ns}, * and ** are non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین غلظت‌های مختلف کود کلسیم بر صفات کیفی سیب بعد از ۴ ماه نگهداری در سردخانه

Table 5- Comparison of different average concentrations of calcium fertilizer after 4 months of storage in cold house

Concentration (%)	Fruit Firmness (kg/cm ²)	TSS (Brix)	TA (Malic acid %)	pH
Control	3.84 ^b	13.78 ^a	0.22 ^c	4.27 ^a
0.5	4.45 ^a	12.48 ^b	0.30 ^b	4.06 ^b
1	4.87 ^a	12 ^b	0.38 ^a	4.02 ^b
1.5	4.65 ^a	11.95 ^b	0.33 ^{ab}	4 ^b

حروف یکسان در بین ارقام در یک ستون تفاوت معنی داری ندارد (آزمون دانکن در سطح معنی داری ۰/۰۵).

The same letters among cultivars within the same column are not significantly different (Duncan test at 0.05 significant level).

pH بعد از چهار ماه نگهداری در سردخانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) برای pH نشان داد که بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نیترات کلسیم و اکسید کلسیم) و اثر متقابل کود در غلظت اختلاف معنی‌دار وجود ندارد ولی برای غلظت‌های مورد استفاده (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۰) در سطح احتمال ۱٪ اختلاف آماری وجود دارد. مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی نشان داد که غلظت‌های مصرفی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ در یک گروه آماری واقع شده و هر سه غلظت مصرفی نسبت به شاهد کاهش دارند و کم‌ترین مقدار مربوط به سطح ۱/۵ درصد با میانگین ۴ است (جدول ۵).

بحث

اثر غلظت‌های مختلف منابع کود کلسیمی بر مقدار مواد جامد محلول اثر گذار بود به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد. همچنین در این آزمایش در طی نگهداری میوه‌ها در سردخانه میزان قند کاهش یافت. این نتیجه با نتایج زارع و سیاری (Zarea and Sayyari, 2018) مطابقت دارد. که این محققین احتمالاً میوه‌ها را قبل از رسیدگی برداشت کرده بودند. زیرا به نظر می‌رسد اگر میوه اندکی نارس برداشت‌شده و روانه سردخانه شود در طی انبارداری میوه رسیده‌تر می‌شود که به تبع آن مقدار قند کل و TSS آن افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج مرادی‌زاده و درستکار

مواد جامد محلول کل (TSS) بعد از چهار ماه

نگهداری در سردخانه

نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف بعد از چهار ماه نگهداری در سردخانه در جدول ۴ آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس برای مواد جامد محلول نشان داد که بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نیترات کلسیم و اکسید کلسیم) و اثر متقابل منابع کود در غلظت اختلاف معنی‌دار وجود ندارد ولی در غلظت‌های مورد استفاده در سطح احتمال یک درصد اختلاف آماری وجود دارد. مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی نشان داد که بیشترین مقدار مواد جامد محلول به شاهد با ۱۳/۷۸ و کمترین مقدار مواد جامد محلول به غلظت مصرفی ۱/۵ درصد تعلق دارد (جدول ۵).

اسید آلی (TA) بعد از چهار ماه نگهداری در

سردخانه

نتایج تجزیه واریانس برای اسید آلی (جدول ۴) نشان داد که بین منابع مختلف کود کلسیمی (کلرور کلسیم، نیترات کلسیم و اکسید کلسیم) و اثر متقابل منابع کود در غلظت اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. صفت اسید آلی تحت اثر غلظت‌های مورد استفاده در سطح احتمال ۱٪ اختلاف آماری وجود دارد. مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای غلظت‌های مصرفی نشان داد که بیش‌ترین مقدار اسید آلی به غلظت مصرفی یک درصد با مقدار ۰/۳۸ تعلق داشته و کمترین مقدار اسید آلی در شاهد مشاهده گردید (جدول ۵).

(Moradinezhad and Dorostkar, 2021) نیز مطابقت ندارد که در آزمایش آن‌ها با محلول پاشی کلرید کلسیم میزان قند افزایش یافته بود. اصولاً افزایش قند در میوه‌های کلیماتریک ناشی از تجزیه نشاسته است که با افزایش مقدار کلسیم در میوه‌ها میزان تجزیه نشاسته کاهش می‌یابد (Maletsika et al., 2023). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار قند در تیمارهای شاهد و کمترین مقدار آن و یا درواقع کمترین مقدار تجزیه نشاسته میوه در تیمارهای محلول پاشی شده مشاهده گردید. نتایج حاصل از این آزمایش نتایج بررسی‌های پووینه و همکاران (Poovaiah et al., 1988) را تأیید می‌کند. آن‌ها گزارش دادند که کلسیم داخلی میوه سیب موجب کاهش تولید اتیلن و به تأخیر افتادن پیک کلیماتریک تنفس و درنهایت کاهش تجزیه نشاسته می‌گردد. قسمت اعظم مواد جامد محلول کل قندها می‌باشند. در طی مدت نگهداری میوه‌ها در سردخانه به‌طور بطئی تنفس ادامه می‌یابد. ماده اصلی مورد مصرف در تنفس، قندها می‌باشند. لذا، باگذشت زمان به‌طور طبیعی مقدار قند کل و به‌تبع آن مواد جامد محلول کل کاسته می‌شوند.

اثر غلظت‌های منابع کود کلسیمی بر pH و اسیدیته قابل تیتراسیون در زمان برداشت در این آزمایش نیز تأثیر گذار بود، اسید غالب میوه سیب مالیک اسید است و هراندازه اسید آلی میوه بیشتر باشد در نتیجه pH آن کمتر خواهد بود. در این تحقیق میزان اسید آلی بعد از چهار ماه نگهداری کاهش یافت. ماده پیش‌نیاز اسیدهای آلی در برگ‌ها سنتز شده و سپس توسط آوندهای آبکش به میوه‌ها منتقل می‌شود. در اکثر میوه‌های در حال رشد و نمو میزان اسیدهای آلی آزاد افزایش می‌یابد و بعد از رسیدن به یک نقطه حداکثر در مراحل رسیدن میوه، به دلیل مصرف در پدیده تنفس، میزان اسیدهای آلی به‌طور مستمر کاهش می‌یابد. کاهش اسیدهای آلی در میوه‌های سیب بعد از برداشت محصول نیز ادامه می‌یابد. در میوه‌هایی که هنگام رسیدن دارای اوج تنفسی بوده و بنام میوه‌های فراز گرا

معروف می‌باشند (نظیر سیب)، سرعت کاهش اسیدهای آلی بعد از برداشت محصول بیشتر می‌شود (Jalili, 2004). با توجه به اینکه در این آزمایش در طول نگهداری میوه‌ها در سردخانه اسیدیته قابل تیتراسیون کاهش و pH افزایش یافت به نظر می‌رسد این تغییرات به دلیل مصرف اسیدهای آلی در متابولیسم میوه در مدت انبارداری باشد. این نتیجه با نتایج وارلا و همکاران (Varela et al., 2008) مطابقت دارد.

کلسیم موجب حفظ سفتی بافت میوه می‌شود. افزایش سفتی بافت در میوه‌های تیمار شده با منابع کود کلسیمی به دلیل افزایش نسبی مقدار کلسیم داخلی میوه‌ها نسبت به شاهد است (Haleema et al., 2020). وقتی میوه‌ها می‌رسند تیغه میانی دیواره سلولی تجزیه می‌گردد و میوه‌ها نرم‌تر می‌شوند (Dhatt and Mahajan, 2007) و از آنجا که کلسیم در استحکام دیواره سلول نقش اساسی دارد در نتیجه میوه‌های تیمار شده با کلسیم دارای کلسیم بیشتر از شاهد بوده و سفتی آن‌ها از شاهد بیشتر است. بر اساس گزارش محققین (Xiong et al., 2021) برای حفظ سفتی میوه در طول نگهداری در سردخانه باید میزان کلسیم میوه از یک سطح بحرانی بالاتر باشد که این حد با تغذیه خاکی گیاه حاصل نمی‌شود زیرا حرکت کلسیم در گیاه با جریان تعرق همراه بوده و به نقاطی می‌رود که میزان تعرق بیشتر است. بنابراین بیشترین غلظت کلسیم در برگ‌ها وجود دارد و میوه کمترین میزان کلسیم را دارد و بایستی از طریق محلول پاشی این کمبود کلسیم میوه جبران گردد و به همین خاطر میوه‌های تیمار نشده دارای کلسیم کمتر و در نتیجه سفتی کمتری نسبت به درختان تیمار شده با منابع کود کلسیمی بودند (Garde-Cerdán et al., 2023). طبق پژوهشی در میوه هلو، محلول‌های کلسیم قبل از برداشت تأثیر مثبتی بر پارامترهای کیفیت میوه، به‌ویژه سفتی گوشت، حتی پس از ذخیره‌سازی در سردخانه داشت (Ali et al., 2021).

کلسیم عامل اتصال‌دهنده دو زنجیره اسید

کلسیم گوشت میوه را افزایش داد بدون این که آسیبی به پوست میوه وارد گردد (Saftner et al., 1998). غلظت کلسیم در میوه های تیمار شده با ترکیبات مختلف کود کلسیمی بیشتر از تیمارهای شاهد بود که نشانگر مؤثر بودن محلول پاشی در افزایش محتوی کلسیم میوه است که این نتیجه با نتایج پانفیلووا و همکاران (Panfilova et al., 2024) مطابقت دارد.

نتیجه گیری

بر اساس مشاهدات پژوهش حاضر در زمان برداشت و بعد از نگهداری در سردخانه غلظت های بالای منابع کودی در غلظت ۱/۵ درصد موجب آسیب میوه ها گردید. به طور کلی، محلول پاشی منابع کلسیم در غلظت یک درصد در زمان برداشت و حتی بعد از مدت زمان ۴ ماه نگهداری در یخچال به طور مؤثری کیفیت میوه و قابلیت نگهداری سیب رقم گلدان دلشز را بهبود بخشید.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می دانند از مسئولین آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد جهت همکاری در این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

Ahmed, Z.F.R., and J.P. Palta, 2017. Hormone-like action of a natural lipid, lysophosphatidylethanolamine: a comparison with auxin. *Acta Horticulturae*. 1187:107-114.

Ali, I., N. Abbasi, and I. Hafiz, 2021. Application of calcium chloride at different phenological stages alleviates chilling injury and delays climacteric ripening in peach fruit during low-temperature storage. *Int. J. Fruit Science*. 21:1040-1058.

Almeida, D.P.F., and M.H. Gomes, 2017. Physicochemical quality, macronutrients and dietary fiber in apples from the Protected Geographical Indication 'Maçã de Alcobaça', Portugal. *European Journal of Horticultural Science*. 82:239-243.

گالاکتورونیک در پلیمرهای پکتین است که از این طریق به ترکیبات پکتین در تیغه میانی ثابت می بخشد و اتصال و چسبندگی سلول ها را افزایش می دهد. تیمار کلسیم موجب کمتر شدن تجمع پلی اورونوئیدها می شود این حالت به احتمال زیاد به علت اتصال کلسیم به گروه های کربوکسیل آزاد موجود بر روی پلیمرهای پلی گالاکتورونات دیواره سلولی و تیغه میانی ناشی می گردد. که در این صورت ثابت و سفتی بافت میوه افزایش یافته و حفظ می شود (Glenn and Poovaiah, 1985). بر اثر گذشت زمان نگهداری در سردخانه سفتی میوه به میزان قابل توجهی کاهش یافت. نرم شدن میوه در طول دوره انبارداری می تواند وابسته به میزان کلسیم باند شده به کل ظرفیت دیواره سلولی در باند کردن کلسیم باشد کاهش سفتی بافت میوه در اثر به درازا کشیدن مدت انبارداری را می توان به تغییرات فیزیولوژیک در دیواره سلول ها و کاهش خاصیت تراوایی آن ها و افزایش از دست دادن آب مربوط دانست (Roy, 1986). در جذب کلسیم عوامل مختلفی از قبیل غلظت کود کلسیمی، بلوغ میوه، دمای محلول، تنش آب در طی روزهای گرم تابستان و رطوبت نسبی انبار دخیل هستند با افزایش غلظت محلول می توان کلسیم میوه را تا حدی بالا برد اما غلظت های بالا باعث آسیب هایی به پوست میوه خواهد شد که رقم گلدان دلشز به این گونه آسیب ها حساس است (Panfilova et al., 2024). در این تحقیق در کلیه تیمارهای کلرور کلسیم با غلظت ۱/۵ درصد میوه های خراب مشاهده شد و میزان کلسیم میوه های تیمار شده با این غلظت دارای کلسیم کمتری از کلرور کلسیم با غلظت یک درصد بودند که با نفوذ کلسیم در ارقامی مثل گلدان دلشز می تواند از طریق حفره کاسبرگ ها هم صورت گیرد که می تواند خسارت زار باشد از این رو در غلظت های پایین کلرور کلسیم همچنان که محققین گزارش کرده اند می توان با استفاده از غلیظ کننده ها برای افزایش تماس کلرور کلسیم با سطح میوه و افزایش پتانسیل اسمزی و نیز از خیسانده ها یا مویان ها، غلظت

peaches. Horticulturae. 9:299.

Moradinezhad, F., and M. Dorostkar, 2021. Pre-harvest Foliar Application of Calcium Chloride and Potassium Nitrate Influences Growth and Quality of Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Fruit cv. 'Shahroudi. Journal Soil Science Plant Nutrient. 21:1642–1652. (in Persian with English abstract)

Motesharezadeh, B., Q. Ma, A.R.R. Tabibi, Fatemi, and F. Bekhradi, 2021. Nutritional, yield and quality responses of apple, pear and cherry to calcium nitrate application. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 52(10):1132-1148. (in Persian with English abstract)

Murtić, S., R. Oljača, I. Koleška, and H. Čivić, 2017. Apple Quality and Calcium Content as Affected by Fertilizer Treatment. Polish Journal of Environmental Studies. 26(5):2107-2111.

Pandita, D., A., Pandita, and S. Pandita, 2016. *Malus domestica*—"The King of Delicious Fruits" booming in the Paradise of Botanists (*Arunachal Pradesh*). Annals of Biological Research. 7(9):39-44.

Panfilova, O., I. Kahramanoğlu, G.I. Ondrasek, N. Ryago, L. Leonteva, Ch. Wan, M. Tsoy, V. Okatan, O. Golyaeva, O. Loretts, V. Kukhar, and M. Karpukhin, 2024. Enhancing Quality Fruit Composition in Red Currant Cultivars by Foliar Calcium Application across Preharvest and Postharvest Stages. Journal of Food Quality. 12 April 2024.

Poovaliah, B.W., G. Glenn, and A.S. Ready, 1988. Calcium and fruit softening physiology and biochemistry. Horticultural Reviews. 10:107-152.

Roy, K. S. 1986. Characteristics of apple dwarfing rootstock fruit varieties. Journal. 40(3):71-79.

Saftner, R. A., W.S. Conway, and C. E. Sams, 1998. Effect of post-harvest calcium and fruit coating treatment on postharvest life, quality maintenance and fruit surface injury in Golden Delicious. American Society of Agronomy | Agronomy Crop Science. 123:294-298.

Sürücü O., and Z. Küçükyumuk 2023. Effect of foliar potassium and calcium applications on the nutrient status, fruit quality and yield of apple tree varieties. Journal of Elementology. 28(1):173-187.

Thomas, G., and S. Adarsh, 2020. Chapter-7 versatility of calcium as a plant nutrient. Advances in Agronomy. 9:119–141.

Val, J., and V. Fernández, 2011. In-season calcium-spray formulations improve calcium balance and

Crisosto, C.H., K.R. Day, R.S. Johnson, and D. Garner, 2000. Influence of in-season foliar calcium sprays on fruit quality and surface discoloration incidence of peaches and nectarines. Journal of the American Pomological Society. 54:118–122

De Freitas, S.T., and E. J. Mitcham, 2012. Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. Horticulture – Reviews. 40:107–146.

Dhatt, A.S. and B.V.C. Mahajan, 2007. Postharvest Technology. Punjab Agricultural University.

Gao, Q., T. Xiong, X. Li, W. Chen, and X. Zhu, 2019. Calcium and calcium sensors in fruit development and ripening. Science Horticultural. 253:412–421.

Garde-Cerdán, T., M. González-Lázaro, D. Alonso-Ortiz de Urbina, I. Sáenz de Urturi, S. Marín-San Román, R. Murillo-Peña, L.L. Torres-Díaz, E.P. Pérez-Álvarez, and V. Fernández, 2023. Foliar applications of calcium, silicon and their combination: a tool to improve grape composition and quality. Applied Sciences. 13:12.

Glenn, G.M., and B.W. Poovaliah, 1985. Cuticular permeability to calcium compounds in 'Golden Delicious' apple fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science. 110:192–195.

Hatoum, D., K. Buts, M.L.A.T.M. Hertog, A.H. Geeraerd, A. Schenk, J. Vercammen, and B.M. Nicolai, 2014. Effects of pre- and postharvest factors on browning in Braeburn. Horticultural Science. 41:19–26.

Hepler, P.K. 2005. Calcium: a central regulator of plant growth and development. Plant Cell. 17:2142–2155.

Hocking, B., S.D. Tyerman, R.A. Burton, and M. Gilliam, 2016. Fruit Calcium: Transport and Physiology. Front. Plant Science. 7:569.

Jalili, M.R. 2004. Physiology after harvesting. Second edition. Academic Jihad Publications, Uremia, 276 p. (in Persian)

Lurie, S. 2009. Stress physiology and latent damage. In Postharvest Handling, 2nd ed.; Florkowski, W.J., Shewfelt, R.L., Brueckner, B., Prussia, S.E., Eds.; Academic Press: San Diego, CA, USA, pp. 443–459.

Maletsika, P., V. Liava, E. Sarrou, V.S. Titeli, E. Nasiopoulou, S. Martens, E. Karagiannis, K. Grigoriadou, A. Molassiotis, and G.D. Nanos, 2023. Foliar calcium effects on quality and primary and secondary metabolites of White-Fleshed 'Lemonato'

Xiong, T., Q. Tan, S.C. Li Mazars, J.-P. Galaud, and X. Zhu, 2021. Interactions between calcium and A.B.A. signaling pathways in the regulation of fruit ripening, *Journal of Plant Physiology*. 256:153309.

Zarea, S., and M. Sayyari, 2018. The effect of calcium ascorbate on fruit firmness, cell wall-degrading enzymes activities and postharvest quality of tomato cv. Rio Grande. *Iranian Journal of Horticultural Science*. 49(3):669-679. (in Persian with English abstract)

fruit quality traits of peach. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 174:465–472.

Varela, P., Salvador, A. and S. Fiszman, 2008. Shelf-life estimation of 'Fuji' apples. The behavior of recently harvested fruit during storage at ambient conditions. *Postharvest Biology and Technology*. 50:64-69.