اقدامات مؤثر در کاهش قند احیاء سیب‌زمینی در انبار

فرزاد گودرزی

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

چکیده

تولید چیپس، فرنچ فرایز و دیگر فرآورده‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی با کیفیت مرغوب نیازمند آن است که قند احیای غده‌ها تا حد امکان پایین باشد تا محصول با کمترین تیرگی و محتوای مضر آکریلامید تولید شود. میزان قند احیاء در سیب‌زمینی به ژنتیک گیاه و عوامل قبل و پس از برداشت بستگی دارد. از عوامل قبل از برداشت سیب‌زمینی می‌توان به رسیدگی فیزیولوژیکی محصول، دمای هوا طی دوران رشد گیاه، نحوه تغذیه و آبیاری گیاه اشاره کرد. عوامل پس از برداشت مؤثر در میزان قند احیاء سیب‌زمینی شامل میزان صدمات مکانیکی واردشده به غده و شرایط ذخیره‌سازی محصول هستند. سیب‌زمینی هر نوع تنش محیطی را با تجمع قند احیاء پاسخ می‌دهد. بنابراین، پاره‌ای اقدامات ساده اما کلیدی می‌تواند به پایین‌ماندن قند احیاء در سیب‌زمینی انبارشده کمک کند. استفاده از ارقام با خصوصیت ژنتیکی مناسب، سرزنی به‌موقع مزرعه، کاهش صدمات مکانیکی هنگام برداشت، پایش دقیق شرایط انبار و مهار جوانه‌زنی غده‌ها از جمله این اقدام‌ها است.

واژگان کلیدی: افت کیفیت، انبارداری، ساکارز، سیب‌زمینی، فرآوری، قند احیاء

* نگارنده مسئول: goodarzifarzad@gmail.com

بیان مسئله

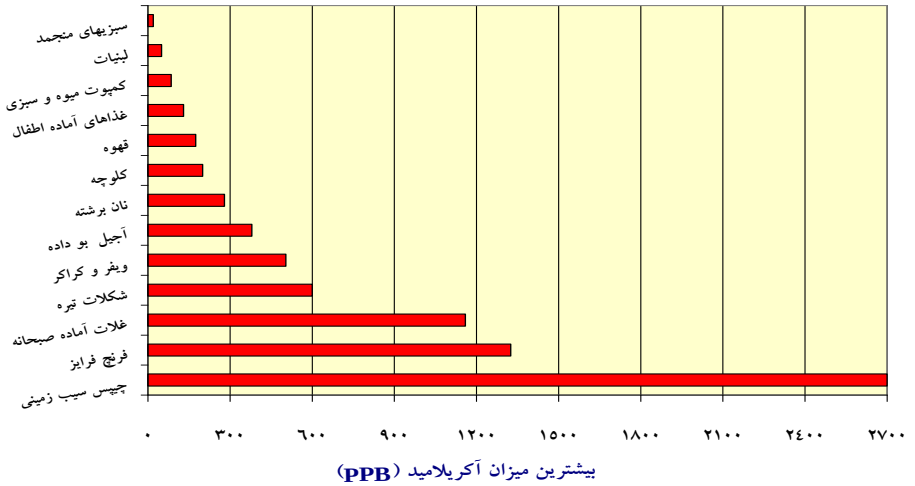
سالانه حدود ۵ میلیون تن سیب‌زمینی در کشور تولید می‌شود. عمده این میزان، در فصل پاییز برداشت می‌شود. بنابراین، نگهداری مناسب آن برای تنظیم بازار مصرف در ٦ ماه دوم سال ضروری است. در کنار مهار تلفات وزنی، جلوگیری از کاهش کیفیت سیب‌زمینی انبارشده نیز از جمله اهداف انبارداری مناسب این محصول است. میزان تقریبی تلفات این محصول در کشور حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد گزارش شده است (گودرزی و سیدان، ١٤٠٢). وجود چنین حجمی از تلفات سیب‌زمینی به معنای اتلاف منابع باارزش تولید و تضعیف امنیت غذایی کشور است. همچنین، افت کیفیت سیب‌زمینی در دوره انبارداری، محصول فرآوری‌شده در منزل یا صنعت را با مشکل عدم مطلوبیت و افت ارزش مواجه می‌کند. مقدار قند احیاء موجود در غده، عامل بسیار مهمی در تعیین کیفیت سیب‌زمینی است. این ویژگی در فرآوری سیب‌زمینی و به‌ویژه تعیین کیفیت محصولات سرخ‌شده آن اهمیت فراوانی دارد. وجود مقادیر بالای قند احیاء در سیب‌زمینی به بروز رنگ تیره و مزه نه‌چندان مطلوب در فرآورده‌های سرخ‌شده منتهی می‌شود (شکل۱). بروز رنگ تیره نتیجه یک واکنش قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی به نام میلارد است. واکنش میلارد بین قندهای احیاء (مانند گلوکز) و آمینواسیدهای آزاد (مانند لیزین) طی فرآیند سرخ‌شدن سیب‌زمینی در دمای بالاتر از ۱۷۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی کمتر از ٤٠ درصد رخ می‌دهد. در مقایسه با سایر عوامل دخیل در واکنش میلارد، سهم قندهای احیاء در کنترل واکنش قهوه‌ای‌شدن بیش از ۹۰ درصد است. از میان انواع قندهای احیاء، قندهای گلوکز و فروکتوز با سرعت بیشتری وارد واکنش قهوه‌ای‌شدن می‌شوند. مشروط بر آن‌که مقدار قند احیاء بیش از ۰/٦٥ gr/kg برمبنای وزن تر باشد (ویکلاند[1] و همکاران، ۲۰۰۸).

شکل ۱- تیرگی چیپس سیب‌زمینی ناشی از مقادیر بالای قند احیاء

غذاهای سرخ‌شده با کربوهیدرات بالا مانند چیپس و فرنچ فرایز دارای مقدار زیادی آکریلامید هستند (شکل۲). آکریلامید یکی از تولیدات فرعی واکنش میلارد است. این ترکیب، سمی و خطرناک است. برای به حداقل‌رساندن تولید آن در سیب‌زمینی‌های سرخ‌شده می‌بایست مقدار قند احیاء سیب‌زمینی کمتر از ۲ gr/kg برمبنای وزن تر باشد (دستورالعمل کمیسیون اروپا[2]، ۲۰۱۵). ساکارز نیز اگرچه قندی غیراحیاء است اما می‌تواند از طریق هیدرولیز حرارتی به قندهای احیاء تبدیل و وارد واکنش قهوه‌ای‌شدن شود. ساکارز یکی از منابع مهم ایجاد قند احیاء در سیب‌زمینی است و اثر مهمی در تعیین کیفیت

[1] Viklund
[2] European Commission

سیب‌زمینی انبارشده دارد. مقدار ساکارز یک غده سیب‌زمینی به رقم، درجه رسیدگی و نحوه انبارداری آن وابسته است. غده‌های رسیده که قبل از مصرف در دمای مناسبی (۱۱/۷°c) نگهداری شده باشند، معمولاً حاوی کمتر از gr/kg ۱ ساکارز هستند و محصول فرآوری‌شده باکیفیتی تولید می‌کنند (دوآرت[3] و همکاران، ۲۰۱۳). عوامل ژنتیکی، شرایط محیطی، روش‌های مدیریت مزرعه و شرایط انبارکردن بر مقدار قند احیاء سیب‌زمینی تأثیر دارند. در این نوشتار ترویجی، تلاش شده است با ارائه یک دستورالعمل ساده و کاربردی، به تولیدکنندگان، انبارداران، صاحبان صنایع و مصرف‌کنندگان سیب‌زمینی در پائین نگه‌داشتن قند احیاء سیب‌زمینی یاری رسانده شود.



شکل ۲- بیشینه میزان آکریلامید اندازه‌گیری‌شده در برخی غذاها (دستورالعمل کمیسیون اروپا، ۲۰۱۵)

معرفی دستورالعمل

انتخاب ارقام با ویژگی قند احیاء پایین برای انبارداری و فرآوری

ارقام سیب‌زمینی مناسب برای نگهداری بلندمدت (بیش از ۱۲ هفته) و استفاده در صنعت فرآوری، به شکل ژنتیکی توانایی آنزیمی بیشتری در تبدیل قندهای احیاء به نشاسته دارند. میانگین مقدار ساکارز و سایر قندهای احیاء در ارقام مناسب برای فرآوری مانند آگریا، سانته، فونتانه و رقم ایرانی ساوالان حدود mg/gr ۱/٦۱ است (شکل ۳). سطح قندهای احیاء تجمع‌یافته درون غده‌ها طی انبارداری نیز تحت تأثیر فعالیت آنزیم‌های آمیلاز غده قرار دارد. هنگام سرمازدگی، فعالیت آنزیم‌های آمیلاز غده، بسته به شرایط ژنتیکی آنها افزایش یافته و تجزیه نشاسته و ساکارز در آنها صورت می‌گیرد. علی‌رغم تولید مول‌های یکسان گلوکز و فروکتوز در اثر تجزیه ساکارز، به علت وجود مقادیر بالای آنزیم فروکتوکیناز[4] در سیب‌زمینی، غده‌های انبارشده در دمای ٤ درجه سلسیوس، حاوی مقادیر گلوکز بیشتری نسبت به فروکتوز خواهند بود (دوآرت و همکاران، ۲۰۱۳؛ گودرزی و سیدان، ۱٤۰۲).

[3] Duarte
[4] Fructokinase

مدیریت صحیح مزرعه هنگام داشت و برداشت محصول

صرف‌نظر از نوع رقم و ژنتیک، میزان قند احیاء سیب‌زمینی در هنگام برداشت تحت تأثیر برخی شرایط مدیریتی مزرعه و عوامل محیطی مانند میزان رسیدگی فیزیولوژیکی غده، حاصلخیزی خاک، دما و رطوبت خاک قرار دارد (هرمان[5] و همکاران، ١٩٩٥؛ گودرزی و سیدان، ١٤٠٢) که در زیر به هر یک پرداخته شده است:

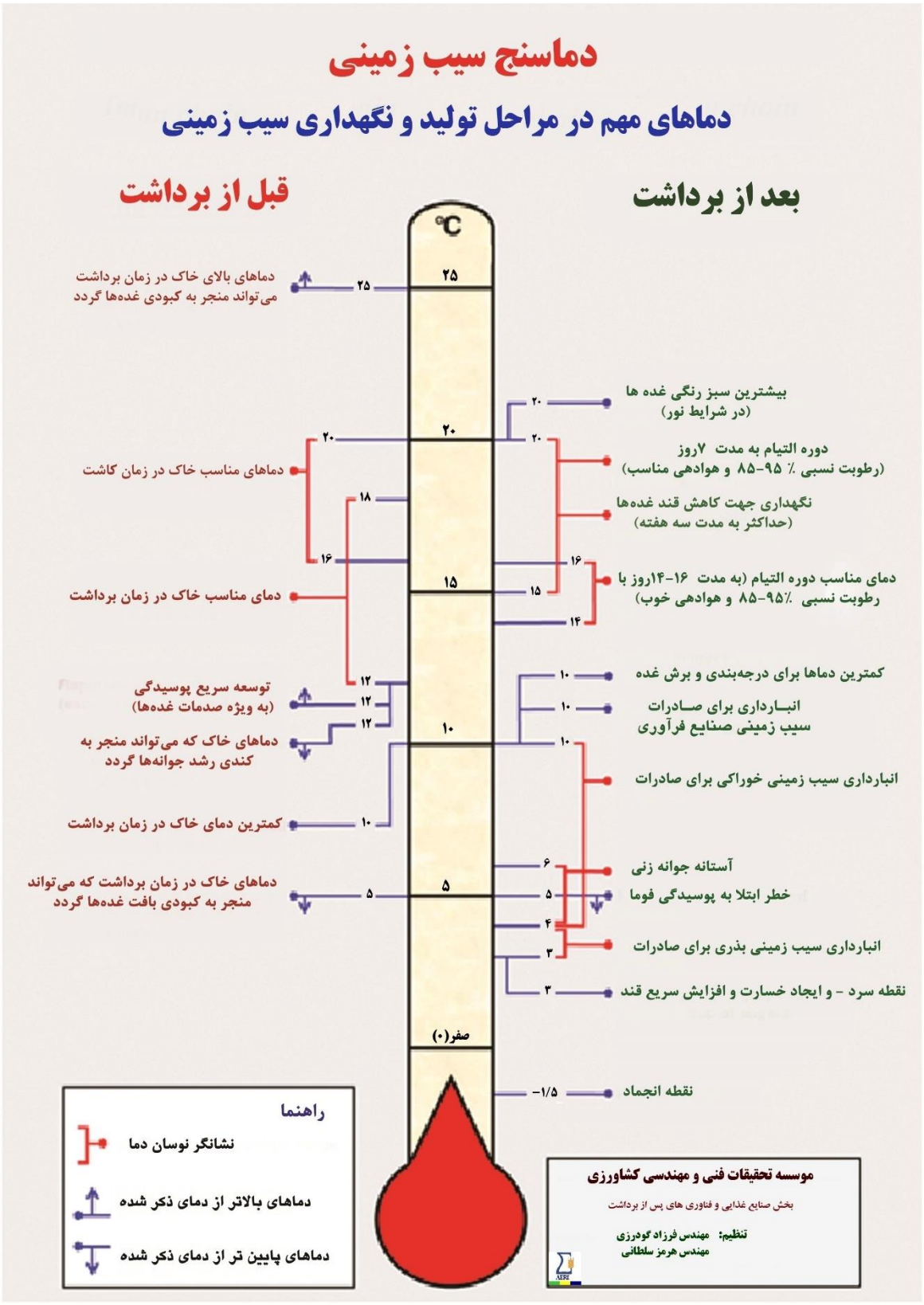
شکل ٣- ارقام سیب‌زمینی مناسب کاربرد در صنعت فرآوری

١- پایش دمای محیط و دمای خاک مزرعه

میزان و چگونگی رشد و تکامل غده‌های سیب‌زمینی تحت تأثیر دما قرار دارد (شکل ٤). دمای بهینه برای ایجاد و رشد غده سیب‌زمینی برای اکثر ارقام بین ١٥ تا ٢٠ درجه سلسیوس است. رشد سیب‌زمینی در هوایی با دمای کمتر از ٨ و بالاتر از ٣٠ درجه سلسیوس به افزایش قند احیاء غده‌ها منجر می‌شود. کاهش دمای خاک در زمان برداشت باعث افزایش قند احیاء در غده می‌شود. در برداشت پاییزه سیب‌زمینی، به موازات تأخیر در زمان برداشت و کاهش دمای محیط و خاک مزرعه، قند احیاء غده‌ها افزایش می‌یابد. چنان‌چه میانگین حداقل دما در یک ماه آخر دوره رشد، کمتر از ١٠ درجه سلسیوس باشد، میزان قند احیاء به بیش از ٢ mg/gr وزن تر غده خواهد رسید. دماهای مهم در مراحل تولید و نگهداری سیب‌زمینی در شکل ٤ نشان داده شده است.

سیب‌زمینی‌های کشت‌شده در مناطق نسبتاً گرم، قند احیاء کمتر و ماده خشک بالاتری دارند. با این حال، در دماهای بالاتر از ٢٧ درجه سلسیوس به علت کندی فرآیند تبدیل قند به نشاسته و افزایش تنفس کلی گیاه، قند احیاء سیب‌زمینی دوباره افزایش می‌یابد. سیب‌زمینی‌هایی که در بخش فوقانی پشته‌های مزارع واقع شده‌اند نسبت به آنهایی که در بخش‌های عمقی‌تر و خنک‌تر خاک قرار گرفته‌اند، ساکارز بالاتری دارند. در حقیقت دمای خاک بر میزان ساکارز غده سیب‌زمینی مؤثر است. در مجموع، محصول رشدیافته در خاک با دمای ١٥ تا ٢٤ درجه سلسیوس بالاترین میزان نشاسته و کمترین قند احیاء را دارد (ناولز و پلیسی[6]، ٢٠٠٨؛ گودرزی و سیدان، ١٤٠٢).

[5] Herrman
[6] Knowles and Plissey



شکل ٤- دماهای مهم در مراحل تولید، برداشت و نگهداری سیب‌زمینی

٢- محافظت مزرعه سیب‌زمینی در برابر تنش رطوبتی و دمایی

هرگونه تنش حرارتی و رطوبتی باعث افزایش قند احیاء سیب‌زمینی در هنگام برداشت و دوره انبارداری می‌شود. بروز تنش خشکی در اوایل دوره رشد، تجمع قند احیاء در اطراف چشم‌های سیب‌زمینی را افزایش می‌دهد. چنان‌چه غده‌ها در اواسط فصل رشد با تنش خشکی مواجه شوند، پایین نگه‌داشتن دمای خاک با انجام آبیاری بارانی متناوب می‌تواند به پایین نگه‌داشتن قند احیاء غده کمک کند. رطوبت خاک به شکل غیرمستقیم و از طریق کنترل دمای خاک بر میزان و نوع قندهای سیب‌زمینی تاثیرگذار است. روزهای نسبتاً گرم با بارندگی کم باعث تولید غده‌هایی با قند احیاء کم می‌شود. بارندگی یا آبیاری فراوان مزرعه در هنگام و یا با فاصله کمی پس از گلدهی، افزایش قند احیاء غده هنگام انبارداری را به دنبال دارد. میزان ساکارز سیب‌زمینی، ارتباط مستقیمی با میزان رطوبت قابل‌دسترس ریشه گیاه در زمان نزدیک به برداشت دارد. این امر اثر مثبت قطع آبیاری مزرعه بر کیفیت غده، مدتی قبل از برداشت را توجیه می‌کند (الدرج[٧] و همکاران، ١٩٩٦؛ ناولز و پلیسی، ٢٠٠٨؛ گودرزی و سیدان، ١٤٠٢).

٣- مصرف کودهای NPK بر اساس توصیه کودی و آزمون خاک

کودهای ازت‌دار، مقدار ماده خشک و طول دوره رسیدگی فیزیولوژیکی سیب‌زمینی را کنترل می‌کنند. نشانه آشکار رسیدگی فیزیولوژیک سیب‌زمینی، زردی و زوال بیش از ٥٠ درصد بوته‌های مزرعه در اواخر دوره رشد است. غده متصل به بوته‌هایی که مقادیر کافی ازت دریافت می‌کنند، در هنگام برداشت قند احیاء کمتری داشته و طی انبارداری نیز قند کمتری در آن تجمع می‌یابد. در شرایط فقر غذایی، نواحی اطراف جوانه انتهایی[٨] غده‌های سیب‌زمینی، نسبت به جوانه‌های ساقه‌زا[٩] قند احیاء کمتری دارند. با افزایش مصرف ازت، مقدار قند احیاء در نواحی جوانه‌های انتهایی افزایش و در نواحی جوانه‌های ساقه‌زای غده سیب‌زمینی کاهش می‌یابد. غده‌های رشدیافته با مقادیر مختلف ازت که قند یکسانی دارند، چیپس‌هایی با رنگ مختلف تولید می‌کنند. این اختلاف رنگ دور از انتظار، به مقدار اسیدآمینه آزاد حاصل از مصرف مقادیر مختلف کود ازته نسبت داده می‌شود (هرمان و همکاران، ١٩٩٥ ؛ ناولز و پلیسی، ٢٠٠٨). با افزایش مصرف ازت، مقدار گلوکز و فروکتوز غده‌ها در هنگام برداشت نسبت به واحد وزن محصول، کمتر شده اما طی نگهداری در دمای زیر ١١ درجه سلسیوس به شدت افزایش می‌یابد. افزایش مصرف پتاسیم، صرف‌نظر از منبع آن، مقدار قند احیاء را در هر دو انتهای غده کاهش می‌دهد. نوع منبع پتاسیم تأثیر کمی بر ایجاد تغییر در قند احیاء و ساکارز غده دارد. افزایش مصرف فسفر به بالارفتن میزان قند احیاء غده‌ها در هنگام برداشت و طی انبارداری منجر می‌شود. در این نوع غده‌ها، مقدار گلوکز به میزان زیادی افزایش می‌یابد (هرمان و همکاران، ١٩٩٥؛ دوآرت و همکاران، ٢٠١٣).

[7] Eldredge
[8] Apical end
[9] Stem end

٤- برداشت غده‌های سیب‌زمینی پس از تکمیل دوره رسیدگی

قابلیت ذخیره‌سازیِ باکیفیت سیب‌زمینی تا حد زیادی به تکمیل رسیدگی آن در هنگام برداشت وابسته است. هنگام رسیدگی فیزیکی غده، پوست سطح آن کاملاً ضخیم شده و ساقه و بخش‌های هوایی گیاه وارد مرحله زوال و زردی می‌شود. وضعیت پوست سیب‌زمینی را به‌صورت بصری و یا با کمک ابزارهای دقیق، می‌توان ارزیابی کرد. در حال حاضر اکثر مراکز کنترل کیفیت سیب‌زمینی در کشور ما از سنجش بصری برای ارزیابی پوست سیب‌زمینی (به عنوان شاخص رسیدگی و برداشت به‌موقع) استفاده می‌کنند (شکل۵). ارزیابی بصری پوست سیب‌زمینی، به‌دلیل سهولت و سرعت کاربری و ارزان‌بودن به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته باید توجه داشت که ارزیابی‌هایی که شخص بر اساس برداشت‌های بصری خود انجام می‌دهد، ذهنی و همراه با احتمال خطا خواهد بود. بنابراین، در سال‌های اخیر، اسکنرهای نوری قابل‌حمل برای ارزیابی وضعیت ظاهری و شفافیت پوست غده‌ها در مزرعه معرفی شده‌اند. این دستگاه که با نام براق‌سنج نیز شناخته می‌شود، برای اندازه‌گیری میزان انعکاس نور از سطوح مختلف به‌کار می‌رود. براقیت سطوح در یک دمای معین، با تابش یک پرتو نور با شدت و زاویه ثابت روی یک سطح و اندازه‌گیری مقدار نور بازتاب‌شده در یک زاویه مساوی اما مخالف تعیین می‌شود (شکل ٦). این دستگاه‌ها راندمان و دقت بالایی دارند و تا ۱۰۰ تن محصول در ساعت را با دقت بیش از ۸۸ درصد ارزیابی می‌کنند (ناولز و پلیسی، ۲۰۰۸؛ گودرزی و سیدان ، ١٤٠٢).

شرایط تغذیه‌ای بوته سیب‌زمینی نیز بر کیفیت پوست آن مؤثر است. کمبود ازت می‌تواند منجر به پیری زودرس گیاه و افزایش حساسیت غده‌ها به آسیب مکانیکی شود. نیتروژن اضافی (به‌خصوص در اواخر فصل)، دوره رسیدگی گیاه را به تأخیر می‌اندازد. این باعث افزایش حساسیت پوست غده به پوسته‌شدن و انواع آسیب مکانیکی و تضعیف چسبندگی پوست به غده می‌شود. فسفر بر خلاف نیتروژن، باعث بهبود رسیدگی غده‌ها و تشکیل پوست قوی و محکم می‌شود. پتاسیم نیز اثری مشابه فسفر دارد. با کمبود پتاسیم، غده‌ها پوست ضعیف‌تری تشکیل می‌دهند که به آسیب‌های مکانیکی حساس خواهد بود. در مجموع، رسیدگی فیزیولوژیکی سیب‌زمینی هنگامی تکمیل می‌شود که ماده خشک غده به بیشترین مقدار و قند احیاء در کمترین میزان خود باشد. بدیهی است این مقادیر، متناسب با نوع و ویژگی‌های هر رقم متفاوت بوده که مقادیر آنها در

شکل ۵- نمایی از وضعیت تکامل پوست سیب‌زمینی

(راست: عدم تکمیل دوره پوست‌گیری، چپ: تکمیل دوره پوست‌گیری)

شکل ٦- دو مدل دستگاه اسکنر نوری قابل‌حمل برای ارزیابی وضعیت شفافیت پوست سیب‌زمینی

شناسنامه رقم قید شده است. سنجش توأم این دو عامل چند روز قبل و یا هنگام برداشت می‌تواند معیار مناسبی برای تصمیم‌گیری در مورد زمان برداشت توده سیب‌زمینی برای انبارداری بلندمدت باشد (ناولز و پلیسی، ۲۰۰۸؛ لی[10] و همکاران، ۲۰۱۳). معمولاً توصیه می‌شود برداشت محصول هنگامی انجام شود که مقدار قند احیاء غده‌ها کمتر از ۱/۳ gr/Kg وزن تر باشد تا در طول دوره ذخیره‌سازی، قند احیاء کمتری در غده تجمع یابد. سرزنی به‌موقع (شکل ۷)، در بهبود کیفیت پوست و کاهش قند احیاء غده‌ها و بهبود رنگ فرآورده‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی مؤثر است (لی و همکاران، ۲۰۱۳؛ بروسیچ و ساویچ[11]، ۲۰۱٦).

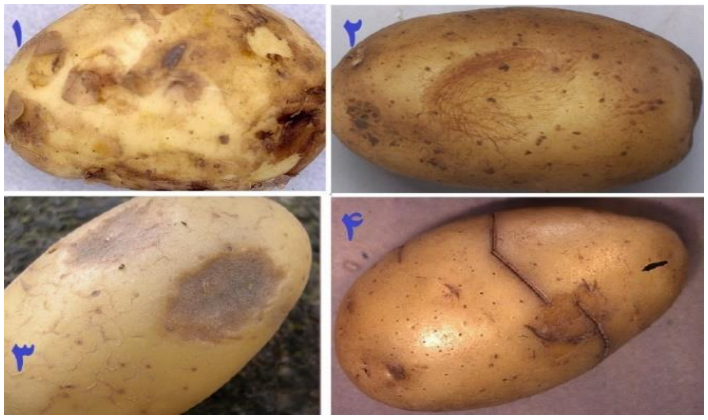
شکل ۷- سرزنی مزرعه سیب‌زمینی پیش از عملیات برداشت

۵- جلوگیری از واردآمدن آسیب و تنش مکانیکی به غده سیب‌زمینی

هر نوع عملیات دستی روی توده سیب‌زمینی متناسب با عکس‌العمل رقم و شدت آسیب وارده به سیب‌زمینی، علاوه بر ایجاد انواع آسیب‌ها روی پوست و بافت گوشتی غده‌ها (شکل ۸)، قندهای احیاء غده مانند گلوکز و به‌ویژه مقدار ساکارز را

[10] Li
[11] Brocic and Savic

افزایش می‌دهد. شدت تنفس و تجمع قند احیاء در غده‌هایی که پریدرم (مجموع پوست و لایه زیر پوست) آنها آسیب دیده باشد، بیشتر است. غده‌های سرد و یا غده‌های پیر، حساسیت بیشتری به انواع آسیب‌های مکانیکی دارند (شکل ۸ و ۹). غده‌هایی که برای مدت ٦٠ روز در دمای ۷ درجه سلسیوس و تحت فشار استاتیک حدود ۱۹٦ نیوتن (معادل فشار ناشی از وزن ۳/۵ متر توده سیب‌زمینی) قرار گرفته باشند، سطح فعالیت آنزیم اینورتاز و به دنبال آن، مقدار گلوکز و فروکتوز در آنها افزایش می‌یابد. به همین دلیل، ارتفاع سیب‌زمینی انبارشده نباید از ۳ متر فراتر رود (گودرزی و سیدان، ١٤٠٢).



شکل ۸- انواع آسیب‌های مکانیکی واردشده به غده‌های سیب‌زمینی

(۱: آسیب سایشی؛ ۲: آسیب کوفتگی؛ ۳: آسیب لهیدگی؛ ٤: آسیب برشی)

شکل۹- آسیب برجای‌مانده در بافت غده‌های سیب‌زمینی در هنگام جابه‌جایی و

یا درجه‌بندی در دمای پائین (کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس)

شرایط محیطی انبار

دمای انبار

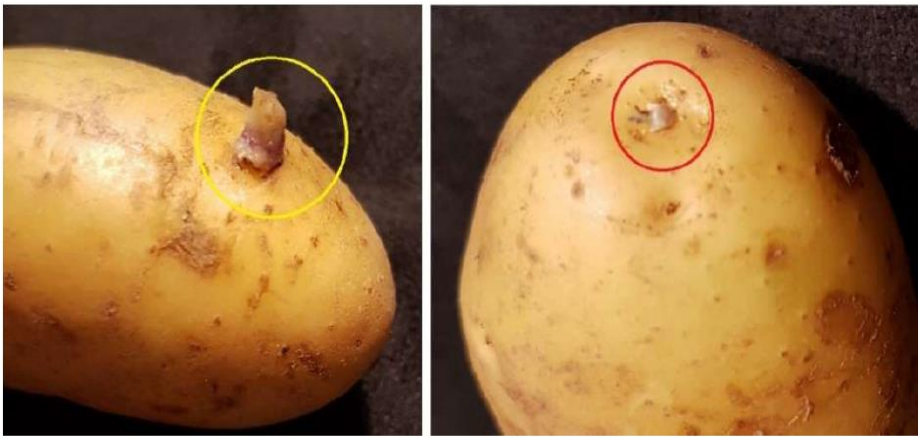
در طول دوره انبارداری، غده سیب‌زمینی دارای فعالیت و سوخت‌وساز بوده و انرژی لازم برای آن از طریق مصرف قندهای ساده حاصل از تجزیه کربوهیدرات‌های پیچیده تأمین می‌شود. هنگامی‌که تجزیه نشاسته بیش از نیاز غده باشد، تجمع قند در غده آغاز می‌شود. دمای انبار و سن فیزیولوژیکی غده، این فرآیند را کنترل می‌کند (لی و همکاران، ۲۰۱۳). هنگام

ذخیره سیب‌زمینی در دمای ٤ تا ٦ درجه سلسیوس، تجمع قندهای گلوکز و فروکتوز و ساکارز درون غده اتفاق می‌افتد. این حالت را که شیرین‌شدن سرد می‌نامند، از روز چهارم انبارداری آغاز شده و در محدوده دمای ١ تا ٢/٥ درجه سلسیوس با شدت بیشتری صورت می‌گیرد. ساکارز اولین قندی است که مقدار آن در غده‌های انبارشده در دمای پایین افزایش می‌یابد. طی مدت ١٠ روز، میزان ساکارز به بیشینه خود می‌رسد و سپس سطح آن کاهش یافته و در مقابل، قندهای گلوکز و فروکتوز افزایش می‌یابند. قند احیاء عمده سیب‌زمینی در حالت شیرین‌شدن سرد، فروکتوز است. دمای متعادل انبار (٨ تا ٩ درجه سلسیوس) بروز این پدیده را کند می‌کند. افزایش دمای انبار به بیش از ١٠ تا ١٣ درجه سلسیوس، علاوه بر کاهش قند احیاء غده، تولید آن در دوره‌های بعدی نگهداری در انبار سرد را نیز محدود می‌کند. محدوده دمایی لازم برای این پدیده به رقم سیب‌زمینی بستگی دارد. با این حال، نگهداری بیش از ٩ ماه سیب‌زمینی حتی در دمای ١٥ درجه سلسیوس و بیش از آن به افزایش قند احیاء در غده منتهی می‌شود که عامل آن جوانه‌زدن غده است. افزایش قند احیاء از دمای ١٦ الی ١٧ درجه سلسیوس به شکل ملایم آغاز و در ٢٨ درجه سلسیوس به بیشینه خود می‌رسد (دوآرت و همکاران، ٢٠١٣؛ بروسیچ و ساویچ، ٢٠١٦).

مهار جوانه‌زنی غده‌ها در انبار در زمان مناسب

خواب، یک مرحله فیزیولوژیکی از چرخه زندگی سیب‌زمینی است که در آن رشد جوانه‌های مستقل غده حتی در شرایط مطلوب جوانه‌زنی نیز اتفاق نمی‌افتد. شکستن خواب با شروع هیدرولیز نشاسته، ایجاد تغییر در ترکیب قندهای غده و افزایش قند احیاء در غده آغاز می‌شود. هنگامی‌که مقدار قند احیاء در غده به بالاترین سطح خود رسید، جوانه‌های بخش انتهایی غده شروع به فعالیت کرده و مرحله شکستن خواب آغاز می‌شود. سطح قند احیاء در اطراف جوانه‌های میانی غده بیش از جوانه‌های انتهایی است. با رشد جوانه‌ها و طویل‌شدن آنها تا ٢ هفته پس از شکستن خواب، سطح قند احیاء در غده کاهش می‌یابد. این وضعیت باعث ایجاد تأخیر در شیرین‌شدن سیب‌زمینی‌های جوانه‌زده می‌شود (گودرزی و سیدان، ١٤٠٢). استفاده از دماهای پایین در انبار سیب‌زمینی علی‌رغم افزایش طول دوره خواب، تجمع قند احیاء در غده‌ها را تحریک می‌کند. استفاده از موادی مانند کلروپروفام[12]، یا اسانس معطر گیاهانی مانند نعناع و میخک در انبار (شکل ١٠) و یا پرتودهی غده‌ها با اشعه گاما و بتا قبل از انبارداری، روش‌های جایگزینی هستند که به شکل وسیعی برای مهار جوانه‌زنی سیب‌زمینی استفاده می‌شوند. کاربرد اصولی این روش‌ها، اثری بر افزایش قند احیاء غده‌های انبارشده طی یک دوره ٥ ماهه ندارد. تأخیر در مصرف کلروپروفام و موکول‌کردن کاربرد آن به زمان‌های نزدیک به محدوده شکستن خواب غده، باعث تجمع شدید قند احیاء در سیب‌زمینی می‌شود. زمان مناسب برای مصرف کلروپروفام، حداکثر تا ٣ هفته پس از برداشت و به میزان ٣٦ تا ٤٠ گرم ماده خالص به ازاء تن سیب‌زمینی است. تأخیر بیش از یک ماه در کار پرتودهی سیب‌زمینی نیز افزایش قندهای احیاء و خصوصاً ساکارز غده را به دنبال دارد. در مجموع، تأخیر طولانی در جوانه‌زنی غده سیب‌زمینی با استفاده از روش‌های مهار جوانه‌زنی، سبب افزایش محدود تا متوسط قند احیاء در غده‌ها می‌شود (گودرزی و سیدان، ١٤٠٢).

[12] Chlorpropham



شکل ۱۰- به‌کارگیری فوری اسانس‌های معطر برای مهار جوانه‌زنی با ظهور اولین علائم جوانه‌زدن غده‌ها (راست: زمان مناسب برای کاربرد اسانس‌ها با مشاهده جوانه با طول ۱ تا ۲ میلی‌متر بر سطح غده، چپ: رسیدن طول جوانه به بیش از ۵ میلی‌متر نشانگر تأخیر در کاربرد اسانس‌ها)

دقت بیشتر به غده‌های پیر سیب‌زمینی

گاهی شیرین‌شدن سیب‌زمینی، ناشی از انبارداری طولانی و پیرشدن غده است. قند تولیدی در غده‌های پیر و غده‌هایی که برای مدت طولانی در انبار با دمای حدود ٤ درجه سلسیوس نگهداری شده‌اند، به راحتی قابل برگشت نیست. این پدیده در انتهای فصل انبارداری دیده می‌شود (هلتوفتا[13] و همکاران، ۲۰۱٦).

توجه به تهویه و پایش منظم هوای انبار

غده سیب‌زمینی طی دوره انبارداری، دارای فعالیت زیستی بوده و با محیط اطراف خود به تبادل اکسیژن و دی‌اکسیدکربن می‌پردازد. دما و هوای انبار، شدت تنفس غده را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در انبارهای سرد با دمای حدود ۵ درجه سلسیوس، غلظت کم اکسیژن می‌تواند تجمع قند احیاء در غده را کاهش دهد. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن به حدود ۵ درصد تنها در انبارهای با دمای بیش از ۵/۵ درجه سلسیوس، قادر به کاهش قند احیاء در سیب‌زمینی است. در دماهای کمتر از آن، با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، مقدار ساکارز و قند احیاء غده‌ها بالا می‌رود. این اثر، موقتی بوده و با اصلاح هوای انبار قابل‌بازگشت است. به نظر می‌رسد، آنزیم‌هایی مانند اینورتاز و آمیلاز که دمای پایین، محرکی برای فعالیت آنها است، در غلظت کم اکسیژن (۲/۵ درصد) غیرفعال می‌شوند. افزایش غلظت گاز ازت در هوای انبارها یکی دیگر از روش‌های کنترل قند احیاء غده‌ها در انبار سرد است (لی و همکاران، ۲۰۱۳).

توصیه ترویجی (جمع‌بندی)

توصیه‌های زیر برای اطمینان از حفظ سطح مطلوب میزان قند احیاء در غده‌های سیب‌زمینی در دوره انبارداری مد نظر قرار گیرد:

[13] Heltofta

– ارقام سیب‌زمینی با ویژگی ذاتی قند احیاء پایین (آگریا، سانته، فونتانه، ساوالان)، برای انبارداری و فرآوری انتخاب شوند.

– عملیات سرزنی و برداشت محصول سیب‌زمینی، قبل از کاهش دمای خاک به کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس، انجام شود.

– سیب‌زمینی به‌گونه‌ای برداشت، بارگیری، جابه‌جایی و انبار شود که کمترین آسیب فیزیکی به غده‌ها وارد شود.

– دمای انبار نگهداری سیب‌زمینی متناسب با نوع کاربری نهایی غده‌ها تنظیم شود.

– انبار سیب‌زمینی با هدف تأمین اکسیژن موردنیاز غده‌ها، به‌طور منظم هوادهی شود.

– جوانه‌زنی غده‌های خوراکی در انبار با کمک ترکیبات مجاز مانند کلروپروفام یا اسانس‌های معطر مهار شود.

– قبل از ورود غده‌های سیب‌زمینی به مرحله پیری، نسبت به عرضه آنها به بازار مصرف، اقدام شود.

فهرست منابع

۱- گودرزی، فرزاد و سیدمحسن سیدان. ۱۴۰۲. *تعیین سهم عوامل مختلف در ضایعات کمی و کیفی سیب‌زمینی طی دوره پس از برداشت در استان همدان و ارائه راهکارهای اصلاحی*. کرج: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، گزارش نهایی، شماره ثبت ٦٣٨٣١.

2. Brocic, Z. and J. Savic. 2016. Yield, tuber quality and weight losses during storage of ten potato cultivars grown at three sites in Serbia. *Potato Research*, 59 (2): 21-34.
3. Duarte, D., P. Restrepo, A. Kushalappa and T. Mosquera. 2013. Phenotypic characterization of reducing and non-reducing sugars content in Solanum tuberosum group Phureja. In: *Poster Presented at Solanaceae Conference, Genome vs Phenome*, October 1–17, Beijing: China.
4. Eldredge, E.P., Z.A. Halmas, A.R. Mosley, C.C. Shock and T.D. Stieber. 1996. Effect of transitory water stress on potato tuber stem end reducing sugar and fry colour. *American Potato Journal*, 73: 517-529.
5. European Commission. 2015. *European Commission recommendation on investigations into the levels of acrylamide in food*.
6. Heltofta, P., A.B. Wold and E. L. Molteberga. 2016. Effect of ventilation strategy on storage quality indicators of processing potatoes with different maturity levels at harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 117 (1): 21-29.
7. Herrman, T.J., B. Shafii, S.L. Love and R. Dwelle. 1995. Influence of crop management factors on chipping potato maturity and storage processing performance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68: 51-58.
8. Knowles, N.R. and E.S. Plissey. 2008. Maintaining tuber health during harvest, storage, and post-storage handling. In: *Johnson, D.A. (Ed.), Potato Health Management* (pp. 79–99). APS Press, St. Paul, Minnesota.
9. Li, M., B. Song, Q. Zhang, X. Liu, Y. Lin, Y. Ou, H. Zhang and J. Liu. 2013. A synthetic tuber-specific and cold-induced promoter is applicable in controlling potato cold-induced sweetening. *Plant Physiology and Biochemistry*, 67: 41–47.
10. Viklund, G., K. Olsson, I. Sjoholm and K. Skog. 2008. Variety and storage conditions affect the percursor content and amount of acrylamide in potato crisps. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88: 305–312.