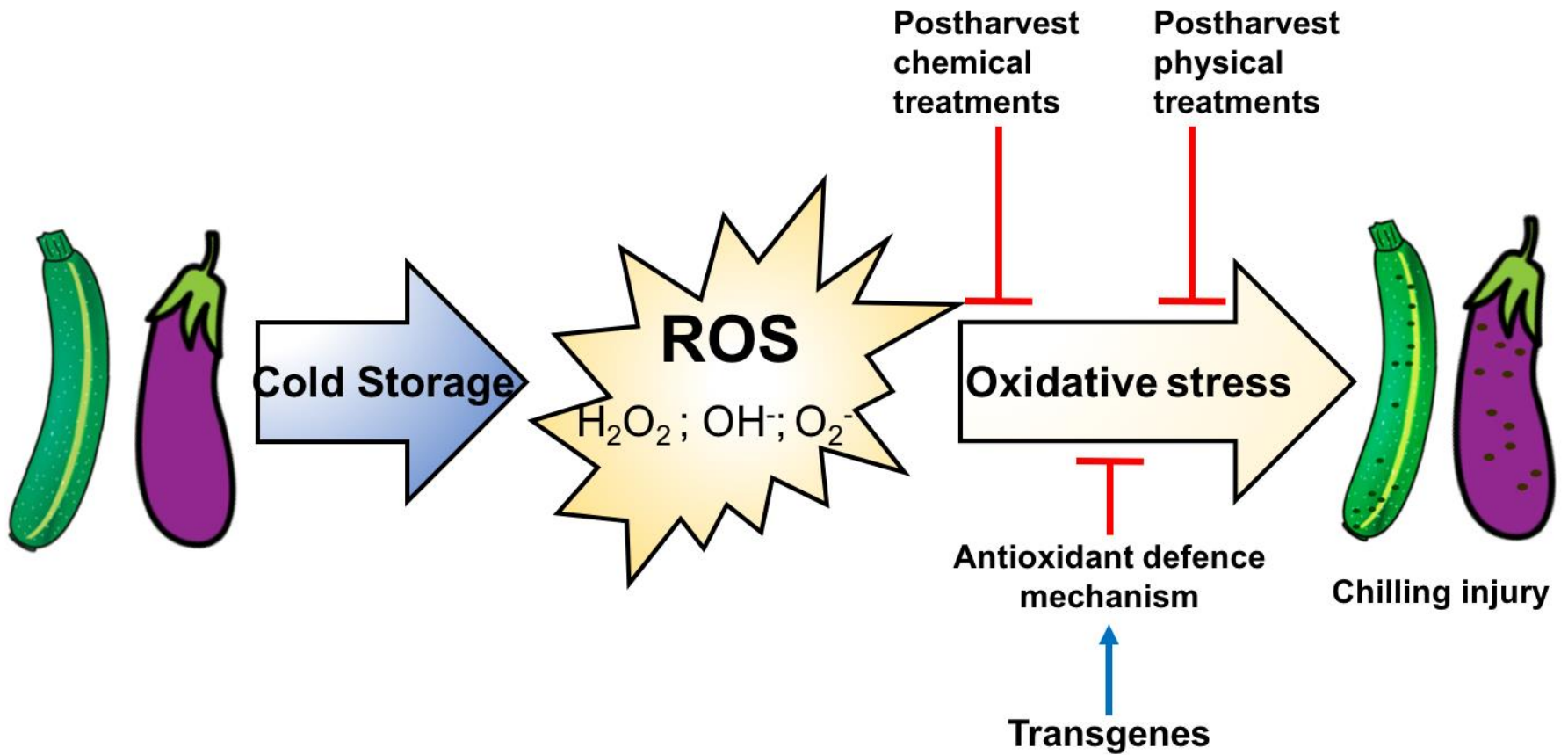


**مکانیسم سرمازدگی و
تیمارهای کاهش دهنده سرمازدگی**

- آسیب سرمازدگی باعث تجمع رادیکال‌های آزاد یا گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر (ROS) در داخل سلول‌های میوه شده که منجر به خسارت‌های اکسایشی و تخریب غشای سلول‌ها می‌شود. از سوی دیگر آسیب سرمازدگی باعث از بین رفتن سیالیت لیپیدهای غشا و خاصیت انتخابی غشای سلول می‌شود و این موضوع سبب نشت و خروج برخی یون‌ها و مواد فنلی از داخل سلول می‌شود. اکسید شدن این مواد فنلی توسط آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) در چند مرحله باعث پدیده قهوه‌ای شدن و بروز علائم سرمازدگی در میوه می‌شود



- در سلول‌های گیاهی و جانوری در شرایط طبیعی در حالت ردوکس سلولی (Cellular redox status) در طی چند مرحله احیای اکسیژن مولکولی به آب، به‌ترتیب گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر (رادیکال‌های آزاد) سوپر اکسید ($\bullet\text{O}_2^-$)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل ($\text{OH}^\bullet$) تولید می‌شوند که تولید آنها تحت کنترل سلول است. اما در اثر تنش از جمله سرما، مقدار آنها در سلول به‌شدت افزایش یافته که در آن صورت، برای سلول غیرقابل کنترل بوده و سبب تخریب غشا و در نهایت منجر به مرگ سلول می‌شوند.

سیستم دفاعی سلول های میوه بر علیه تنش اکسایشی ناشی از سرما

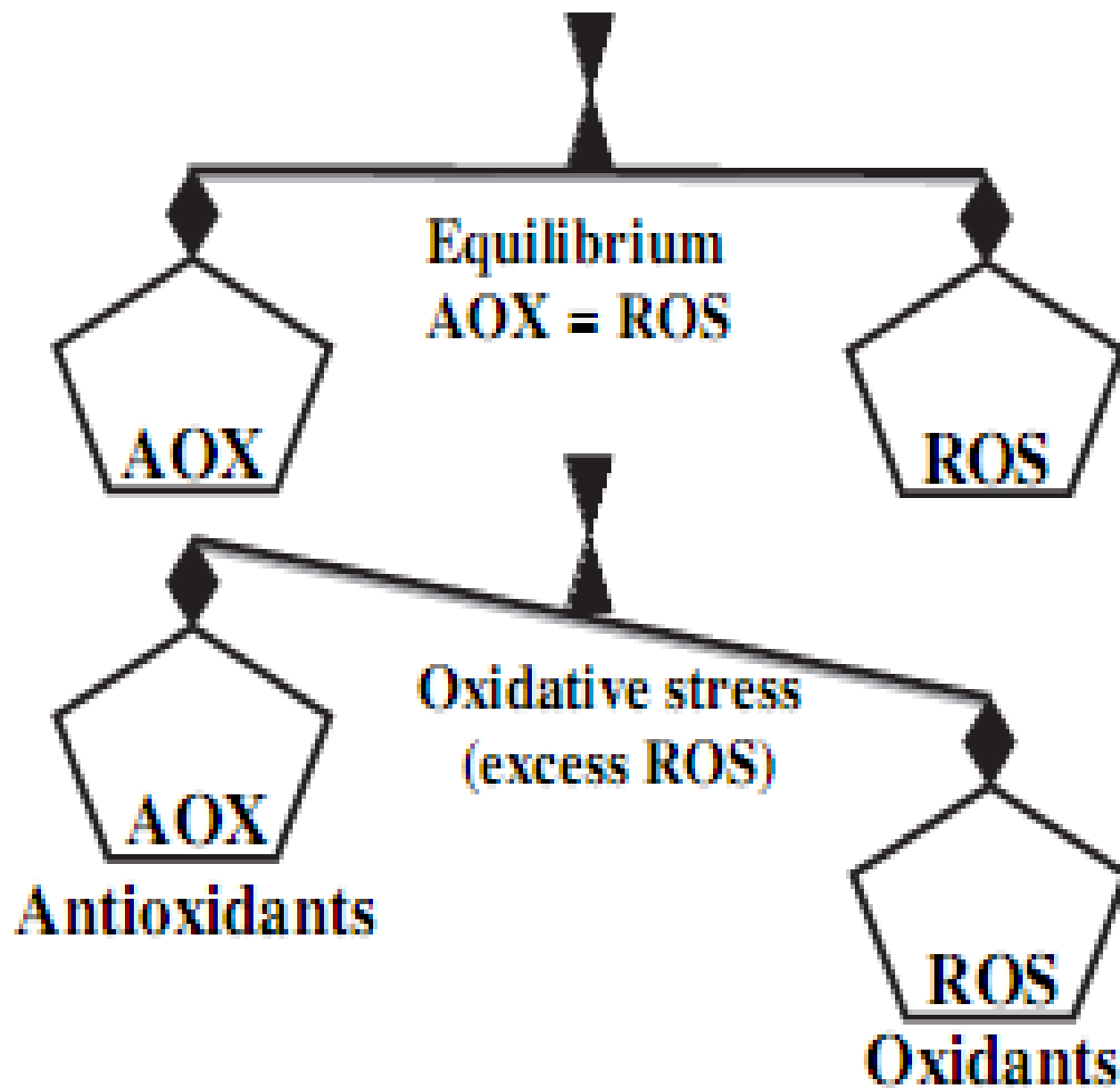
- سیستم دفاعی سلول های بر علیه تنش اکسایشی ناشی از تنش، شامل دو مرحله یا دو خط می باشد:

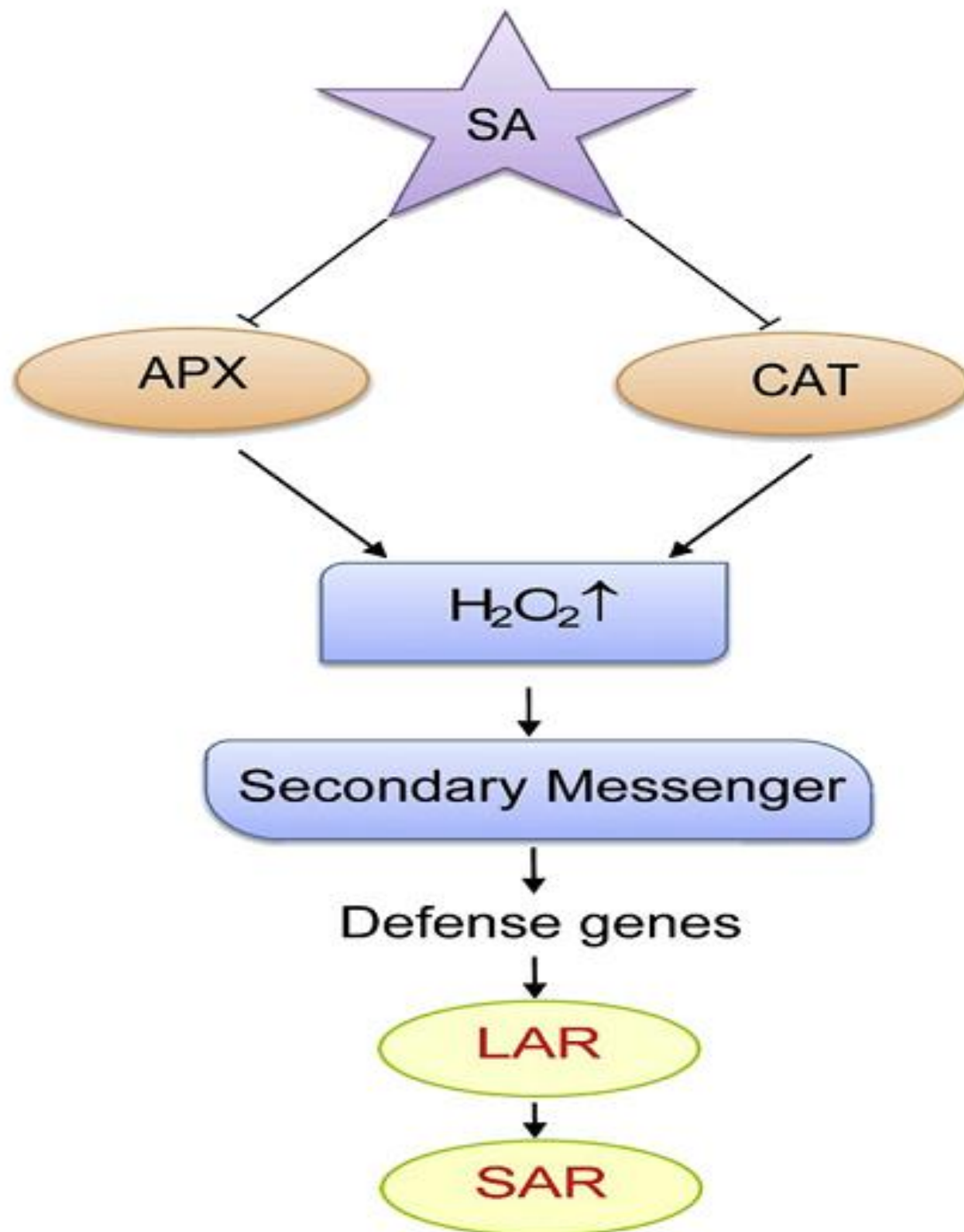
مرحله اول یا خط مقدم، مکانیسم اجتناب کننده از گونه های اکسیژن واکنش گر (ROS avoidance mechanism) قرار دارد که می توان به آلترناتیو اکسیداز (AOX) میتوکندری اشاره کرد که باعث کاهش تجمع رادیکال های آزاد و مانع خسارت اکسید شدنی آنها در کل سلول می شود. پروتئین AOX باعث انتقال الکترون ROS به اکسیژن و احیای اکسیژن به آب می شود.

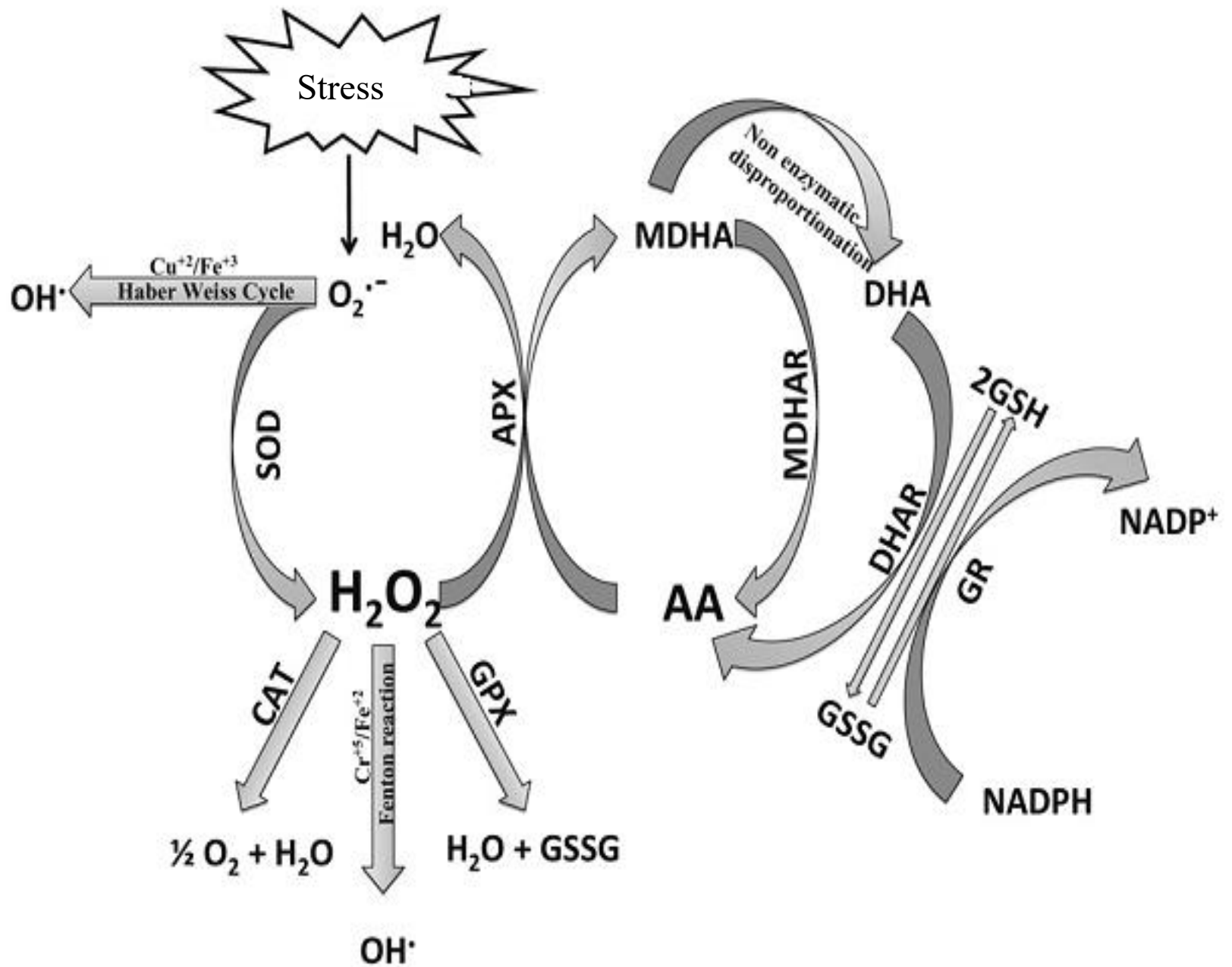
در لایه دوم یا خط دوم، جاروبگرهای گونه های اکسیژن واکنش گر (ROS scavenging) یا همان سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی قرار دارند که به دو صورت آنزیمی و غیر آنزیمی است

سیستم دفاعی سلول های میوه بر علیه تنش اکسایشی ناشی از سرما

- جاروبرگرهای ROS یا سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی می باشند که به دو صورت غیرآنزیمی مانند کاروتنوئیدها (ویا آنتوسیانین ها)، ترکیبات فنلی، اسید آسکوربیک (ویتامین ث)، آلفا-توکوفرول (ویتامین ای)، ویتامین آ، فلاونوئیدها، ترپنوئیدها، فیبر، گلوتاتیون، پرولین، آلیل ها، ایندول ها، ایزوتیوسیونات ها و عناصر معدنی آنتی اکسیدانی مانند: پتاسیم، مس، روی، منگنز، آهن و سلنیوم منجر به حذف رادیکال های آزاد اضافی در سطح سلول می شوند.
- و یا به صورت آنزیمی مانند آنزیم های سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، گلوتاتیون پراکسیداز (GPX)، گلوتاتیون ردوکتاز (GR)، گوایکول پراکسیداز (GPOX)، گلوتاتیون-S- ترانسفراز (GST) و مونو دهیدرو آسکوربات ردوکتاز (MDHR) باعث حذف رادیکال های آزاد اضافی در سطح سلول می شوند.







- میوه سرمازده اگر به محیط با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد منتقل شود تنفس و تولید اتیلن آن افزایش یافته و علائم سرمازدگی آن ظاهر
- از عواقب بعدی سرمازدگی افزایش حساسیت به پوسیدگی است

Chilling Injury of Fruits and Vegetables Stored above Freezing Temperatures

Class	Produce	T_{inj} (°C) ^a	Symptoms
A (0°C–5°C)	Apple (some cultivars)	2–3	Internal browning, brown core, soggy tissues, and soft scald
	Asparagus	0–2	Dull, gray-green, limp tips
	Avocado	4.5–13	Grayish-brown discoloration of flesh
	Lima bean	1–4.5	Rusty brown specs, spots or areas
	Cranberry	2	Rubbery texture, red flesh
	Guava	4.5	Pulp injury, decay
	Cantaloupe	2–5	Pitting, surface decay
	Watermelon	4.5	Pitting, objectionable flavor
	Orange	3	Pitting and brown stain
	Pomegranate	4.5	Pitting, external and internal browning
	Potato	3	Mahogany browning, sweetening
	Tamarillo	3–4	Surface pitting and discoloration
B (6°C–10°C)	Snap bean	7	Pitting and russetting
	Cucumber	7	Pitting, water-soaked spots, and decay
	Eggplant	7	Surface scald, <i>Alternaria</i> rot, blackening of seeds
	Lime	7–9	Pitting, turning tan with time
	Honeydew melon	7–10	Reddish-tan discoloration, pitting, surface decay, failure to ripen
	Casaba, Crenshaw and Persian melon	7–10	Pitting, surface decay, failure to ripen
	Okra	7	Discoloration, water soaked areas, pitting, decay
	Fresh olive	7	Internal browning
	Papaya	7	Pitting, failure to ripen, off flavor, decay
	Sweet pepper	7	Sheet pitting, <i>Alternaria</i> rot on pods and calyxes, darkening of seeds
	Pineapple	7–10	Dull green when ripened
	Pumpkin	10	Decay, especially <i>Alternaria</i> rot
	(hardshell and squashed)		
C (11°C–20°C)	Tomatoes (ripe)	7–10	Water soaking
	Banana (green or ripe)	11.5–13	Dull color when ripened
	Grapefruits	10	Scald, pitting, watery breakdown
	Jicama	13–18	Pitting, membranous staining, red blotch
	Mango	10–13	Grayish scald-like discoloration of skin, uneven ripening
	Sweet potato	13	Decay, pitting, internal discoloration, hard core when cooked
	Tomato	13	Poor color when ripe, <i>Alternaria</i> rot

^aApproximate lowest safe temperature.

جدول ۹-۶: دمای بحرانی و عوارض سرمازدگی در برخی از محصولات (Kader, ۱۹۹۶)

۳۷۲

محصول	دمای بحرانی (°C)	عوارض سرمازدگی
آووکادو	۵-۱۲	حفره‌ای شدن ^۱ ، قهوه‌ای شدن گوشت میوه و آوندها
موز	۱۲-۱۳	رگه‌های قهوه‌ای روی پوست، نرم شدن غیریکنواخت گوشت میوه، تولید طعم ترش، گس و غیرعادی
خیار	۷	تیره شدن رنگ، آب‌گزر شدن
بادنجان	۷	اسکالده سطحی
لیمو شیرین	۱۰	حفره‌ای شدن بخش اسفنجی، لکه‌های قرمز روی غشای بین قسمت‌ها
لیمو عمانی	۷	حفره‌ای شدن
انبه	۵-۱۲	تیره شدن پوست، لکه‌های قهوه‌ای و نرم شدن بافت
خربزه	۷-۱۰	حفره‌ای شدن، پوسیدگی سطحی
پاپایا	۷	حفره‌ای شدن، آب‌گزر شدن
آناناس	۶-۱۰	پژمرده شدن برگ‌های تاج، قهوه‌ای شدن و نرم شدن گوشت میوه، اختلال در رسیدن (اگر سبز برداشت شود، زرد نمی‌شود و اگر رسیده باشد، لکه‌های قهوه‌ای یا تیره رنگ روی آن ظاهر می‌شود)
گوجه‌فرنگی	۷-۱۳	حفره‌ای شدن، پوسیدگی آلترناریا، اسیدیته غیرعادی، اختلال در رسیدن
پرتقال	۸	لکه‌های نوار مانند ^۲ به رنگ قهوه‌ای روی پوست که در حالت پیشرفته تا عمق ۲-۳ میلی‌متری در کورتکس نفوذ می‌کند
سیب	۴	قهوه‌ای شدن کورتکس، رگه‌های قهوه‌ای در ناحیه آوندها، آبکی شدن بافت ^۳ و تیره شدن پوست
زیتون، تازه	۷	قهوه‌ای شدن گوشت میوه
بامیه	۷	بد رنگ شدن، آب‌گزر شدن، حفره‌ای شدن
هندوانه	۴/۵	حفره‌ای شدن، طعم نامطبوع
فلفل شیرین	۷	سیاه شدن دانه، حفره‌ای شدن، پوسیدگی آلترناریا
سیب‌زمینی	۳	شیرین شدن، قهوه‌ای شدن

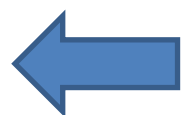
جدول ۹-۵: نقطه انجماد (درجه سانتی گراد) برخی از میوه‌ها و سبزی‌ها (Kader, ۲۰۰۲)

محصول	نقطه انجماد	محصول	نقطه انجماد
سیب	-۱/۷ تا -۲/۸	آرتیشو	-۱/۹
مارچوبه	-۱/۱ تا -۱/۴	آووکادو	-۲/۶ تا -۲/۸
موز	-۳/۰ تا -۳/۶	لوبیا سبز	-۱/۱ تا -۱/۳
چغندر	-۲/۷ تا -۲/۹	شاتوت	-۱/۴ تا -۲/۲
کلم بروکلی	-۱/۴ تا -۱/۸	کلم پیچ	-۰/۴ تا -۰/۵
هندوانه	-۱/۴ تا -۱/۷	هویج	-۱/۳ تا -۱/۴
کلم گل	-۱/۱ تا -۱/۲	کرفس	-۱/۱ تا -۱/۳
آلبالو	-۱/۹ تا -۲/۴	گیلاس	-۳/۸ تا -۴/۳
خیار	-۰/۸ تا -۰/۹	بادنجان	-۰/۷ تا -۱/۰
انجیر	-۲/۴ تا -۳/۲	سیر	-۳/۵ تا -۴/۱
انگور	-۲/۳ تا -۵/۳	دارابی	-۱/۷ تا -۲/۲
کلم قمری	-۱/۰ تا -۱/۳	گردو	-۵/۵ تا -۷/۲
تره فرنگی	-۱/۲ تا -۱/۹	لیمو شیرین	-۱/۹ تا -۲/۳
کاهو	-۰/۳ تا -۰/۶	لیمو عمانی	-۱/۴ تا -۱/۸
انبه	-۱/۱ تا -۱/۳	قارچ	-۰/۹ تا -۱/۲
زیتون، نازه	-۱/۴ تا -۲/۴	پیاز	-۰/۹ تا -۱/۳
پرقال	-۲/۰ تا -۲/۳	نارنگی	-۱/۴ تا -۱/۸
پاپایا	-۰/۹ تا -۱/۲	نخود فرنگی	-۱/۰ تا -۱/۳
هلو	-۱/۳ تا -۱/۷	گلابی	-۲/۱ تا -۲/۷
فلفل سبز	-۰/۹ تا -۱/۲	آناناس	-۱/۰ تا -۱/۳
آلو	-۲/۰ تا -۲/۴	سیب زمینی	-۱/۷ تا -۱/۸
کدو حلوائی	-۰/۹ تا -۱/۰	تریچه	-۲/۳ تا -۲/۸
تمشک	-۱/۱ تا -۱/۴	ریواس	-۱/۵ تا -۲/۵
اسفناج	-۰/۸ تا -۱/۰	کدو سبز	-۰/۴ تا -۱/۷
نوت فرنگی	-۱/۱ تا -۱/۴	گوچه فرنگی قرمز	-۰/۷ تا -۱/۰

تیمارهای پس از برداشتی کاهش دهنده سرمازدگی:

- برخی از تیمارهای پس از برداشت مانند:

تیمار گرمایی، استفاده از برخی تنظیم کننده های رشد، مواد طبیعی یا



شیمیایی و نگهداری در انبار با اتمسفر تغییر داده شده

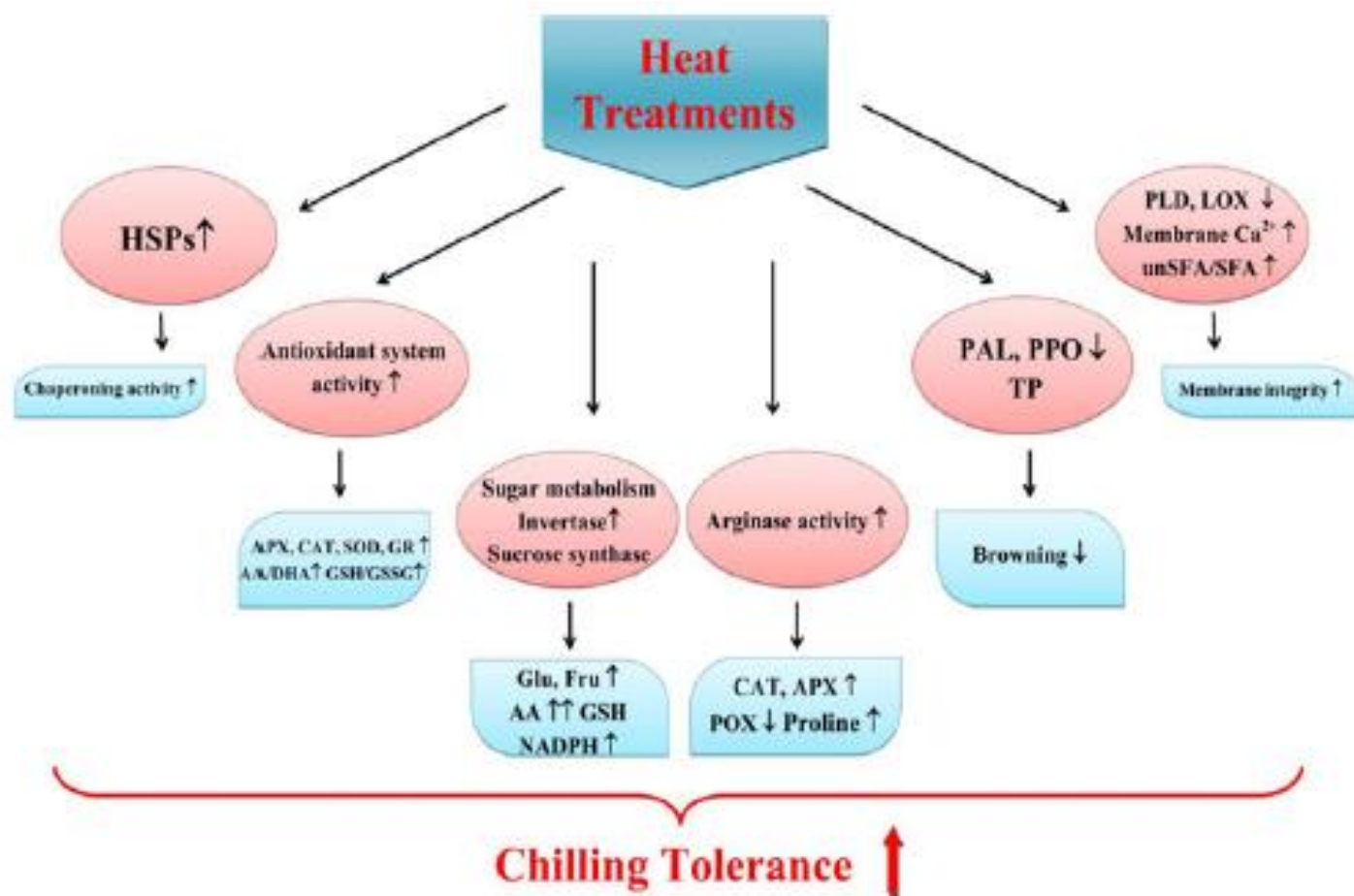
افزایش تحمل به آسیب سرمازدگی

و به تعویق افتادن زمان ظهور علائم سرمازدگی

تیمار گرمایی

- نتایج تحقیقات در میوه‌های مختلف نشان داده است که تیمار گرمایی موجب کاهش ظهور علائم سرمازدگی در دمای پایین و کنترل برخی آفات و بیماری‌های پس از برداشت میوه‌ها شده است.
- انواع تیمار گرمایی: آب گرم، بخار آب و هوای داغ
- تیمار گرمایی سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و مقاومت به سرمازدگی
- تولید پروتئین‌های شوک حرارتی (HSPs)
- تیمار آب گرم، به دلیل افزایش دادن سطح پلی‌آمین‌های داخلی علائم سرمازدگی را در میوه انار کاهش داده است (میر دهقان و همکاران، ۲۰۰۷).
- تیمار آب گرم ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو دقیقه منجر به کاهش میزان و شدت سرمازدگی و افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز در نارنگی ساتسوما شده است (قاسم نژاد و همکاران، ۲۰۰۸).

Fig. 2 Schematic overview of the mechanisms by which heat treatments enhance chilling tolerance in fruits and vegetables



Typical Heat Treatments for Controlling Physiological Disorders and Enhancing Quality of Selected Fruits and Vegetables

Commodity	Physiological Disorders/Injury	Temperature (°C)/Time	Heating Medium Used
Apple	Scald and improving firmness	38/4 days or 42/2 days	Hot air
Asparagus	Inhibition of curvature	47.5/2–5 min	Hot water
Avocado	Browning	38/3–10 h followed by 40/30 min	Hot air and water
	Pitting	38/60 min	Hot water
Cactus pear	Rind pitting	38/24 h or 55 /5 min	Hot water or air
Citrus fruits	Rind pitting	34–36/48–72 h	Hot air
		50–54/3 min	hot water
Guava	Increased hardness and yellowing	46/35 min	Hot water
Green pepper	Pitting	40/20 h	Hot air
Mango	Pitting	38/2 days or 54/20 min	Hot air
Tomato	Pitting	38/2–3 31 days	Hot air
		48/2 min or 42/1 h	hot water

استفاده از تنظیم کننده های رشد

- تیمار D-2,4 باعث افزایش فعالیت آنزیم های کاهنده گونه های اکسیژن واکنش گر (ROS) مانند کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در میوه انبه می گردد، همچنین سبب افزایش سطح اسید جبرلیک و اسید آبسایزیک و کاهش سطح اکسین و سایتوکنین درونی میوه شده و در نتیجه با تغییر تعادل هورمونی سبب افزایش تحمل سرما در میوه می گردد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۸).
- استفاده از پلی آمین ها، موجب کاهش خسارت سرمازدگی میوه انبه در انبار سرد شده است (نائر و سینگ، ۲۰۰۳). کاربرد پلی آمین ها مانند اسپرمین منجر به کاهش علائم خسارت ناشی از سرما بر میوه سیب (یوشیکاوا و همکاران، ۲۰۰۷) و میوه منگوستین (کوندو و همکاران، ۲۰۰۳) در طول نگهداری در انبار سرد شده است. کاربرد پوتریسن و اسپرمیدین نیز منجر به کاهش علائم سرمازدگی و نشت یونی در انار شده است (میردهقان و همکاران، ۲۰۰۷).

استفاده از مواد طبیعی

- اسید سالیسیلیک
- متیل سالیسیلات
- متیل جاسمونات

استفاده از اسید سالیسیلیک

- گزارشات متعددی ثابت نموده است که کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک باعث افزایش مقاومت به سرمازدگی در گیاهان مختلف از جمله ذرت، خیار، برنج، گندم، سیب زمینی، فلفل شیرین شده است (کانگ و سالتویت، ۲۰۰۲؛ تاسگین و همکاران، ۲۰۰۳؛ فانگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ کورکماز، ۲۰۰۵؛ مورا-هررا و همکاران، ۲۰۰۵؛ عرفان، ۲۰۰۹؛ سیاری، ۲۰۱۲). اثر اسید سالیسیلیک بر افزایش مقاومت به سرما در میوه‌های گوجه فرنگی و هلو در طول مدت انبارمانی در انبار سرد به توانایی آن در تولید پروتئین‌های شوک حرارتی (HSPs) و تحریک سیستم آنتی اکسیدانی نسبت داده شده است (دینگ و همکاران، ۲۰۰۱؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۶).
- چندین گزارش ثابت نموده است که اسید سالیسیلیک موجب افزایش فعالیت SOD، GPX، GR، POD شده است (جاندا و همکاران، ۱۹۹۹؛ میلا و همکاران، ۲۰۰۳؛ آزیویدو و همکاران، ۲۰۰۴؛ نورین و همکاران، ۲۰۰۹). -

- تیمار اسید سالیسیلیک سبب تاخیر رسیدن میوه‌های سیب، هلو، موز، انبه و گوجه‌فرنگی شده است (نات و همکاران، ۲۰۰۶). سریواستاوا و دیوی ودی (۲۰۰۰) گزارش کردند که اثر اسید سالیسیلیک بر کاهش رسیدن میوه به علت اثر بازدارندگی آن در بیوسنتز و یا عمل اتیلن است. اسید سالیسیلیک نشان داده است که باعث کاهش تولید اتیلن در میوه‌های توت‌فرنگی (بابالار و همکاران، ۲۰۰۷)، کیوی (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۳)، سلول‌های گلابی (لسلی و رومانی، ۱۹۸۸)، دیسک‌های بافت میوه سیب و گلابی (رومانی و همکاران، ۱۹۸۹) شده است. کاهش پیک فرازگرایی در تولید اتیلن به وسیله اسید سالیسیلیک بیشتر به دلیل کاهش تولید و فعالیت آنزیم‌های آسی‌سی سینتاز و آسی‌سی اکسیداز است (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۳). لسلی و رومانی (۱۹۸۸) ثابت کردند که اثر بازدارندگی اسید سالیسیلیک، بر تبدیل آسی‌سی به اتیلن، به علت اثر بازدارندگی اسید سالیسیلیک بر فعالیت آسی‌سی اکسیداز است.

متیل سالیسیلات

- متیل سالیسیلات وقتی در گیاه موثر است که مجدداً به اسید سالیسیلیک تبدیل شود (شولیو و همکاران، ۱۹۹۷).
- کاربرد متیل سالیسیلات سبب کاهش خسارت سرمازدگی میوه انبه نگهداری شده در دمای هفت درجه سانتی گراد شده است (هان و همکاران، ۲۰۰۶). تیمارهای بخاردهی متیل سالیسیلات منجر به کاهش علائم سرمازدگی و افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه انار شده است. متیل سالیسیلات نسبت به تیمار شاهد، به طور معنی داری باعث کاهش نشت یونی و افزایش آنتوسیانین، آنتی اکسیدانهای محلول در آب و محلول در چربی در انار شده است (سیاری و همکاران، ۲۰۱۱). کاربرد متیل سالیسیلات در پس از برداشت میوه گوجه فرنگی و قبل از نگهداری در انبار سرد، موجب تولید پروتئینهای شوک حرارتی و افزایش مقاومت میوه به دمای پایین و سرمازدگی شده است (دینگ و همکاران، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲). همچنین تیمار متیل سالیسیلات سبب کاهش خسارت سرمازدگی انبه، پاپایا، فلفل، گوجه فرنگی و کدو مسمایی شده است.

متیل جاسمونات

- متیل جاسمونات نیز همانند متیل سالیسیلات، با افزایش بیان ژن پروتئین‌های شوک حرارتی، پروتئین‌های مربوط به پاتوژنسیس و دیگر اکسیدازها، موجب افزایش مقاومت بافت‌ها به خسارت سرمازدگی در میوه‌های انبه، پاپایا، فلفل، گوجه‌فرنگی و کدو مسمایی شده است. نتایج تحقیقات نشان داده است که متیل جاسمونات منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فعالیت آنزیمی آنتی‌اکسیدانی و ظرفیت جاروبگرهای رادیکال‌های آزاد در بافت میوه شده است. این نتایج حاکی از آن است که متیل جاسمونات می‌تواند با انگیزش مکانیسم‌های حفاظتی بافت‌ها در برابر خسارت رادیکال‌های آزاد از آسیب سرمازدگی جلوگیری کند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۶). کاربرد پس از برداشت متیل جاسمونات بر میوه گوجه‌فرنگی همانند متیل سالیسیلات، موجب تولید پروتئین‌های شوک حرارتی و افزایش مقاومت میوه به دمای پایین و سرمازدگی شده است (دینگ و همکاران، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲).