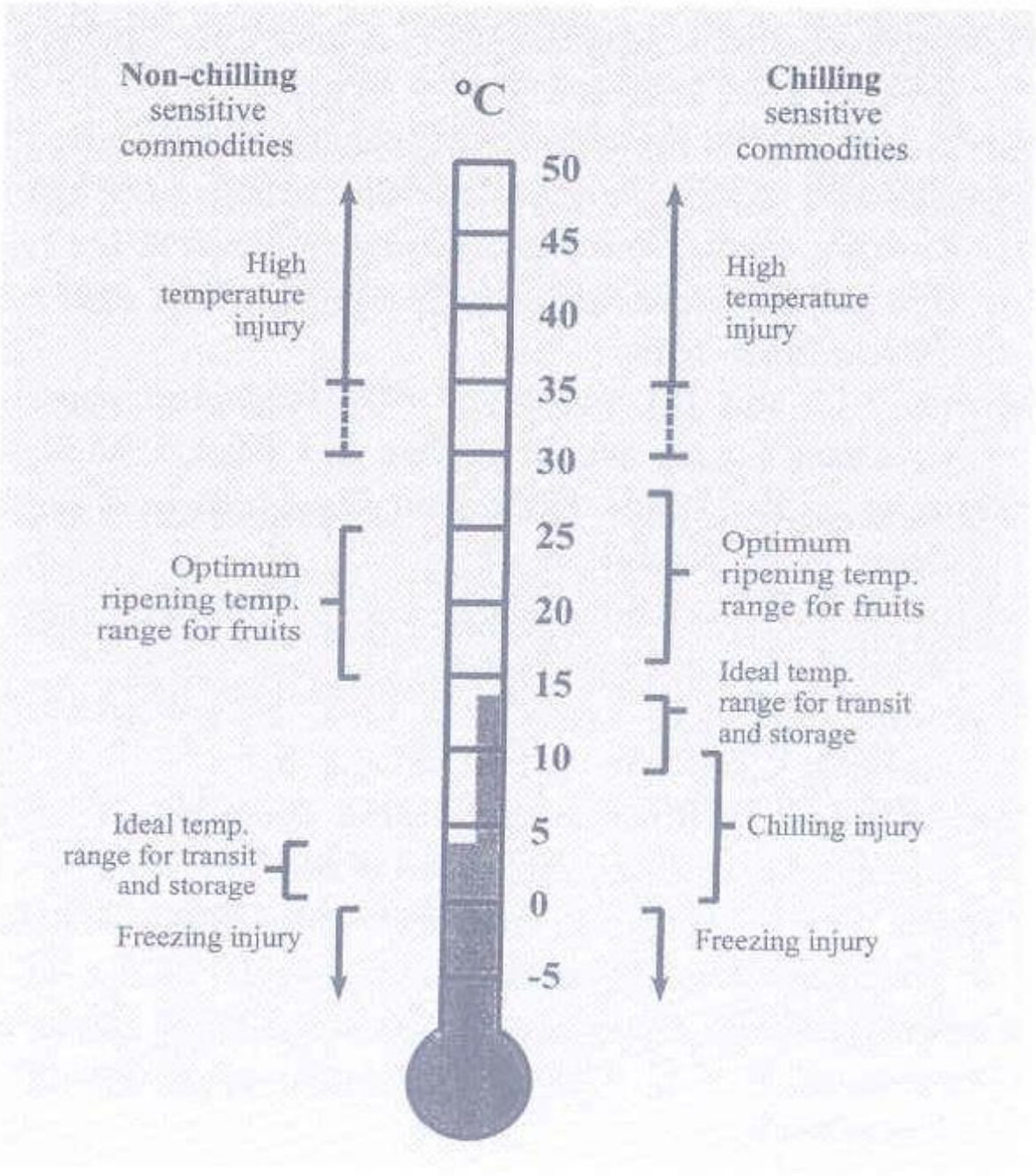
سرمازدگی درمحصولات باغبانی

مقدمه

- درجه حرارت در مرحله پس از برداشت به شدت بر متابولیسم میوه ها و سبزیجات تأثیر می‌گذارد. درجه حرارت بالا موجب تسریع متابولیسم و کاهش عمر پس از برداشت انواع محصولات باغبانی می‌شود، در حالی که درجه حرارت پایین می‌تواند منجر به بروز انجماد یا سرمازدگی در بافت های گیاهی شود. سرمازدگی یک نابسامانی فیزیولوژیکی در محصولات حساس به سرما است که جابجایی و عرضه تجاری محصولات باغبانی را محدود می کند و با کوتاه کردن روند دسترسی به محصولات باغبانی منجر به ایجاد ضایعات و تلفات مالی می شود و توزیع جغرافیایی بسیاری از محصولات را محدود می کند. هدف اصلی از مطالعات سرمازدگی یافتن راهکارهایی برای کاهش این مشکل است. برای طراحی و کنترل استراتژی های موثر و به حداکثر رساندن عمر انبارمانی، درک مکانیسم های بیوشیمیایی مرتبط با شروع سرمازدگی ضروری است.

Figure 4.1
Responses of non-chilling-sensitive and chilling-sensitive produce to temperature.



سرمازدگی میوه

- سرمازدگی نوعی نابسامانی است که عمدتا در بافت های گیاهان گرمسیری و نیمه گرمسیری، در اثر مواجه شدن با دماهای پایین تر از دمای بحرانی مشاهده می شود. سرمازدگی میوه های گرمسیری معمولا در اثر نگهداری در دمای بین صفر تا ۱۰ درجه سانتی گراد رخ داده و این نابسامانی از عوامل محدود کننده عمر انباری آنها محسوب می شود. بنابراین محصولاتی که به سرمازدگی حساس هستند عمر انباری کوتاهی دارند، زیرا نمی توان از دمای پایین برای کاهش سرعت فساد و رشد عوامل بیماریزا استفاده کرد

انبارمانی در دمای پایین موثرترین روش حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی بسیاری از محصولات باغبانی است و امکان انتقال محصولات باغبانی و جابجایی در مسافت های طولانی را فراهم می سازد. با این حال برای برخی از محصولات باغبانی به ویژه محصولاتی که منشا گرمسیری و نیمه گرمسیری دارند، استفاده از دمای پایین با محدودیت مواجه می باشد، زیرا دماهای پایین کمتر از یک حد مشخص ولی بالاتر از نقطه دمایی انجماد به دلیل حساسیت محصول به سرما و به دنبال آن ایجاد اثرات منفی در محصول قابل استفاده نیستند. علاوه بر این، جهانی شدن تجارت، مسیرهای حمل و نقل را گسترش داده و نیاز به استفاده از دمای پایین برای حفظ کیفیت محصول در حین انتقال به مسافت های دور، امکان بروز ضایعات ناشی از سرمازدگی را افزایش داده است.

✓میوه های گرمسیری عمدتا فسادپذیر

- ✓ دمای بالای محیط در هنگام برداشت و عرضه آن ← زمان عرضه محصول به بازار کوتاه
- ✓ از مشکلات اصلی انبارمانی آن ها ← سرمازدگی محصول در انبار سرد
- ✓ و نگهداری در دمای بالا ← کاهش دوره انبارمانی و گسترش فساد میوه

Table 1.3 Classification of fruits according to their optimal storage temperatures and potential storage-life

Potential storage-life (weeks)	Optimal storage temperatures		
	0–2°C	4–6°C	10–14°C
<2	Apricot, blackberry, fig, raspberry, strawberry	Avocado (ripe), guava, feijoa	Papaya, rambutan, sapota, soursop
2–4	Blueberry, cherry, currant, gooseberry, loquat, nectarine, peach	Cactus pear, kumquat, longan, lychee, star fruit (carambola)	Avocado, banana, breadfruit, cherimoya, jackfruit, jujube, mangosteen, passion fruit, pineapple
4–6	Cashew apple, plum, plumcot	Mandarin, pepino	Durian, mango, plantain
6–8	Coconut, grape, persimmon	Olive, orange, pomegranate, tamarillo	Grapefruit, lime, pummelo (pomelo)
>8	Apple, Asian pear, cranberry, date, kiwi-fruit, pear, quince, tree nuts	Apple (chilling-sensitive cultivars)	Lemon

Sources: Hardenburg *et al.*, 1986; Kader, 1992; Ryall & Pentzer, 1982.

Figure 12.2. Compatible fresh fruits and vegetables during 10-day storage

Group 1A: 0°–2°C (32°–36°F) and 90–98% RH

VEGETABLES

alfalfa sprouts
amaranth*
anise*
artichoke*
asparagus*
beans: fava, lima
bean sprouts
beet
Belgian endive*
bok choy*
broccoflower*
broccoli*
Brussels sprouts*
cabbage*
carrot*
cauliflower*
celeriac
celery*
chard*
Chinese cabbage*
Chinese turnip
collard*
corn: sweet, baby
cut vegetables
daikon*
endive,* chicory
escarole*
fennel*
garlic
green onion*
herbs* (not basil)
horseradish
Jerusalem artichoke
kailon
kale*
kohlrabi
leek*
lettuce*
mint*
mushroom
mustard greens*
parsley*
parsnip
radicchio*
radish
rutabaga
rhubarb
salsify
scorzonera
shallot*
snow pea*
spinach*
sweet pea*
Swiss chard*
turnip
turnip greens*
waterchestnut
watercress*

Group 1B: 0°–2°C (32°–36°F) and 85–95% RH

FRUITS AND MELONS

apple
apricot
avocado, ripe
Barbados cherry
blackberry
blueberry
boysenberry
caimito
cantaloupe
cashew apple
cherry
coconut
currant
cut fruits
date
dewberry
elderberry
fig
gooseberry
grape
kiwifruit*
loganberry
longan
loquat
lychee
nectarine
peach
pear: Asian, European
persimmon*
plum
plumcot
pomegranate
prune
quince
raspberry
strawberry

Group 2: 7°–10°C (45°–50°F) and 85–95% RH

VEGETABLES

basil*
beans: snap, green, wax
cactus leaves (nopales)*
calabaza
chayote*
cowpea (Southern pea)
cucumber*
eggplant*
kiwano (horned melon)
long bean
malanga*
okra*
pepper: bell, chili
squash: summer (soft-rind)*
tomatillo
winged bean

FRUITS AND MELONS

avocado, unripe
babaco
cactus pear, tuna
calamondin
carambola
cranberry
custard apple
durian
feijoa
granadilla
grapefruit*
guava
Juan Canary melon
kumquat
lemon*
lime*
limequat
mandarin
olive
orange
passion fruit
pepino
pineapple
pummelo
sugar apple
tamarillo
tamarind
tangelo
tangerine
ugli fruit
watermelon

Group 3: 13°–18°C (55°–65°F) and 85–95% RH

VEGETABLES

bitter melon
boniato*
cassava
dry onion
ginger
jicama
potato
pumpkin
squash: winter (hard rind)*
sweet potato*
taro (dasheen)
tomato: ripe, partially ripe, and mature green
yam

FRUITS AND MELONS

atemoya
banana
breadfruit
canistel
casaba melon
cherimoya
crenshaw melon
honeydew melon
jaboticaba
jackfruit
mamey sapote
mango
mangosteen
papaya
Persian melon
plantain
rambutan
sapodilla
sapote
soursop

Notes:

Ethylene level should be kept below 1 ppm in storage areas.

* Products sensitive to ethylene damage.

Compatibility Groups for Transport and Storage of Fresh Fruits and Vegetables

Group	Temperature (°C)	RH (%)	Commodity
1	0–2	90–95	Apple, apricot, beets (topped), berries (except cranberries), cashew apple, cherries, coconut, fig (not with apples), grapes (without sulfur dioxide), horseradish, kohlrabi, leek, longan, loquat, lychee, mushrooms, nectarines, orange,[a] parsnip, peach, pear, persimmon, plum, pomegranate, prune, quince, radish, rutabaga, turnip
2	0–2	95–100	Amaranth,[b] anise,[b] artichokes,[b] asparagus, bean sprouts, beets,[b] Belgian endive, berries (except cranberries), bok choy, broccoli,[b] brussels sprout,[b] cabbage,[b] carrot,[b] cauliflower, celeriac,[b] celery,[b] cherries, corn (sweet),[b] daikon,[b] endive,[b] escarole,[b] grapes (without sulfur dioxide), horseradish, Jerusalem artichoke, kiwifruit, kohlrabi,[b] leafy greens, leek[b] (not with figs or grapes), lettuce, lo bok, mushrooms, onions[b] (green not with figs, grapes, mushroom, rhubarb, or corn) parsley,[b] parsnip,[b] peas,[b] pomegranate, raddichio, radish,[b] rhubarb, rutabagas,[b] salsify, scorzonera, snow pea, spinach, turnip,[b] water chestnut, watercress
3	0–2	65–75	Garlic, onion (dry)
4	4.5	90–95	Cactus leaves, cactus pear, caimito, cantaloupe,[b] clementine, cranberries, lemon,[a] lychee, kumquat, mandarin,[a] oranges (California and Arizona), pepino tamarillo, tangelos,[a] tangerines,[a] ugli fruit,[a] yucca root
5	10	85–90	Beans, calamondin, chayote, cucumber, eggplant, haricot vert, kiwano, malanga, okra, olive, peppers, potato, pummelo, squash (summer and soft shell), tamarind, taro root
6	13–15	85–90	Atemoya, avocado, babaco, banana, bitter melon, black sapote, boniato, breadfruit, canistel, carambola, cherimoya, coconut, feijoa, ginger root, granadilla, grapefruit, guava, jaboticaba, jackfruit, langsat, lemon,[a] lime,[a] mammy, mango, mangosteen, melons (except cantaloupes), papaya, passion fruit, pineapple, plaintain, potato (new), pumpkin, rambutan, santol, soursop, sugar apple, squash (winter, hard shell), tomatillo, tomato (ripe)
7	18–21	85–90	Jicama, pear (for ripening), sweet potato, tomato (mature green), watermelon, white sapote, yam

Group 1: Many products produce ethylene.
Group 2: Many products are sensitive to ethylene.
Group 3: Moisture damages these products.
Groups 4, 5 and 6: Many products are sensitive to ethylene and chilling injury.
Group 6: Produce ethylene and sensitive to chilling injury.
Group 7: Separate sweet potato, white sapote and yam from pears and tomatoes owing to ethylene sensitivity.
[a] Citrus fruits treated with biphenyl may give odors to other products.
[b] Can be top iced.
Source: Adapted from M. McGregor, *Tropical Products Transport Handbook*, USDA Office of Transportation, Agricultural Handbook 668. 1999 (http://www.ams.usda.gov/tmd/Tropical/index.htm).

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 flash
	Lima bean	1–4.5	Rusty brown specs, spots or areas
	Cranberry	2	Rubbery texture, red flash
	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 russeting
	Cucumber	7	Pitting, water-soaked spots, and decay
	Eggplant	7	Surface scald, *Alternaria* 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, *Alternaria* rot on pods and calyxes, darkening of seeds
	Pineapple	7–10	Dull green when ripened
	Pumpkin (hardshell and squashed)	10	Decay, especially *Alternaria* rot
	Tomatoes (ripe)	7–10	Water soaking
C (11°C–20°C)	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, *Alternaria* rot

[a]Approximate lowest safe temperature.

Source: R. E. Harderburg et al. *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*, USDA, Agricultural Handbook No. 66, 1986.

علائم سرمازدگی

- آسیب‌های ناشی از سرمازدگی پس از قرارگیری محصول در شرایط قرار گرفتن در معرض دمای پایین ایجاد می شوند ولی ممکن است علائم پس از انتقال محصول به دماهای بالاتر ظاهر شوند. پس از انتقال محصول به دمای بالاتر از حد سرمازدگی نیز مدت زمانی طول می کشد تا علائم به تدریج ظاهر شوند. سرمازدگی می‌تواند انواع مختلفی از نابسامانی‌های متابولیکی یا رشدی را ایجاد کند که شامل اختلال در رسیدن یا توقف رسیدن محصول، نرم شدن بیش از حد زیاد یا جلوگیری از نرم شدن و مشکلات مربوط به تولید طعم و بوی نامطبوع باشد.

علائم سرمازدگی

نشانه‌های خاص ظاهری می‌تواند شامل ایجاد حفره و یا فرورفتگی‌ها در پوست، تغییر رنگ غیرطبیعی در پوست، قهوه‌ای شدن سطحی یا داخلی، خشک و کم آب شدن بافت گوشت، تخریب بافت و پوسیدگی قارچی یا باکتریایی باشد. نابسامانی‌های فیزیولوژیکی مختلف می‌توانند به شکل متفاوتی بر بافت محصول تاثیر بگذارند، ولی در برخی از موارد اثرات سرمازدگی فقط در پوست ظاهر می شود و یا علائم آسیب تنها در قسمت‌های خاصی از گوشت یا هسته ظاهر می‌شوند. از جمله مشخصه علائم اختصاصی سرمازدگی برای محصولات باغبانی می‌توان به ایجاد رنگ غیرطبیعی در گوجه فرنگی، سوختگی‌های سطحی در سیب، لکه‌های فرورفته در مرکبات و خشک و کم آب شدن گوشت میوه در هلو و شلیل اشاره نمود.

علائم سرمازدگی

- علایم سلولی سرمازدگی می توان به آسیب دیدن غشاء سلول، متلاشی شدن میتوکندری، کلروپلاست، تولید اتیلن، افزایش تنفس و تجمع مواد سمی مانند اتانول و استالدئید و تغییر ساختار یاخته ای اشاره کرد. علامت های ظاهری سرمازدگی در بیشتر میوه ها به صورت های لکه های عدسک مانند یا اسکالد مانند به رنگ قهوه ای یا خاکستری در سطح پوست میوه است که به تدریج به رنگ سیاه و به حالت فرو رفته در خواهند آمد. علاوه بر آن در میوه های سرمازده توسعه رنگ، عطر و طعم میوه ضعیف بوده و حساسیت میوه به پوسیدگی بیشتر شده و درحالت شدید رنگ گوشت میوه ها به رنگ قهوه ای در می آید. علایم خسارت سرمازدگی بستگی به رقم، مرحله رسیدن فیزیولوژیکی و پیشرفت مراحل رسیدن میوه (که اثر عکس دارد)، درجه حرارت و طول مدت سرمازدگی دارد.

جدول ۴-۱ مثال‌هایی از میوه‌ها و سبزی‌های حساس به سرمازدگی،کمترین دمای توصیه شده برای انبارداری آنها و علایم سرمازدگی آنها

محصول	کمترین دمای توصیه شده برای انبارداری (^{o}C)	علایم سرمازدگی
سیب	۰-۷	قهوه ای شدن مرکز یا گوشت میوه، طعم الکلی، بافت اسفنجی
آووکادو	۷-۱۳	تیره شدن بافت آوندی، بی رنگ شدن گوشت و پوست، طعم و بوی نامطلوب، رسیدن غیر عادی
موز	>۱۳	قهوه ای یا سیاه شدن پوست، طعم نامطلوب، رسیدن غیر عادی
طالبی	۲-۵	فرورفتگی پوست، پوسیدگی سطحی
خیار	۷-۱۰	فرورفتگی سطحی، که ابتدا نواحی عدسک تحت تأثیر قرار می‌گیرد و به دنبال آن پوسیدگی فوزاریومی یا پوسیدگی‌های دیگر اتفاق می‌افتد
گریپ‌فروت	۱۰-۱۵	ایجاد نقاط فرورفته قهوه‌ای روی پوست، از هم پاشیدگی آبکی داخلی، بوی الکلی
خربزه هانی دو	۷-۱۳	آبگز شدن پوست، نرم‌شدن، خاکستری یا قهوه ای شدن، سطح میوه نرم و چسبنده می‌شود و سبب افزایش پوسیدگی می‌گردد
لیمو	۱۰-۱۴	مشابه گریپ‌فروت به علاوه لکه های قرمز
لیموی آب	۹-۱۲	مشابه گریپ‌فروت
انبه	>۱۳	خاکستری شدن پوست، نقاط فرورفته، رسیدن غیر یکنواخت، طعم ضعیف، افزایش حساسیت به پوسیدگی آلترناریایی
پرتقال	۲-۵	مشابه گریپ‌فروت
خربزه درختی	۷-۱۳	نقاط فرورفته، زیتونی رنگ یا قهوه ای شدن، رسیدن غیرعادی
هلو-شلیل	۰/۵-۱	(دمای بحرانی ^{o}C ۸-۲) از هم پاشیدگی درونی، آردی شدن، رسیدن غیر عادی، قهوه‌ای شدن یا قرمز شدن گوشت
فلفل	۷-۱۳	ظاهر آبگز شده، نقاط فرورفته، تیره شدن
آناناس	۷-۱۳	آبکی شدن گوشت و به دنبال آن قهوه‌ای یا سیاه شدن
گوجه‌فرنگی رسیده	۷-۱۳	بافت چرمی،گوشت آبکی
گوجه‌فرنگی سبز	>۱۳	رسیدن نامنظم، قهوه ای شدن بذر
هندوانه	۱۰-۱۵	نقاط فرورفته، از دست رفتن طعم، کم رنگ شدن رنگ قرمز
کدو خورشتی	۵-۱۰	نقاط فرورفته روی سطح، پوسیدگی سریع

Lowest Safe Storage Temperature to Avoid Chilling Injury Defects in Selected Fruit and Vegetables

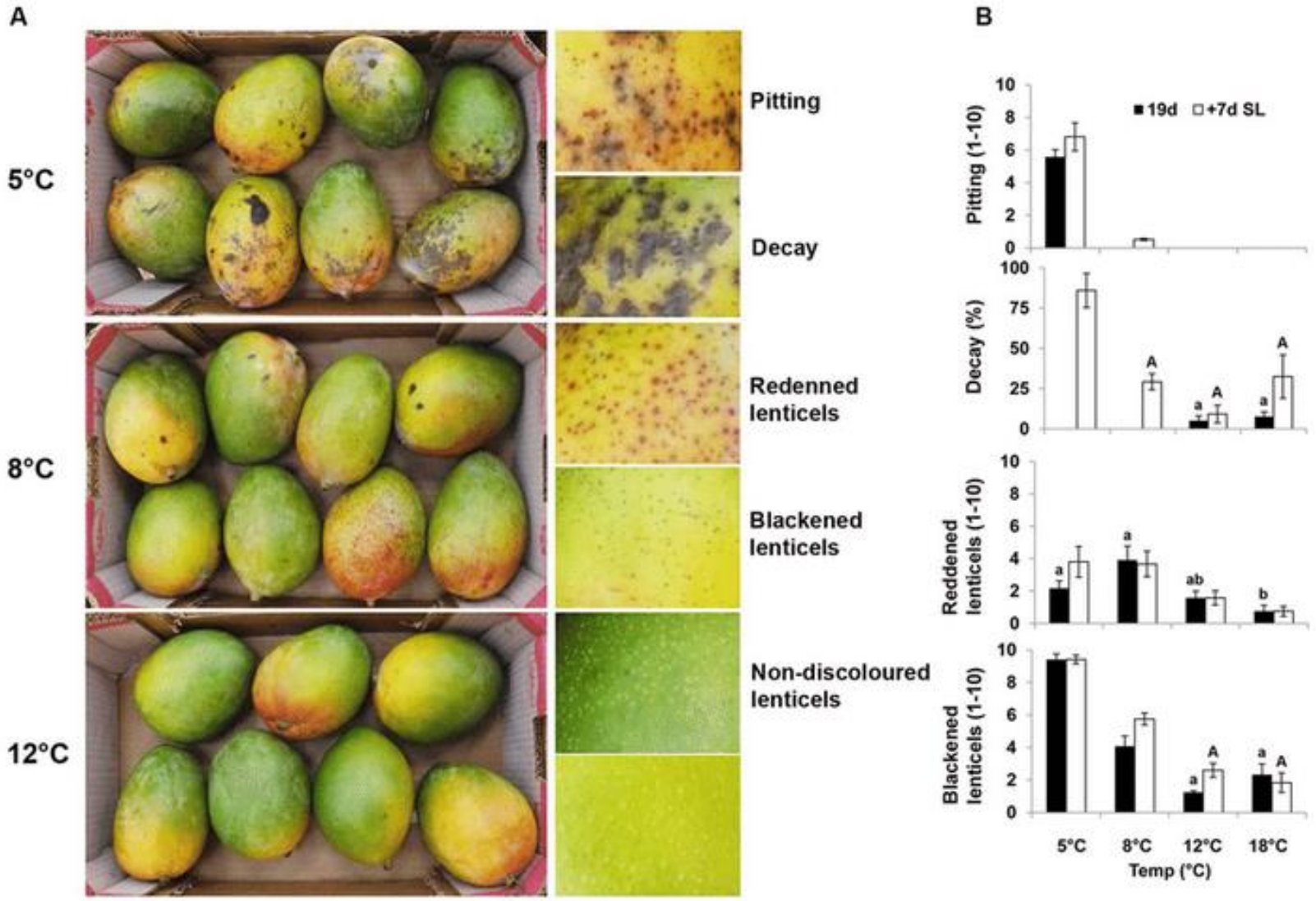
Produce	Lowest safe temperature (°C)*	Maximum duration (weeks)*	Main symptoms
Apple	–1–4†	8–16§	Pitting, flesh browning
Avocado	5–12	3–4§	Flesh discoloration, skin blackening
Banana	13	1–2§	Skin streaking, failure to ripen
Broccoli	0†	2–3	Not susceptible to chilling injury
Capsicum	7	2–4	Pitting, watersoaking, rots
Cucumber	10–12	<2	Pitting, lesions, watersoaking
Eggplant	10–12	2	Pitting, scald, browning, rots
Kiwifruit	0†	16–20§	Pitting, watersoaking
Lemon	10	26	Pitting, red blotch
Mango	7–13	2–4	Skin discoloration, uneven ripening
Orange	3–5	12§	Pitting, browning, rots
Peach	–1–0†	2–6§	Mealiness, flesh browning
Pineapple	7–12	2–3	Flesh browning, failure to ripen
Strawberry	0†	1	Not susceptible to chilling injury
Tomato	10–13	2–3§	Pitting, uneven ripening, rots

* A range of temperatures or durations indicates that there is variability in chilling injury susceptibility between different cultivars, maturity stages, growing region and early or late season crops.

† Produce should not be allowed to freeze.

§ The use of controlled atmosphere storage can significantly increase the storage life of certain crops.

Data compiled from Kader (2002), Wills et al. (2007) and USDA Agriculture Handbook Number 66 (http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/contents.html).



Keitt' mango fruit chilling injury (CI) symptoms and their quantification. (A) Representative pictures of mango fruit showing CI symptoms after 19 days of cold storage at 5, 8, or 12°C. Fruit stored at 5°C show pitting and decay, at 8°C black spots and red spots, and at 12°C healthy tissue and lenticels. (B) Quantification of CI in mango fruit at various cold-storage temperatures (18, 12, 8, or 5°C) for 19 days (black column) and further shelf-life storage at 20°C for 7 days (white column). Red spots, black spots and pitting were evaluated on a scale of 1–10, and total decay in percentage. Data shown are mean ± SE of six biological replicates. Letters represent significant difference by one-way ANOVA.

Table 1. Chilling injury symptoms in some immature fruits.

Immature Fruit	Symptoms	Threshold Temperature (°C)
Cucumber	Surface pitting, increased yellowing and disease susceptibility, water-soaked areas of the flesh	10–12
Eggplant	Surface pitting and scald, browning of the flesh and seeds	8–12
Bell pepper	Surface pitting, water-soaked areas, seed browning, and decay	
Okra	Discoloration; water-soaked areas; surface pitting; exuding lesions, and decay by mould or mildew, calyx discoloration	7–10
Zucchini	Surface pitting, large sunken areas, dehydration, discoloration	7–10
Bitter gourd	Pitting that coalesced to form large sunken dark brown pits; surface discoloration; internal tissue breakdown; decay	8–10

Table 2. Postharvest treatments alleviating oxidative stress and CI in immature fruits.

Postharvest Technologies	Technology	Species	Effects
Physical	Heat treatment	Cucumber	Reduced electrolyte leakage, chilling-induced ethylene, and ACS and ACO activity
			Reduced electrolyte leakage and MDA, and enhanced PLD and LOX activity
		Green bell pepper	Reduced CI, electrolyte leakage and LOX activity
			Reduced weight loss, softening, decay and CI
			Enhanced PA content and increased PAL and PPO activity
			Reduced CI, maintained firmness, and delayed unsaturated fatty acid accumulation
		Zucchini	Induced *HSP* genes, maintained flesh firmness
		Eggplant	Retarded CI, reduced spermidine
	Temperature preconditioning treatment	Zucchini	Alleviated CI and weight loss, reducedH_2O_2, MDA and ascorbic acid content, and induced activity of antioxidant enzymes
		Cucumber	Increased soluble solids, ascorbic acid, and MDA, O_2^- and H_2O_2, induced activity of antioxidant enzymes, and the scavengers AsA and glutathione
	Controlled atmospheres. CO_2 and O_2 treatments	Cucumber	Alleviated chilling injury, weight loss and changed in peel colour, maintenance of electrolyte leakage and MDA
		Zucchini	Reduced CI, increased levels of spermidine, spermine and total phenolics, induced activities of alternative oxidase, SOD, APX and CAT
	Controlled atmospheres. Use of plastic covers	Green bell pepper	Reduced CI and weight loss, maintained of ACC, Put, and ABA levels, reduced ascorbic acid content
		Okra	Reduced weight loss and ascorbic acid content, increased titratable acidity
		Eggplant	Retarded chilling injury, decreased spermidine levels
		Cucumber	Reduced weight loss, decay and fruit deformation, maintenance of freshness, colour and firmness
		Green bell pepper	Reduced CI, weight loss, membrane leakage and LOX activity, induction of HSP from the HSP70 family
		Zucchini	Reduced ethylene production and ethylene gene expression, reduced H_2O_2 and MDA
	Ceramide coating	Green bell pepper	Maintenance of membrane integrity, reduced MDA, enhanced activity of POD, CAT, and APX

Postharvest Technologies	Technology	Species	Effects
Physical	Chitosan coating	Zucchini	Reduced CI, preservation of flesh firmness
		Cucumber	Reduced CI, electrolyte leakage and MDA accumulation, increased content of soluble solids, chlorophyll and ascorbic acid, SA, and induced activity of SOD, CAT, APX and GR
		Sponge gourd	Delayed PPO, increased content of ascorbic acid and total phenolics
Chemical	1-MCP	Green bell pepper	Delaying senescence associated with enhanced antioxidant enzyme activities
		Zucchini	Reduced fruit weight loss, respiration rate and cold-induced ethylene, reduced expression of ethylene genes
		Eggplant	Reduced weight loss and browning, and reduced of PAL, PPO and POD activity, and total phenolics
	Brassinosteroids	Green bell pepper	Decreased electrolyte leakage and MDA content, enhanced CAT, APX, and GR activities
		Eggplant	Maintenance of membrane integrity and moisture and reduced flesh browning, reduced phenolic accumulation and repressed PAL, PPO, and POD activities
	ABA	Zucchini	Delayed development of CI symptoms
	Salicyloyl chitosan coating	Cucumber	Higher total soluble solids, chlorophyll and ascorbic acid content, reduced electrolyte leakage and MDA, and induction of SOD, CAT, APX and GR
	SA and MeSA	Sponge gourd	Higher antioxidant activity reduce MDA, enhanced SOD, CAT, APX activities
	MeSA and MeJA	Green bell pepper	Increased expression of *AOX* gene
		Cucumber	Reduced H_2O_2 accumulation enhanced catalase activity
		Eggplant	Reduced ethylene production
	MeJA	Cucumber	Induced chilling tolerance by inhibiting H_2O_2 generation and CAT activity
	PAs	Green bell pepper	Reduction of ethylene production
		Zucchini	Induction of APX, CAT and GR activities, increased content of ascorbate, FRAP, glucose, fructose and raffinose, and reduced LOX activity
	Nitric oxide	Cucumber	Reduced lipid peroxidation, O_2^- and H_2O_2 accumulation, and enhanced CAT, SOD, APX and POD activities
		Green beans	Shelf life extension
	6-BA	Cucumber	Increased chlorophyll, ascorbic acid, total phenolic contents, and antioxidant capacity, reduced $O^{\bullet -2}$, H_2O_2 and lipid peroxidation, increased activities of SOD, CAT, APX, GR and ATP
	CK	Zucchini	Slower deterioration and dehydration, phenolic compound accumulation, and decreased pectin and sugar solubility, delayed cell wall dismantling
	GB	Green bell pepper	Reduction in cellular leakage, MDA content, and lipid peroxidation increased activity and induced gene expression of *POD*, *CAT*, *APX*, and *GR*

(a)

FIGURE 4.2 External CI symptoms in tomato. Mature green fruit were stored at 5–6°C for 28 d (a) or 14 d (b), and then ripened at ambient temperature for 7 d. The fruit exhibit all the symptoms of severe CI: complete failure to ripen, uneven ripening, excessive softening, pitting, sunken depressions, and opportunistic infections by pathogenic microorganisms.

FIGURE 4.3 Internal CI symptoms in cold-stored tomato. In ripening fruit, the locular cavity can develop air spaces as the locular contents shrink (a). Other internal symptoms of CI that can develop are incomplete internal ripening and mealiness. In mature green fruit, browning of the seeds is a visible symptom of CI (b).

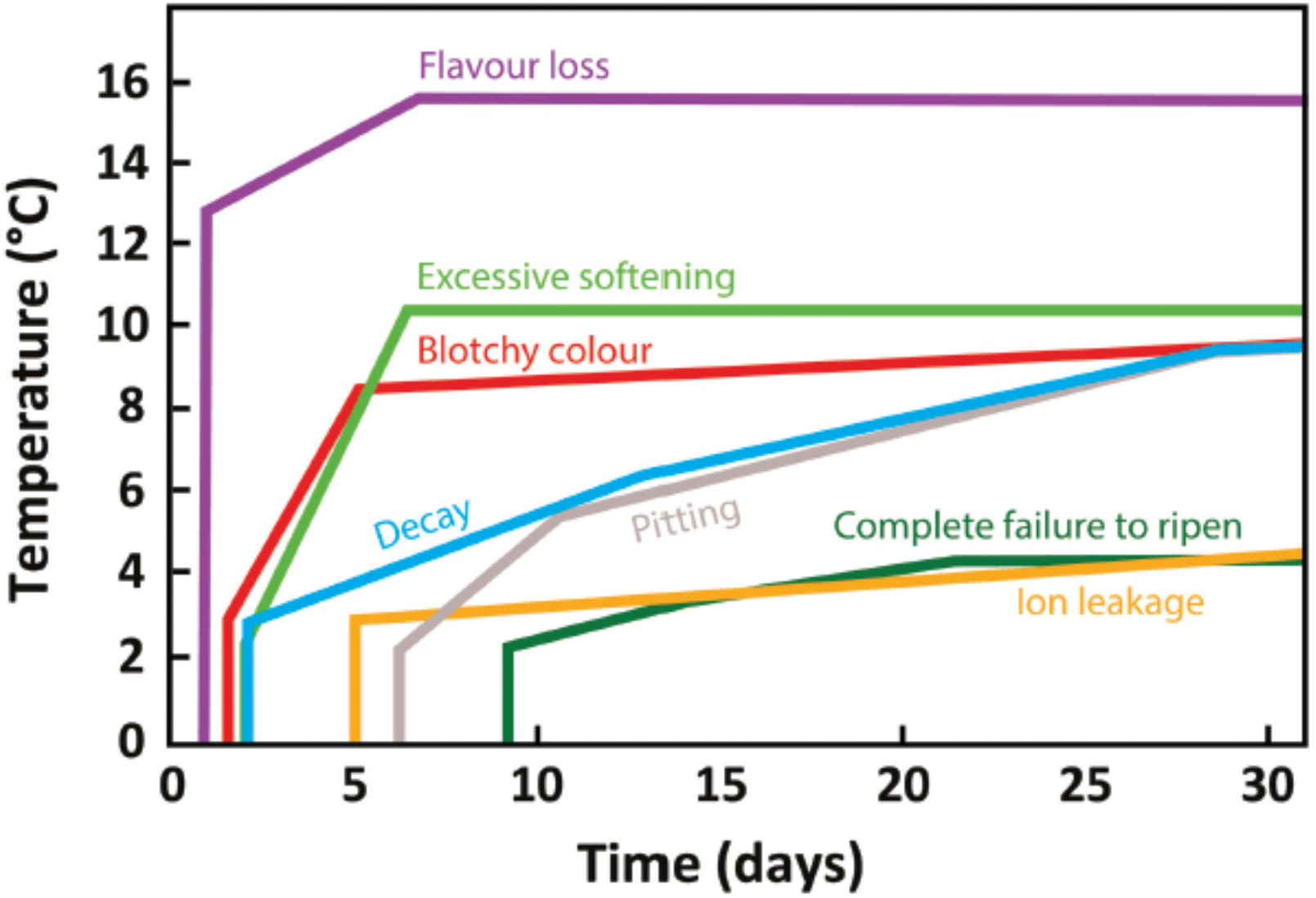


FIGURE 4.7 A conceptual model showing the potential temperature/time sensitivities of the various CI symptoms in tomato. The curves show the storage temperature and time required for the first appearance of the symptom, and its subsequent development. For example, flavor loss can be caused by storage at any temperature below 13°C for periods as short as 2 d, whereas storage at temperatures a few degrees higher takes increasingly longer to affect flavor. Figure modified from Biswas et al. (2016a).