مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۲/ شماره ۲/سال ۱۳۹۰/ص ٦٨-٥١

اثر زمان و دوز (مقدار)های مختلف پرتوتابی الکترون سریع بر تغییرات کمی و کیفی سیر سفید (*Allium sativum* L.) در مدت نگهداری در انبار

فریبا بیات*و حمیدرضا ذوالفقاریه**

*نگارنده مسئول، نشانی: همدان، کیلومتر ۳ جاده تهران، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، تلفن: ۹۵-۴۳۷۳۵۸۷-۰۸۱۱، پیام نگار: bayat.fariba@gmail.com

** به‌ترتیب: عضو هیئت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان و عضو هیئت علمی پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج

تاریخ دریافت:۸۹/۵/۲؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۲

چکیده

با فرایند پرتوتابی می‌توان از ضایعات سیر در انبارها جلوگیری کرد. زمان و دوز(مقدار) پرتو دو عامل موثر در انجام فرایند پرتوتابی هستند، بنابراین توده سیر سفید همدان ۳۰ و ٤٥ روز پس از برداشت با دوزهای ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، و ۱۵۰ گری پرتوهای الکترون سریع پرتودهی شدند. طی ۸ ماه نگهداری در دو شرایط انبار سرد و کنترل نشده برخی عوامل کمی و کیفی سوخ‌ها هر دو ماه یک مرتبه اندازه‌گیری و ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که در هر دو شرایط نگهداری، تیمارهای پرتو دیده علایم جوانه‌زنی بیرونی را بروز ندادند و جوانه‌زنی فقط در سیرچه‌های پرتو ندیده مشاهده شد. افت وزنی تیمارهای پرتو دیده کمتر از شاهد بود به‌طوری که پس از ۳۰۰ روز نگهداری، میانگین افت وزنی سیر در هفته در انبار سرد برای دوزهای ۵۰ گری و بالاتر و در انبار با شرایط کنترل نشده برای دوزهای ۷۵ گری و بالاتر در محدودهٔ پایین یعنی کمتر از ۱ درصد قرار داشت. مقدار پیرووات کل به‌ویژه تا ۱۲۰ روز پس از نگهداری، افزایش یافت ولی اختلاف معنی‌داری بین مقادیر آن در دوزهای مختلف پرتوتابی مشاهده نشد. بین سفتی بافت دوزهای مختلف پرتوتابی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت، ولی دوزهای ۵۰ گری و بالاتر در انبار سرد و دوزهای ۷۵ گری و بالاتر در انبار با شرایط کنترل نشده، بیشترین مقادیر را داشتند. اثر زمان‌های پرتوتابی یعنی ۳۰ و ٤٥ روز پس از برداشت، بر مقادیر سفتی بافت در هر دو شرایط نگهداری معنی‌دار نبود. تغییرات رنگ و پیرووات غیر آنزیمی در مدت نگهداری در هر دو شرایط افزایش یافت و تغییرات آنها در زمان پرتوتابی ٤٥ روز پس از برداشت بیش از ۳۰ روز پس از برداشت بود. در مجموع دوز مناسب بین هر دو زمان پرتوتابی برای نگهداری سیر در انبار سرد، ۵۰ گری و در انبار با شرایط کنترل نشده ۷۵ گری بود و برای هر دو شرایط نگهداری، پرتوتابی در زمان۳۰ روز پس از برداشت مناسب‌تر تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی

پرتوتابی، سیر، جوانه‌زنی، عمر انباری، کیفیت

مقدمه

نگهداری مواد غذایی به‌روش پرتوتابی متفاوت از روش‌های دیگر نگهداری است. پرتوتابی مواد غذایی نوعی فرایند سرد محسوب می‌شود که در طول نیم قرن گذشته به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. این روش ترکیب‌های سمی یا رادیواکتیو در ماده غذایی ایجاد نمی‌کند و سبب افزایش مدت نگهداری محصولات ریشه‌ای، ضد عفونی ادویه‌ها، میوه‌ها و غلات، کاهش ریززنده‌های عامل فساد، تأخیر در رسیدن میوه‌ها و بهبود ویژگی‌های حسی مواد غذایی می‌شود. ریزسازواره‌های بیماری‌زای غیر قابل اجتناب مواد غذایی خام با منشأ حیوانی بر اثر پرتوتابی تخریب می‌شوند یا کاهش می‌یابند.

مواد غذایی در معرض فرایند پرتوهای یون‌ساز، انرژی حاصل از پرتو را که از یک منبع و یا به‌وسیله دستگاه‌های خاص منتشر می‌شوند، جذب می‌کنند و با ایجاد تغییر در سیستم‌های زیست‌شناختی و آنزیمی، فساد حاصل از فعالیت آنزیم‌ها یا ریززنده‌ها را کاهش می‌دهند (Faraji, 1992). مواد غذایی به‌طور معمول با پرتوهای گاما و به کمک یک منبع رادیوایزوتوپ، الکترون‌ها و یا پرتو ایکس تولید شده از طریق یک شتاب دهندهٔ الکترونی پرتودهی می‌شوند (McMurray, 1990).

در بین محصولات کشاورزی، جوانه‌زنی گیاهان ریشه‌ای، غده‌ای و پیازها از جمله سیر را می‌توان با فرایند پرتوتابی در مدت نگهداری در انبار مهار کرد. استان همدان به‌عنوان قطب تولید و صادرات سیر شناخته شده است به‌طوری که در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷، با تولید ۲۹۰۷۹ تن سیر رتبه اول تولید کشور را به خود اختصاص داده است (Anon., 2010). هر ساله بخشی از سیر تولیدی به‌دلیل مشکلاتی از قبیل جوانه‌زنی و به‌دنبال آن چروکیدگی و افت وزنی ضایع می‌شود به‌طوری که در انبارهای سنتی پس از شش ماه نگهداری، ۵۶ درصد توده سیر سفید دچار جوانه‌زنی می‌شود. با کنترل شرایط نگهداری در انبار، جوانه‌زنی سیر به تعویق می‌افتد ولی افزایش عمر انباری آنها تا زمان بعدی برداشت، امکان پذیر نیست و مشکلاتی را از جنبه مهار جوانه‌زنی و کاهش افت وزنی در مدت نگهداری در انبار به‌وجود می‌آورد؛ به‌طوری که در شرایط انبار سرد، پس از شش ماه نگهداری، ۱۲/۲ درصد توده سیر سفید همدان جوانه می‌زند و پس از ۱۰/۵ ماه، ۱۰۰ درصد سوخ‌ها متحمل جوانه‌زنی شده، قابلیت بازار پسندی خود را از دست می‌دهند (Bayat, 2004). استفاده مفید از پرتوهای یونیزه مقدار این ضایعات را کاهش داده، ماندگاری آنها را در مدت نگهداری در انبار افزایش می‌دهد.

خان و وحید (Khan & Wahid, 1978) پرتوتابی با دوز ۱۰۰ گری پرتو گاما و نگهداری در انبار با دمای ۱۴ تا ۱۶ درجه سلسیوس، لوستر و همکاران (Lustre *et al.*, 1982) با دوزهای ۵۰ تا ۱۲۰ گری پرتو گاما، کروسی و کرزیو (Croci & Curzio, 1983) ۳۰ روز پس از برداشت با دوز ۰/۰۳ کیلوگری پرتو گاما و نگهداری در دمای ۶ تا ۳۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۸ تا ۸۶ درصد، چو و همکاران (Cho *et al.*, 1984) با دوزهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ گری پرتو گاما، جوانه‌زنی را پس از ۵ تا ۱۰ ماه نگهداری به‌طور کامل مهار کردند و ماندگاری سیر را افزایش دادند. کوآن و همکاران (Kwon, *et al.*, 1984) با دوزهای ۵۰، ۱۰۰، و ۱۵۰ گری پرتو گاما در مدت ۱۰ ماه، نگهداری در دو شرایط دمایی ۱ ± ۳ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۸۰-۷۰ درصد و دمای ۵ ± ۱۲ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۸۵- ۷۵ درصد، جوانه‌زنی و ریشه‌زنی را در دو سطح بالاتر دوز پرتوتابی یعنی ۱۰۰ و ۱۵۰ گری مهار کردند. کوآن و همکاران (Kwon *et al.*, 1985) گزارش دادند که پرتوتابی تا ۴۵ روز پس از برداشت برای مهار جوانه‌زنی مؤثر نیست و افت وزنی و درصد فساد سیر پرتوتابی شده با دوزهای ۵۰ تا ۱۵۰ گری پس از ۲۸۵ روز، در مقایسه با شاهد کاهش یافت. وحید و همکاران (Wahid *et al.*, 1990) سیر را پس از پرتوتابی با دوزهای ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، و ۰/۲ کیلوگری به‌مدت ۴ ماه در دو شرایط دمایی، ۲۰ تا ۳۷ درجه سلسیوس (دمای اتاق) و ۲ ± ۱۰ درجه سلسیوس (دمای پایین) نگهداری کردند. جوانه‌زنی سوخ‌های پرتو ندیده در دو شرایط نگهداری در دمای پایین و در شرایط محیطی به‌ترتیب ۴ و ۱ هفته پس از نگهداری شروع شد و رنگ و بافت سیرچه‌های پرتو دیده نیز بهتر از نمونه‌های شاهد در هر

دو شـــرایط نگهـــداری بـــود. پلگرینـــی و همکـــاران (Pellegrini *et al.*, 2000)، با دوز ۱۰ گری پس از مرحلهٔ خـواب، جوانـه‌زنـی و تقـسیم سـلولی را کـاهش دادنـد. پرتوتابی اثر خود را ۱۵۰ روز پس از برداشت به‌صورت قابل ملاحظه‌ای آشکار نمود.

تشکیل ترکیب عطر و طعم دهنده در سیر خرد شـده بـه‌علـت واکـنش بـین آنـزیم آلکیـل، ال- سیـستئین سولفوکسیدلیاز[1] (آنزیم آلی‌ایناز[2] با کد آنزیمی ۴،۴،۱،۴) و پیش ماده‌های عطـر و طعـم دهنـده اسـت کـه منجـر بـه تـشکیل تیوسـولفینات‌هـا[3]، اسـیدپیرووِیـک[4] و آمونیـاک[5] می‌شود (Whitaker, 1976). اندازه‌گیری اسـید پیرووِیـک به‌عنوان محـصول جـانبی واکـنش یـاد شـده بـه‌خـوبی بـا ترکیب‌های عطر و طعم دهنده سیر همبستگی دارد (Wall & Corgan, 1992).

کوآن و یون (Kwon & Yoon, 1985) بر اثر پرتوتابی بـا دوزهـای ۰/۰۵ تـا ۰/۵ کیلـوگری پرتـو گامـا، تـشکیل دی‌آلیل دی سولفید به‌عنوان ترکیـب اصـلی عطـر و طعـم دهندهٔ سیر را به تدریج کـاهش دادنـد. در سـیرهای انبـار شده، دوز ۱ کیلوگری برای مـدت ۵ مـاه، اثـر انـدکی روی دی‌آلیل دی‌سولفید داشت ولـی دوزهـای بـالاتر پرتوتـابی موجب کاهش مقدار ترکیب شد.

سسی و همکاران (Ceci *et al.*, 1992) مشاهده کردند که بر اثر پرتوتابی سیر با دوز ۵۰ گـری پرتـو گامـا پـس از ۱۸۰ روز نگهداری در انبار، پیرووات آنزیمی و ترکیب‌هـای گوگردی اولیه در سیرهای پرتو دیده و شاهد کاهش یافت، ولی گاماگلوتامیل تـرانس پپتیـداز، افـت وزنـی تجمعـی و پیرووات غیرآنزیمی در هر دو نمونه بـه‌علـت فعالیـت‌هـای زیستی و نرم شدن بافت سیرچه‌ها افزایش نـشان داد، کـه نرخ افزایش در سیرهای پرتو دیده کمتر بود.

کرزیـو و اریوسـته (Curzio & Urioste, 1994) بـا فرایند پرتوتابی، سبب افزایش مانـدگاری ۱۴ رقـم پیـاز و یـک رقـم سـیر شـدند و پیازهـای پرتـو دیـده از نظـر خصوصیات ظاهری و بافت دارای کیفیـت بـسیار مناسـبی بود و اختلاف معنی‌داری بـین ترکیـب‌هـای عطـر و طعـم دهندهٔ آنها و نمونه‌های شـاهد وجـود نداشـت. بـه‌صـورت طبیعی همزمان بـا رشـد جوانـه‌هـا در سـوخ سـیر مقـدار چربی‌ها و اسـیدهای چـرب افـزایش مـی‌یابـد و پرتوتـابی، سرعت انجام چنین فرایندی را کاهش می‌دهد یا به تـأخیر می‌اندازد. پرتوتابی سیر نیـز بـا دوز ۶۰ گـری اشـعه گامـا نشان داد، که ۱۵۰ و ۲۴۰ روز پس از برداشت و همزمان بـا توقف جوانه‌زنی، مقدار اسیدهای چرب شامل فسفولیپیدها، گلیکولیپیدها و چربـی‌هـای طبیعـی بـه‌صـورت معنـی‌دار کاهش می‌یابد (Perez *et al.*,1998 & 2007).

هدف از این تحقیق نیز تعیین زمان و مقادیر مناسـب پرتوتابی سیر سفید همدان برای کاهش افـت ویژگـی‌هـای کمی و کیفی در مدت نگهداری در انبار و مهار جوانـه‌زنـی آنهـا بـه‌منظـور امکـان اسـتفاده در زمـان‌هـای کمبـود سیر است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر زمان و دوزهای مختلـف پرتوتـابی بـر ماندگاری تودهٔ سیر سـفید همـدان طـی سـال‌هـای ۸۸ – ۱۳۸۵، پروژهٔ تحقیقـاتی در مرکـز تحقیقـات کـشاورزی و منابع طبیعی همـدان بـه‌صـورت مـشترک بـا پژوهـشکدهٔ تحقیقات کـشاورزی، پزشـکی و صـنعتی کـرج اجـرا شـد. به‌این‌منظور توده سیر سفید همدان پس از قطع آبیاری در اواسط تیر مـاه و همزمـان بـا زرد شـدن بـرگ‌هـای سـیر، برداشت شد و جهت خشک شدن بر روی طبق‌های سیمی در سایه قرار گرفت.

عملیات خشک شدن تا حدی انجام شـد کـه رطوبـت سیرچه‌ها از ۱ ± ۶۶ بـه ۱ ± ۶۳ درصـد و رطوبـت پوسـته سـیرچه‌هـا از ۲ ± ۶۷ بـه ۲ ±۲۰ درصـد رسـید و گـردن

1 - Alkyl L-cystein sulfoxide lyase
2 – Alliinase
3 - Thiosulphinates
4- Pyruvic acid
5 - Ammonia

پیازهای سیر به‌طور کامل بسته شد (Bayat & Nosrati, 2009). ۳۰ و ۴۵ روز پس از برداشت (Kwon *et al.*, 1985)، سوخ‌های سیر درون کیسه‌های توری ۱/۵ کیلوگرمی بسته بندی شدند و با دوزهای ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، و ۱۵۰ گری (Cho *et al.*, Lustre *et al.*, 1982 & Kwon *et al.*, 1985; 1984) پرتوهای الکترون سریع در مرکز پرتو فرایند یزد تیمار شدند. به‌منظور بررسی اثر فرایند پرتوتابی بر ویژگی‌های کمی و کیفی از جمله ترکیب‌های عطر و طعم دهندهٔ سیر، ۷ تا ۱۰ روز پس از پرتوتابی، عوامل زیر برای آنها اندازه‌گیری شد.

اسید پیرووِیک کل

۵۰ گرم سیرچه با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب، درون مخلوط‌کن یکنواخت شد. پس از ده دقیقه عصارهٔ به‌دست آمده با عبور از کاغذ صافی، ۱۰ مرتبه رقیق شد. به ۵۰ میکرولیتر از عصارهٔ صاف و رقیق شده، ۲ میلی‌لیتر آب و سپس ۲ میلی‌لیتر معرف ۲ و۴- دی نیترو فنیل هیدرازین، ۰/۲۵ گرم بر لیتر اسید کلریدریک ۱ مولار افزوده، برای مدت ده دقیقه در بن‌ماری ۳۷ درجه سلسیوس قرار گرفتند. در پایان، با افزودن ۲ میلی‌لیتر سود ۱/۵ مولار به لوله‌های آزمایش، پیرووات کل در حضور محلول‌های استاندارد ۱، ۲، ۳، ۴، و ۵ میکرومول بر میلی‌لیتر از پیروات سدیم، در طول موج ۵۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر(طیف نورسنج) (pharmacia biotech مدل Novaspec II) ساخت انگلستان اندازه‌گیری شد (Anthon & Barrett, 2003).

پیرووات غیرآنزیمی یا پایه

۳۰ گرم سیرچه با ۹۰ میلی‌لیتر اسید تری کلرو استیک ۵ درصد به‌طور کامل مخلوط گردید و پس از یک ساعت از کاغذ صافی عبور داده شد و مراحل بند ۱ بر روی آن انجام شد. پیرووات آنزیمی از تفاضل پیرووات کل و غیر آنزیمی محاسبه شد (Bacon *et al.*, 1999).

تغییرات رنگ سیرچه

به ۱۰ میلی‌لیتر از عصارهٔ زیر صافی (تهیه شده برای اندازه‌گیری پیرووات کل)، ۱۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۰ درصد افزوده، در سانتریفوژ (Hermle مدل Z200A) ساخت آلمان با ۳۵۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت. مقدار جذب عصارهٔ حاصل، در طول موج ۴۲۰ نانومتر در حضور نمونهٔ شاهد (۱۰ میلی‌لیتر آب و ۱۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۰ درصد) پس از ۲۴ ساعت نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد (Moreira *et al.*, 1987).

سفتی بافت

این اندازه‌گیری به‌وسیله دستگاه بافت‌سنج (THE–Hounsfield مدل H5KS) ساخت انگلستان انجام شد. به‌این‌منظور سیرچه‌هایی با وزن ۰/۵ ± ۵/۵ گرم انتخاب شد و نیروی مورد نیاز برای نفوذ میله (پروب) به قطر ۳/۲ میلی‌متر و با سرعت پیشروی ۲۰ میلی‌متر در دقیقه (به‌منظور جابجایی تا عمق ۵ میلی‌متر) به درون بافت سیرچه‌ها اندازه‌گیری شد (Cantwell *et al.*, 2000). مقاومت (تنش) فشاری نیز از رابطه $P = F/\pi r^2$ محاسبه شد که در آن؛

P= تنش فشاری؛ F=مقدار بیشینه نیرو برای نفوذ میله؛ و r=شعاع میله است.

قابلیت نگهداری سیر در انبار

سوخ‌های سیر به‌مدت ۸ تا ۱۰ ماه در دو شرایط، انبار بدون کنترل دما و رطوبت نسبی (دمای ۴ تا ۲۵ درجه

سلسیوس و رطوبت نسبی ۳۵ تا ۵۵ درصد) و انبار سرد با شرایط کنترل شده (دمای ۰ تا ۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۰ تا ۶۵ درصد) نگهداری شدند. هر دو ماه یک مرتبه افزون بر فاکتورهای یاد شده در بندهای ۱ تا ۴ درصد سیرچه‌هایی با علایم جوانه‌زنی، ریشه‌زنی، چروکیدگی و پوک‌شدگی برای هر تیمار اندازه‌گیری شد. این اندازه‌گیری‌ها دست‌کم برای ۲۵ سیرچه انتخابی به‌صورت تصادفی، انجام گرفت و جوانه‌زنی و ریشه‌زنی بر اساس جوانه یا ریشه خارج شده از سیرچه به طول بیش از یک میلی‌متر در نظرگرفته شد. درصد افت وزنی نیز برای هر تیمار بر اساس اختلاف وزن نسبت به وزن اولیه محاسبه شد (Kwon *et al.*, 1985). افت وزنی تجمعی از مجموع افت وزن‌های ماهیانه محاسبه شد و افت وزنی در هفته، از مقدار افت وزنی تجمعی در مدت ۳۰۰ روز، و میانگین آن برای ۷ روز محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌ها بر اساس آزمایش کرت‌های خرد شده[1] در مکان و زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، تجزیه آماری شدند و میانگین کلیه داده‌ها با آزمون دانکن[2] و در سطح ۵ درصد با یکدیگر مقایسه شد. این تحقیق به‌مدت ۲ سال اجرا شد و در پایان، داده‌ها با تجزیه مرکب با یکدیگر مقایسه شدند.

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزارهای MSTATC و SPSS و برای رسم نمودارها از نرم افزارEXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

جوانه‌زنی

جوانه‌زنی از مهم‌ترین تلفات انباری در پیازها محسوب می‌شود که سبب خروج رطوبت و ماده خشک و به‌دنبال آن افت کیفیت بازار پسندی محصول می‌شود (Weichman, 1992). پرتوتابی الکترونی سریع از دوز ۲۵ گری به بالا، جوانه زنی بیرونی در سوخ‌های سیر را به‌طور کامل مهار کرد و این پدیده فقط در تیمارهای شاهد (پرتو ندیده) مشاهده شد (شکل ۱).

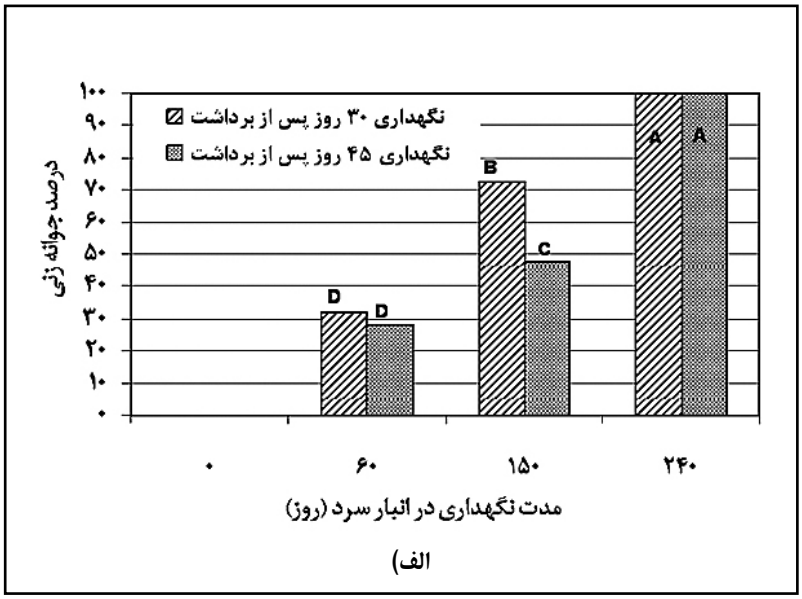
کوان و همکاران (Kwon, *et al.*, 1984) با دوزهای ۱۰۰، و ۱۵۰ گری، چو و همکاران (Cho *et al.*, 1984) با دوزهای ۵۰، ۱۰۰، و ۱۵۰ گری، وحید و همکاران (Wahid *et al.*, 1990) با دوزهای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، و ۲۰۰ گری و پرز و همکاران (Perez *et al.*, 1998 & 2007) با دوز ۶۰ گری، جوانه‌زنی سیر را در مدت نگهداری به‌طور کامل مهار کردند که با نتایج این گزارش مطابقت دارد.

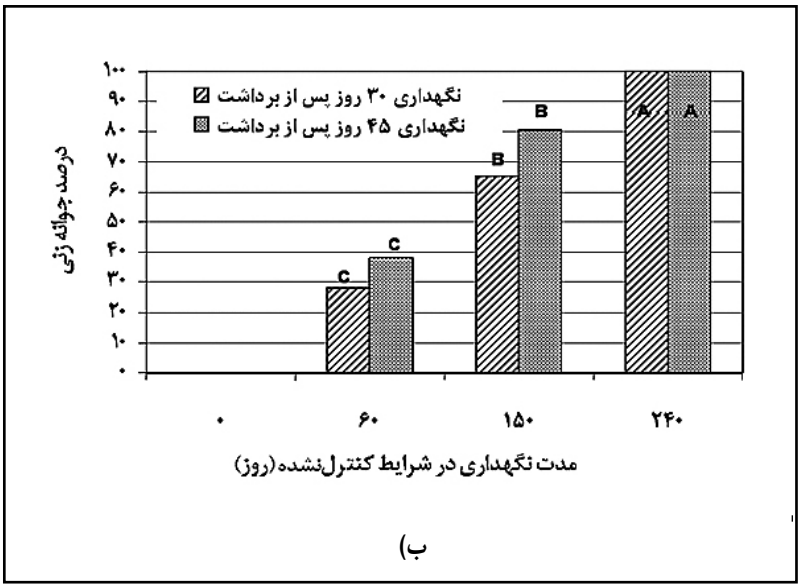
پلگرینی و همکاران (Pellegrini *et al.*, 2000) با دوز ۱۰ گری پرتو گاما جوانه‌زنی و تقسیم سلولی را کاهش دادند، ولی در این مطالعه کمترین دوز مورد استفاده ۲۵ گری بود که در آن جوانه زنی بیرونی به‌طور کامل مهار شد.

سوخ سیر در زمان جوانه‌زنی از مشتقات آمینواسید ناشی از تخریب و تجزیه ترکیب‌های عطر و طعم‌دهنده به‌عنوان منبع ازت استفاده می‌کند که به‌دنبال آن افت وزنی و فعالیت‌های متابولیک افزایش می‌یابد (Freeman & whenham, 1976).

1 - Split plot

2 - Duncan's Multiple Range Test





شکل ۱- درصد جوانه زنی تیمار پرتو ندیده (شاهد) سیر سفید در مدت نگهداری در انبار سرد (الف) و شرایط کنترل نشده (ب)

افت وزنی

افت وزنی سیر سفید در کلیه تیمارها در مدت نگهداری در انبار به‌علت تبخیر و خروج رطوبت در محصول افزایش یافت (جدول ۱).

خروج رطوبت در سوخ‌های سیر به‌علت کمبود رطوبت نسبی است که قسمت عمده افت وزنی را به‌وجود می‌آورد (Weichman, 1992). بین افت وزنی تیمار شاهد و دوزهای مختلف در هر دو زمان پرتوتابی یعنی ۳۰ و ۴۵ روز پس از برداشت، اختلاف معنی‌دار وجود دارد و تیمارهای پرتودیده به‌دلیل اثر کنترل کنندگی پرتوتابی بر تنفس و جوانه‌زنی، مقادیرکمتری از افت وزنی را به خود اختصاص دادند. با افزایش دوز، کاهش در افت وزنی در هر دو زمان پرتوتابی مشاهده شد (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه میانگین درصد افت وزنی تجمعی سیر سفید پرتوتابی شده در دو شرایط نگهداری

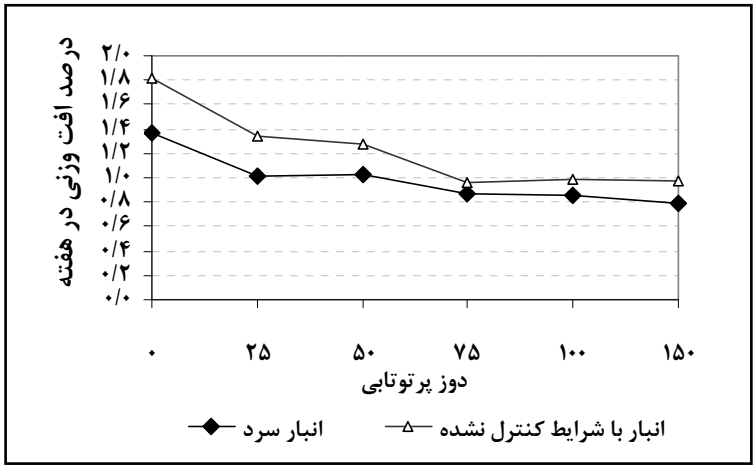
شرایط نگهداری	مدت نگهداری (روز)	دوزهای پرتوتابی (گری) در زمان ۳۰ روز پس از برداشت						میانگین	دوزهای پرتوتابی (گری) در زمان ۴۵ روز پس از برداشت						میانگین
		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	
انبار سرد	۰	l ۰/۰۰	l ۰/۰۰	l ۰/۰۰	l ۰/۰۰	l ۰/۰۰	l ۰/۰۰	۰/۰۰e	l ۰/۰۰	l ۰/۰۰	l ۰/۰۰	l ۰/۰۰	l ۰/۰۰	l ۰/۰۰	۰/۰۰e
	۶۰	k ۴/۳۰	k ۳/۹۳	k ۳/۹۷	k ۴/۰۵	k ۳/۴۴	k ۳/۴۸	۳/۸۶d	jk ۵/۶۸	k ۴/۲۷	k ۴/۵۴	k ۴/۰۸	k ۳/۷۰	k ۳/۶۵	۴/۳۲d
	۱۲۰	gh ۱۲/۲۹	hi ۹/۷۷	hi ۱۰/۰۲	hi ۹/۶۰	i ۸/۹۸	i ۸/۷۵	۹/۹۰c	g ۱۲/۸۳	hi ۹/۶۰	hi ۹/۷۰	i ۸/۶۰	ij ۸/۱۳	ij ۷/۸۰	۹/۴۴c
	۲۴۰	a ۳۱/۹۶	bc ۲۳/۸۴	b ۲۴/۵۴	bcde ۲۲/۰۹	cde ۲۱/۵۰	de ۲۰/۶۳	۲۴/۰۹a	a ۳۱/۶۷	cde ۲۱/۳۱	bcd ۲۳/۳۱	ef ۱۹/۵۲	bc ۲۴/۱۴	f ۱۷/۴۷	۲۲/۹b
	میانگین	۱۲/۱a	۹/۴b	۹/۶b	۸/۹b	۸/۵bc	۸/۲bc		۱۲/۶a	۸/۸b	۹/۴b	۸/۱bc	۸/۱bc	۷/۲c	
شرایط کنترل نشده	۰	r ۰/۰۰	r ۰/۰۰	r ۰/۰۰	r ۰/۰۰	r ۰/۰۰	r ۰/۰۰	۰/۰۰g	r ۰/۰۰	r ۰/۰۰	r ۰/۰۰	r ۰/۰۰	r ۰/۰۰	r ۰/۰۰	۰/۰۰g
	۶۰	l ۱۰/۰۸	mn ۷/۸۷	nopq ۶/۵۵	pq ۵/۹۱	q ۵/۲۶	q ۵/۳۸	۶/۸۴f	kl ۱۰/۵۷	m ۷/۹۷	mno ۷/۴۲	mnop ۶/۸۲	opq ۶/۳۶	opq ۶/۲۷	۷/۵۷e
	۱۲۰	i ۱۴/۱۰	jk ۱۱/۵۶	kl ۱۰/۵۶	l ۹/۸۱	l ۹/۶۵	kl ۱۰/۲۳	۱۰/۹۸d	h ۱۹/۲۴	I ۱۴/۹۲	i ۱۴/۸۵	i ۱۳/۶۸	j ۱۲/۳۹	i ۱۴/۰۷	۱۴/۸۶c
	۲۴۰	b ۲۸/۸۶	efg ۲۲/۵۳	efg ۲۲/۳۷	g ۲۱/۱۸	fg ۲۱/۹۶	de ۲۳/۴۷	۲۳/۴۰b	a ۳۰/۲۰	def ۲۳/۲۶	cd ۲۴/۲۷	def ۲۳/۳۵	efg ۲۲/۱۲	c ۲۵/۱۷	۲۴/۷۳a
	میانگین	b ۱۳/۲۶	cde ۱۰/۴۹	de ۹/۸۷	e ۹/۲۳	e ۹/۲۲	de ۹/۷۷		a ۱۵/۰۰	c ۱۱/۵۴	c ۱۱/۶۳	cd ۱۰/۹۶	cde ۱۰/۲۲	c ۱۱/۳۸	

حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد است.

افت وزنی تیمار ۱۵۰ گری سیر سفید، ۲۴۰ روز پس از نگهداری در انبار سرد نسبت به تیمار شاهد در زمان‌های اول و دوم پرتوتابی به‌ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد و در انبار با شرایط کنترل نشده، برای هر دو زمان پرتوتابی بیش از ۵ درصد کاهش یافت. نتایج مشابهی به‌وسیله کوآن و همکاران (Kwon *et al.*, 1985) مشاهده شد، آنها در شرایط دمایی ۵ ± ۱۰ درجه سلسیوس پس از ۲۸۵ روز نگهداری، افت وزنی سوخ‌های پرتوتابی شده با دوز ۱۵۰ گری را ۶ درصد کمتر از شاهد گزارش کردند. کروسی و کرزیو (Croci & Curzio, 1983) نیز افت وزنی ۲۴ درصد را پس از ۳۰۰ روز نگهداری در سوخ‌های پرتو دیده مشاهده کردند. چو و همکاران (Cho *et al.*, 1984) نیز با دوز ۱۰۰ گری، افت وزنی سیر را پس از ۱۰ ماه، ۲۵ تا ۵۴ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند.

میانگین درصد افت وزنی سیر در هفته برای تیمارهای پرتودیده و شاهد به‌مدت ۱۰ ماه نگهداری در شرایط انبارهای سرد و کنترل نشده (شکل ۲) نشان داد که بیشترین افت وزنی به تیمار شاهد اختصاص داشت و تیمارهای پرتو دیده افت وزنی کمتری داشتند. بوتچر و گوانتر (Boettcher & Guenther, 1994) مقدار افت وزنی سوخ‌های سیر سفید را در شرایط تهویه طبیعی ۰/۵ درصد در هفته و موریس (Morris, 2001) در شرایط مناسب نگهداری (دمای ۰ تا ۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵ تا ۷۰ درصد)، ۰/۴ درصد در هفته گزارش داد.

در گزارش اخیر آمده است؛ اگر مقدار افت وزنی در هفته کمتر از ۱ درصد باشد، افت وزنی پایین، بین ۱/۱ تا ۳/۴ درصد، افت وزنی متوسط و اگر بیش از ۳/۵ درصد باشد، افت وزنی سوخ ها بالا است. در این مطالعه نیز میانگین افت وزنی در هفته برای مدت ۳۰۰ روز نگهداری در انبار (شکل ۲) نشان می‌دهد که مقدار آن برای تیمارهای پرتو دیده با دوزهای ۵۰ گری و بالاتر در شرایط انبار سرد، ۰/۶ تا ۰/۹ درصد در هفته است، ولی مقدار افت وزنی تیمارهای پرتو دیده در انبار با شرایط کنترل نشده و با دوزهای ۷۵ گری و بالاتر در محدودهٔ پایین یعنی کمتر از ۱ درصد در هفته قرار دارد. تیمار شاهد با ۱/۴ تا ۱/۸ درصد افت وزنی در هفته محدودهٔ افت وزنی متوسط را به خود اختصاص داده است.



شکل ۲- میانگین افت وزنی در هفته برای سوخ‌های پرتو دیده در زمان ۳۰ روز پس از برداشت و در مدت ۱۰ ماه نگهداری در انبار

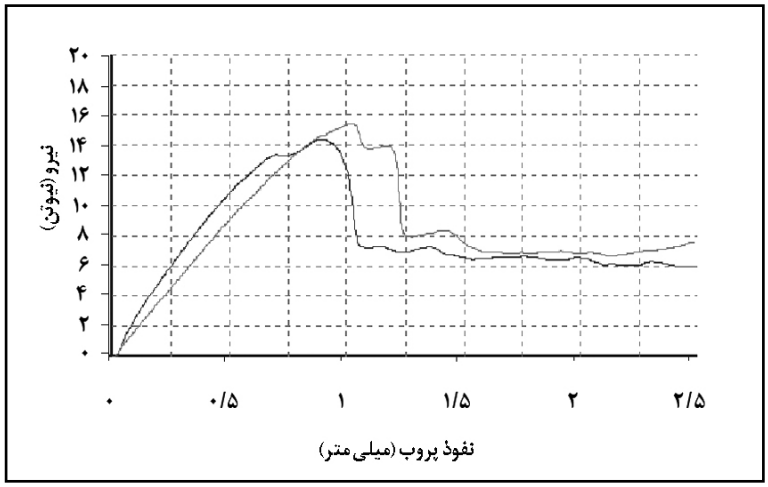
سفتی بافت سیرچه‌ها

منحنی نفوذ برای اندازه‌گیری سفتی بافت از رابطهٔ نیروی لازم برای فشار دادن میله (پروب) نسبت به تغییر مکان میله درون بافت سیرچه به‌دست آمده است (شکل ۳). سفتی بافت سیر که بر حسب مقدار بیشینه نیرو بر سطح مقطع میله محاسبه شده است، در مدت نگهداری در انبار سرد و شرایط کنترل نشده در هر دو زمان پرتوتابی کاهش یافت (جدول۲) و این کاهش برای تیمار شاهد (پرتو ندیده) در انبار سرد کندتر از دوزهای مختلف پرتوتابیده بود. سفتی بافت شاهد در انبار با شرایط کنترل نشده پس از ۱۲۰ روز نگهداری در هر دو زمان پرتوتابی افزایش یافت که علت آن خشک شدن بافت سیرچه‌ها به‌دلیل خروج رطوبت و افت وزنی در سیر است که به‌ویژه پس از ۱۲۰ روز نگهداری در انبار مشاهده شد. این پدیده به‌وسیله بیات (Bayat, 2004 & 2009) نیز گزارش شد. بین مقادیر سفتی بافت دوزهای مختلف پرتوتابی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت، ولی از نظر عددی سفتی بافت دوزهای ۵۰ گری و بالاتر در انبار سرد و دوزهای ۷۵ گری و بالاتر در انبار با شرایط کنترل نشده، بیشترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. بین مقادیر سفتی بافت سیرچه‌ها در هر دو شرایط نگهداری و در دو زمان پرتوتابی یعنی ۳۰ و ۴۵ روز پس از برداشت، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد.

تغییرات رنگ

تغییرات رنگ سیرچه‌ها در مدت نگهداری در انبار به‌دلیل فعالیت‌های آنزیمی و نرم شدن بافت سیرچه‌ها افزایش نشان داد (جدول ۳). تغییرات رنگ در زمان دوم پرتوتابی یعنی ۴۵ روز پس از برداشت بیش از زمان اول پرتوتابی، یعنی ۳۰ روز پس از برداشت، مشاهده شد.

به‌استثنای مرحله اول پرتوتابی در شرایط انبار سرد، تغییرات رنگ در تیمار شاهد به‌صورت معنی‌داری بیش از دوزهای مختلف پرتوتابی بود (جدول ۳)، به عبارت دیگر با فرایند پرتوتابی می‌توان روند فزاینده تغییرات رنگ در سیرچه‌ها را در مدت نگهداری به‌ویژه در انبار با شرایط کنترل نشده مهار کرد که با نتایج وحید و همکاران (Wahid *et al.*, 1990) مطابقت دارد.



شکل ۳- نمونه‌ای از دو منحنی آزمون نفوذ در تعیین سفتی بافت سیرچه

جدول ۲- مقایسه میانگین سفتی بافت × 10^{5} (نیوتن بر متر مربع) سیر سفید پرتوتابی شده در در دو شرایط نگهداری

شرایط نگهداری	مدت نگهداری (روز)	دوزهای پرتوتابی (گری) در ۳۰ روز پس از برداشت						میانگین	دوزهای پرتوتابی (گری) در ۴۵ روز پس از برداشت						میانگین
		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	
انبار سرد	۰	abc ۲۱/۰۳	abcde ۲۰/۴۵	a ۲۲/۰۲	ab ۲۱/۷۰	a ۲۲/۳۰	a ۲۱/۹۴	b ۲۱/۵۷	a ۲۲/۶۱	ab ۲۱/۸۵	a ۲۲/۶۰	a ۲۲/۹۲	a ۲۲/۲۱	a ۲۳/۰۰	a ۲۲/۵۳
	۶۰	fghijk ۱۷/۵۶	fghijkl ۱۷/۲۵	cdefg ۱۸/۸۸	defghi ۱۸/۴۱	abcd ۲۰/۸۵	defgh ۱۸/۵۹	c ۱۸/۵۹	fghijk ۱۷/۴۱	ghijklm ۱۶/۶۵	efghij ۱۸/۳۲	bcdef ۱۹/۴۴	fghijk ۱۷/۳۴	fghijk ۱۷/۷۱	c ۱۷/۸۱
	۱۲۰	ijklmn ۱۵/۷۷	ijklm ۱۵/۹۱	mnop ۱۴/۰۸	ghijkl ۱۶/۷۲	hijklm ۱۶/۰۴	fghijkl ۱۷/۰۶	d ۱۵/۹۳	ghijklm ۱۶/۵۱	pqr ۱۲/۷۳	klmn ۱۵/۵۷	ghijklm ۱۶/۴۸	klmno ۱۵/۲۱	jklmn ۱۵/۷۳	d ۱۵/۳۷
	۲۴۰	lmnop ۱۴/۶۳	rs ۱۰/۲۲	pqrs ۱۲/۵۹	pqr ۱۲/۶۶	opq ۱۳/۰۷	nopq ۱۳/۳۹	e ۱۲/۷۶	fghijkl ۱۷/۱۴	s ۱۰/۱۳	qrs ۱۱/۲۹	pqrs ۱۲/۵۵	pqrs ۱۲/۲۶	qrs ۱۱/۳۸	e ۱۲/۴۶
	میانگین	۱۷/۲۵abc	۱۵/۹۶cd	۱۶/۸۹bc	۱۷/۳۷abc	۱۸/۰۷ab	۱۷/۷۵ab		۱۸/۴۲a	۱۵/۳۴d	۱۶/۹۴bc	۱۷/۸۵abc	۱۶/۷۶bc	۱۶/۹۶bc	
شرایط کنترل نشده	۰	a ۲۰/۹۷	a ۲۰/۳۹	a ۲۱/۹۵	a ۲۱/۶۳	a ۲۲/۲۳	a ۲۱/۸۷	a ۲۱/۵۰	a ۲۲/۵۴	a ۲۱/۷۸	a ۲۲/۵۳	a ۲۲/۸۴	a ۲۲/۱۴	a ۲۲/۹۳	a ۲۲/۴۶
	۶۰	defghij ۱۳/۹۶	bcde ۱۵/۸۸	bcdefg ۱۵/۲۱	bcdef ۱۵/۴۲	bc ۱۶/۸۲	bcde ۱۵/۹۴	b ۱۵/۵۴	defghij ۱۳/۸۴	bcd ۱۶/۴۲	bcdefgh ۱۴/۴۷	bcde ۱۶/۰۱	bcdef ۱۵/۳۷	b ۱۷/۰۷	b ۱۵/۵۳
	۱۲۰	defghijk ۱۳/۶۴	lmno ۱۰/۶۷	fghijkl ۱۲/۷۶	defghijk ۱۳/۷۱	ghijklm ۱۲/۵۲	jklmno ۱۱/۱۸	cd ۱۲/۴۱	efghijkl ۱۳/۲۹	fghijkl ۱۲/۷۶	hijklmno ۱۲/۱۱	cdefghi ۱۴/۱۶	defghij ۱۳/۸۲	efghijk ۱۳/۵۸	c ۱۳/۲۹
	۲۴۰	a ۲۰/۴۸	no ۹/۴۸	mno ۹/۸۲	ijklmno ۱۱/۵۰	ijklmno ۱۱/۳۳	mno ۹/۸۹	d ۱۲/۰۸	b ۱۷/۱۰	o ۹/۳۷	klmno ۱۰/۹۴	lmno ۱۰/۵۳	lmno ۱۰/۱۷	hijklmn ۱۲/۲۴	d ۱۱/۸۱
	میانگین	۱۷/۳a	۱۴/۱e	۱۴/۹de	۱۵/۶bcd	۱۵/۷bcd	۱۴/۷de		۱۶/۷ab	۱۵/۱cde	۱۵/۰de	۱۵/۹bcd	۱۵/۵bcd	۱۶/۵abc	

حروف غیر مشابه نشان دهندهٔ وجود اختلاف بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد است

جدول ۳- مقایسه میانگین تغییرات رنگ (بر اساس جذب نور در ٤٢٠ نانومتر) سیر سفید پرتوتابی شده در دو شرایط نگهداری

شرایط نگهداری	مدت نگهداری (روز)	دوزهای پرتوتابی (گری) در زمان ۳۰ روز پس از برداشت						میانگین	دوزهای پرتوتابی (گری) در زمان ۴۵ روز پس از برداشت						میانگین
		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	
انبار سرد	۰	q ۰/۱۶۹	q ۰/۱۴۲	q ۰/۱۶۶	q ۰/۱۴۹	pq ۰/۱۸۶	opq ۰/۱۹۶	e ۰/۱۶۸	q ۰/۱۸۳	q ۰/۱۶۶	q ۰/۱۸۰	q ۰/۱۶۲	q ۰/۱۶۲	q ۰/۱۷۰	e ۰/۱۷۰
	۶۰	mno ۰/۲۵۱	lmn ۰/۲۵۹	mno ۰/۲۵۲	nop ۰/۲۴۰	nop ۰/۲۴۲	mno ۰/۲۵۲	d ۰/۲۴۹	jk ۰/۳۲۵	kl ۰/۳۱۱	kl ۰/۳۱۰	jk ۰/۳۲۴	jk ۰/۳۳۱	ijk ۰/۳۵۸	c ۰/۳۲۶
	۱۲۰	ij ۰/۳۸۴	klm ۰/۳۰۶	ijk ۰/۳۵۴	ijk ۰/۳۵۰	ijk ۰/۳۴۴	jk ۰/۳۳۳	c ۰/۳۴۵	i ۰/۳۹۸	jk ۰/۳۳۵	jk ۰/۳۳۱	ijk ۰/۳۵۲	ijk ۰/۳۶۳	i ۰/۴۰۳	c ۰/۳۶۴
	۲۴۰	h ۰/۴۶۶	g ۰/۵۶۷	f ۰/۶۳۰	fg ۰/۶۰۲	e ۰/۷۵۴	g ۰/۵۵۰	b ۰/۵۹۵	a ۱/۰۳۹	b ۰/۹۸۴	c ۰/۸۹۸	ab ۰/۹۹۳	de ۰/۸۰۳	d ۰/۸۳۱	a ۰/۹۲۵
	میانگین	f ۰/۳۱۸	f ۰/۳۱۸	e ۰/۳۵	ef ۰/۳۳۶	d ۰/۳۸۱	ef ۰/۳۳۳		a ۰/۴۸۶	b ۰/۴۴۹	bc ۰/۴۳۰	b ۰/۴۵۸	c ۰/۴۱۵	bc ۰/۴۴۰	
شرایط کنترل نشده	۰	st ۰/۱۶۹	t ۰/۱۴۲	st ۰/۱۶۶	t ۰/۱۴۹	qrst ۰/۱۸۶	pqrst ۰/۱۹۵	g ۰/۱۶۸	rst ۰/۱۸۳	St ۰/۱۶۶	st ۰/۱۸۰	st ۰/۱۶۲	st ۰/۱۶۳	st ۰/۱۷۰	g ۰/۱۷۰
	۶۰	nopqr ۰/۲۳۹	mnop ۰/۲۵۱	opqrs ۰/۲۲۰	mnopq ۰/۲۴۲	ijkl ۰/۳۳۲	jklm ۰/۲۹۹	f ۰/۲۶۴	ijk ۰/۳۳۸	klmn ۰/۲۸۵	lmno ۰/۲۷۲	lmno ۰/۲۷۳	ijkl ۰/۳۲۱	ijkl ۰/۳۱۱	e ۰/۳۰۰
	۱۲۰	hi ۰/۳۶۳	ijkl ۰/۳۱۸	ij ۰/۳۵۰	hi ۰/۳۶۲	hi ۰/۳۶۶	hi ۰/۳۶۷	d ۰/۳۵۴	gh ۰/۴۲۰	Hi ۰/۳۷۳	ij ۰/۳۴۵	hi ۰/۳۷۰	hi ۰/۳۶۷	ij ۰/۳۵۴	c ۰/۳۷۱
	۲۴۰	b ۰/۷۱۷	c ۰/۵۸۸	cd ۰/۵۵۲	ef ۰/۴۸۴	fg ۰/۴۴۶	fg ۰/۴۴۰	b ۰/۵۳۸	a ۰/۸۲۷	c ۰/۵۹۲	c ۰/۵۷۷	de ۰/۵۱۶	cd ۰/۵۶۷	c ۰/۵۷۳	a ۰/۶۰۹
	میانگین	b ۰/۳۷۲	def ۰/۳۲۵	ef ۰/۳۲۲	f ۰/۳۰۹	de ۰/۳۳۳	def ۰/۳۲۵		a ۰/۴۴۲	Bc ۰/۳۵۴	cd ۰/۳۴۴	de ۰/۳۳۰	bc ۰/۳۵۴	bc ۰/۳۵۲	

حروف غیر مشابه نشان دهندهٔ وجود اختلاف بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد است.

ترکیب‌های عطر و طعم دهنده

پیرووات شاخص اندازه‌گیری ترکیب‌های عطر و طعم دهنده در سوخ‌های سیر است و نشان می‌دهد که پیش‌ماده‌های عطر و طعم دهندهٔ سیر که ماده اولیه مناسبی برای آنزیم آلی‌اینیاز هستند به ترکیب‌های عطر و طعم دهنده و محصول فرعی حاصل از این واکنش آنزیمی یعنی پیرووات تبدیل می‌شوند (Whitaker, 1976)، بنابراین در مدت نگهداری در انبار به‌ویژه در ۱۲۰ روز اول نگهداری، پیرووات کل، به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت (جدول ۴). در انتهای دورهٔ نگهداری در هر دو شرایط، روند تولید این ترکیب به‌ویژه در زمان اول پرتوتابی یعنی ۳۰ روز پس از برداشت کندتر شد یا روند کاهشی داشت. کند یا منفی شدن این روند به‌علت تجزیه آنزیمی ترکیب‌های غیر عطر و طعم دهنده پپتیدهای گاماگلوتامیل[1] سیر است که بر اثر آنزیم پپتیداز به پیش‌ماده‌های عطر و طعم دهنده که مادهٔ اولیه مناسبی برای فعالیت آنزیم آلی‌اینیاز هستند، تبدیل می‌شوند، در نتیجه عمل تجزیه‌ای آنزیم آلی‌اینیاز بر روی پیش‌ماده‌های عطر و طعم دهندهٔ سیر کاهش می‌یابد (Matikkala & Virtanen, 1965). سسی و همکاران (Ceci *et al.*, 1991) نیز گزارش دادند که مقدار اسیدپیرووییک سوخ‌های سیر تا ۱۸۰ روز پس از نگهداری، افزایش، و پس از آن کاهش می‌یابد. بین مقادیر پیرووات کل دوزهای مختلف پرتوتابی سیر سفید در مدت نگهداری در انبارهای سرد و کنترل نشده اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد که با نتایج ارائه شده به‌وسیله سسی و همکاران (Ceci *et al.*, 1991) و کرزیو و اریوسته (Curzio & Urioste, 1994) هماهنگ است. در انبار کنترل نشده (جدول ۴) مقدار پیرووات کل تیمار شاهد با دوزهای مختلف پرتوتابی معنی‌دار نیست و در شرایط انبار سرد، مقدار پیرووات کل تیمار شاهد در زمان دوم پرتوتابی به‌صورت معنی‌داری بیش از تیمارهای مختلف پرتوتابی است. مقدار پیرووات غیرآنزیمی در شرایط انبارهای سرد و غیر فنی (جدول ۵) در مدت نگهداری در انبار افزایش یافت و بیشترین مقدار آن در تیمارهای شاهد و دوز ۲۵ گری مشاهده شد ولی مقدار آن در مرحله دوم پرتوتابی بیش از مرحله اول پرتوتابی بود. سسی و همکاران (Ceci *et al.*, 1992) گزارش دادند که پیرووات غیرآنزیمی در نمونه‌های شاهد و پرتوتابی شده به‌علت فعالیت‌های زیستی و نرم شدن بافت سیرچه‌ها افزایش نشان داد که البته نرخ افزایش در سیرچه‌های پرتو دیده کمتر بود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهند که پرتوتابی سیر سفید پس از ۸ ماه نگهداری در انبار اثری بر ترکیب‌های عطر و طعم دهنده ندارد، در مقایسه با تیمار پرتو ندیده، شدت تغییرات رنگ و افت وزنی را کاهش می‌دهد، جوانه‌زنی را به‌طور کامل مهار می‌کند و در نتیجه، نرم شدن بافت سیرچه‌ها نیز کمتر می‌شود. تیمارهایی که بیشترین مقدار ترکیب‌های عطر و طعم دهنده و سفتی بافت و کمترین تغییرات رنگ و افت وزنی را به خود اختصاص دادند، از بهترین تیمارها هستند. بنابراین برای تودهٔ سیر سفید در انبار سرد (شکل ۴- الف)، تیمارهای T30D50، T30D75، T30D100، و T30D150 و برای توده سیر سفید در انبار با شرایط کنترل نشده (شکل ۴- ب) تیمارهای T30D75، T30D100، T30D150، T45D75، و T45D100 از بهترین تیمارها هستند. بنابراین برای پرتوتابی سیر در شرایط انبار سرد، دوز ۵۰ گری و در انبار کنترل نشده، دوز ۷۵ گری در زمان پرتوتابی، ۳۰ روز پس از برداشت، پیشنهاد می‌شود.

جدول ٤- مقایسه میانگین پیرووات کل (میکرومول بر گرم وزن تر) سیر سفید پرتوتابی شده در دو شرایط نگهداری

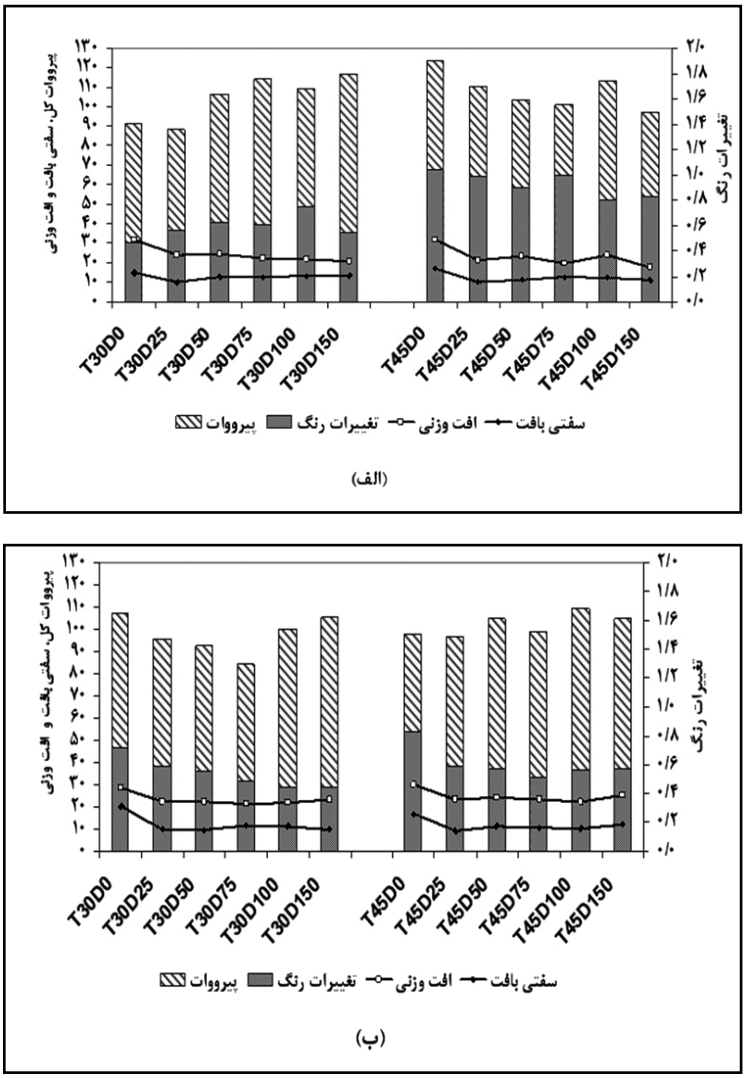
شرایط نگهداری	مدت نگهداری (روز)	دوزهای پرتوتابی(گری) در زمان ۳۰ روز پس از برداشت						میانگین	دوزهای پرتوتابی(گری) در زمان ۴۵ روز پس از برداشت						میانگین
		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	
انبار سرد	۰	qrs	rs	s	s	t	s	f	pqr	opq	pqr	pqr	pqr	pqr	e
		۵۸/۱۰	۵۳/۰۳	۴۶/۲۷	۴۹/۲۷	۳۴/۷۲	۴۹/۷۲	۴۸/۵۲	۶۳/۷۳	۶۶/۰۸	۶۳/۰۵	۶۴/۰۷	۶۳/۱۵	۶۲/۷۳	۶۳/۸۰
	۶۰	klmn	mn	Lmn	ijklmn	no	jklmn	d	jklmn	ijklmn	nop	mn	jklmn	hijklm	d
		۸۳/۳۳	۸۱/۴۸	۸۲/۳۰	۸۷/۷۰	۷۷/۰۲	۸۴/۲۰	۸۲/۶۷	۸۵/۴۲	۸۷/۸۵	۷۵/۰۲	۸۱/۱۰	۸۳/۹۵	۹۱/۴۸	۸۴/۱۴
	۱۲۰	cdefgh	fghijkl	bcdef	hijklm	cdefgh	efghijk	b	abc	ghijklm	hijklm	ijklmn	jklmn	ghijklm	c
		۱۰۲/۲۳	۹۵/۶۸	۱۰۷/۹۰	۹۲/۴۸	۱۰۲/۴۸	۹۶/۶۲	۹۹/۵۷	۱۱۳/۸۷	۹۳/۲۲	۹۲/۸۳	۸۸/۰۸	۸۴/۰۰	۹۳/۶۷	۹۴/۲۸
	۲۴۰	hijklm	ijklmn	bcdefg	abc	bcde	ab	a	a	bcd	cdefgh	cdefghi	abc	defghij	a
		۹۱/۲۸	۸۷/۹۸	۱۰۶/۳۵	۱۱۴/۰۷	۱۰۹/۴۳	۱۱۶/۸۳	۱۰۴/۳۳	۱۲۳/۶۵	۱۱۰/۱۵	۱۰۳/۴۰	۱۰۱/۰۳	۱۱۳/۱	۹۷/۱۷	۱۰۸/۰۸
	میانگین	bcd	d	bcd	bcd	cd	bc		a	b	bcd	bcd	bcd	bcd	
		۸۳/۷۴	۷۹/۵۵	۸۵/۷۰	۸۵/۸۸	۸۰/۹۱	۸۶/۸۴		۹۶/۶۷	۸۹/۳۳	۸۳/۵۸	۸۳/۵۷	۸۶/۰۵	۸۶/۲۶	
شرایط کنترل نشده	۰	uvm	vw	w	w	x	w	f	stuv	rstu	stuv	stuv	stuv	stuv	e
		۵۴/۸۰	۵۰/۶۲	۴۴/۱۷	۴۷/۳۱	۳۳/۰۹	۴۷/۱۶	۴۶/۱۹	۶۰/۴۳	۶۲/۲۶	۵۹/۸۰	۶۰/۷۵	۵۹/۵۳	۵۹/۴۷	۶۰/۳۷
	۶۰	pqrst	qrstu	tuv	nopqr	opqrst	nopqr	d	opqr	mnopq	nopq	lmnopq	nopq	opqrs	c
		۶۸/۰۹	۶۶/۱۰	۵۸/۷۱	۷۲/۹۰	۷۰/۲۲	۷۳/۱۶	۶۸/۲۰	۷۲/۴۴	۷۵/۵۷	۷۴/۳۵	۷۷/۸۲	۷۴/۳۲	۷۰/۷۸	۷۴/۲۱
	۱۲۰	cdefgh	defgh	ghijklm	ijklmno	jklmno	klmnop	b	efghij	fghijkl	fghijkl	lmnopq	efghijk	abcde	b
		۹۳/۹۳	۹۳/۵۲	۸۶/۴۳	۸۱/۹۳	۸۰/۹۶	۷۹/۲۳	۸۵/۹۹	۹۰/۹۹	۸۷/۶۱	۸۷/۲۲	۷۷/۲۸	۸۹/۴۶	۱۰۱/۰۴	۸۸/۹۳
	۲۴۰	ab	bcdefgh	efghi	hijklmn	abcde	abc	a	abcdefg	bcdefg	abcd	abcdef	a	abcd	a
		۱۰۷/۱	۹۵/۷۹	۹۲/۷۰	۸۴/۵۵	۹۹/۸۱	۱۰۵/۳۲	۹۷/۵۵	۹۷/۷۹	۹۶/۴۵	۱۰۴/۵۶	۹۸/۷۳	۱۰۹/۳۱	۱۰۴/۰۰	۱۰۱/۹۷
	میانگین	abcd	cd	f	ef	e	de		abcd	abcd	abc	bcd	ab	a	
		۸۰/۹۸	۷۶/۵۱	۷۰/۵۰	۷۱/۶۷	۷۱/۰۲	۷۶/۲۲		۸۰/۴۱	۸۰/۴۷	۸۱/۴۸	۷۸/۶۵	۸۳/۱۵	۸۴/۰۷	

حروف غیر مشابه نشان دهندهٔ وجود اختلاف بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد است.

جدول ۵- مقایسه میانگین پیرووات غیر آنزیمی (میکرومول بر گرم وزن تر) سیر سفید پرتوتابی شده در دو شرایط نگهداری

شرایط نگهداری	مدت نگهداری (روز)	دوزهای پرتوتابی (گری) در زمان ۳۰ روز پس از برداشت						میانگین	دوزهای پرتوتابی (گری) در زمان ۴۵ روز پس از برداشت						میانگین
		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	
انبار سرد	۰	r ۱/۱۱	r ۱/۱۶	Pqr ۱/۳۹	qr ۱/۲۶	r ۱/۱۱	opqr ۱/۴۶	g ۱/۲۵	qr ۱/۲۴	defghijk ۲/۵۷	cdefghijk ۲/۶۵	mnopq ۱/۸۳	opqr ۱/۴۴	lmnopq ۱/۸۹	e ۱/۹۴
	۶۰	hijklmno ۲/۰۹	qr ۱/۲۷	klmnop ۲/۰۱	nopq ۱/۵۸	nopqr ۱/۵۹	qr ۱/۳۲	f ۱/۶۴	jklmnop ۲/۰۲	defghijk ۲/۵۷	hijklmno ۲/۰۹	fghijklm ۲/۳۰	ghijklmn ۲/۱۸	ijklmno ۲/۰۷	d ۲/۲۱
	۱۳۰	bcdef ۲/۹۲	bcdefg ۲/۷۷	efghijkl ۲/۵۰	defghijk ۲/۵۸	bcdefgh ۲/۷۵	bcde ۳/۱۰	c ۲/۷۷	bcd ۳/۲۰	cdefghijk ۲/۶۱	fghijklm ۲/۲۹	defghijk ۲/۶۰	bcdef ۲/۹۶	bcdefghi ۲/۷۲	c ۲/۷۳
	۲۵۰	b ۳/۳۸	b ۳/۳۸	cdefghijk ۲/۶۲	bcde ۳/۱۶	cdefghij ۲/۶۸	bcd ۳/۲۱	b ۳/۰۷	a ۴/۱۰	a ۴/۲۳	bcde ۳/۰۳	bcd ۳/۱۸	bc ۳/۲۸	bcdef ۲/۹۳	a ۳/۴۶
	میانگین	bcde ۲/۳۷	de ۲/۱۴	de ۲/۱۳	de ۲/۱۵	e ۲/۰۳	cde ۲/۷۳		b ۲/۶۴	a ۳/۰۰	bc ۲/۵۲	bcd ۲/۴۸	bcd ۲/۴۷	bcd ۲/۴۱	bcd
شرایط کنترل نشده	۰	s ۱/۱۱	s ۱/۱۶	opqrs ۱/۳۹	pqrs ۱/۲۶	s ۱/۱۱	opqrs ۱/۴۶	e ۱/۲۵	qrs ۱/۲۴	ijklm ۲/۵۷	hijklm ۲/۶۵	nopqr ۱/۸۳	opqrs ۱/۴۴	nopq ۱/۸۹	d ۱/۹۴
	۶۰	rs ۱/۲۱	opqrs ۱/۴۴	s ۱/۱۱	nopqrs ۱/۷۷	opqrs ۱/۲۹	opqrs ۱/۳۵	e ۱/۳۶	nop ۱/۹۱	jklmn ۲/۴۳	klmn ۲/۳۳	klmn ۲/۳۵	lmn ۲/۲۰	no ۱/۹۳	d ۲/۱۹
	۱۷۵	hijklm ۲/۶۱	defg ۳/۳۵	lmn ۲/۲۰	cdef ۳/۴۲	fghijkl ۲/۸۳	ghijklm ۲/۷۵	bc ۲/۸۶	mn ۲/۱۷	efghi ۳/۱۰	fghijklm ۲/۷۸	fghijk ۲/۹۷	defgh ۳/۲۴	bcd ۳/۸۱	b ۳/۰۱
	۲۶۰	fghij ۳/۲۱	cde ۳/۷۰	mn ۲/۱۵	nopq ۱/۸۸	no ۱/۹۲	fghij ۳/۰۱	c ۲/۶۱	fghijk ۲/۹۴	a ۴/۸۰	ab ۴/۳۴	cde ۳/۶۸	bc ۴/۰۲	bcd ۳/۷۹	a ۳/۹۳
	میانگین	ef ۱/۹۹	cd ۲/۴۱	f ۱/۷۱	def ۲/۰۸	ef ۱/۷۹	de ۲/۱۴		def ۲/۰۷	a ۳/۲۳	ab ۳/۰۳	bc ۲/۷۱	bc ۲/۷۳	b ۲/۸۶	

حروف غیر مشابه نشان دهندهٔ وجود اختلاف بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد است.



شکل ۴- مقایسه پیروووات کل، تغییرات رنگ، افت وزنی و سفتی بافت سیر سفید پرتوتابی شده در دو زمان ۳۰ و ۴۵ روز پس از برداشت الف) انبار سرد ب) انبار با شرایط کنترل نشده (پرتوتابی ۳۰ روز پس از برداشت= T30، پرتوتابی ۴۵ روز پس از برداشت= T45، تیمار شاهد = D0، دوز ۲۵ گری = D25، دوز ۵۰ گری = D50، دوز ۷۵ گری = D75، دوز ۱۰۰ گری = D100 و دوز ۱۵۰ گری = D150).

قدردانی

از سرکار خانم مهتاب زرگران کارشناس مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، آقای مهندس جهانبخش سوری عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان، آقای محمد حسن زارع شاهی کارشناس مرکز پرتو فرایند یزد و آقای محمد بابایی تکنیسین پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج جهت همکاری در اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

Anon. 2010. Base statistics of Jihad -e- Agriculture Organisation of Hamedan. Office of Programming and management of statistics. Jihad -e- Agriculture Organisation of Hamedan Province. (in Farsi)

Anthon, G.E. and Barrett, D.M. 2003. Modified method for determination of pyruvic acid with dinitrophenylhydrazine in the assessment of onion pungency. J. Sci. Food Agric. 83, 1210-1213.

Bacon, J.R., Moates, G.K., Ng, A., Rhodes, M.J.C., Smith A.C. and Waldron, K.W. 1999. Quantitative analysis of flavour precursors and pyruvate levels in different tissues and cultivars of onion (*Allium cepa*). Food Chem. 64, 257-261.

Bayat, F. 2004. Effect of storage duration and conditions on the weight loss and quality of the garlic populations of Hamedan province. J. Agri. Eng. Res. 5(19): 49-62. (in Farsi)

Bayat, F. and Nosrati, A.H. 2009. Effect of harvesting time and drying at natural and artificial conditions on the storability of white garlic (*Allium sativum* L.) ecotype of Hamedan. J. of Medicinal and Aromatic Plants. 25(1): 49-63. (in Farsi)

Boettcher, H. and Guenther, I. 1994. Quality changes of dry garlic (*Allium sativum* L.) during long term storage. I. External quality. Nahrung. 38 (1): 61- 69.

Cantwell, M., Voss, R., Hanson, B., May, D. and Rice, B. 2000. Water and fertilizer management for garlic: Productivity, nutrient and water use efficiency and postharvest quality. Proceedings of the California ASA / Plant and Soil Conference, January 20. 16p.

Ceci, L.N., Curzio, O.A. and Pomilio, A.B. 1991. Effects of irradiation and storage on the flavor of garlic. J. Food Sci. 56(1): 44-46.

Ceci, L.N., Curzio, O.A. and Pomilio, A.B. 1992. Effects of irradiation and storage on the gamma – glutamyl transpeptidase activity of garlic bulbs cv. Red. J. Sci. Food. Agric. 59(4): 505-510.

Cho, H.O., Kwon, J.H., Byun, M.W. and Yoon, H.S. 1984. Batch scale storage of garlic by irradiation combined with natural low temperature. Korean J. Food Sci. Technol. 16(1): 66-70.

Croci, C.A. Curzio, O.A. 1983. The influence of gamma – irradiation on the storage life of “red” variety garlic. J. Food Process Pres. 7(3): 179-183.

Curzio, O.A. and Urioste, A.M. 1994. Sensory quality of irradiated onion and garlic bulbs. J. Food Processing Pres. 18 (2): 149–158.

Faraji, R. 1992. Principles of Food Preservation. Shiraz University. Iran. (in Farsi)

Freeman, G.G. and whenham, R.J. 1976. Effect of over winter storage at three temperatures on the flavor intensity of dry bulb onions. J. Sci. Food Agric. 27, 37.

Khan, I. and Wahid, M. 1978. Feasibility of radiation preservation of potatoes, onions and garlic in Pakistan. In “Food Preservation by Irradiation” Vol. 1. P.63, IAEA, Vienna.

Kwon, J.H. and Yoon, H.S. Sohn, T.H., Byun, M.W. and Cho, H.O. 1984. Effect of gamma irradiation dose and timing of treatment after harvest on the storability of garlic bulbs. J. Food Sci. 50(2): 379-381.

Kwon, J.H. and Yoon, H.S. 1985. Changes in flavor components of garlic resulting from gamma irradiation. J. Food Sci. 50(4): 1193-1195.

Kwon, J.H., Byun, M.W., Cho H.O. 1985. Effects of gamma irradiation dose and timing of treatment after harvest on the storability of garlic bulbs. J Food Sci. 50: 379-381.

Lustre, A.O., Roncal, R.A. Villaruel, F.G., Ang, L., Singson, C.C., Carmona, C.L. and DeGuzman, Z.M. 1982. The technological feasibility of gamma radiation for the extended commercial storage of agriculture crops, onion and garlic. Food irradiation for developing countries in Asia and Pacific. P. 127. IAEA. Vienna.

Matikkala, E.J. and Virtanen, A.I. 1965. γ- glutamyl peptidase in sprouting onion bulbs. Acta Chem. Scand. 19, 1261.

McMurray. C.H. 1990. in Food irradiation: The challenge. Food irradiation and the chemist (Johnston D. E. and Steveenon M.H., Eds.). Royal Society of Chemistry. Cambridge. United Kingdom.

Moreira, H.T., Villegas, M.I. and Cabrera, R.L. 1987. Browning and cooked flavor of garlic during dehydration. Technologia Quimica. 8(1): 31-36.

Morris, S. 2001. Fruit and vegetable postharvest and storage information. Sydney Postharvest Laboratory and Food Science Australia. CSIRO 2001. Available on: www.publish.Csiro.au.

Pellegrini, C.N., Croci, C.A. and Orioli, G.A. 2000. Morphological changes induced by different doses of gamma irradiation in garlic sprouts. Radiat. Phys. Chem. 57, 315-318.

Perez, M.B., Curzio, O.A., Aveldano, M.I. and Croci, C.A. 1998. Effects of gamma irradiation on the lipid composition of inner sprout of garlic. Radiat. Phys. Chem. 52, 113-117.

Perez, M. B., Aveldano, M.I. and Croci, A.C. 2007. Growth inhibition by gamma rays affects lipids and fatty acids in garlic sprouts during storage. Postharvest Biol. Tec. 44(2): 122-130.

Wahid, M., Khan,S. and Shah, H. 1990. Effect of irradiation and storage on physico-chemical characteristic of garlic. Sarhad J. Agric. 6(4): 371-376.

Wall, M.W. and Corgan, J.N. 1992. Relationship between pyruvate analysis and flavor perception for onion pungency determination. Hort. Sci. 27, 1029-1030.

Weichmann, J. 1992. Postharvest physiology of vegetables. Translated by: Fallahi M. Barsava, Mashhad.

Whitaker, J.R. 1976. Development of flavor, odor and pungency in onion and garlic. Adv. Food Res. 22, 73-133.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.12/No.2/2011/P: 51-68*

Effect of Treatment Time and Dosage of Fast Electron Irradiation on White Garlic (*Allium Sativum* L.) During Storage

F. Bayat* and H. R. Zolfagharieh

* Corresponding Author: Member of Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Hamedan.
E-mail: bayat.fariba@gmail.com
Received: 24 July 2010, Accepted: 22 January 2011

Irradiation is known to inhibit waste in stored garlic. Treatment time and optimum irradiation dosage are two key factors in achieving the least waste in this process. These two factors were investigated on white ecotype bulbs from Hamedan, Iran that were irradiated after harvest for 30 and 45 days using fast electrons at dosages of 0, 25, 50, 75, 100, and 150 Gy. Different properties of the garlic were measured bimonthly over eight months of storage under both cold and uncontrolled conditions. The results showed that sprouting was observed only in non-irradiated cloves and irradiated cloves showed no signs of external sprouting. Weight loss for non-irradiated bulbs was greater than for the irradiated cloves. The minimum weight loss for cold storage was less than 1% per week at dosages of 50 Gy and higher. For uncontrolled storage, this minimum was achieved at dosages of 75 Gy and higher after 300 days. Total pyruvate, particularly up to 120 days of storage, increased sharply and there was no significant difference between them at the end of storage. While the firmness of irradiated cloves at the end of storage was not significant, the greatest firmness was observed for cold storage at dosages of 50 Gy and higher. For the uncontrolled conditions, this was measured at 75 Gy and higher. During storage, both color change and non-enzymatic pyruvate increased. More change was observed during irradiation at 45 days after harvest than at 30 days. Consequently, it concluded that for garlic bulbs in cold storage, 50 Gy is the optimum dosage of irradiation and, for uncontrolled conditions, 75 Gy is optimum. For both storage conditions, irradiation for 30 days after harvesting seems to be the most suitable period.

Keywords: Garlic, Irradiation, Quality, Sprouting, Storage life