

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta

SKLADOVÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ OVOCE A ZELENINY

prof. Ing. Jan Goliáš, DrSc.

**Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta**

SKLADOVÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ OVOCE A ZELENINY

prof. Ing. Jan Goliáš, DrSc.

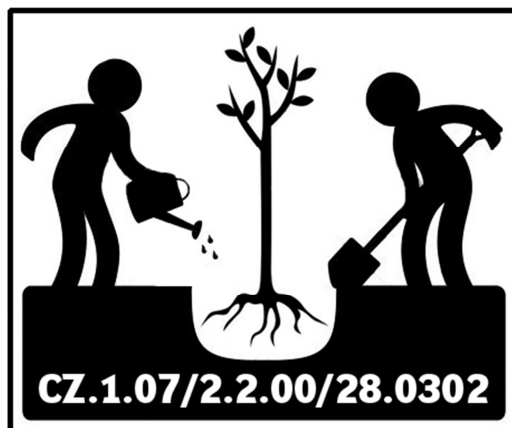
Brno, 2014



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Tato publikace je spolufinancována z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky.

Byla vydána za podpory projektu OP VK CZ.1.07/2.2.00/28.0302 Inovace studijních programů AF a ZF MENDELU směřující k vytvoření mezioborové integrace.

© Jan Goliáš, 2014

ISBN 978-80-7509-195-6

Obsah

Předmluva	4
Úvod.....	5
Fyziologické podmínky pro skladování ovoce	6
Vliv kyslíku na dýchání.....	7
Vyšší podíl CO ₂ v okolní atmosféře	10
Obsah vodní páry ve vzduchu chladírenské komory	11
Biosyntéza etylenu v ovocných plodech.....	12
Stanovení koncentrace etylenu po katalytické oxidaci ve skladovaných jablkách	15
Stanovení etylenu v komoře se skladovanou zeleninou	16
Účinek etylenu u květin.....	17
Faktory ovlivňující mikroklimatické podmínky při skladování.....	21
Pohyb vzduchu v chladírenské komoře.....	24
Metody zchlazování dužnatých plodů	25
Formulace poločasu zchlazování.....	26
Vlastnosti výparníků	31
Ztráta vody z plodu a následné průvodní děje	34
Fyziologická onemocnění ovoce během chladírenského skladování.....	36
Tepelná bilance chladírenské komory	40
Dozrávání plodů	45
Skladovací podmínky ovocných a zeleninových druhů	46
Skladování ovoce a zeleniny v plynných směsích	65
Dynamicky řízená atmosféra pro tržní druhy ovoce	66
Model výpočtu koncentrace plynů v chladírenské komoře s řízenou atmosférou	69
Desinfekční prostředky v chladírnách a balírnách ovoce.....	75
Zpracování ovoce a zeleniny.....	80
Způsoby ochrany před vnějšími činiteli.....	80
Sterilizace přívodem tepla	81
Sterilizace technologicky kyselých výrobků	85
Kusovité sterilované výrobky	88
Mrazírenství.....	91
Zmrazovací systémy	94
Technologické operace v mrazírenství	99
Vysušování prostředí zvýšením osmotického tlaku.....	100
Stupeň inaktivace mikroorganismů v zahuštěných produktech.....	102
Sušárenství	102
Zahušťování polotekuté hmoty evaporací	107
Úprava potravin odnímáním kyslíku	111
Konzervační vlastnosti látek jako přirozených složek potravin	120
Antibiotika	121
Fytoncidy	122
Mléčné kvašení.....	122
Literatura.....	129

Předmluva

Předkládaný učební text uvádí základní znalosti v posklizňové fyziologii a technologii ovoce a zeleniny. Oproti obvyklému pojetí podobných textů je výklad soustředěný na vztahy mezi skladovanou plodinou a účinkem vnějšího prostředí a širokou škálou možností konzervářského zpracování. V učebním textu jsou probrány základní pojmy a zákonitosti uložení ovoce po sklizni. Technická a technologická hlediska pro skladované ovocné druhy jsou uvedena v rozsahu provozních měřítek velkokapacitních chladiřenských komor. V publikaci je věnována pozornost moderním metodám skladování s upravenou plynnou směsí, a to zejména ULO (Ultra Low Oxygen). Kapitoly o zpracování ovoce a zeleniny se opírají o konzervační principy odvozené od mikrobiologické stability a výsledné jakosti produktu. V každé stati je nastíněn výrobní postup s uvedením látkových změn a odpovídajícího typického zařízení pro konzervářský zákrok. Výklady v oblasti využití plyných směsí vychází z výzkumných závěrů provedených na Mendelově univerzitě v Brně, Zahradnické fakultě, Ústavu posklizňové technologie zahradnických produktů v Lednici

autor

Úvod

Posklizňové uložení ovoce a zeleniny a zpracovatelské postupy vytváří soubor technologických činností, které na sebe navazují prostřednictvím procesů zrání ovoce a zeleniny. Skladování ovoce se opírá o precizní řízení teploty, vzdušné vlhkosti a složení okolní atmosféry. Zchlazování ovoce po sklizni využívá kapacity chladicího zařízení, ale i nových postupů tlakového zchlazení, které je významné pro snadno zkazitelné komodity. Nízká koncentrace etylenu v atmosféře klimakterických plodů, udržovaná kombinací s větráním venkovním vzduchem v nehermetických komorách, nemá převýšit 1 ppm (1 $\mu\text{l/l}$). To vyžaduje postupy pro měření průběžné koncentrace, ale i kombinaci skladovaných plodin s nastaveným teplotním režimem. Řízená atmosféra uplatňovaná při chladírenském skladování již od počátku komerčního skladování, která byla původně zamýšlena jen na jádrové ovoce, zejména odrůdy jablek a hrušek, se nyní zkoumá i pro méně tradičních komodity, jako jsou třešně, švestky, broskve. Účinek upraveného obsahu kyslíku a oxidu uhličitého byl zkoušen jen jako alternativa jednorázového účinku relativně extrémních hodnot na několik desítek hodin s jejich následným zrušením. Pro tyto skladované komodity je pak lépe využít menších chladírenských komor, které mají vysoký chladicí výkon výparníků a jsou efektivně hermeticky uzavíratelné. Technologie ULO (Ultra-Low Oxygen), úspěšně zavedená při skladování jablek, má svoje opodstatnění pro peckové a drobné ovoce. Kvalita plodů v posklizňovém období (shelf life) hodnocená vhodně zvolenými kritérii má rozdílnou relativní účinnost. Bude-li vnější vzhled komodity (ovoce) stanovena indexem 100, pak kvalitativní znak založený na pevnosti plodu (příp. jeho stlačitelnosti) má index 75, vůně a nutriční hodnota dosahuje indexu 60. Vzhled komodity (vybarvení povrchu, zelenost stopky, vadnutí stopky, pevnost povrchových vrstev, nepřítomnost zjevné povrchové mikroflory) podporuje přijatelnost pro prodej v čerstvém stavu, mírné měknutí podslupečných vrstev a případně latentní fyziologická onemocnění jsou vnímány teprve v dalším období. Bude-li komodita vykazovat zhoršenou vizuální jakost, pak biogeneze vonných látek uvolňovaných přes neporušenou slupku už byla zpomalena, případně zastavena a prochází fází stárnutí. Stres skladovaného plodu z nadměrné ztráty vody v rozsahu 0.5 – 5.0 % je málo vizuálně zřetelný, avšak další transpirace nejenže zhoršuje celkovou jakost, ale může být souběžným znakem jakosti třapiny u hroznů nebo stopky u třešní a švestek. Prahové hodnoty ztráty vody v pletivu indukují fyziologické, biochemické a biofyzikální změny ještě předtím, než se projeví zjevné vadnutí vizuálně poznatelné. Pro provozní skladování je srovnatelným kritériem, které se ztrátou hmotnosti plodu nebo prostřednictvím transpiračního koeficientu

bezprostředně nesouvisí, rychlost kondenzace vodní páry ze zchlazovaného vzduchu procházejícího přes výparník. Měření objemu kondenzované vody odtékající z výparníku v obvyklém období jednoho týdne nebo méně může být měřítkem pro celkovou ztrátu hmoty u skladované komodity. Vzduch odcházející z výparníku je sice nasycený na vyšší vzdušnou vlhkost, ale při následném oteplení v blízkosti skladované plodiny se jeho nasycení snižuje. Obvyklé hodnoty pro většinu ovocných druhů jsou 85 - 95 %, pro citlivé plodiny 95 - 98 %. Většina opatření v chladárně a během transportu se týká zvyšování podílu vodní páry. Vždycky je lepší nižší vzdušná vlhkost než úplné nasycení, které způsobí kondenzaci vody na povrchu plodiny, jejímž důsledkem je rozvoj povrchové mikroflóry a následné kažení plodů.

Fyziologické podmínky pro skladování ovoce

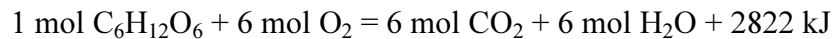
Dýchání a ovlivňující faktory

Dýchání je soustava vzájemně spjatých enzymatických pochodů oxidace zásobních látek, při nichž se uvolňuje energie makroergických vazeb. Enzymatické pochody jsou propojeny meziprodukty, které jsou v dynamické rovnováze. Zvýšená koncentrace některého meziprojektu může být výsledkem působení vnějšího faktoru, např. zvýšená koncentrace kyseliny jantarové se projeví při vyšší koncentraci CO₂ ve vnější atmosféře, což vede k přerušení dílčích reakcí. Tato vnitřní porucha biochemické přeměny se později projeví jako hnědnutí slupky a dužniny. Makroergické substráty (sacharidy, organické kyseliny, rozpustné pektiny, tuky, bílkoviny) samy o sobě nejsou nositeli makroergických vazeb, ale meziprodukty obsahující ATP (adenosintrifosfát) a ADP (adenosidifosfát). Sacharidy jsou metabolizovány ve formě esterů s kyselinou fosforečnou. Hexofosfáty jsou izomerizovány za anaerobních podmínek tzv. anaerobní glykolýzou, na níž po oxidační dekarboxylaci kyseliny pyrohroznové naváže **aerobní odbourávání** přes citrátový cyklus. V průběhu aerobní oxidace se uvolní ze zásobních látek 38 ATP. Při anaerobním dýchání, probíhající v nedostatečné koncentraci kyslíku v okolí plodů, je kyselina pyrohroznová dekarboxylována enzymem pyruvát dekarboxylázy za vzniku acetaldehydu a CO₂. V následující fázi je acetaldehyd redukován pomocí NADH na etanol. Z energetického hlediska je v anaerobním dýchání zisk pouze 2 ATP na jednu molekulu glukózy. Reakční sled se vyjádří sumární rovnicí:



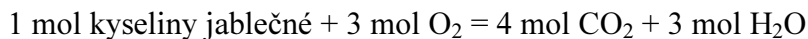
Proces anaerobního dýchání je shodný s mikrobiálním alkoholickým kvašením. Při aerobním dýchání je kyselina pyrohroznová oxidativní dekarboxylací prostřednictvím acetyl koenzymu A převedena do citrátového cyklu, v němž se uvolňují H⁺, které v terminálním řetězci dýchání (systém flavonových enzymů, cytochromového a polyfenolázového systému –

označované jako terminální oxidázy) reagují s aktivovaným kyslíkem za vzniku vody. Lze psát sumární rovnici aerobního dýchání:



Ze srovnání obou rovnic je zřejmé, že kromě jiných důsledků se oba systémy zásadně odlišují ziskem uvolňované energie, ale i celkovým energetickým výtěžkem, kalkulovaným jako ATP (při aerobním dýchání 38 ATP, při anaerobním dýchání 2 ATP). Pletiva reagují svojí látkovou výměnou tak, aby spotřeba zásobních substrátů byla co nejmenší při maximálním energetickém výtěžku. Fyziologický jev vedoucí k inhibičnímu účinku kyslíku na anaerobní glykolýzu ve prospěch výnosnější aerobní glykolýzy (*Pasteurův efekt*) znamená, že pletiva kryjí spoji energetickou potřebu za aerobních podmínek lépe než za anaerobních podmínek. Biologické oxidace jsou lokalizovány do mitochondrií, které jsou součástí buňky, v níž probíhají aerobní oxidace a transport H^+ a další vedlejší reakce. Vzestup výkonnosti mitochondrií v období zrání se vztahuje k účinku mastných kyselin.

Respirační kvocient (RQ) umožňuje rozlišit aerobní a anaerobní dýchání. Při srovnání obou dýchání je nápadný rozdíl spotřeby kyslíku k vytvořenému CO_2 . $\text{RQ} = \text{vytvořený CO}_2 / \text{spotřebovaný O}_2$ (objem/objem). Pro aerobní dýchání je RQ asi 1,0. Budou-li se vedle cukrů spotřebovávat jiné sloučeniny, např. organické kyseliny bude $\text{RQ} < 1,0$. Pro kyselinu jablečnou je RQ 1,33



Naopak při spotřebě tříslovin, tuků, bílkovin je $\text{RQ} < 1,0$. Protože tuků je v ovocné dužnině velmi málo, ukazuje hodnota RQ, zda v době měření se spotřebovávají převážně sacharidy (spolu s jinými méně kyslíkatými sloučeninami) nebo snad je také výraznější podíl organických kyselin, zejména v období přezrávání plodů na stromě nebo už při skladování (spotřeba sacharidů je vždy zastoupena).

Vliv kyslíku na dýchání

Přijatelnost vnitrobuněčného O_2 je určena jeho obsahem v mezibuněčných prostorech, která závisí nejen na koncentraci atmosférického O_2 , ale i na odlišnostech druhů a odrůd přijímat jej v závislosti na převažující teplotě, jakož na plyné výměně prostřednictvím plochy, porosity vnitřních pletiv, jejich tloušťky a mezibuněčného odporu vůči difuzi plynů. Mezibuněčné podíly v produktech jsou významně odlišné a promítají se do hodnoty hustoty neporušeného plodu.

Mezibuněčné frakce V_{air}/V_{total} produktů

produkt		V_{air}/V_{total}
jablka	Golden Delicious	0.210
	McIntosh	0.350
	Red Delicious	0.250
hrušky		0.010
brambory	různé odrůdy	0.0062
rajčata		0.050

Tab. 1: Poměr volného a celkového objemu všech plynů v produktu (Henze, 1969)

Obsah plynného podílu (tab. 1) je zásadně odlišný pro odrůdy jablek, v nichž tvoří více než jednu pětinu celkového objemu, mnohem menší je u hrušek (asi jednu desetinu) a rajčat (jednu dvacetinu), zatímco u brambor je plynný objem vysloveně nízký, což potvrzuje vysoká hustota hlízy. Respirační rychlost kyslíkové isotermy klesá pomalu v koncentračním rozmezí od 21 do 7 % kyslíku v ambientní atmosféře, ale zrychluje se v koncentračním rozmezí 1 – 7 % kyslíku, až dosáhne bodu konverze aerobního dýchání do dýchání anaerobního extinkčního bodu – EP, bodu vzestupu respiračního kvocientu (RQ) a bodu vzestupu tvorby ethanolu (FP – fermentační bod). Tyto tři fyziologické hodnoty je možné použít jako měřicí systémy pro záznam zvratu aerobního dýchání v anaerobní dýchání. Koncentrační gradient mezi vnější atmosférou CO_2 , hodnoty (+) a spotřebou O_2 hodnoty (-) je významně závislý na teplotě uložení produktu. Změna koncentrace obou fyziologických hodnot je vedle odrůdy ovlivněna teplotou, což se odvozuje ze zpomaleného dýchání v chladírenských teplotách.

CO_2 a O_2 gradient mezi externí atmosférou a v mezibuněčných prostorách jablek v předklimakterické vývojové fázi v teplotě 4°C a 22°C

jablka / odrůdy	teplota	interní/externí gradient v plodu	
	°C	(+) % CO_2	(-) % O_2
Golden Delicious	22	3,5	4,1
	4	1	1,1
Cox Orange	22	4,3	4,9
	4	1,5	1,9
Alexander	22	6,2	5,7
	4	2,1	1,8

Tabulka 2: Rozdíl mezi vnitřním a vnějším obsahem plynů v závislosti na teplotě (Henze, 1969).

Difuzní bariéra slupky vytváří koncentrační gradient mezi vnitřní atmosférou plodu (vnitřní prostory) a vnější atmosférou, která je závislá mimo jiných faktorů (tloušťka

kutikuly a stomata ve slupce) na teplotě plodu. V chladírenských teplotách je koncentrační gradient 1,0 - 2,1 % CO₂ a pro O₂ 1,1 - 1,9 % pro běžné odrůdy jablek, bude-li teplota plodu 22°C, pak koncentrační gradient pro CO₂ je od 2,1 – 3,5 % a 4,1 až 5,7 % pro O₂. Údaje platí pro uchovávané plody v normálně kyslíkaté atmosféře. Nastane-li úprava atmosféry, kdy v okolí plodů budou 2 % O₂ a 5-7 % CO₂ a plod bude v teplotě 22 °C, pak se koncentračním gradientem vyvolá anaerobní prostředí uvnitř plodu, protože koncentrace O₂ klesne pod fyziologicky snesitelnou koncentraci. Závažné poškození nastane při MAP (Modified Atmosphere Product) - balení produktu do plastické folie. Bude-li plastická folie, do které jsou uložené plody zabaleny, málo propustná pro permanentní plyny, vyvolají se anaerobní podmínky, které při delší expozici vedou ke zkáze plodu. Pokles skladovací teploty je jedním z nejefektivnějších postupů prodloužení skladovací doby produktu, protože se zásadně redukuje dýchání plodiny a její metabolismus. Řízení plynné difúze přes slupku a vnitro pletivovým prostorem kolísá u zahradnických produktů v širokém rozmezí, protože ovocné plody se liší svojí porositou. Rozdílná intenzita dýchání, anatomické rozdílnosti povrchu plodu a nestejná tolerance k obsahu CO₂ a O₂ v okolní atmosféře ovlivňují amplitudu koncentrace od povrchu do centra plodu pro zásobení mitochondrií dostatečnou koncentrací kyslíku. Plody jablek uložené v teplotě 4 °C a ve vnější koncentraci kyslíku 1 % O₂ vytvářejí ve vnitřní části plodu aktuální koncentraci 0,19 % O₂, která je již fyziologicky škodlivá.

Nejnižší O₂ a nejvyšší CO₂, které nezpůsobí fyziologické poškození

produkt	teplota	p O ₂	p CO ₂
	°C	kPa	kPa
jablko- McIntosh	3	1,52	5,06
jablko - jiné odrůdy	0	1,01	5,06
třešně	2	1,01	30,4
hrušky	-1	2,02	50,6
jahody	0	2,02	2,02

% O₂, % CO₂ = 1,03 kPa p O₂, p CO₂

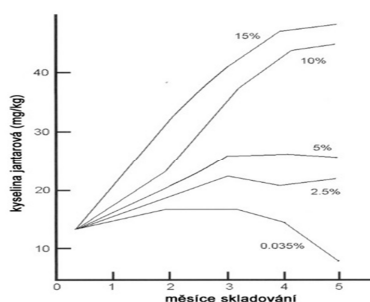
Tabulka 3: Vliv teploty pro ovocné druhy na poškození účinkem CO₂ a O₂
(podle různých autorů)

Při fyziologicky odchylné koncentraci kyslíku, která je nižší než jsou uvedené hodnoty v tabulce 3, se očekává vzestup RQ (podíl uvolněného objemu CO₂ ku spotřebovanému objemu O₂ při dané teplotě a v neporušeném plodu) dané komodity. V teplotě 0 °C je „breakpoint“ RQ pro jablka v atmosféře baleného plodu do plastické folie (MAP) mezi 0,7 a 2,0 % O₂ (exaktně pak závisí na odrůdě jablka). Pod tímto rozsahem koncentrace kyslíku nastává podstatný vzestup RQ, který je indikátorem fyziologického poškození plodu a hromadění etanolu v pletivu. Ačkoliv poškození nízkým obsahem kyslíku vyvolá tvorbu

etanolu v pletivu, mnozí autoři nepředpokládají vznik *off-flavour* (přípach) z této kumulace nebo *vizuální symptomy* (tvorba hnědých skvrn na slupce). Tato teze je z části platná, pokud jde o krátkodobé vyvolání fyziologického poškození. Úkaz anaerobního efektu je funkcí doby působení a hloubky nedostatku kyslíku (hodnocené jako koncentrace). Mírný průběh se pak v tomto smyslu nemusí sensoricky a vizuálně projevit.

Vyšší podíl CO₂ v okolní atmosféře

Indukované poškození vyšší koncentrací CO₂ se rovněž pokládá za neúplně vyřešený vztah mezi vyšší koncentrací CO₂ a škodlivými symptomy v odezvě plodu. Tyto se týkají prakticky všech skladovaných produktů a mají široký rozsah látkových změn, jako je *off-flavour*, zbrzdění biosyntézy barviv, které se vyvíjejí zcela normálně během klimakterické fáze (antokyany a karotenoidy), u rostoucích pletiv, jako je chřest, zastavuje růst. Vysoký obsah vody v pletivu spolu s vysokým parciálním tlakem CO₂ způsobí hnědnutí vnitřních pletiv a tmavé skvrny na slupce. Jsou-li už zřejmé symptomy poškození vysokým obsahem CO₂, projeví se i ztráta kyseliny askorbové. První změna v metabolismu, která je vizuálně nezaznamatelná, je vytvořená v cyklu trikarboxylových kyselin, v němž se hromadí toxická koncentrace kyseliny jantarové, které se kontinuálně netransformuje na kyselinu fumarovou. Současně se hromadí anaerobní metabolity jako je etanol a acetaldehyd, které se začnou výrazně hromadit u komodit, jako jsou jablka, hrušky, jahody, banány, pomeranče, bude-li koncentrace CO₂ vyšší než 15 %. Mechanismem účinku zodpovědným za vznik tohoto fyziologického onemocnění jsou volné radikály, které katalyzují oxidační reakce citlivých aminokyselin, nacházejících se v pletivu ve zbytkových koncentracích a jsou uvolněny z proteinů, které jsou důležité pro funkce buněk. Na vzniku nežádoucích reakcí se podílí i jiné molekuly střední velikosti, jako jsou membránové lipidy, které však musí obsahovat oxidovatelné reakční skupiny. Kumulace kyseliny jantarové v pletivu je vyvolána inhibicí jantarové dehydrogenázy, která je ochromena vyšším podílem CO₂ v plodu. Vysoký obsah CO₂ způsobuje nescifické strukturální nebo konfirmační změny pro mnoho enzymů v mitochondriích.



Graf 1: Změna obsahu kyseliny jantarové v plodech hrušek obsahujících od 0,035 % do 15,0 % CO₂ při skladování v 0°C, Henze, 1969

Rovněž částečné či úplné uzavření stomat souvisí se zvýšenou koncentrací CO₂, naopak v hypobarických podmínkách (1,6 kPa) se snižuje difusní resistance jak pro CO₂, tak i pro H₂O. Tento plyn zvyšuje pH ve vakuole buňky, jejíž původní pH je 6,2 - 6,4 a postupným rozpouštěním CO₂ se pletivová tekutina okyseluje ve srovnání se šťávnou tekutinou, která nebyla exponována tomuto plynu. Převládajícími organickými kyselinami je obvykle kyselina jablečná, kyselina citronová, kyselina vinná, kyselina šťavelová, glutamin a asparagin. Ačkoliv je vakuolární pH určeno hlavně přítomností organických kyselin a jejich kyselých solí, v mnoha pletivech včetně ovocných pletiv není vysoká korelační závislost mezi pH a titrační kyselostí.

Obsah vodní páry ve vzduchu chladírenské komory

Většina druhů ovoce, ale zejména listová zelenina, mají schopnost snadno vadnout, což je vázáno na vysokou transpiraci z neporušeného povrchu. Ztráta 4% až 5% vody z produktu se projeví znatelným vadnutím, což platí pro listovou a kořenovou zeleninu; u jablek tato ztráta vody není viditelná běžným pozorováním, plody jsou sice turgescenční, ale i tak tato ztráta představuje u skladovaných jablek průměrné hodnoty ztráty vody za celou dobu skladování.

Vysoká ztráta transpirované vody je způsobena

- vysokou rychlostí cirkulovaného vzduchu uvnitř chladírenské komory,
- dlouhou dobou chodu výparníkůvých ventilátorů,
- dlouhou dobou chodu kompresoru,
- vysokou diferencí mezi povrchem skladovaného produktu a okolní atmosférou (např. málo
- dimenzovaným výparníkem).

Nejvyšší účinek na vadnutí má absolutní deficit tlaku vodní páry (v Pa), který se při klesající teplotě produktu a stoupající vzdušné vlhkosti pak zmenšuje. Má-li se dosáhnout nejnižší ztráty vlhkosti, musí proto okolní vzduch mít vysokou relativní vlhkost a jeho teplota nesmí být podstatně nižší, než je teplota produktu (je třeba se vyhnout účinku chladného vzduchu).

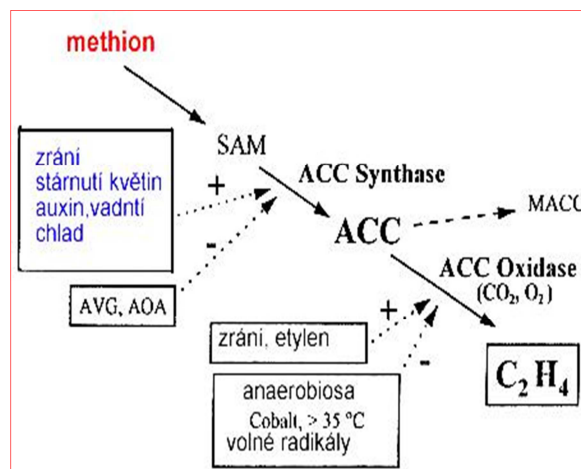
Bude-li výparník vytlačet ochlazený vzduch při malém tlaku vodní páry (nízká relativní vlhkost a současně nízká teplota), bude i tento vzduch odnímat vodní páru z plodiny. Každé kolísání teploty okolní atmosféry nebo kolísání teploty produktu zvyšují hmotnostní ztráty produktu. Obě změny se projeví ve:

- fázi zchlazování plodiny,

- projekci chladicího zařízení pro malé teplotní difference,
- vylučování teplotního kolísání během dlouhodobého skladování,
- vysokém zaplnění chladírenské komory skladovaným produktem,
- odclonění chladírenských vrat od průniku teplého vzduchu do komory.

Biosyntéza etylenu v ovocných plodech

Etylen indukuje zrání, odkvétání, stárnutí plodů, ztrátu chlorofylu, oddělování listů, fyziologická onemocnění jako je chladový stres. Během vývoje rostliny se jeho obsah zvyšuje, stejně tak činností mnohých mikrorganismů, zejména plísní. V přírodě vzniká hořením organických hmot (slámy, trávy), čehož se intuitivně využívalo při následném dozrávání plodů. V atmosféře se nachází v koncentraci 1 – 5 nl/l v neznečištěných venkovských oblastech a v rozmezí 30 – 700 nl/l v městských aglomeracích, v 17 – 35 nl/l ve skladech supermarketů a 60 nl/l ve skladech a distribučních centrech. V koncentracích vyšších než 13 nl/l byl stanoven na květinových burzách a v koncentracích 0,1- 2,0 nl/l ve sklenících s balicí technologií. V hypobarické atmosféře se oddaluje nástup klimakterického minima a minimální obsah O₂ ve vnitřní atmosféře plodu významně zpomaluje produkci etylenu.



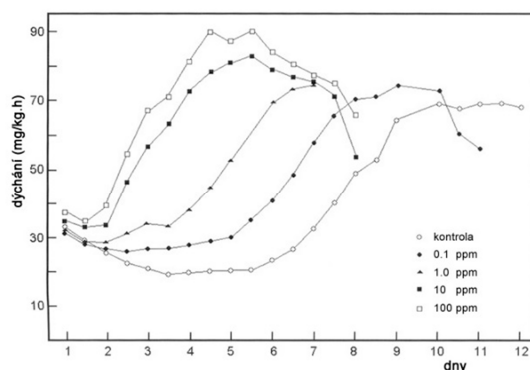
Graf 2: Biogeneze etylenu z aminokyseliny methioninu s vedlejší drahou přes kyselinu 1-aminocyklopropanovou (ACC), Saltveit 1999

Biosynthesa etylenu začíná v methioninovém cyklu (Yangův cyklus, 1987), v němž recykluje 5-methyladenosin na methionin. ACC syntéasa je specifická pro SAM (S adenosylmethionine) a vzniká meziproduct ACC (amino-1-cyklopropan-1-karboxylová kyselina), z níž se uvolňuje etylen. Tato sloučenina limituje produkci etylenu v methioninovém cyklu. Vliv teploty na produkci etylenu je exponenciální podle vztahu

$$G_t = G_0 \exp(b.t)$$

kde G_t je pro produkce etylenu při dané teplotě ($\mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{h}$), G_o je produkce etylenu při 0°C ($\mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{h}$), b je teplotní koeficient ($^\circ\text{C}^{-1}$) a t je teplota ($^\circ\text{C}$). Optimální teplota pro produkci etylenu pro jablka je 32°C a pro rajčata 27°C . V nižší teplotě je Q_{10} pro produkci etylenu 2,7-2,8. Vliv etylenu na dýchání byl zkoumán z mnoha fyziologických hledisek. Aplikovaný etylen podporuje dýchání klimakterických plodů. Mechanismus účinku etylenu na dýchání byl obsáhle studován, ale přesto není zcela jasný. Stres etylenu se vyvolá vnějším činitelem, na který rostlinné pletivo reaguje zpravidla zvýšenou produkcí endogenního etylenu. Elicitory jsou mechanické, fyzikální a mikrobiální, jako je vnější poranění, dělení pletiva, záření, plesnivění, insekticidní napadení, mrznutí pletiva, chladový stres, nahodilá vysoká teplota, období sucha, zaplavení vodou, plísňové exudáty, vysoká koncentrace chloridu vápenatého, siřičitany, kyselé siřičitany, SO_2 , ozon, NH_3 , NaCl , pesticidy a polutanty.

Dýchací aktivita všech plodů vyjádřená na čerstvou hmotu nebo na sušinu klesá, jakmile v nich dochází k dělení buněk a ke zvětšování objemu a hmotnosti (fáze zrání - *angl. maturation*). Na počátku fáze zrání (*angl. ripening*) se respirační rychlost náhle zvyšuje v plodech *klimakterického typu*, což se vztahuje ke změně textury, vůně a látkového složení. Naopak dochází-li v této vývojové fázi k trvalému poklesu intenzity dýchání, jsou tyto plody označeny *neklimakterickými*. V obou případech jejich rozlišení je podle časového průběhu dýchání plodiny. Zvyšování koncentrace etylenu ve vnější atmosféře zrychluje nástup klimakterické fáze, avšak maximum produkce CO_2 se zásadně nemění, jen o $20 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{h}$ v nejvyšší koncentraci $100 \mu\text{l}/\text{l}$ (ppm) etylenu. Typická koncentrace etylenu ve vnitřní atmosféře plodu v období jednoho až několika dnů před zahájením klimakterické fáze je $40 - 100 \text{ nl}/\text{l}$ (internal ethylene concentration - IEC), která je předpokladem pro aplikaci exogenního etylenu, jehož nejnižší koncentrace je $5 - 100 \text{ nl}/\text{l}$. Pro plody jablek je IEC $20 \text{ nl}/\text{l}$ a v další klimakterické fázi se vytvoří $100 \text{ nl}/\text{l}$ až $100\,000 \text{ nl}/\text{l}$. Plody jablek odrůdy Golden Delicious ve fázi IEC v koncentraci $50 \text{ nl}/\text{l}$ mají schopnost dozrávat a přezrávat na stromě, neboť v nichž snadno dochází ke konverzi SAM (S-methyladenosin) na ACC (1-amino-cyklopropanová kyselina) a následně na etylen.



Graf 3: Vliv kontinuálního účinku exogenního etylenu na dýchání klimakterického plodu (koncentrace etylenu jsou v rozsahu 0,1 až 100 $\mu\text{l/l}$ – ppm), Biale, 1960

Extinkční bod IEC zahajuje klimakterické období zrání, pokud se v pletivu této koncentrace dosáhne. Včasné odstranění stimulační koncentrace v okolní atmosféře je předpokladem pro čišťení atmosféry od etylenu (*scrubbing*), která se musí udržovat na koncentraci pod 100 nl/l , avšak musí začít ještě dříve, než se IEC objeví ve vnitřní atmosféře plodu. Bude-li však plod jablka zralejší a časově už bude za vznikem IEC v plodu, pak dodatečné snižování etylenu ve vnější atmosféře je neúčinné. Důvod tohoto stavu je vcelku jednoduchý a odvozuje se z

Koncentrace předklimakterického etylenu (IEC - internal ethylene concentration) a minimální koncentrace etylenu nutná pro stimulaci zrání klimakterických plodů

plod	předklimakterická koncentrace	minimální efektivní koncentrace
	IEC ($\mu\text{l/l}$)	$\mu\text{l/l}$
jablka	0,05	0,2
rajčata	0,08	0,005-0,1
banány	0,1-0,2	0,1
avokado	0,04	0,1
mango	0,05	0,04-0,40

difusního uvolňování etylenu z vnitřní atmosféry plodu do vnějšího prostředí.

Tabulka 4: Koncentrace etylenu ve vnitřní atmosféře plodu nutná pro vyvolání počátku zrání plodu (Burg, Burg 1965)

V tomto případě $c_{in} > c_{out}$, přičemž c_{in} je výsledkem progresivní biosyntézy etylenu ve vnitřních strukturách. Druhou technologicky využitelnou možností je hormonální ovlivnění vzniku IEC prostřednictvím AVG (aminovinylglycin). Tato jednoduchá aminokyselina potlačuje ACC - syntézu, která zprostředkuje přeměnu SAM na ACC. Klimakterické plody (jablka, hrušky, meruňky, broskve, švestky a slívy, avokádo, banány, ananasový meloun, fíky,

guava, rajčata, okurky, sapote) vykazují výrazné zvraty v průběhu růstové fáze a následného dozrávání. V období nejnižší intenzity dýchání (klimakterické minimum) je plod sklizňově zralý a zahajuje se fáze zrání, která je fyziologicky ukončena konzumní zralostí (klimakterické maximum). Následná fáze, v níž intenzita dýchání má stále klesající tendenci, se označuje jako stárnutí plodu (senescence). Období od klimakterického minima do klimakterického maxima je závislé na teplotě plodu. Při převažující teplotě plodu jablka 20°C, běžné relativní vlhkosti vzduchu a uložení ve vzduchu bude tento přechod asi za 20 dnů, sníží-li se teplotě na 1°C (90 % relativní vlhkosti a normálně kyslíkaté atmosféře), bude doba 200 dnů. Za těchto podmínek uložení není vrchol klimakterické fáze rozpoznatelný a rozkládá se na několik týdnů. U krátkodobě skladovatelných druhů, jako jsou meruňky a broskve, je přechod z klimakterického minima do maxima v chladírenské teplotě 8 až 10 dnů, aniž je mnohdy zřejmý klimakterický vrchol, který přechází do trvale se zvyšující produkce CO₂. Neklimakterické plody jsou charakteristické lineárním poklesem intenzity dýchání během zrání, což je jejich prioritním odlišením od plodů klimakterických. Odlišují se také svojí reakcí na exogenně aplikovaný etylen. Reakce plodů od vnější koncentrace 0,1 µl/l (ppm) do 1000 µl/l (ppm) výrazně zvyšuje odezvu 2 – 3- krát vzhledem k neošetřené kontrole, ale tato po několika dnech postupně odeznívá a téměř se vrací na původní koncentraci.

Klasifikace ovoce podle zrání	
klimakterické plody	neklimakterické plody
jablka, meruňky, borůvky, broskve, nektarinky, hrušky, švestky, rajčata, banány	třešně, černý rybíz, hrozny, citruly, okurky, asijské hrušky, hrášek, jahody, paprika, vodní meloun, maliny, pomeranče,

Graf 4 : Rozdělení plodů podle odezvy na exogenní etylen

Neklimakterické plody nedávají stejný rozsah odezvy na vnější etylen ve srovnání s plody klimakterickými. Jestliže klimakterické plody reagují prakticky všemi vnějšími znaky zrání jako je měknutí pletiv, ztrátou chlorofylu, biosyntézou barevných sloučenin, odkyselováním a sládnutím, pak plody neklimakterické, jako jsou citrusy se vyšší koncentrací etylenu odzelenují (*degreening*), přičemž ostatní znaky zrání nejsou významně dotknuty. Pro odzelenění je potřeba 5-8 dnů s koncentrací etylenu 5 – 1000 µl/l.

Stanovení koncentrace etylenu po katalytické oxidaci ve skladovaných jablkách

Z hermetické komory je atmosféra obsahující uvolněný etylen ze skladovaných jablek nasávána do katalytického čističe, který obsahuje katalytický granulát (keramické sedélka

s naneseným katalyzátorem). Atmosféra zbavená etylenem je recirkulována do hermetické komory. Výpočet aktuální koncentrace etylenem $c(t)$ se vypočítá podle vztahu

$$c(t) = \left(c_0 - \frac{mG}{F\eta}\right) \exp\left[-\frac{F\eta}{V}(t - t_0)\right] + \frac{mG}{F\eta}$$

kde:

$c(t)$	koncentrace etylenem v hermetické komoře po době t (hod)	($\mu\text{l/l}$)
c_0	koncentrace etylenem na počátku katalytické oxidace v čase t_0	($\mu\text{l/l}$)
m	hmotnost uložený plodů v hermetické komoře	(kg)
G	produkce etylenem skladovanými jablky	($\mu\text{l/kg.h}$)
F	objemový průtok recirkulované atmosféry (komora – čistič)	(l/h)
η	účinnost katalytického spalování (od 0 do 1,0)	(-)
t_0	začátek katalytického spalování	(h)
t	aktuální doba měření koncentrace etylenem	(h)

Vypočítejte koncentraci etylenem v hermetické komoře ($V = 1050 \text{ l}$) bude-li v ní uloženo 50 kg jablek odrůdy 'Golden Delicious', jejichž produkce etylenem bude 10 ($\mu\text{l/kg.h}$), s účinností katalytické oxidace $\eta = 1$. Objemový průtok F přes katalytický čistič do hermetické nádoby bude 120 l/h. Na počátku katalytické oxidace byla v hermetické komoře koncentrace etylenem 25 $\mu\text{l/l}$. Vypočítejte výslednou koncentraci etylenem po

- 1 hodině
- 100 hodinách

katalytické oxidace.

Stanovení etylenem v komoře se skladovanou zeleninou

Čištění atmosféry od etylenem je principiálně stejné, ale vstupní hodnoty obsahu etylenem ve skladovací komoře nepřesahují 5 $\mu\text{l/l}$ a skladovaná hmota bývá 0,1 - 5,0 t a doba katalytického spalování několik hodin. Výpočet výsledné koncentrace je podle vztahu

$$c(t) = \left(c_0 - \frac{mG}{F\eta}\right) \exp\left[-\frac{F\eta}{V}(t - t_0)\right] + \frac{mG}{F\eta}$$

kde parametry rovnici mají rozměry:

$c(t)$	koncentrace etylenem v hermetické komoře po době t (hod)	($\mu\text{l/l}$)
c_0	koncentrace etylenem na počátku katalytické oxidace v čase t_0	($\mu\text{l/l}$)
m	hmotnost uložený plodů v hermetické komoře	(kg)

G	produkce etylenu skladovanými jablky	($\mu\text{l/kg.h}$)
F	objemový průtok recirkulované atmosféry (komora – čistič)	(l/h)
η	účinnost katalytického spalování (od 0 do 1,0)	(-)
t_0	začátek katalytického spalování	(h)
t	aktuální doba měření koncentrace etylenu	(h)

V hermetické chladírenské komoře o objemu $2,5 \text{ m}^3$ je volným skladováním bez obalu uloženo 500 kg hlávkového zelí. Po uzavření hermetické komory byla změřena koncentrace etylenu ($2,1 \mu\text{l/l}$). Produkce etylenu hlávkového zelí je $0,05 \mu\text{l/kg.h}$, při objemové rychlosti vzduchu přes katalytickou jednotku (80 l/h) byla katalytická účinnost $\eta = 1$. Vypočítejte výslednou koncentraci etylenu

- po 1. hodině
- po 40. hodině

katalytické oxidace

Nízká produkce etylenu v jablkách

Etylen má v klimakterických plodech, jako jsou jablka, významné postavení, které se odvozuje z klimakterické křivky zrání. Bude-li plod sklizňově zralý, pak se předpokládá jen nevýznamná biogeneze v biochemickém cyklu přeměny aminokyseliny methioninu. Pokud už etylen vznikne, pak se nejprve hromadí ve vnitřní atmosféře plodu v koncentracích, které nepřekračují $0,1 \text{ ppm}$ ($0,1 \mu\text{l/l}$). Dalším zráním na stromě nebo ve vyšší teplotě po odtrhnutí plodu se koncentrace etylenu ve vnitřní atmosféře plodu významně zvyšuje, v horší variantě až o dva logaritmické řády. Zpomalení produkce etylenu vlivem nízké chladírenské teploty je možné předvídat, ale současně se musí změřit vhodnou analytickou metodou v ambientní atmosféře. Zavedením plynné směsi s velmi nízkým obsahem kyslíku se sice zpomalí biogeneze etylenu v plodu, avšak u plodů, které už jsou ve fázi pokročilé klimakterické fáze, je účinek kyslíku málo efektivní proto, že zrání je spojeno s novou tvorbou nebo přestavbou bílkovinných micel, která tvoří místa vazby etylenu z vnějšího prostředí (exogenní ethylen). Technologicky se má dbát na přesnou sklizeň plodů a omezení všech způsobů zdržování dopravy a manipulace před vložením do chladírenské komory s nastavenou konečnou teplotou skladování. Druhé opatření se dotýká skladování odrůd jablek vždy samostatně, protože odrůdy zpravidla mají různou produkci etylenu.

Účinek etylenu u květin

Tradičně jsou květiny, podobně jako ovoce, rozděleny na květiny klimakterického typu (karafiáty, Gypsophylla, orchideje) a neklimakterického typu (gladioly, tulipány, irisy).

Klimakterické květiny jsou citlivé na etylen v okolní atmosféře, který působí na stárnutí okvěť, otvírání květů, tvorbu semeníku a prodlužování stopky. Znalosti o citlivosti květin na etylen se dotýkají smíšené dopravy ovoce s květinami, použitelnosti potenciálních přípravků, kterými se brzdí účinek etylenu, a šlechtitelského programu, který směřuje k prodloužení uchovatelnosti (vase life). Vysoká citlivost je známa pro čeledi *Campanulaceae*, *Caryophyllaceae*, *Geraniaceae*, *Labiatae*, *Malvaceae*, *Orchidaceae*, *Primulaceae*, *Ranunculaceae* a *Rosaceae*; nízká citlivost je známa pro čeledi *Compositae*, *Iridaceae*, *Amaryllidaceae* a *Liliaceae*. Citlivost vůči etylenu má vazbu na čeleď. Například stárnutí květů irisu je zdánlivě necitlivé na etylen, ale ve skutečnosti etylen potlačuje otvírání květů i prodlužování květní stopky. V závislosti na druhu pak etylen, jak indukovaný, tak i externě aplikovaný, může podněcovat řadu procesů. V květech oddělených od rostliny se zrychluje stárnutí, což se projeví u *Orchidaceae* (*Cymbidium*, *Dendrobium*), *Campanulaceae* (*Campanula*, *Trachelium*) a *Caryophyllaceae* (*Dianthus*, *Gypsophila*). U jiných rodů etylen způsobí oddělení plně turgestních a nesenescentních okvětních plátků nebo celého okvěť, což pozorujeme u *Geraniaceae* (*Geranium*), *Ranunculaceae* (*Aconitum*, *Delphinium*), *Rosaceae* (*Rosa*, *Potentilla*) a *Scrophulariaceae* (*Antirrhinum*, *Veronica*). Vedle těchto účinků etylenu na stárnutí a také oddělování květních plátků může tento metabolit stimulovat oddělování celých květů a pupat, což pozorujeme u *Hibiscus*, *Begonia*, *Clerodendron*, *Fuchsia* a *Agapanthus* a celých květenství (*Beloperone*, *Pachystachus*). Překvapivě u květin s dlouhou životností může etylen sloužit jako spouštěč stárnutí nebo oddělování květů. V těchto květech se často ve fázi opylování zahajuje produkce etylenu, který podporuje stárnutí rostliny, ale také zkrácení její doby, což může být pěstitelsky prospěšné. Podobně u čeledi *Compositae* s velkým počtem malých květů v květenství se vyžaduje opylení květů v krátké době, aniž by se mělo stárnutí opylených květů protahovat. I když je citlivost na etylen vázána na čeleď a druh, jsou známy výjimky, které se projevují u šlechtěných druhů. Například karafiáty vzniklé křížením mají svoji uchovatelnost negativně korelovánu k citlivosti na etylen. U hrnkových miniaturních růží jsou známy kultivary zcela necitlivé na etylen až po kultivary vysoce citlivé.

Metody pro omezení účinku etylenu

Rušení účinku etylenu se dosáhne třemi principy:

- rušením místa vzniku etylenu (účinek ACC syntézy, vznikem ACC – kyseliny cyklopropanové, chemickou a environmentální inhibicí (AVG, AOA a vyšší koncentrace CO₂)
- zabráněním vazby etylenu na jeho příjmové místo účinku – odstraňování etylenu ventilací, chemickou vazbou na zeolity, vazbou na KMnO₄,

– zabráněním reakce v rostlině prostřednictvím chemických látek, které vyloučí, aby se etylen vázal na receptor (STS, 2,5-NBD, DACP, 1-MCP, CP, 3,3, DMCP 3-MCP, 1-DCP, 1-HCP). V oblasti šlechtění jsou, kromě těchto postupů, které jsou fyziologicko-technologické, šlechtitelské metody založené na vytvoření receptoru (ert1-1) a tento mutantní receptor není schopen vázat etylen. Vytvořením atmosféry s vyšším obsahem CO₂ a velmi nízkou koncentrací O₂ je vysoký podíl antagonistů produkce etylenu, čehož se užívá při balení potravin (MAP – modified atmosphere packing) a skladování ovoce v ULO (ultra low oxygen) atmosféře, široce používané pro skladování jádrového ovoce. Snižováním teploty se významně zmenšuje etylenový efekt. Pro květy karafiátů je kalkulováno, že na každých 10 °C snížení teploty se sníží odezva na etylen více než 10x ($Q_{10} = 11,2$). Současně se také může kalkulovat, že snížením teploty o 10 °C klesá vazba etylenu na receptor 4,2x ($Q_{10} = 4,2$). K tomu se musí přidat vliv produkce etylenu rostlinným pletivem, kde $Q_{10} = 2,7$. Tím lze vysvětlit dramatické působení nízké teploty na zpomalení účinku etylenu, takže jiná cesta blokování etylenu není ani nutná. U řezaných a hrnkových kultur se může uvažovat o řízené atmosféře. Zvýší-li se koncentrace CO₂ na tři procenta a současně se sníží koncentrace kyslíku na dvě procenta, pak se při skladování karafiátů a růží může počítat s další inhibicí účinku etylenu. S praktickou aplikací tohoto uložení u jmenovaných kultur se komerčně neuvažuje, na rozdíl od jádrového ovoce, kde je toto skladování zcela dostupné a plynná směs komoditu fyziologicky nepoškozuje.

Chemická inhibice příjmu etylenu

2,5-Norbornadiene

V posledních 70 letech bylo zkoumáno mnoho alkenů, z nichž (2,5-Norbornadiene-2,5 bicyclohepta-2,5-diene) je antagonistou etylenu. Tato látka je kapalinou, která se snadno odpařuje (b.v. 89 °C) a v koncentraci 500 µl/l zabrání nástupu klimakterického vzestupu etylenu. Používá se málo kvůli nepříjemnému pachu. Biochemicky působí kompetitivní inhibicí vůči etylenu (na receptor se naváže tato látka, nikoliv etylen) a rovněž výrazně prodlužuje vase - life.

STS – Silber ThioSulphat

Sloučenina thiosíran stříbrný (Ag₂S₂O₃) obsahuje Ag⁺, který je osvědčeným inhibitorem účinku etylenu u dekorativních květin. STS se ukázal vhodnější pro vyšší pohyblivost v rostlině a lepším příjmem v místech účinku než AgNO₃. Jakmile se ion Ag⁺ dostane do receptoru, je pak tento receptor zjevně zamčený pro příjem etylenu. Pro řadu let byl STS jedinou sloučeninou komerčně využívanou pro ochranu okrasných rostlin na úrovni blokování receptoru. Předností STS je jeho rozpustnost ve vodě a pro řezané květy se používá jako

přídavek do vody. Pro hrnkové kultury se náležitě zředěným roztokem postříkují rostliny. Ošetření pomocí STS zabraňuje stárnutí okvětních lístků a prodlužuje vase - life karafiátů (*Dianthus barbatus*, *Gypsophila*, *Matthiola*, *Trachelium*, *Physostegia*). STS zabraňuje opadávání okvětních lístků a prodlužuje vase - life pro rody *Aconitum*, *Delphinium*, *Phlox*, *Antirrhinum*, *Bougainvillea*, *Calceolaria*, *Lathyrus*, *Pelargonium* a *Schlumbergia*. Předběžná úprava přídavku STS do úchovného roztoku je pro mnoho druhů řezaných květů povinná při prodeji na holandské aukční burze a ukazuje na obecně řízený antietylenový zásah v průmyslu distribuce řezaných a hrnkových kultur.

1-MCP (1-methylcyclopropene)

Komerční aplikace vycházejí z podrobného zkoumání antietylenového účinku u hrnkových a řezaných květin a mnohé společnosti mají přípravek Floralife® začleněný do distribuční, příp. skladovatelné technologie květinářské produkce. Látka 1-MCP (1-methylcyclopropen) je nenasycený cyklický olefin, který se nevratně váže na etylenové receptory a brání tvorbě etylenu a změně procesu zrání v rostlinných pletivech. Tato látka je netoxickým a nevonným plynem, který je stabilní v pokojové teplotě a chrání řezané, hrnkové a ostatní okrasné květiny proti nežádoucím účinkům etylenu. Z látky 1-MCP byly vyvinuly přípravky *EthylBloc®* pro okrasné květiny a *SmartFresh™* pro ovoce a zeleninu. *SmartFresh™* obsahuje práškový δ -cyklodextrin, na němž je účinná látka 1-MCP v koncentraci 0,14 %, poté se přídavkem vody uvolní do okolního vzduchu jako plyn. Pro reakci s pletivou ošetřované květiny se musí dodržet tři podmínky:

- optimální teplota – nejlépe 20 °C, nižší teploty pod 13 °C výrazně zpomalují účinek plynu,
- doba působení – 5 až 12 hodin (v závislosti na koncentraci 1-MCP),
- koncentrace uvolněného plynu – tu je třeba vypočítat z hmoty práškového přípravku *EthylBloc®*, přídavku vody a objemu volného prostoru, v němž bude reakce probíhat. Má-li se zachovat požadovaná koncentrace (v provozním ošetření 100 až 500 $\mu\text{l/l}$), musí být prostor dostatečně plynotěsný (chladírenská komora, skleník, automobilový návěs, polyetylenový vak o tloušťce alespoň 100 μm), pokud možno s vnější ventilací. Po době expozice účinku 1-MCP se prostor odvětrá, i přestože plyn není toxický.

Jiné cyklopropeny a STS

Deriváty cyklopropenu jako 3-MCP byly zkoušeny na rodu *Campanula* a rodu *Kalanchoe* nebo 3,3 DMCP (3,3 dimethylcyclopropen) na karafiátech a *Campanula*. Mnohem lepší účinnost má 1-DCP (1-decylcyclopropen). Pro praktické použití je mnohem lepší souběžné použití vodného roztoku 0,2 až 0,5 mM STS a fumigace 1-MCP v koncentraci do 100 $\mu\text{l/l}$, kde se předpokládá synergický efekt.

Faktory ovlivňující mikroklimatické podmínky při skladování

Vliv teploty na intenzitu dýchání

Vliv teploty na dýchání se odvozuje z Arrheniovy rovnice, která vyjadřuje závislost mezi reakční rychlostí a teplotou. Rychlost v bimolekulárních reakcích závisí na počtu pravděpodobných srážek reagujících molekul a na jejich aktivační energii.

Pak rychlostní konstanta k (min^{-1}) je dána vztahem:

$$k = Z \cdot \exp(-E/RT); \text{ příp. } \ln k = \ln Z - E/RT$$

kde:

Z – konstanta úměrnosti, která závisí na pravděpodobném počtu vzájemných srážek reagujících molekul v jednotkovém objemu na daný čas,

R – plynová konstanta ($8,25 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)

T – absolutní teplota ($^{\circ}\text{K}$)

E – aktivační energie ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$); stanovení aktivační energie se provádí v pravouhlé soustavě, kdy na osu x se vynese log reakční rychlosti a osu y se vynese $1/T$. Předpokládá se, že reakční rychlost je přímo úměrná rychlostní konstantě k . Arrheniovy rovnice se využívá pro vyjádření reakční rychlosti biologických systémů jako celku. Aktivační energie dvou reakcí leží v rozsahu 58-117 kJ, dosazením do rovnice pro hodnoty E lišící se o 10°C , bude rychlostní konstanta nabývat hodnot 2 - 4 krát vyšších. Poměr reakčních rychlostí pro teplotní diference lišící se o 10°C se nazývá **teplotní kvocient (Q_{10})**

$$Q_{10} = k_{T+10}/k_T$$

kde k_T je rychlostní konstanta při teplotě T (min^{-1})

k_{T+10} je rychlostní konstanta při teplotě o 10°C vyšší

Pro většinu enzymatických reakcí je Q_{10} v rozsahu 2-3. Také intenzita dýchání se může považovat za průměr součtu všech reakcí enzymaticky katalyzovaných anaerobní glykolýzy a cyklu trikarboxylových kyselin, takže střední Q_{10} je asi 2-3 v biologicky důležitém teplotním rozsahu $0-30^{\circ}\text{C}$. Bude-li se vycházet z Arrheniovy rovnice, která vyjadřuje vliv teploty na reakční kinetiku, může se intenzita dýchání formulovat podobným vztahem

$$R = R_0 \exp(bt); \text{ příp. } \ln R = \ln R_0 + bt$$

kde:

R_0 - intenzita dýchání při 0°C , případně při jiné počáteční teplotě $\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

R - intenzita dýchání při dané teplotě $\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

t - teplota $^{\circ}\text{C}$

b - teplotní kvocient dýchání deg^{-1}

Hodnoty R_0 a b jsou tabelovány.

Výdej tepla z plodiny

Část teplota vzniklého metabolickými procesy se uvolňuje do okolního prostředí jako teplo, což je pro plod ztrátou. Množství uvolněného tepla se může zjistit experimentálně přímým měřením (např. v Dewarových nádobách) nebo výpočtem ze sumární rovnice aerobního dýchání (za předpokladu, že $RQ = 1$)

$$1 \text{ mol glukosy (180g)} \sim 6 \text{ mol CO}_2 \text{ (264 g)} \sim 2822 \text{ kJ,}$$

pak přepočet intenzity dýchání na produkci tepla se řídí vztahem

$$x \text{ mgCO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} = 10,69 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} = 10,69 \cdot \text{kJ} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} .$$

Dýchací (respirační) teplo je významnou položkou v tepelné bilanci v chladírenské komory, proto se odvádí do okolního prostředí. Teplotní závislost produkce tepla ($Q \text{ kJ} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) skladovaných plodin se uvádí podobným vztahem jako pro intenzitu dýchání

$$Q = Q_0 \exp (b t)$$

kde:

Q_0	- dýchací teplo plodiny při 0°C nebo jiné počáteční teplotě	$\text{kJ} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
Q	- dýchací teplo při dané teplotě	$\text{kJ} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
t	- teplota	$^\circ\text{C}$
b	- rychlostní konstanta výdeje tepla	deg^{-1}

Hodnoty Q_0 a b jsou tabelizovány.

Vlastnosti vlhkého vzduchu

Atmosférický vzduch je směsí permanentních plynů a vodní páry. Z hlediska obsahu vodní páry nahlížíme na vzduch jako na suchý a obsaženou vodní páru. Podle Daltonova zákona je výsledný tlak směsi (p) součtem parciálních tlaků suchého vzduchu (p_v) a vodní páry (p_p), neboť každý plyn ve směsi má takový tlak, jako kdyby uvažovaný prostor zaujímal při dané teplotě sám,

$$p = p_v + p_p \quad \text{Pa}$$

Čím více vodní páry je obsaženo ve vzduchu, tím je její částečný tlak vyšší. Dosáhne-li částečný tak p_p maximální hodnoty (p_p''), vzduch je vodní parou nasycený a další páru nepřijímá. Tlak vodní páry nasyceného vzduchu (p_p'') je závislý jen na teplotě vzduchu. Každé teplotě přísluší určitý tlak sytých par ve vzduchu. Hodnoty nasyceného vzduchu jsou tabelizovány. Pro příklad lze uvést p_p'' pro 0°C je 610 Pa, pro 10°C 1228 Pa, pro 20°C 2337 Pa, pro -10°C je 260 Pa. Poměr částečného tlaku p_p k tlaku vodní páry, při níž je vzduch nasycený (p_p'') se označuje **relativní vlhkostí** (φ)

$$\varphi = p_p / p_p'' \quad 0 - 1,0$$

Relativní vlhkost lze uvést v procentech, bude-li se násobit .100.

Hustota vzduchu

Hustota vzduchu je vyjádření hmotnosti vodní páry na objem vzduchu. Hmotnosti vodní páry na m^3 ($g.m^{-3}$) se označuje jako **absolutní vlhkost** (ρ_p).

Relativní vlhkost pomocí hustoty vzduchu se vyjádří vztahem

$$\varphi = \rho_p / \rho_p'',$$

kde ρ_p je hustota daného vzduchu $g.m^{-3}$

ρ_p'' je hustota vzduchu při dané teplotě nasyceného $g.m^{-3}$

Měrná vlhkost vzduchu

Měrná vlhkost vzduchu je vyjádření vzduchu na suchý vzduch. Tato veličina se doporučuje používat proto, že při změnách vzduchu v klimatizační technice a v chladírenském prostoru se při zahřívání vzduchu a při ochlazování vzduchu mění obsah vodní páry, ale suchý vzduch se nemění. Proto se změny vzduchu vyjadřují na 1 kg suchého vzduchu, měrná vlhkost (x) je dána vztahem

$$x = m_p / m_v \text{ kg/kg}$$

kde m_p je hmotnost vodní páry v kg

m_v je hmotnost suchého vzduchu

Tepelný obsah vzduchu (entalpie)

Tepelný obsah vzduchu (i) je součtem entalpií suchého vzduchu a entalpie vodní páry. Tepelný obsah (i) je množství tepla, které je zapotřebí dodat 1 kg suchého vzduchu a x/1000 kg vody 0°C teplé, aby se získal vzduch daného stavu (dané teploty a vlhkosti). 1 kg suchého vzduchu při 0°C má 0 kJ, tentýž vzduch při $\varphi=1,0$ má entalpii 9,45 kJ.

$$i = i_v + i_p \quad \text{kJ.kg}^{-1}$$

kde i_v - entalpie suchého vzduchu

i_p - entalpie vodní páry

$$i_v = c_p \cdot t \quad i_p = c_p' \cdot t \cdot x + r \cdot x$$

kde c_p - měrné teplo suchého vzduchu $1,005 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{deg}^{-1}$

c_p' - měrné teplo vodní páry $1,84 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{deg}^{-1}$

r - výparné teplo vody 0°C 2051 kJ.kg^{-1}

t - teplota (deg) °C

x - měrná vlhkost vzduchu kg.kg^{-1}

pro nenasycený vzduch (vlhký vzduch) má entalpie výraz

$$i = 1,005 \cdot t + x (2501 + 1,84 t) \quad \text{kJ.kg}^{-1}$$

pro nasycený vzduch má entalpie výraz

$$i = 1,005 \cdot t + x''(2051 + 1,84 t) \quad \text{kJ.kg}^{-1}$$

Výpočty změn vlhkého vzduchu se v chladírenském provozu používají na chladicí výkon výparníku v chladírenské komoře a podle měrné vlhkosti se vypočítá kondenzovaná voda na výparníku.

Pohyb vzduchu v chladírenské komoře

Vzduch v chladírenské komoře je druhotným chladivem, přenáší všechny druhy tepla z prostoru do výparníku a po ochlazení se znovu vrací do volného prostoru mezi skladované plodiny. Odvod tepla z plodiny a snižování její teploty je úměrné pohybu vzduchu, takže vede k novému nastavení mikroklimatických hodnot vzduchu. Volný vzduch v komoře (vypočítá se z celkového objemu prázdné chladírenské komory po odečtení objemu uložených plodin) je distribuovaných horizontálně a vertikálně do všech částí komory a netvoří teplotní pole (jsou to prostory, kde je teplota v prostoru vyšší než u ostatních částí prostoru). Budou-li v komoře plody uloženy ve velkoobjemových obalech (VOB) o objemu asi 1 m^3 , vzduch obaly přímo neprovětrává, ale teplo se odvádí difúzí sdíleného tepla (nepřímo promíchávaný objem). V chlazených objemech jako je chladírenská komora (např. $V = 1500 \text{ m}^3$) by se daly předpokládat dva způsoby proudění: **přirozené proudění**, které vzniká vlivem rozdílných hmotností vzduchu v rozdílných vrstvách komory. Přirozené proudění nedostačuje ani pro odvedení dýchacího tepla a proto se pro chladírenské použití nehodí. **Nucené proudění** obstarává ventilátor zpravidla umístěný za výparníkem, někdy 2 - 3 ventilátory pro výparník. Měření rychlosti vzduchu (ω) vycházejícího z výparníku bývá ca 10 m.s^{-1} a na protilehlé stěně komory klesá asi na polovinu původní rychlosti. Rychlost vzduchu se udává ($\omega - \text{m.s}^{-1}$) nebo **koeficientem cirkulace** (poměr hodinového výkonu ventilátoru k objemu prázdné komory). Výkon ventilátoru musí být volený tak, aby pro jádrové ovoce rychlost vzduchu ve fázi zchlazování byla si $0,4 \text{ m.s}^{-1}$; během dalšího skladování $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ i v místech, kde vzduch obtížně proudí. Hodinový výkon ventilátoru (V') závisí na celkové množství tepla, nutného pro odvedení z chlazeného prostoru a rozdílu entalpií (Δi) vzduchu před a po ochlazení a hustotě ochlazeného vzduchu ρ (kg.m^{-3}) podle vztahu

$$V' = Q' / \Delta i \cdot \rho \quad \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Souběžně s ochlazením se z tohoto objemu vysráží část vodní páry (Δx) jako námraza nebo kondenzovaná voda na chladných plochách výparníku.

Řízení mikroklimatických podmínek

Současné chladicí agregáty mají dostatečný chladicí výkon pro každý výparník, používají se ekologická chladiva a zvládnou ochlazení vzduchu procházející přes výparník s nízkou teplotní diferencí. Chladicí výkon kondenzátoru závisí na teplotě kondenzace chladiva a je ve vztahu k výparné teplotě chladiva ve výparníku. V praktických podmínkách provozu v létě a na podzim, kdy teplota kondenzace bude 40 °C až 45 °C, pak se snižuje chladicí výkon ve srovnání s obdobím zimy, kdy teploty kondenzace jsou v rozmezí 30 °C až 35 °C, což vytváří vyšší chladicí výkon, z čehož pak vyplývají dimenze výparníků pro jednotlivé chladírenské komory. Výparné teploty chladiva je nutné udržovat o 4 °C až 6 °C nižší než je požadovaná průměrná teplota v chladírenské komoře. Kolísání kondenzační teploty má být minimální a může se ovlivnit rychlostí otáček ventilátorů při zchlazování druhého chladicího media (vody), pokud se použije chladících věží. Kondenzátory jsou upraveny tak, aby efektivně odvedly teplo ze stlačeného chladiva nacházející se v parní fázi a způsobily zkapalnění. Současné chladicí systémy také užívají vzduchem chlazených kondenzátorů, které je možné snadno umístit na střechu chladírenského objektu.

Metody zchlazování dužnatých plodů

Předchlazováním se rozumí rychlé odvedení vlastního tepla plodiny před jeho uskladněním. Předpokládaný průběh snižování teploty předchlazováním plodin o hmotnosti m a měrném teple c se vyjádří rovnicí

$$dQ = -m \cdot c \cdot dt$$

a za časový úsek $d\tau$

$$\frac{dQ}{d\tau} = -m \cdot c \frac{dt}{d\tau}$$

kde $\frac{dt}{d\tau}$ [deg .h⁻¹] vyjadřuje rychlost zchlazování.

Odvedení tepla za časový úsek $d\tau$ z počáteční teploty t_0 na konečnou teplotu t_1 závisí na součiniteli přestupu tepla [W.m⁻² .deg⁻¹] dále na povrchu plodiny S (m²) podle vztahu

$$\frac{dQ}{d\tau} = \alpha \cdot S (t_0 - t_1)$$

Součinitel přestupu tepla α je závislý na formě a velikosti tělesa, na rychlosti proudění vzduchu a směru proudění vzduchu.

Součinitel přestupu tepla pro plody jablek v závislosti za proudění vzduchu

m/s	0,6	0,8	1	1,2	1,2	1,4
J/cm ² min.deg	0,08	0,112	0,117	0,125	0,133	0,146

Tabulka 6: Vliv proudění vzduchu na přestup tepla plodů jablek

Plody menšího průměru, ale také hmotnosti a povrchu, na kterém se přenos tepla uskutečňuje, se liší (tabulky jsou pro plody třešní a plody jablek).

m/s	0,6	0,8	1	1,2	1,2	1,4
J/cm ² min.deg	0,13	0,167	0,188	0,209	0,234	0,263

Tabulka 7: Vliv proudění vzduchu (m/s) na přestup tepla plodů třešní

Formulace poločasu zchlazování

Teplota plodů je podstatnou položkou při posuzování skladovacích režimů. Většinou se odvozuje z hodnocení teploty okolního prostředí, přičemž se předpokládá shoda mezi touto hodnotou a vnitřní teplotou plodu. Pro běžná měření ve skladovacích prostorech dostačují různé typy zpravidla skleněných a bimetalových teploměrů s registrací nebo přímým odečítáním teploty s přesností 0,5 °C. Při fyziologických měřeních, zvláště v případech, kdy se jedná o rostlinné kusovité materiály (dužnaté plody, výřezy z pletiv), které jsou navíc vyšetřovány v prostředí s kolísající diferencí teploty mezi oběma medii, je nezbytné exaktně vyšetřovat variabilitu obou teplot. Použité čidlo a konstrukce snímače dovoluje měření rychlých časových teplotních změn (časová konstanta je menší jak 1 s) se zaručenou přesností a časovou stabilitou. Přístroj musí indikovat rychlé změny teploty, které nastanou při zchlazování v tekutých chladících mediích. Konstrukční řešení teploměru musí vyhovovat pro výpočet poločasu zchlazování. Z koncepce této hodnoty plyne, že pokles vnitřní teploty plodu na polovinu každé počáteční teploty je pro danou funkci

$$t_1 = t_0 \cdot 0,5$$

kde t_0 je teplota plodu před zahájením zchlazování v čase $\tau = 0$
 t_1 teplota během zchlazování v čase τ_1 .

Úpravou rovnice, která vyjadřuje průběh změn teploty na době zchlazování

$$t_1 = t_0 \exp[- a (\tau_1 - \tau_0)]$$

kde konstanta a je konstanta zahrnující všechny konkrétní podmínky zchlazování (rozměr a povrch produktu, druh chladícího media) dostaneme poločas zchlazování ($\tau_{1/2}$)

$$\tau_{1/2} = \ln 2 / a$$

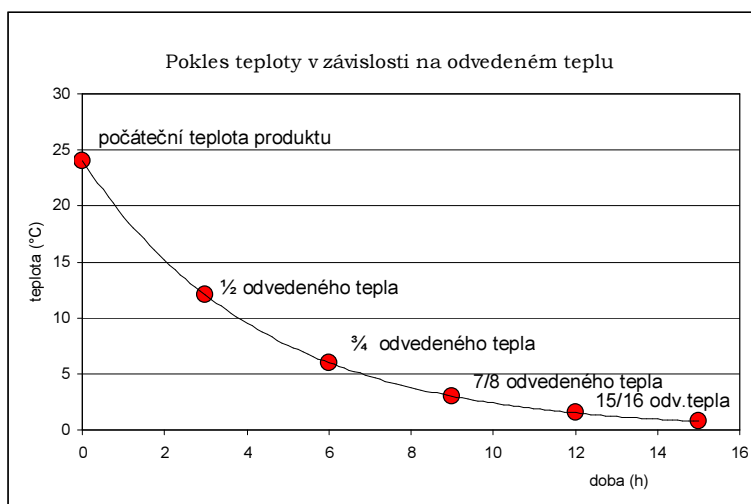
Rozlišovací schopnost přístroj zaznamená změny teploty plodu v různých chladících mediích, ale rovněž reagují na tok tepla z ochlazovaného plodu do media, což zprostředkovaně ukazují poločasy zchlazování různě hmotných plodů broskví.

Poločas zchlazování, konstanta a broskví v chladících mediích

zchlazovací prostředí	hmotnost	a	$\tau_{1/2}$
	g	h^{-1}	h
vzduch + 2°C	120	0,61	1,13
bez pohybu	70	0,69	1,01
vzduch - 2°C	120	0,78	0,88
bez pohybu	60	1,02	0,68
vzduch+2°C	100	2,58	0,27
pohybující se	60	3,45	0,21
voda 0°C	120	4,29	0,16
noření	70	5,46	0,13
solanka -4,5°C	120	5,98	0,11
noření	60	7,39	0,09

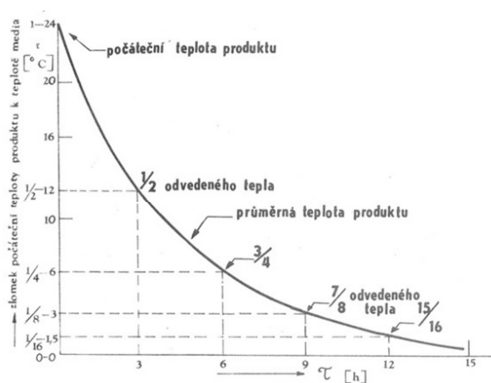
Tabulka 8: Poločasy zchlazování v závislosti na podmínkách zchlazení

Z koncepce poločasu zchlazování vyplývá, že použití pěti poločasů pro dané chladící prostředí vede k ochlazení plodiny, které je jen o 3 % vyšší než celková hodnota pěti poločasů zchlazování. Z uvedené tabulky vyplývá, že odvedením tepla z plodiny nořením do podchlazené kapaliny (solanka při teplotě - 4.5 °C) bude plodina zchlazena na požadovanou teplotu za 33 minut. Naopak při zchlazování broskví o hmotnosti 120 g se zchladí za 68 minut za předpokladu, že vzduch bude obtékat celkový povrch plodu.



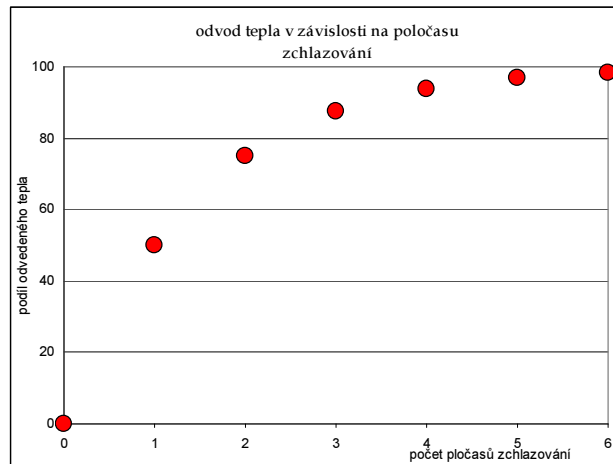
Graf 5: Teplota plodu na době zchlazování s vyznačením podílu odvedeného tepla z plodiny

Koncepce poločasu ochlazování je vhodná pro kalkulaci ochlazování proto, že $\tau_{1/2}$ je teoreticky nezávislý na počáteční teplotě produktu a zůstává konstantní během celé doby zchlazování. Stanovíme-li $\tau_{1/2}$ pro danou plodinu a chladicí podmínky, můžeme pak předpovědět zchlazení v určitém časovém intervalu.



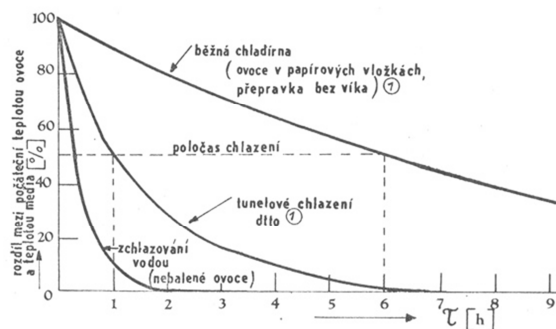
Graf 6: Poločasy zchlazování s vyjádřením podílu odvedeného tepla

Odvod tepla je velmi intenzivní během prvního poločasu (50 %), postupně se zpomaluje (v druhém poločase se odvede 25 %, ve třetím 12,5 %, ve čtvrtém 6,25 % z celkového množství) a nakonec je nulový, jakmile teplota produktu a chladícího media splynou. Tyto podmínky se prakticky ustavují po třetím poločase.



Graf 7: Podíl odvedeného tepla v závislosti na vyjádření pomocí 6 poločasů

Pro odhad výsledné doby zchlazení podle poločasu ochlazování je dobré znát teplotu produktu. Povrchová a středová teplota nejsou reprezentativní, věrohodné výsledky se zjistí uložením stopky teploměru (termistoru) do jedné čtvrtiny poloměru plodu.



Graf 8: Rychlost zchlazování v rozdílných chladicích mediích

Při velmi rychlém odvodu tepla (např. zchlazováním vodou) nemusí tyto teoretické podmínky platit do důsledku, neboť rychlost ochlazování je limitována tepelnou vodivostí plodiny. Obdobně také poločas zchlazování nelze aplikovat na vakuové zchlazování, přičemž odvod tepla nezávisí na chladicím mediu, ale na odpařování vody z pletiva a fyzikálně se neřídí stejnými zákony jako odvod tepla z plodiny. S ohledem na uvedené faktory se poločasy zchlazování pro různé druhy ovoce a zeleniny pohybují od několika minut až do desítek hodin podle druhu produktu, způsobu zchlazování a druhu obalu.

Předchlazování vzduchem

Pro rychlé a účinné zchlazení musí vzduch proudit po povrchu produktů pokud možno i ve vnitřních vrstvách. Přestup vzduchu do chladicího vzduchu závisí na jeho rychlosti proudění, teoreticky lze zchlazovat stejně rychle vzduchem jako vodou, což je vázáno na úměrně vyšší výkon ventilátorů, tedy i vyšší spotřebu elektrické energie. Zpravidla transfer tepla je méně efektivní, neboť teplo z produktů se přenáší do vzduchu hlavně povrchem obalů; uvnitř obalů se děje prakticky vedením. Bez ohledu na objem, rychlost nebo teplotu proudícího vzduchu bude rychlost zchlazování produktů nedostatečná v případě, když produkt nebude dosažitelný pro chladicí médium.

Poločasy zchlazování ovoce a zeleniny		
zchlazovací zařízení	plodina, způsob balení	poločasy (h)
běžná chladárna (mírný pohyb vzduchu)	jablka v bednách	13-17
	salát bez obalu	0,7
	24 hlávek v kartonové krabici uzavřené	6,1
chladárna s intenzivní cirkulací vzduchu (150 x za hodinu)	hrozny	8,1 - 15,1
	švestky	9,1-15,2
	hrušky	15-22
tunel (rychlost vzduchu 5 ms ⁻¹)	hrozny	7,1
	švestky	9,5
	hrušky	14,5
tunel (rychlost vzduchu 9-16 m. ⁻¹)	jablka v bednách	0,67
	broskve v laťových lískách	0,43
	třešně	0,13
	švestky	0,11
zchlazování vodou +1°C	jablka v bedbách po 9 kg	0,49
	broskve (nořením)	0,25
	hrozny	0,08
	třešně	0,08
	rajčata	0,16
předchlazování ve vakuu (srovnání hodnot)	salát	0,06
	celer	0,21
	žampiony	0,13

Tabulka 9: Zchlazování plodin podle poločasů zchlazování, kratší doba tohoto parametru znamená rychlejší odvod tepla z plodiny (zpracováno podle různých autorů)

Zchlazovací fáze v běžných chladárnách bude efektivní při cirkulaci vzduchu větší jak 18 obměn za hodinu, kterou se jen odvádí respirační teplo. Pro znatelné zchlazování je nutná minimální cirkulace 30 - 50 obměn za hodinu; nicméně poločas zchlazování může být 15, často až 30 hodin. Hlavní příčinou pomalého zchlazování je zpravidla nedostatečná cirkulace vzduchu.

Předchlazování v tunelu

Je modifikovanou a efektivnější verzí zchlazování vzduchem, při níž se výrazně zvyšuje rychlost proudícího vzduchu na 5 m/s a více, mnohdy v protisměrném uspořádání. V tunelu

(délky 12 - 15 m) se jednotlivé lamely posunují mechanicky proti směru proudícího vzduchu. Obaly rovnané těsně vedle sebe mají mít při horizontálním proudění nad sebou mezery asi o ploše 27 % příčného průměru tunelu. Při rychlosti vzduchu 2 - 5,5 m/s je ochlazení produktů 2 - 6 x rychlejší, než při zchlazení v běžné chladírenské komoře. Jsou-li ventilátory v tunelu uspořádány v řadě na stropě tak, že chladný vzduch proudí velkou rychlostí (5 - 13 m/s) na procházející plodiny svisle shora dolů, dosáhne se 10 x rychlejšího prochlazení, které je pak srovnatelné s vodním ochlazováním.

Předchlazování tlakovým vzduchem

Vzduch neproudí kolem obalů, ale je protlačován přes těsně stohované obaly situované nad sebou. Obaly musí mít otvory ve směru proudění vzduchu, přitom se počítá s tlakovou ztrátou na jednu řadu ca 117 Pa. Modifikovanou metodou je zchlazování vzduchovými tryskami, při níž na zabalené produkty, ale bez vík, pohybující se po dopravníku, směřuje silný proud vzduchu. Doby zchlazování jsou kratší než v tunelu.

Předchlazování vodou

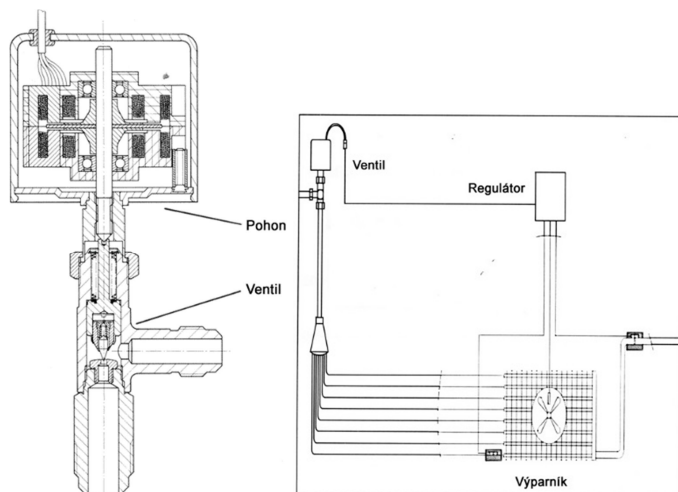
Voda o teplotě blízké 0°C je výtečným chladícím médiem pro transfer tepla. Rychlost zchlazování je limitována rychlostí přenosu tepla z vnitřních částí povrchu, přičemž záleží na poměru objemu plodiny a jejího povrchu. Produkty jsou do chladné vody buď ponořovány, nebo jsou jí postříkovány (optimální průtoková rychlost je 30 m³.s⁻¹ na 1 m² ochlazované plochy. Kromě tepelných vlastností ochlazované plodiny pak efekt chlazení závisí na teplotní diferenci mezi chladícím médiem a plodinou, na objemu postříkované vody a době expozice plodiny ve vodě. Klasický zchlazovač s ledovou vodou je tunel délky 12 – 15 m, jímž jsou produkty transportovány po páse a sprchovány chladícím médiem, které se dochlazuje buď ledem, nebo mechanickým chladícím zařízením. Ve verzi imersního zchlazování se výtečný chladící efekt zesiluje mícháním média. Zchlazovací rychlost podmíněná trvale nízkou teplotou vody dobře vyhovuje hmotnějším druhům, jako jsou květák, rajčata, celer, zelí, broskve, meruňky; pro listovou zeleninu se lépe hodí vakuové zchlazování. Přidání smáčecích prostředků do chladící vody neovlivňuje poločas zchlazování. Zato její desinfekci a čištění se musí věnovat potřebná pozornost a je vhodné používat účinných desinfekčních prostředků, které splňují hygienické požadavky. Vliv obalového materiálu na rychlost zchlazování ilustruje tabulka 9.

Vlastnosti výparníků

Současné chladicí agregáty mají dostatečný chladicí výkon pro každý výparník, používají se ekologická chladiva a zvládnou ochlazení vzduchu procházející přes výparník s nízkou teplotní diferencí. Chladicí výkon kondenzátoru závisí na teplotě kondenzace chladiva a je ve vztahu k výparné teplotě chladiva ve výparníku. V praktických podmínkách provozu v létě a na podzim, kdy teplota kondenzace bude 40 °C až 45 °C, pak se snižuje chladicí výkon ve srovnání s obdobím zimy, kdy teploty kondenzace jsou v rozmezí 30 °C až 35 °C, což vytváří vyšší chladicí výkon, z čehož pak vyplývají dimenze výparníků pro jednotlivé chladírenské komory. Výparné teploty chladiva je nutné udržovat o 4 °C až 6 °C nižší než je požadovaná průměrná teplota v chladírenské komoře. Kolísání kondenzační teploty má být minimální a může se ovlivnit rychlostí otáček ventilátorů při zchlazování druhého chladicího media (vody), pokud se použije chladicích věží. Kondenzátory jsou upraveny tak, aby efektivně odvedly teplo ze stlačeného chladiva nacházející se v parní fázi a způsobily zkapalnění. Současné chladicí systémy dokonce užívají vzduchem chlazených kondenzátorů, které je možné snadno umístit na střechu chladírenského objektu.

Výkon výparníku a použití expanzních ventilů

Výparníky, které jsou zpravidla zavěšeny nad chladírenskými vraty, nasávají vzduch z komory a jako ochlazený jej vrací zpět do komory. Jeho vlastnosti vytvořit optimální vztah mezi výkonem a kondenzovanou vodní párou činí tuto součást chladicího systému důležitou pro dlouhodobé skladování ovocných a zeleninových druhů. Výkon výparníku závisí na velikosti stykové plochy s recirkulovaným vzduchem, množství vzduchu procházejícím výparníkem a teplotní diferencí mezi procházejícím vzduchem a výparnou teplotou chladiva ve výparníku. Bude-li vysoký teplotní rozdíl mezi vcházejícím a vycházejícím vzduchem z výparníku a za současně malé stykové ploše (malé výparníky jsou cenově příznivější), bude se na povrchu výparníku kondenzovat více vodní páry. Z výkonových diagramů výparníků lze odvodit chladicí výkon pro udržení teploty 1°C 3,5 kW pro teplotní diferencí 4 °C, 5,4 kW pro teplotní diferencí 6 °C a 7,8 kW pro teplotní diferencí 8°C. Pro minimalizaci kolísání relativní vlhkosti je možné s výhodou použít dvou typů expanzivních ventilů, jejichž základní funkcí je uvolňovat kapalné chladivo do výparníku.



Graf 9: Řez expanzním ventilem (vlevo) a jeho zapojení do výparníku (vpravo)

(Egelhof, 1991)

Bude-li expanzní ventil spínat na principu ohřívání trubkového prostoru prostřednictvím tykavky nebo tykavky ohříváné vzduchem nasávaným do výparníku (*termostatický expanzní ventil*), což je dosud běžný způsob otvírání expanzního ventilu, pak se dá očekávat vysoké kolísání relativní vlhkosti v chladírenské komoře. Naopak elektronicky řízený expanzní ventil uvolňuje chladivo do výparníku na základě teplotních diferencí v hodnotách $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, snímaných z povrchové teploty výparníkových trubek. Za těchto podmínek bude povrchová teplota výparníku prakticky stabilní.

Zchlazený vzduch ve výparníku se kontinuálně dostává mezi skladované plodiny. Má-li účinně ochlazovat plodiny, musí být jeho teplota o $0,5^{\circ}\text{C}$ až $0,8^{\circ}\text{C}$ nižší než je teplota plodiny. Pro dosažení tohoto stavu musí výparník pracovat jen s malými diferencemi mezi teplotou vzduchu v prostoru chladírenské komory a vypařovací teplotou chladiva ve výparníku. Měření této teploty je možné provést na sací straně výparníkové trubky prostřednictvím manometricky měřeného tlaku chladiva ve výparníkové trubce.

teplota v komoře	teplota chladiva ve výparníku	teplotní rozdíl	měřená relativní vlhkost vzduchu v komoře
+ 1°C	- 7°C	8°C	85 - 92 %
+ 1°C	- 4°C	5°C	92 - 94 %
+ 1°C	- 3°C	4°C	97 - 98 %

Tabulka 10: Vztah mezi teplotou v chladírenské komoře a teplotou vzduchu na výparníku, vzniklý teplotní rozdíl odpovídá relativní vlhkosti vzduchu vycházejícího z výparníku (Böttcher, 1996)

Ve výparníkovém prostoru musí být možnost čtení teplotního rozdílu mezi teplotou vzduchu v chladírenské komoře a výparnou teplotou chladiva (tabulka 4). Na montovaném termickém škrticím ventilu lze nastavit maximální hodnotu 5 °C, která odpovídá relativní vlhkosti 92 až 94 %. Bude-li použitý elektronický expanzní ventil, pak se dosáhne teplotního rozdílu 4 °C a relativní vlhkost vycházejícího vzduchu z výparníku bude mít rozsah 97 % - 98%.

Platí zásada, že při malém teplotním rozdílu je vyšší relativní vlhkost vzduchu a současně malá ztráta vody.

Vylučování výkyvů teploty během skladovacího období

Prostorové teploty mají mít nastavenou diferenci 0,5°C, neboť malé teplotní rozdíly mají za následek vyšší relativní vlhkost, ale při dlouhém chodu výparníku se podstatněji vzduch odvlhčuje. Platí, že pro malé odchylky vyhovuje elektronické řízení prostorové teploty a čidlo musí být umístěno do proudu sacího vzduchu vcházející do výparníku. K oteplování vzduchu přispívají i netěsnosti chladírenských vrat protože každé sepnutí výparníku vyvolává teplotní a tlakovou depresi, která k tomuto nasávání vzduchu z provozní komory trvale přispívá. Chladírenské komory mají kapacitu 200 – 250 t, která má být plně využita s koeficientem uložení 0,185 – 0,190 kg/m³ chlazeného prostoru. Při polovičním využití ztrácí skladované zboží více svoji vlhkost, než při úplném koeficientu zaplnění.

Ztráta vody z plodu a následné průvodní děje

Podle mnoha autorů jsou mechanické poškození, nesprávný termín sklizně a ztráta hmotnosti transpirací nejdůležitějšími zkracujícími faktory skladování a následného zhoršení kvality dané komodity. Pro většinu druhů ovoce a zeleniny je jejich ztráta čerstvosti vztahována na odpařenou hmotnost plodu v rozsahu od 3 do 10 %, přesné hodnoty závisí na dané komoditě.

Stupeň ztrát na hmotě může být tolerován, pokud plod přesáhne 5 % hmotnostních ztrát pro jablka a pomeranče. Ztráta hmotnosti 37 % může nastat u zelených fazolových lusků. Začínající vizuálně postřehnutelné změny jako vadnutí, sesychání a ztráta mechanické pevnosti, jsou asi v polovině uvedených hodnot. Vzniklý stres z odpaření vody indukuje hormonální změny projevující se zvýšenou produkcí etylenu a vzrůstem hladiny kyseliny abcisové (ABA). Nastalé změny vedou ke zrychlení stárnutí, membránové desintegraci buněk v centrálním pletivu a vytékání buněčného obsahu. Prvotně je možné bránit následkům stárnutí omezovat ztrátu vody zavedením chladicích systémů, kde by se pouze využila nízká teplota a běžná vzduchová atmosféra, nebo důsledným vylučováním etylenu z biochemických reakcí. Pouhé chlazení se souběžnou úpravou atmosféry CO₂ a O₂ koncentrace je technologická varianta vždycky technicky náročnější.

Ztráta vody je složitý fenomén odvozený z mechanických, biologických a fyzikálních interakcí. Při skladování v kondicionovaném vzduchu proces začíná pohybem vody z jednotlivých buněk na exponovaný interface v kutikule a v důsledku latentního tepla se přítomná kapalina přeměňuje na parní fázi. Dovedeme-li úvahu až do konce, pak odpařená voda z plodu zvyšuje vzdušnou vlhkost okolního vzduchu a teprve průchodem přes výparník zčásti kondenzuje na jeho podchlazených plochách. Tradičně biologicky se problém odpaření vody formuluje gradientem tlaku vodní páry mezi komoditou a vzduchem obtékajícím kolem povrchu. Termodynamicky se ztráta vody hodnotí více obsažným způsobem, který srozumitelně vysvětluje interakci mezi třemi nezávislými proměnnými:

- dostupností latentní energie na odpařujícím se povrchu,
- ustavení rovnováhy gradientu vodní páry,
- odporem v odvádění vodní páry na stykové ploše mezi objektem a okolním plynným prostředím.

Bude-li způsob výpočtu nastavený tak, aby jedna z rozdílných teplot byla známa, teplo teče z oblasti o vyšší teplotě k oblasti o nižší teplotě, pak rychlost přenosu tepla může být stanovena z termodynamického zákona, v němž se tok tepla vztahuje k teplotnímu gradientu. V systémech obsahujících biologický materiál se kombinují vlivy čtyř způsobů přenosu tepla – vedením, prouděním, sáláním a odpařováním (kondenzací) vztahované na tlak vodní páry a teplotní gradient, který se vyvíjí, a teplo přenesené evaporací, následně se stanoví jako ztráta vody. Ve vzduchu nasyceném vodní parou pak transpirační teplo a teplo sálavé zvyšuje teplotu plodu. Vodní aktivita vody má úměrně vyšší hodnoty na povrchu plodu než ve vzdálenějším prostředí. Vlhkost z evaporace kondenzuje v ambientním vzduchu jako mlha do kapalné fáze při ochlazení. Úbytek vody z plodu pokračuje, i když okolní vzduch je vodní parou nasycený.

Chlazené plodiny mohou snadno odvádět dýchací teplo prostřednictvím evaporačního chlazení, bude-li ambientní vlhkost blízko svému nasycení. Budou-li mít jablka shodnou teplotu se vzduchem v 0 °C, pak přenos dýchacího tepla nebude úplný, tato možnost nastane, klesne-li nasycení vodní parou na 93 %.

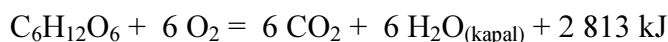
Transpirační odpor pro plody je odlišný pro lenticely, naopak kutikulární odpor je srovnatelný pro plody uložené při barometrickém tlaku a za hlubokého vakua. Vztah mezi intenzitou dýchání ($\text{mg CO}_2/\text{kg.h}$) a dýchacím teplem (W/kg) není významně odlišný, pokud teplota plodu je posunuta z 0 °C na 20 °C, neboť teplotní kvocient (Q_{10}) pro intenzitu dýchání, jakož i dýchací teplota je přibližně 2,0.

Deficit tlaku vodní páry a teplotní vzestup nutný pro přenos
úplného dýchacího tepla plodů jablek v teplotě 13°C za
barometrického tlaku (101,3 kPa) a vakua (2,67 kPa)

vlastnost	kPa tlaku při skladování	
	101,3	2,67
respirační teplo W/kg	0,065	0,013
traspirační odpor (s/cm)		
pro lenticely	2741	32,6
pro kutikulu	50	50
k přenosu dýchací tepla je nutný:		
gradient deficitu tlaku vodní páry (kPa)	173	18
rozdíl teploty $T_{\text{plodu}} - T_{\text{rosného bodu}}$	0,93	0,098

Tabulka 11: Účinek stupně vakua v okolním prostředí na přenos tepla a vodní páry
(Burg, Burg 1965)

Sumární rovnici dýchání v podobě vody jako podíl kapalné fáze a vody v parní fázi lze psát



Pokud je všechna uvolněná energie využita jako latentní teplo k odpaření vody, lze rovnici psát v podobě



Dýcháním se vytvoří pouze 9 % vody v kapalné fázi nutné pro odvedení dýchacího tepla při evaporačním zchlazování. Zůstatek musí být odebraný z buněčné rezervy. V rovnici je 64 mol H_2O odpařeno jako 1 152 ml vodní páry pro každou molekulu glukózy, která je ekvivalentní ztrátě 0,86 M roztoku. Protože osmotická koncentrace v rostlinné buňce je typicky nižší než 0,86 M, mají skladované komodity tendenci k vzestupu obsahu vody a poklesu koncentrace rozpuštěných složek v roztoku, ledaže by hydrolyzát škrobu z existující rezervy vedl k vyšší produkci glukózy, než se stačí spotřebovat při dýchání.

Fyziologická onemocnění ovoce během chladírenského skladování

Poškození chladem

Chladový stres ovoce a zeleniny spolu se spálou jablek jsou vyvolané dvěma poruchami: jednak podmínkami skladování, ale i obdobím před začátkem zrání na stromě v případě spály. Pro obě onemocnění je příznačné, že jejich první vizuální projevy jsou až po několika týdnech od fyziologického poškození látkových složek, které je skryté a rozpoznatelné jen podrobnými analýzami. Projeví-li se na skladovaných plodinách, pak hospodářské ztráty výrazně převyšují běžné, tabelované hodnoty. Chladové poškození je fyziologické onemocnění ovoce a plodové zeleniny, méně kořenové zeleniny, které se projevuje na skladované produkci s určitým časovým posunem. První viditelné poškození je výsledkem

mnoha předcházejících změn v prvotní odezvě pletiva na nevhodně zvolené teploty. Účinek teploty plodu (teploty prostředí) na uchovatelnost plodiny je zásadním hlediskem pro uchovatelnost. Vedle tohoto vlivu pak záleží na relativní vlhkosti vzduchu, na složení atmosféry, rychlosti zchlazování a na dalších činitelích, jejichž význam je doplňující. V posklizňové technologii je nejnižší použitelnou teplotou, která se vztahuje k chladírenství (nikoliv k mrazírenství), teplota mrznutí pletivového roztoku, která je v teplotním intervalu -0,5 až -4,5°C, kdy se v pletivu začínají tvořit ledové krystaly. První iniciace ledové struktury závisí na podílu rozpustné sušiny, která vytváří osmotický tlak v prostředí, proto plodiny jako jsou okurky, které mají nízký obsah ve vodě rozpuštěných sloučenin, začínají tyto účinky v teplotě -0,5°C, jablka začínají mrznout v rozsahu teplot -3,2 °C až 3,8 °C a hrozny, které mají nejvyšší rozpustnou sušinu až v teplotě -4,5 °C. Rozpustnou sušinu lze jednoduše určit jako refraktometrickou sušinu (°Rf). Bohužel neplatí v tomto případě rádobý jednoduchý příměr, že nejnižší teplota uložení plodiny představuje nejdelší dobu uložení. Tomuto vztahu snad odpovídá jen kořenová a košťálová zelenina, která může být skladována v teplotách 0 °C až -1 °C, což musí být technologicky jednoznačně vymezeno, nikoliv se spoléhat na tolerance s teplotami pod toto rozmezí (pak by to vytvářelo nehomogenní teplotní pole ve skladovaném prostoru). Ostatní ovocné a zeleninové druhy vyžadují teploty vyšší, než jsou teploty mrznutí pletiva. Z tohoto základního rozdělení pak vyplývá formulace chladového onemocnění (chladového stresu, angl. *chilling injury*) plodiny, což je rozmezí mezi optimální teplotou, v níž je plodina nízkou teplotou nepoškozena, a nejnižší fyziologicky podmíněnou teplotou, která je shodná s počátkem tvorby ledových krystalů. Na chladový stres jsou nejcitlivější banány a ostatní tropické a subtropické plodiny, u nichž teploty uložení pod 12 °C už poškozují signální struktury, které posléze vyvolají soustavu nežádoucích biochemických reakcí. Bod mrznutí banánů je -4,5 °C, ale tato informace není relevantní pro iniciaci chladového stresu tohoto ovoce. V obchodě se často objeví plody po nevhodné distribuci, dojde-li k nachlazení až namrznutí plodů, s výrazným povrchovým zhnědnutím slupky a následně dužniny, této kvalitě pak odpovídá i zbytková prodejní cena.

Příznaky chladového poškození v buněčných strukturách

Podstata chladového poškození je na buněčné membráně, kde kapalná fáze částečně přechází do gelové podoby nebo polokrystalického stavu, rozpojují se membránové útvary, což způsobí metabolické poruchy a únik rozpuštěných látek mimo buněčné struktury.

Pokud plodina je v chladové teplotě, nejsou zřejmé žádné změny, ale teprve tehdy až se přenese do vyšší teploty, pak se po několika dnech projeví vnější znaky, které jsou už postřehnutelné a stane se tak proto, že se zrychluje látková výměna. Chladovou teplotou se

ovlivňuje přeměna nasycených a nenasycených mastných kyselin v buněčné membráně. Poměr obou látkových složek závisí na výživě, stupni zralosti a růstových podmínkách. Doba expozice v teplotě 10 °C – 11 °C u banánů závisí dokonce na klonu a trvá od několika hodin až do několika týdnů, než se objeví viditelné známky chladového poškození. Platí zde pravidlo, že banány s dobrou nutriční výživou a vyrůstající za vyšší teploty (v tropickém a subtropickém klimatu) jsou náchylnější k chladovému stresu, než vyvíjející se při teplotách nižších, rovněž ve stejném klimatu.

Etylen v chladovém stresu je indikátorem probíhajících vnitřních procesů a projeví se zvýšenou produkcí ve fázi, kdy se plod přesune do teploty, která už není chladová. Míra odezvy je funkcí doby a poškozující teploty. Metoda je to efektivní proto, že změny jsou paralelní k ostatním vnitřním pochodům a mají přitom praktický význam při relativně snadném rozpoznání probíhajících pochodů v plodu, ale vnější poškození není zdaleka rozpoznatelné a doba trvání je několik dní až týdnů. Bude-li etylen jako exogenní plyn v okolí skladované plodiny v chladové teplotě, pak rovněž podporuje vývoj tohoto onemocnění, což logicky vyústí ke snížení jeho koncentrace pomocí všech technologických opatření jako je jeho sorpce do KMnO_4 nebo jeho katalytická oxidace na vodu a CO_2 . Pokud se bude současně v plodu akumulovat etanol a acetaldehyd, například jako produkty anaerobního dýchání, pak se prokazují zmírňující účinky na chladový stres.

U odrůd jablek jsou symptomy chladového stresu mnohdy nerozpoznatelné a zmírnění jeho účinku je možné jednak zvýšením teploty v chladírenské komoře nebo zvýšením obsahu kyslíku v případě, že plyná směs je na hranici 1 %. Vyšší koncentrace CO_2 před nástupem nízké teploty nebo při jejím trvání, zmírňuje příznaky chladového onemocnění, nejen u jablek, ale u dalších ovocných druhů.

Viditelné znaky chladového onemocnění

Praktickým problémem v chladírenské komoře je uložení jablek v blízkosti výparníku. Chladící vzduch z výparníku s teplotou -2,0 až -3,5 °C s rychlostí 10 m/s podchlazuje jablka uložené v proudu vytékajícího vzduchu. Bude-li uložena *na chlad citlivá odrůda*, jako je například *Jonathan*, stane se, že na počátku ledna při kontrole jakosti plodů, která se musí provádět v pokojové teplotě, se pak během dvou dnů projeví typické projevy chladového onemocnění – hnědnutí slupky, měknutí dužniny na více jak 20 % plochy, při rozkrojení je pak dužnina měkká a zhnědlá a v pozdějším stadiu se projeví ztráta původního tvaru (roztékání). Bude-li působit chladová teplota nejen v blízkosti výparníku, ale i v ostatních částech chladírenské komory, pak mohou být ztráty více jak 30 %. Do viditelného chladového stresu od prvního fyziologického poškození nízkou teplotou to bývá doba nejméně 30 dnů a

více. Zpravidla si manager chladírny nebývá vědom zásadního pochybení a přičítá to jiným účinkům, jako je povrchová spála nebo senescentní stárnutí, v případě skladování v řízené atmosféře účinku CO₂, bude-li v koncentraci nad 5 %.

Plody broskví mají rozdílné projevy chladového onemocnění - viditelně se projeví minimálně ve třech formách moučnatění až plstnatost dužniny, hnědnutí v blízkosti pecky a zčervenání dužniny v blízkosti pecky. Onemocnění se vyvíjí za 1 – 2 týdny uložení v teplotě 2 – 5°C, a za 3 týdny v teplotě 0 °C. Nektarinky jsou méně náchylné na chladový stres než pravé broskve a jsou známy odrůdy, které byly záměrně šlechtěny pro eliminaci tohoto onemocnění.

Spála jablek

Fysiologické onemocnění je poškozením epidermálních vrstev slupky vyvolané sloučeninou *6-methyl-5-hepten-2-one* (MHO) a konjugovaných oxidačních produktů těkavých terpenů vzniklých z původní sloučeniny obsažené ve voskové vrstvě slupky, označené jako α -farnesane, který je nenasyceným 15-uhlíkatým uhlovodíkem. Představa o škodlivosti této sloučeniny s nízkou těkavostí, která se kumuluje v kutikule a je pak příčinou spály, je založena na pozorování, že volně zabalené a nebo dobře ventilovaná balení jablek mají menší výskyt spály než pevně zabalené a nevětrané obaly. Pokud budou plody jablek zabaleny do nepropustných obalů a plocha povrchu pod tímto materiálem bude mít malou výměnu plynů s venkovním prostředím, bude se iniciovat náchylnost ke spále. Naopak plody zabalené v blízkosti aktivního uhlí, budou mít mnohem menší výskyt spály.

Metody omezení výskytu spály na jablkách

Mnohem závažnější je obsah kyslíku v okolní atmosféře, čehož lze dosáhnout za atmosférického tlaku, sníží-li se jeho obsah na koncentraci 1 % nebo zavedením hypobarických podmínek. Zásadně platí, že v nízkokyslíkaté atmosféře je autooxidace α -farnesanu jen minimální a proto se nemohou vytvořit škodlivé koncentrace *6-methyl-5-hepten-2-one* (MHO). Význam tohoto faktu je dalekosáhlý ve skladovatelské praxi, protože zavedením ULO (Ultra Low Oxygen – velmi nízký obsah kyslíku – 1,0 – 1,2 % v atmosféře chladírenské komory) se prakticky vyloučí výskyt spály i v klimaticky nepříznivých letech.

Pokud se budou plody jablek skladovat v podtlakové atmosféře při teplotě 1°C a za tlaku 5 kPa (= 0,9 % O₂) po dobu 8 měsíců, pak se výskyt spály neprojeví. V obou případech je princip účinku stejný - výrazné omezení oxidačních změn v povrchové vrstvě slupky.

Skladovatelsky významným opatřením nezbytným pro minimalizaci spály je *omezení vlivu etylenu* ve vnější atmosféře chladírenské komory. Etylen a ethephon (2- methylfosforečná kyselina, který uvolňuje etylen ze svojí molekuly) potlačují kutikulární tvorbu vosků a

nahromadění α -farnesanu, pokud je už ve vyšší koncentraci ve slupce, pak snižuje jeho oxidaci. V několika posledních letech se připravují technologie, které by umožnily, aby se etylen v plodu jablek, ale i jiných ovocných druzích vůbec nevytvořil a přitom se nemusela používat řízená atmosféra. Antietylenová sloučenina se jmenuje 1-MCP (1-methylcyklopropen) a jako plynná fáze vniká do jablka a po stanovenou dobu aplikace na počátku skladování zabrání během dalšího skladování v teplotě chladírenské komory vytvoření etylenu uvnitř plodu. Tento účinek trvá až do konce skladování (200 dnů). Účinek 1-MCP není specifický jen pro jablka, ale hodí se i pro jiné druhy ovoce klimakterického typu, ale i zeleniny, u nichž etylen má deteriorační účinky.

Skvrnitost slupky

Fysiologické onemocnění se projevuje malými hnědými, mnohdy suchými skvrnami se slabě trpkou chutí. Prvními symptomy jsou malé body vyskytující se kdekoli v pletivu od jaderníku až po slupku a jsou často spojeny se svazky cévními. Ve vážnějších případech dojde ke srůstu do větších nekrotických ploch. Onemocnění napadá všechny odrůdy jablek bez ohledu geografické lokality. Je ovlivněno klimatickými podmínkami a pracovními postupy v sadu. Příčinou onemocnění je nevyvážená výživová rovnováha v dužnině jablka. Nízká koncentrace Ca^{2+} a vysoká koncentrace Mg^{2+} a K^+ . Nízká koncentrace Ca^{2+} zhoršuje selektivitu buněčné membrány a vede k poškození buňky a nekrose, v místě poškození je vysoká koncentrace minerálních sloučenin, ale i cukrů, rozpouští se střední lamela buňky kyselinou šťavelovou a jantarovou zvyšuje se permeabilita K^+ do buňky následuje další sled reakcí, které vedou k tvorbě hořkých bodů. Fyziologickou skvrnitost podporují nezralé plody, velké plody, nadměrný řez, neobvykle horké a suché počasí. Podmínky v sadu snižující fyziologickou skvrnitost mají tato hlediska, střední plodnost, menší velikost plodu, optimální sklizňová zralost, hnojení dusíkem neprovádět v létě, nehnojit amonnými solemi, vyhnout se nepravidelnému zavlažování, uplatnit hnojení Ca^{2+} solemi. Četnost postřiků je v období vývoje plodu (zvětšování objemu a hmotnosti), kdy se použije vápenatá sůl, která má potravinářskou hodnotu, obsahující 27 % účinné látky. Postřik se provede v dávce 8 - 12 kg/ha nebo 500 g na 100 litrů v intervalu začínající v polovině července v 10 denních odstupech. Pro vyloučení bitter pit a zvýšení pevnosti plodu se použije maximálně 36 kg/ha pro sad za rok, pak se dosáhne požadovaného obsahu 50 mg/kg Ca^{2+} .

Tepelná bilance chladírenské komory

Tepelná bilance je rovnovážným stavem v rámci chladírenské komory, v níž se na jedné straně hodnotí chladicí výkon výparníku, který odvádí všechny zdroje tepelných ztrát. Na druhé straně tepelné rovnováhy jsou technologické potřeby chlazení skladovaného produktu

(zchlazení produktu a odvedení dýchacího tepla) a technické podmínky provozu chladírenské komory (přiváděného tepla při větrání venkovním vzduchem, teplem prostupujícím přes stěny komory, osvětlením a otvíráním chladírenských vrat a pohybem osob v chlazeném prostoru). Rozhodujícím hlediskem pro stanovení chladicího výkonu výparníku je rychlost zchlazování (z polní teploty plodiny na teplotu chladírenskou) a udržení výsledné teploty s kolísáním $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Bude-li pokles teploty ovládaný výkonem výparníku, pak vyšší hodnoty mají zdroj v dýchání plodů a v teple prostupujícím přes stěny chladírenské komory (lze hodnotit jako tok tepla na plochu – W/m^2).

Pro určení instalovaného chladicího výkonu je možné volit dvě alternativy: (a) dobře dimenzovanou izolaci s relativně malým chladícím výkonem, (b) slabší izolaci a výkonnější chladicí zařízení. Druhá možnost je přijatelná jen v tom případě, když se nemusí přihlížet k vlhkosti v chlazeném prostoru. V rovnovážném stavu chlazeného prostoru se hodnotí chladicí výkon v dohodnutém místě spotřeby, který je totožný s užitečným výkonem Q_v a zdroji tepelných ztrát Q_z , čistého chladicího výkonu vyplývajícího ze zchlazení plodiny Q_n a odvedení dýchacího tepla Q_R , pak

$$Q_v = \sum Q_n + Q_R + Q_z \quad [\text{W}]$$

Zchlazeným vzduchem ve výparníku a jeho distribucí do prostoru chladírenské komory se snižuje teplota vzduchu a s malým zpožděním i teplota produktu, což hodnoceno rychlostí zchlazování představuje ve velkokapacitní komoře (ca 250 t) jen desítky hodin. Po dosažení požadované teploty se udrží minimální kolísání vzduchu (již uvedeno $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$). Při hodnocení tepelné bilance chladírenské komory se zpravidla dříve vypočítají hodnoty odvedeného tepla (kJ) a následně pak chladicí výkon (W).

Užitečný chladicí výkon výparníku

Ve výpočtu se předpokládá nucená distribuce vzduchu vytvořená zabudovaným jedním nebo několika tlakovými ventilátory, jejichž výtlačná rychlost musí technologicky vyhovovat toku vzduchu z výparníku až na protilehlou stranu chladírenské komory. Užitečný chladicí výkon výparníku se zjistí z hodnot cirkulujícího vzduchu výparníkem, kde měřeními a počítanými parametry jsou:

- (a) teplota a relativní vlhkost vstupujícího a vystupujícího vzduchu se změří teploměrem s přesností 0.1°C a relativní vlhkost např. Assmanovým aspiračním vlhkoměrem,
- (b) střední rychlost zchlazovaného vzduchu ω [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] se změří anemometrem v hrdle výtlačného vzduchovodu,

$$Q_n = \frac{m \cdot c \cdot \Delta t}{3.6 \tau_h}$$

(c) změří se plocha S [m²] výtlačného vzduchovodu.

Na základě experimentálně zjištěných hodnot je objem cirkulujícího vzduchu V:

$$V = s \cdot \omega \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

hmotnost procházejícího vzduchu [m] je

$$m = V \cdot \rho \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde ρ [kg.m³] je hustota vycházejícího vzduchu z výparníku, pak užitečný chladicí výkon výparníku Q_v

$$Q_v = m (i_e - i_a) \quad [\text{W}]$$

kde i_e entalpie vcházejícího vzduchu [kJ.kg⁻¹]

i_a entalpie vycházejícího vzduchu [kJ.kg⁻¹]

Výpočet entalpie se provede podle vztahu

$$i = 1,005 t + x(2501 + 1,84 t) \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

kde: t - experimentálně zjištěná teplota s indexem e nebo a

x - měrná vlhkost vzduchu při t a ϕ ($x = \phi x''$)

x'' - měrná vlhkost nasyceného vzduchu (kg.kg⁻¹) při dané teplotě.

Z experimentálně zjištěných hodnot vypočítáme kondenzovanou vlhkost na teplosměnné ploše výparníku podle vztahu

$$\Delta x = m (x_e - x_a) \cdot 3600 \quad [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$$

Potřeba chladu

Z hlediska tepelné bilance chladírenské komory všechny tepelné zdroje, které odvádí chladicí jednotka (výparník) považujeme za tepelné ztráty nebo také za potřebu chladu. Technologicky je zásadní odvést teplo ze sklizených plodin a teplo dýchací, které budou minimální v nastavené chladírenské teplotě. Dýchací teplo je sice hodnotově menší, ale v nízké teplotě skladování bude mít zbytkovou hodnotu.

Chladicí výkon musí být natolik dimenzovaný, aby plodiny uložené do chladírenské komory dlouho neprodlévaly v teplotách blízkých počáteční teplotě naskladnění, ale v krátké době dosáhly požadované teploty, v níž se budou dlouhodobě skladovat. Celkové teplo, které se musí odvést ze zchlazených plodin, včetně dýchacího tepla, se nazývá čistý chladicí výkon Q_n . Vypočítá se ze vztahu

$$Q_n = m \cdot c \cdot \Delta t \quad [\text{kJ}]$$

Z toho vyplývající chladicí výkon [kW]

kde: m - hmota zchlazovaných plodin [kg]

Δt - rozdíl počáteční a konečné teploty uložení [°C]

τ_h - doba zchlazování [h]

c - měrné teplo zchlazovaných plodin [kJ.kg⁻¹.°C⁻¹]

Měrné teplo je buď tabelovanou hodnotou, nebo se vypočítá podle vztahu

$$c = [4.18y + 1.34 (100-y)]/100 \quad [\text{kJ.kg}^{-1}\text{.}^{\circ}\text{C}^{-1}]$$

kde: 4.18 - měrné teplo vody [kJ.kg⁻¹.°C⁻¹]

y - obsah vody [%]

1.34 - měrné teplo sušiny [kJ.kg⁻¹.°C⁻¹]

Měrné teplo ovoce je v rozsahu 3.54 až 3.85 [kJ.kg⁻¹.°C⁻¹], měrné teplo zeleniny je v rozsahu 3.35 až 3.89 [kJ.kg⁻¹.°C⁻¹].

Odvedení dýchacího tepla plodin

Energie uvolněná dýchacími procesy se částečně spotřebovává pro vlastní životní procesy, největší část se mění na teplo a odchází do okolního prostředí. Známe-li počáteční produkci tepla q_0 [kJ.t⁻¹.h⁻¹] při tzv. polní teplotě, která odpovídá počátku zchlazování τ_0 a výslednou produkci tepla q_1 [kJ.t⁻¹.h⁻¹], odpovídající konečné teplotě skladování v čase τ_1 , můžeme

$$Q_R = \int_{\tau_0}^{\tau_1} q_0 d\tau$$

vypočítat množství dýchacího tepla Q_R pro 1 tunu v čase od τ_0 do τ_1 [h].

pak po integraci a vložení hmotnosti plodiny získáme tvar

$$Q_R = [m \cdot q_0 / k] [1 - \exp(-k \cdot \tau_1)] \quad [\text{kJ}]$$

kde: m - hmota plodiny [t]

k - rychlostní konstanta změny q_0 na q_1 za dobu od τ_0 do τ_1 [h⁻¹]

Čistý chladicí výkon odpovídající dýchacímu teplu bude

$$Q_R = Q_R / 3,6 \tau_h \quad [\text{kW}]$$

Ztráty tepla větráním venkovním vzduchem

Venkovní vzduch vniká do chlazeného prostoru jednak samovolně netěsnostmi nebo záměrným přívodem. Čerstvý vzduch má zpravidla vyšší teplotu a vyšší obsah vodní páry, takže se musí upravit, tzn. zchladit a odvlhčit. Ztráty tepla větráním venkovním vzduchem vypočítáme podle vztahu

$$Q_{z1} = \hat{V} \cdot \varphi \cdot \Delta i / \eta \cdot 3600 \quad [\text{kW}]$$

kde:	\hat{V}	- hodinový výkon ventilátoru	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
	φ	- měrná hmotnost vzduchu	$[kg \cdot m^{-3}]$
	Δi	- rozdíl entalpií venkovního a vnitřního vzduchu závislý na teplotě a relativní vlhkosti – výpočet podle i-x diagramu, tabulkových hodnot nebo výpočtem	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
	η	- doba chodu větrání za hodinu	$[-]$

Ztráty tepla prostupem, přes stěny chladírenské komory

Teplo vniká do chladírenské komory všemi stykovými plochami – obvodovým pláštěm, stropem i podlahou; pro každou složku se výpočet provede zvlášť, neboť složení vrstev izolací a rozdíl teplot bývá odlišný.

Celková ztráta \hat{Q}_{z2} je součtem dílčích ztrát obvodového pláště \hat{Q}_{z2}' , stropu \hat{Q}_{z2}'' a podlahy \hat{Q}_{z2}'''

$$\hat{Q}_{z2} = \hat{Q}_{z2}' + \hat{Q}_{z2}'' + \hat{Q}_{z2}''' \quad [W]$$

Prostup tepla přes chladírenskou stěnu je výpočtem rovinné stěny se stavebními a izolačními prvky podle vztahu

$$\hat{Q}_{z2} = k_x \cdot S_x \cdot \Delta t_x \quad [W]$$

kde: k_x - součinitel prostupu tepla rovinnou stěnou pro všechny vrstvy $[m^2 \cdot ^\circ C^{-1} / W]$

S_x - součet všech stykových ploch $[m^2]$

Δt_x - rozdíl teplot venkovního a vnitřního vzduchu $[^\circ C]$

Vnější teplota vzduchu v okolí chladírny kolísá, proto se doporučuje brát

$$t = 0.4 t_1 + 0.6 t_2$$

kde: t_1 - střední měsíční teplota v nejteplejším měsíci $[^\circ C]$

t_2 - maximální denní teplota v nejteplejším měsíci $[^\circ C]$

Bude-li dispozice chladírenských komor se společnou dělicí stěnou, pak se předpokládá, že rozdíl teplot mezi oběma stěnami nebude žádný.

Ztráty tepla činností ventilátorů

Tepelný ekvivalent, vyplývající z provozu ventilátorů, se vypočítá přímo P [W]

$$\hat{Q}_{z3} = P \cdot \eta \quad [W]$$

kde: P - příkon ventilátoru $[W]$

η - účinnost motoru uvádí se vně cirkulující látky $[-]$

Ostatní tepelné ztráty

Ztráty otevíráním dveří (\hat{Q}_{z4}) a ztráty manipulací osob v chlazeném prostoru (\hat{Q}_{z5}) a ztráty osvětlením (\hat{Q}_{z6}) se odhadují jako 10% ze stálých zdrojů tepla.

Doba provozu chladicího zařízení

Doba provozu je závislá na diagramu spotřeby chladu. Při vyrovnaném diagramu je možné potřebu chladu krýt zařízením s výkonem zcela nebo přibližně stálým. Používá se ho u malých zařízení, jako jsou domácí chladničky. Kolísá-li potřeba chladu v průběhu dne nebo delšího období jako je tomu u chladírenské komory (velkokapacitní chladíren), kde se ochlazují plodiny na počátku dlouhodobého skladování, je pak nutná instalace chladicího zařízení a výkonem odpovídajícím nejvyšší okamžité potřebě chladu a snížením chladicího výkonu (regulace výkonu, zastavením chodu některých chladicích jednotek) v době nižší potřeby chladu. Nutný chladicí výkon pro zchlazení uskladněných plodin a snížení teploty chladírenské komory na žádané hodnoty je obvykle 2 – 4 krát vyšší než výkon potřebný během skladování. V této druhé fázi pak odpadá čistý chladicí výkon (\hat{Q}_n) plynoucí z odvodu měrného tepla a ostatní tepelné ztráty (manipulací v chlazeném prostoru, osvětlením a otevíráním dveří) a odvádí se hlavně teplo vniklé přes stěny chladírenské komory, dýchací teplo a tepelný ekvivalent činnosti ventilátorů. Tyto tepelné ztráty jsou mnohem nižší, hlavně teplotních diferencí okolního prostředí a vnitřní teploty chladírenské komory v zimním období, které se v některých časových úsecích vyrovnávají.

Dozrávání plodů

Technika řízeného zrání sladňuje podmínky prostředí s fyziologickými nároky. Připravuje se za prostředek přípravy produktů k okamžité spotřebě v několika málo dnech u plodů přímo po sklizni nebo po chladírenském skladování. Technologická varianta předzrávání před dlouhodobým skladováním se omezuje na výjimečné případy. Například u hrušek předem aplikovaný etylen v návaznosti na dlouhodobé uložení v teplotě 0°C mohou po vyskladnění hniličit. Obdobně se nedoporučuje skladování jablek v řízené atmosféře předtím vystavené ovzduší bohatém na kyslík. Řízené zrání je založeno na kombinovaném účinku tepla (v rozsahu teplot 15°C až 20°C) a ovzduší přesyceného kyslíkem (ve srovnání s obsahem O₂ ve vzduchu) nebo obohacené atmosféry kyslíkem se záměrným přídavkem etylenu nebo vzduchová atmosféra s řízenou hladinou etylenu. Ve všech případech hladina CO₂, jako antagonisty procesů zrání, nemá překročit 1%. Produkovaný CO₂, jakož i dýchací teplo, se musí kontinuálně odvádět, zejména z vnitřní, kompaktně stohované jednotky, což zajistí výkonná vnitřní cirkulace vzduchu s úměrnou obnovou vnitřní atmosféry.

Technologická zařízení

Mikroklimatické podmínky splňují buď chladírenské komory s řízenou atmosférou (musí být splněna podmínka plynotěsnosti prostoru), jejichž teplotní režim je regulovaný, nebo speciálně vybudované dozrávací komory. V tomto případě se volí několik menších boxů o kapacitě 6 – 10 t, místo jednoho velkého boxu. Jsou využívány pouze jednoúčelové jako dozrávárny. Box je tepelně izolovaný s technologickým zařízením pro regulaci teploty (vlastní chladicí a vytápěcí zařízení s chladícím výkonem asi 9 kW). Pro výparník se volí odpovídající teplotní spád, kterého se již dosáhne při odpařovací teplot chladiva +5°C, plocha výparníku je dimenzována na stabilizaci 90-95 % relativní vlhkosti. Jako chladivo je lépe užívat ekologické freony místo čpavku (při úniku do dozrávací komory se komodity znehodnotí).

Skladovací podmínky ovocných a zeleninových druhů

Borůvky

Plody borůvek (*Vaccinium* sp.) pro čerstvou spotřebu jsou zcela modré a pevné. Podle velikosti jsou rozděleny do skupiny extra velké - <90 bobulí na kalíšek (250 ml), velké - 90 až 12 bobulí na kalíšek, střední - 130 až 189 bobulí na kalíšek, malé - 190 až 250 bobulí na kalíšek. Borůvky se zchlazují, nejlépe tlakovým vzduchem na teplotu < 10°C s teplotním rozsahem 0 to 3 °C, takže během jedné hodiny se odvede vnitřní teplo (z teploty sběru na teplotu uložení), což je efektivní parametr pro prodloužení skladovatelnosti. Bude-li zchlazování jen na 5°C, nastanou problémy kondenzace na povrchu borůvek, zejména v případě, že balení je zpožděné (21 hodin). Borůvky jsou ukládány do -0.5 až 0 °C s > 90% relativní vlhkostí nejsou citlivé na chladové poškození. Řízená atmosféra v rozsahu 10 až 15% CO₂ + 1 až 10% O₂ v teplotě pod 5°C prodlužuje uchovatelnost 42 dnů, neboť je podpořena pevnost a jsou malé ztráty organických kyselin.

Broskve

Plody broskví (*Prunus persica*) v konzumní zralosti mají vysokou rozpustnou sušinu, poměr rozpustné sušiny k titrační kyselosti je významným faktorem pro konzumní přijatelnost. Broskve ze střední části zrání na stromě mají 11°Brix a titrační kyselost ≤ 0.7 % jako kyselina citronová, při penetrometrické pevnosti 270 - 360 kPa (27-36 N.cm⁻²), přitom akceptovatelná nejnižší hodnota je 90 až 135 kPa. Plody po sklizni jsou ihned převezeny do balíren a chladírenských komor. Optimální teplota je -1°C až 0 °C, bod mrznutí kolísá podle rozpustné sušiny od -3°C do -1.5 °C. Vhodné je zchlazování tlakovým vzduchem (přetlak 300 Pa) nebo sprchováním vodou, buď na dopravníkovém pásu nebo in situ. Plody ve sklizňových obalech se zchlazují na 5°C, což zlepšuje balení, které se provede příští den. Pokud je balení opožděno o další den, pak se broskve zchlazují na 0°C. Předností řízené atmosféry je zachování pevnosti plodu a zpomalení ztráty zelené barvy ve slupce. V plynné směsi 6 % O₂ a

17% CO₂ při 0°C bude výrazně sníženo hnědnutí dužniny. Ve vyšší teplotě 3-4°C pak některé odrůdy zvyšují náchylnost k tomuto hnědnutí. Střednědobé a pozdní odrůdy jsou náchylné k chladovému poškození, jakož i hnědnutí dužniny. Výraznější účinek teploty na projevy chladového stresu jsou při 2.2 to 7.6 °C, než v teplotě 0°C nebo i nižší. Produkce etylenu je významně rozdílná pro plody nezralé <0,2 ml.kg⁻¹.h⁻¹ při 20°C, plody zralé produkují až 160 μl.kg⁻¹.h⁻¹, přidávání exogenního etylenu do okolní atmosféry pro podporu zrání není nutné.

Meruňky (*Prunus armeniaca* L.)

Plody meruňek jsou klimakterickým typem ovoce, vytváří vlastní etylen, který se musí z okolí skladovaných plodů odvádět (např. účinným větráním, pokud jsou plody skladovány v neupravené plynné směsi). Zvýšené koncentrace exogenního etylenu výrazně podporují dozrávání a rozvoj plísňového napadení (*Monilinia* ssp.), bude-li teplota skladování vyšší než 5 °C. Expozice plodů meruňek do etylenové koncentrace 100 μl/l zrychluje měknutí plodů v teplotě 20 °C až po 48 hodinách, aniž se ovlivní titrační kyselost a rozpustná sušina.

Inhibice produkce etylenu v plodu je pozitivně ovlivněna AVG (aminovinylglycin), která jako jednoduchý morforegulátor zabraňuje vzniku meziproduktů (ACC – 1-aminocyklopropanová kyselina) v biosyntéze etylenu. Exogenně aplikovaný 1-MCP (1-methylcyklopropen) v koncentraci 1 μl/l působící po dobu 48 hodin při teplotě 0 °C zabrání měknutí plodů v následujících 14 dnech uložených v teplotě 5 °C. Antietylenové činidlo nepůsobí změnu rozpustné sušiny a titračních kyselin. Meruňky mohou být příkladem plodů, u kterých, jsou-li sklizeny těsně před začátkem klimakterické fáze, se významně omezí mechanické poškození a zlepší se přepravní možnosti. V další fázi zrání jsou obzvláště citlivé na otlačení zralejší části plodu a trpí zvýšenou ztrátou transpirované vody. Teplota skladování může být v rozsahu 0,5 – 1,5°C a 0 - 2.5 % CO₂ a 5 % O₂ po dobu 20 – 30 dnů. Koncentrace O₂ může být snížena na hodnoty 1,0 – 2,5 % a nízký obsah kyslíku nepodporuje hnědnutí dužniny v blízkosti pecky. Koncentrace CO₂ vyšší jak 5 % při obsahu 2 % O₂ se nedoporučuje pro dlouhodobé skladování. Jednorázové ošetření vysokou koncentrací CO₂ zpomaluje látkový metabolismus. Plody musí být ve fázi před počínajícím zráním, pak se ošetří 10 – 30 % CO₂ po omezenou dobu (od 24 do 72 hodin). Další skladování probíhá v řízené atmosféře (5 % O₂ a 5 % CO₂). Pokud budou plody zralé, ale stále s pevnou dužninou, nemá být při teplotě 0 °C koncentrace CO₂ vyšší jak 20 % po dobu nepřesahující 24 až 48 hodin. Vyloučení hnědnutí dužniny a snížení klimakterického vrcholu CO₂ se dosáhne uložením plodů ve vzduchové atmosféře, aniž se musí upravovat plynná směs při relativní vlhkosti 90 - 95%. Vyšší koncentrace CO₂ jak 5% po 4- týdenním skladování může vyvolat anaerobními procesy (zvýšenou

koncentraci etanolu v plodu). Náchylnost plodů meruněk evropského původu k chladovému stresu nebyla potvrzena. Mnohdy se připouští uložení v teplotě $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (přitom bod mrznutí pletivového roztoku je $-1,5^{\circ}\text{C}$).

Nektarinky

Plody (*Prunus persica* var. *nectarina*) mají mít vysokou rozpustnou sušinu a titrační kyselost je vyšší než u broskví. Pro konzumní zralost se hodnotí titrační kyselost a rozpustná sušina: titrační kyselosti. Pro nektarinky nejsou standardy vůně. Přijatelná pevnost dužniny pro přímý konzum je 90 - 135 kPa, zatímco plody $<270\text{ kPa}$ jsou optimální pro krátkodobé skladování. Pro skladování je vhodná teplota $-1\text{ až }0\text{ }^{\circ}\text{C}$, bod mrznutí kolísá od $-3\text{ až }-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ v závislosti na rozpustné sušině. Předností řízené atmosféry s plynnou směsí 1 až 2% O_2 + 3 až 5% CO_2 je udržení pevnosti dužniny a původní barvy slupky, pak se nepotlačí hnědnutí dužniny. Upraví-li se atmosféra na hodnoty 10% O_2 + 10% CO_2 pak se vyloučí hnědnutí dužniny. Bude-li plynná směs obsahovat vyšší podíl CO_2 na hodnoty $\text{O}_2 < 1\%$ a $\text{CO}_2 > 20\%$, vyvolávají se anaerobní procesy, které jsou spojeny s tvorbou alkoholu v dužnině, jejím měkknutím a hlavně se tvoří nežádoucích vonné sloučeniny (off-flavour).

Symptomy chladového poškození se častěji ukazují v teplotách 2.2 až 7.8 $^{\circ}\text{C}$ ve srovnání s plody, které jsou skladovány v 0°C . Plody ze střednědobého a pozdního pěstování jsou vůči hnědnutí dužniny odolné. Produkce etylenu je výrazně odlišná podle stupně zralosti, neboť nezralé plody produkují $0,2\text{ }\mu\text{l.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$, zatímco přezrálé plody mají produkci etylenu $160\text{ }\mu\text{l.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$. Exogenní etylen v koncentraci 100 ml.l^{-1} přispívá k rovnoměrnosti zrání, aniž přímo vyvolává měkknutí dužniny. Hnědnutí dužniny je fyziologickým problémem, který se kromě tvorby hnědých pigmentů v dužnině projevuje i vývojem červené barvy v dužnině, moučnatěním dužniny a ztrátou schopnosti plodu dozrávat, avšak chuť plodu nebývá dotčena.

Hrozny

Hrozny (*Vitis vinifera* L.) jsou neklimakterickým ovocem s relativně nízkou fyziologickou aktivitou. Spotřebitelská přijatelnost hroznů je dána poměrem rozpustné sušiny k titrační kyselosti při dostatečné pevnosti bobule a mikrobiální stabilitě. Dalšími nedostatky jakosti čerstvých hroznů jsou prasklé boule, vadnoucí třepina a hnědnutí bobule a třepiny. Sklízňový termín se odvozuje od minimální rozpustné sušiny (14 - 17.5°Brix). Zchlazování je možné co nejdříve, nejlépe do 12 hodin po sklizni. Chladicí výkon výparníku musí odebrat 7/8 nutného tepla během 6 hodin, což je předpokladem pro následný chlazený transport.

Pro dlouhodobé skladování je nutná teplota -1°C až 0°C a relativní vlhkost 95 % při vnitřní cirkulaci $3 - 6\text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{t}^{-1}$. Nízká teplota, vysoká relativní vlhkost a střední rychlost vzduchu jsou limitami pro ztrátu vody z třepiny, přitom teplota uvnitř bobule bude $-0,5 - 0^{\circ}\text{C}$

po celou dobu skladování. Bod mrznutí bobulí je -3°C , třapiny -2°C . Nové odrůdy jsou citlivější k mrznutí třapiny. Řízená atmosféra s 2 až 5% O_2 + 1 až 5% CO_2 nepřináší významnější prospěch pro prodloužení úchovy. Významnější je atmosféra CO_2 od 10 to 15% ve vzduchu (přídavek CO_2 do vzduchu, aniž se upravuje O_2 a N_2) pro snížení šedé (botrytidové) hniloby, pokud se uplatní během 14 až 28 dnů v závislosti na odrůdě. Hrozny nejsou citlivé k chladovému stresu, rovněž jsou produkty neklimakterické, v nichž vlastní produkce etylenu je $< 0.1 \mu\text{l kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ve 20°C .

Jahody

Jahody (*Fragaria x ananassa*) musí být stejnoměrné červené, pevné a vonné se zelenými okvětními listy bez měkkého a otláčeného povrchu. Obsah sacharidů po sklizni nevzrůstá, proto se plody sklízí v plné zralosti s nejvyšší vůní. Pro přijatelnou vůni má být minimální rozpustná sušina 7°Brix a maximálně 0.8 % titračních kyselin. Zralost plodu je založena na barvě povrchu, takže $\frac{1}{2}$ až $\frac{3}{4}$ mají mít červenou až růžovou barvu a přímo se sklízí do loubových košíků o hmotnosti 4 až 5 kg. Jahody jsou extrémně zkazitelnou plodinou, takže ihned po sklizni, nejlépe do 1 hodiny, se zchlazuje tlakovým vzduchem, kterému se dává přednost, i když chladírenská komora se rovněž používá pro zchlazování. V této technologii je rychlost zchlazení mnohem pomalejší, zejména tehdy, bude-li rychlost proudícího vzduchu kolem stohovaných loubových košíků na úrovni $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Jahody se skladují v 0°C a 95 % relativní vlhkosti na dobu 7 dnů v závislosti na úrovni tlakového chlazení. Řízená atmosféra obsahuje 10-15 % CO_2 při skladování MAP (modifikovaná atmosféra balené jednotky), pomocí níž se snižuje botrytidové napadení a intenzita dýchání. Zabalení paletizované jednotky selektivně propustnou folií tak, aby vytvořila hermetickou jednotku, je obvyklou metodou skladování jahod v chladírenské komoře. Jahody nejsou citlivé k chladovému poškození, takže mohou být skladovány těsně nad bodem mrznutí plodu bod mrznutí (-1.5°C). Rovněž produkce etylenu je mizivá ($< 0.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ve 20°C), takže nedávají odezvu na exogenní etylen, což se změní, jakmile začnou plesnivět. Vyšší koncentrace CO_2 než 15 % způsobí bílé plochy v dužnině a zápach vyvolaný anaerobními podmínkami. Posklizňové ztráty působí *Botrytis cinerea* (množí se v teplotě 0°C) a *Rhizopus stolonifer* (pro rozšiřování v plodu je nutná teplota 5°C). Posklizňové fungicidy není možné na sklizené plody použít, proto východiskem je rychlé zchlazení. Plátky z jahod se skladují 7 dnů v $2,5^{\circ}\text{C}$ a 5 dnů v 5°C . Jahody jsou citlivou plodinou, u níž třídění, balení a odborné vyškolení pracovníků je rozhodující pro balení a kvalitu produktu.

Třešně

Třešně (*Prunus avium* L.) dozrávají od konce května až do poloviny srpna podle odrůd, jejichž barva tvar, barva a hmotnost plodu, délka a tloušťka stopky jsou morfologickými znaky odrůdy. Vzhled stopky (zelená barva, bez známek vadnutí, v návaznosti na její sesychání, které začíná od plodonoše) je kritériem pro tržní hodnotu produktu, protože známky vadnutí a změna barvy bobule nastávají mnohem později. Vůně plodu je podporována vysokou rozpustnou sušinou a titrační kyselostí, která je doprovázena pevnou a přitom šťavnatou texturou. U tohoto druhu je obsah organických kyselin ve srovnání s ostatními produkty vždy nízký. Barva plodu je spolehlivým hlediskem sklizňové zralosti. Jen malými rozdíly v barevných tónech červené barvy se liší jednotlivé odrůdy od sebe. Například odrůda 'Van' se sklízí v tmavě červené barvě ve srovnání s odrůdou 'Bing', jejíž barva je mahagonově červená. Naopak chrupky ('Napoleonova') mají jen 1/3 povrchu plodu s červenou barvou. Hlavní odrůdy třešní jsou rozšířeny ve všech kontinentech. Povrchová teplota plodů bezprostředně po sklizni má hodnoty $> 30^{\circ}\text{C}$, zvláště nejsou-li ve stínu, pak je nutné rychlé zchlazení na $< 5^{\circ}\text{C}$ za 4 hodiny po sklizni. Obvyklé je zchlazení v chladírenské komoře, dále tlakovým zchlazováním a vodním zchlazováním, které je nejúčinnější.

Doporučovanou teplotou pro skladování je -1 až 0°C s $> 95\%$ relativní vlhkostí po dobu 14 až 28 dnů. Kromě řízené atmosféry se užije také MAP, jejichž významnými přednostmi je zpomalení tmavnutí plodu, ztráta organických kyselin a pevnosti, omezení hníloby a zpomalení vadnutí a hnědnutí stopky. Změny na stopce jsou prvním příznakem, který znehodnocuje kvalitu produktu. Řízená atmosféra může být v rozsahu 1 až $5\% \text{O}_2$ + 5 až $20\% \text{CO}_2$, pro MAP pak 5 až $10\% \text{O}_2$ + 5 až $15\% \text{CO}_2$ v teplotě 0 až 5°C . Vznik anaerobních podmínek se může očekávat v MAP, bude-li teplota $< 5^{\circ}\text{C}$. Třešně nejsou citlivé k chladovému stresu, a proto se mohou ukládat v teplotách těsně nad bodem mraznutí. Produkce etylenu je velmi nízká a rovněž nedávají odezvu k exogennímu etylenu, kromě přechodně zvýšené intenzity dýchání, která se v posklizňovém období postupně zeslabuje.

Švestky

Plody švestek jsou mimořádně variabilní ve svých znacích a vlastnostech a jsou přizpůsobivé k různým podmínkám. Skladování švestek dosud stojí ve stínu jádrového ovoce, zejména jablek, přestože je mnoho důvodů pro to, aby si tyto plody atraktivní svojí barvou a voskovým ojíněním získaly oblibu jako čerstvé ovoce časného podzimu. Dnešní technika a technologie skladování a racionalizace výsadby s nastavenou dobou zrání zcela jednoznačně umožňují vytvořit dostatečnou nabídku plodů pro přímý konzum.

Plody švestek jsou dezertním ovocem pro přímý konzum, stejně tak jsou plody dobré pro zpracování s nebyvale širokou skupinou výrobků, z nichž mnohé mají dlouholetou tradici

(švestková povidla, slivovice). V celosvětovém měřítku po jablkách, hruškách a broskvích jsou čtvrtým nejvýznamnějším druhem ovoce mírného pásma. Zatímco před 10 lety převažovaly švestky a slívy evropského typu, v současné době se dostávají do popředí slívy japonského typu (*Prunus salicina* Lindl), které jsou pěstovány v jižní Evropě, a z části se rozšiřují do jižních částí republiky. Japonské slivoně jsou vzhledově atraktivní, červené a zelené barvy slupky a dužniny, s neodlučitelnou peckou, ale dobře elastickou slupkou, takže málo trpí otlaky. Postupně si získávají oblibu u zákazníků. Fysiologické podmínky zrání a jejich reakce na skladování jsou však odlišné od ovocného druhu slivoně švestky *Prunus domestica* Lindl (pomologicky členěné na poddruhy: slívy, renklody a švestky pravé). Přirozenou a později záměrnou selekcí stále dochází ke zlepšování kvality jejich plodů, protože tento druh se vyznačuje mimořádnou variabilitou všech svých znaků a vlastností.

Fysiologické vlastnosti plodů švestek

Pravé švestky jsou typickým klimakterickým typem ovoce, u něhož má produkce CO₂ výrazný vrchol v plné konzumní zralosti. Souběžný průběh v posklizňovém zrání má také biogeneze etylenu s obdobným časovým průběhem klimakterického píku. Rozsah produkce etylenu 10-80 µl/kg.h platí pouze pro pravé švestky a je 100 krát vyšší než pro plody s potlačeným klimakteriem, které jsou z rodu *Prunus salicina* Lindl, (japonské švestky), vyznačující se produkcí etylenu v rozmezí desetin µl/kg.h, prakticky nepostřehnutelnou při běžných měřeních. Z tohoto důvodu je výhodné použít antietylenové přípravky pro omezení vzniku etylenu ve vnitřní atmosféře plodu. Technologicky je výhodné ošetřit plody 1-MCP (1-methylcyklopropen je přípravek, který zabrání vzniku etylenu v plodu) kvůli udržení vysoké kvality v chladírenské skladování a praktickému vyloučení otlaku plodů po dobu minimálně 28 dnů. Budou-li tyto plody před skladováním ošetřeny 1-MCP, pak při běžném skladování zablokují etylenové receptory a plody budou dostatečně pevné s elastickou slupkou po celou dobu chladírenského skladování. U pravých švestek, pěstovaných v Evropě, bude redukce etylenu záviset na době aplikace. Nejlépe se toho dosáhne okamžitě při sklizni. Mechanická sklizeň, zejména plodů hmotnějších (více jak 40 g) a s jemnou slupkou, je nejen problematickou sklizňovou operací, kdy se plody nevratně povrchově poškodí, ale vytváří se i nežádoucí fyziologické odezvy v důsledky ztráty účinnosti 1-MCP. To se projeví trvalým měknutím dužniny a zvýrazňováním povrchového otláčení.

Teplotní a vlhkostní podmínky uložení plodů švestek

Pro posklizňové uložení je rozhodující teplota plodu a od ní odvozená minimální diference teploty vzduchu. Podle rozměru chlazené komodity a jejího uložení do stohů se musí cirkulující vzduch pohybovat takovou rychlostí (minimálně 0,2 m/s), aby se odvádělo dýchací teplo

plodiny. Tím se zajistí podle konfigurace prostorového uložení plodů, že v delším časovém snímku se nebude zvyšovat lokální teplota ve stohované jednotce. Plody švestek nemají velkou pórovitost, proto se mohou ukládat do výšky 150 mm. Plody musí být ve standardních obalech, které mají štěrbínovité boční stěny, aby cirkulovaný vzduch vytvářel dostatečnou tlakovou diferenci. I při méně příznivých poměrech neustává výměna vzduchu, neboť se uplatní procesy odpovídající difuzi. V těchto mikroklimatických podmínkách se jednak ustavuje vysoké nasycené okolní atmosféry vodní parou (až do 98 %), takže se výrazně snižují hmotnostní ztráty výparem, ale současně jsou vytvořeny předpoklady pro plesnivění plodů. Tato druhá alternativa pozbývá na významu v případě, že jsou plody z dobře ošetřovaných sadů s vysokou úrovní fungicidní ochrany. Z nesčetných pokusů na vlastním pracovišti i jinde bylo konstatováno, že i při uložení plodů do úplně nasyceného vzduchu při teplotě 1°C po 40 dnech byly mikrobiální ztráty nulové. Jak bude dále uvedeno u chladového stresu, nebylo vždy jasno, která je nejnižší teplota plodu použitelná pro dlouhodobé skladování. Prakticky omezujícími faktory je mrznutí pletivového roztoku, což by mohlo nastat až při teplotě plodů od -2,3 až -2,6°C a iniciace chladového stresu. Tento druhý činitel je reakcí na změnu biochemických podmínek. Prokázalo se, že teplota 0°C dlouhodobě nevyvolává poškození chladem a lze ji uplatnit asi 60 dnů, kdy se musí bedlivě zkoumat, zda se chladový stres už projevil. Je zřejmé, že teplota plodu nesmí přejít do záporných hodnot teploty, ale teploty +1°C až +2°C nemají poškozující účinky.

Jablka

Jablka *Malus x domestica* Borkh. patří mezi klimakterické plody, které zvyšují intenzitu dýchání v období zrání na stromě (*maturation*) a zrání po sklizni (*ripening*). Vzestup dýchání je spojený se zvýšením CO₂ a etylenu a autokatalytickou produkcí etylenu, která je velmi rozdílná podle odrůd. Časné odrůdy mají vysokou produkci etylenu a zrají rychleji, naopak pozdní odrůdy mají produkci zvolněnou a zrají pomalu. Prevence nebo zastavení produkce etylenu je strategií pro prodloužení skladovatelnosti. Tohoto se dosáhne nízkou teplotou, uplatněním technologií pro řízení plyných směsí a jednorázovým použitím 1-MCP v období začátku klimakterické fáze. Při skladování ve vzduchové atmosféře se doporučují teploty od -0,5°C do 4°C a φ 90-95 % podle odrůdy. Zchlazení plodů (pro jablka se použije zchlazení vzduch nebo zchlazení tlakovým vzduchem) a zavedení řízené atmosféry prodlužuje dobu skladování.

Nízký obsah kyslíku během skladování

Budou-li skladovaná jablka vystavena extrémně nízkému obsahu kyslíku v DCA (dynamicky řízené atmosféře), která způsobí, že zrání plodů bude významně omezeno ve všech měřitel-

ných parametrech, jako je: pevnost dužniny, barva základní (zelená) a povrchová (červená), ztráta organických kyselin (měřena jako titrační kyselost), výskyt fyziologických onemocnění jako je spála, povrchová skvrnitost a mikrobiální poškození (skládkové choroby), mohou být plody dlouhodobě uloženy. Doba skladování, sice mírně závislá na odrůdě, bude ještě delší ve srovnání s ULO skladováním, což nemusí pro skladovatele přinášet přímou marketingovou výhodu, ale zlepší jakost plodů, jako jsou parametry pevnosti a křehkosti dužniny. Velkou předností tohoto skladování, které u nás *není zavedeno* je *čerstvost plodů*, neboť po zrušení plynné směsi a přenesení plodů do teploty, která odpovídá běžnému prodeji, se po delší dobu viditelně nemění. Problémovým okruhem bude neznatelné zrání plodů, protože tak hluboký zásah do látkových přeměn v důsledku omezení všech přímých a nepřímých oxidací odvozených od vnějšího kyslíku způsobí omezenou *tvorbu těkavých aromatických látek*. Jejich biosyntéza bude téměř zastavena. Jablka budou málo zrán také proto, že ve vnitřní atmosféře plodu bude nedostatek etylenu, neboť se tento hormon zrání nebude stačit vytvořit ve fázi počáteční zralosti při sklizni (předpokládá se včasné provedená sklizeň), avšak i v průběhu skladování bude jeho biosyntéza významně ochromena. Pro praktické skladování se budou hledat následné metody posklizňového dozrání do konzumní jakosti kombinací účinku teploty (nepřesahující 20°C, přidavku plynného etylenu) alespoň do zralostního stupně, odzelenění slupky a začátku tvorby anthokyanových barviv, čímž by se z části naplnily znaky začátku posklizňového dozrávání.

Plynné prostředí v okolí skladovaných jablek

Plody uložené po sklizni, stejně tak jako spojené s mateřskou rostlinou, komunikují s vnějším prostředím prostřednictvím difuzních jevů, které jsou zprostředkovány slupkou neporušeného plodu. Vnitřní atmosféra plodu je zejména u plodů jablek na rozdíl od jiných ovocných druhů jedna z největších a představuje 12 – 16 % obj. V plynném objemu jsou všechny fyziologické plyny (CO₂, O₂, etylen, vodní pára, těkavé aromatické sloučeniny), teprve difuzním odporem slupky se část plynných produktů transportuje do okolního prostředí a projeví se jako ukazatelé fyziologické aktivity plodu a mají svoje opodstatnění při zprostředkování dýchání (mg CO₂/kg.h, mg O₂/kg.h.), transpirace (mg H₂O/kg.h.Pa).

V posklizňovém období ukazují nominální hodnoty úrovně metabolických přeměn a možného nástupu fyziologického poškození vlivem teploty, složení atmosféry a stárnutí plodu. Metabolické plyny odráží procesy zrání ovocného plodu s malou přesností a pro předpověď aktuální zralosti v období sklizně je nejméně 7 dnů bez podstatnější změny. Etylen je typickým plynným metabolitem, jehož rychlost tvorby ve vnitřní atmosféře a následné uvolňování do atmosféry jsou u plodů klimakterického typu spojovány s atributy zrání a poskliz-

ňového stárnutí. Jablka jsou pro rozpoznání účinku etylenu značně variabilní proto, že odrůdy jablek mají svoje jakostní znaky kromě znaků morfologických také v biogenezi etylenu, což na úrovni odrůd je známo jen z části a v provozní praxi nechladírenského a chladírenského skladování může být zdrojem technologických obtíží a vysvětlení nežádoucích odezví odrůd na vnější podmínky skladování. Neetylenové těkavé sloučeniny (*non-ethylene volatiles*) jako vonné sloučeniny pochází z mnoha zdrojů metabolismu, které souvisí s přeměnou nasycených a nenasycených mastných kyselin, jejich dekarboxylací a jejich přeměnou na odpovídající mastné alkoholy, aldehydy, ketony a příslušné mastné karboxylové kyseliny. Typickými vonnými sloučeninami jsou terpeny, které v plodech jablek přispívají k výslednému organoleptickému znaku vůně a chuti.

Citlivost odrůdy Braeburn a symptomy hnědnutí dužniny

Posklizňové skladování je limitováno hnědnutím dužniny, BBD (Braeburn browning disorders), poprvé bylo pozorováno v r. 1987, dodnes zapříčiňuje málo předvídatelné ztráty na Novém Zélandu, objevuje se při chladírenském skladování ze stromů s opožděnou sklizní. V roce 1993 se onemocnění označilo BBD na Novém Zélandu. Symptomy onemocnění jsou hnědé skvrny v dužnině, které přímo nezasahují jaderník, při menším napadení jsou to čočkovité skvrny osamocené v dužnině. Variantou je zhnědnutí jen svazků cévních, ale okolní dužnina nebývá zhnědlá. Naopak při silném napadení jsou znatelné na povrchu jako hnědé skvrny, které se mírně propadají. Napadená místa jsou pevná, snadno vysychavá a v nich se tvoří dutinky. Počet dutinek v jednom plodu se často hodnotí jako samostatný ukazatel, ale oba úkazy bývají pospolu. **Sklizňový termín.** Předčasná nebo pozdní sklizeň pro odrůdu 'Braeburn' nevyhovuje pro dlouhodobé skladování a musí se brzy prodat. Plody nabývají na hmotnosti v posledním měsíci růstu na stromě. Sklizňová zralost podle barvy začíná změnou zelené barvy na žlutou, začnou-li první příznaky žloutnutí. Barevná změna je jen doplňujícím ukazatelem. Stejně tak jako pro jiné odrůdy je třeba se opírat o hodnocení tří parametrů (pevnost dužniny, rozpustnou sušinu a škrobový index), které se měří aktuálně na vzorcích plodů z různých stromů. Dosud se dává přednost jen škrobovému testu. Z těchto tří měřených hodnot lze snadno formulovat zralostní index jako Streif index = $F/R \cdot S$, kde F – pevnost dužniny, kg, při razidle o průměru 11 mm, R- rozpustná sušina v °Brix, S – škrobový test na stupnici 1- 10, provedený ponořením půleného plodu v ose stopka-kalich na 1-2 minuty a následným vyhodnocením podle stupnice CtiFl. Pro odrůdu 'Braeburn' platí pevnost 8.5-9.0 kg/cm², rozpustná sušina 11 °Rf a škrobový index 3 až 4, z nichž je vypočítán Streifův index 0.25 až 0.20. Stupeň odbarvení na řezné ploše není výrazný a prakticky znamená jen odbarvení kalichu. Hodnoty $F/R \cdot S$ jsou pro odrůdy v období optimální sklizně podobné – pro

'Elstar' 0.30, 'Golden Delicious' 0.10, 'Jonagold' 0.07, 'Braeburn' 0.16. Hodnocení produkce etylenu není do výpočtu zralostního indexu zahrnu proto, že samotné stanovení je analyticky náročnou operací, které není použitelná v praktickém provozu, ale vzestup produkce etylenu v plodu je dobrým indikátorem skladovatelnosti odrůdy. Plody s vyšší koncentrací etylenu ve vnitřní atmosféře plodu nejsou vhodné pro dlouhodobé skladování. Klimatický model. Chladný průběh počasí v období před sklizní zvyšuje riziko k hnědnutí dužniny, podobný vliv se projevuje u fyziologického poškození z chladu. Růst v sadu za chladného průběhu počasí vede ke stárnutí buněčného metabolismu, snižuje propustnost slupky a dužniny pro fyziologické plyny a vzrůstá citlivost ke zvýšenému CO₂ a snižujícím se obsahu O₂. Pro hodnocení klimatických údajů se berou do úvahy jen teploty, které podporují nebo zpomalí fyziologické projevy plodu v období vývoje a růstu. Klimatické modely vycházející ze vztahu, že vyšší teploty před sklizní zmenšují pozdější výskyt hnědnutí dužniny. Pro výpočet se bere součet dnů, v nichž jsou průměrné denní teploty vyšší jak 10°C v období od 1. května do sklizně (základní teplotou je 10°C). Bude-li součet aktivních teplot jen asi 1050, pak je vysoká pravděpodobnost fyziologického onemocnění při skladování, dosáhne-li součet 1300 aktivních stupňů, pak se neočekává vliv tohoto teplotního vlivu. Uvedený vztah mezi podílem plodů s hnědou dužninou a sumou aktivních teplot lze vyjádřit lineární regresí ($R^2 > 0.8$). Na dvou různých stanovištích byla průměrná teplota v sedmiletém pozorování od 16.1°C do 17.9°C, na druhém stanovišti od 15.0 do 15,3°C. Z těchto průměrných denních teplot činila suma teplot vyšších než 10°C byla v sedmiletém pozorování na teplejším stanovišti v rozmezí od 1 050 do 1 212 aktivních teplot, naopak na chladnějším stanovišti byla v rozmezí od 828 do 925 aktivních stupňů. Srážky ve stejném období měly opačné průběhy, neboť v teplejší oblasti byly od 433 mm do 505 mm a na chladnějším stanovišti od 498 mm do 701 mm. Prognóza možného vzestupu hnědnutí této odrůdy má hranici 1300 aktivních stupňů, bude-li hodnota vyšší, pak ohrožení je málo pravděpodobné, naopak hodnoty pod 1300 aktivních stupňů mohou být spojeny s tímto onemocněním v chladírenském skladování.

Účinek fyziologických podmínek na hnědnutí dužniny

Tvorba hnědých zón v dužnině je výrazně ovlivněna vyšší koncentrací CO₂ a nižší koncentrací O₂. Tolerance k externímu CO₂ všeobecně klesá, bude-li se současně v okolní atmosféře snižovat koncentrace kyslíku. Naopak tolerance k nízkému kyslíku klesá, bude-li se současně zvyšovat koncentrace CO₂. Komunikace plynů přes slupku má bariéru ve slupce, již je limitovaný průchod plynů z parenchymatických pletiv dužniny do vnějšího prostředí. Difuzní odpor pro kyslík ve vrstvě slupky až na povrch plodu je 3-4-krát vyšší pro odrůdu 'Braeburn' ve srovnání s odrůdou 'Granny Smith'. Důsledkem nízké propustnosti pro

fyziologické plyny jsou vysoké koncentrace CO₂ a současně velmi nízké koncentrace O₂ ve vnitřní atmosféře plodu, čímž nabývá na významu CO₂, který se stává aktivátorem pozdějšího hnědnutí dužniny. Proto také ve skladovací atmosféře, z níž probíhá difuze plynů, se zohlední rozdíl parciálních tlaků CO₂ ve vnější atmosféře a vnitřní atmosféře plodu. Citlivost odrůdy 'Breaburn' vůči hnědnutí je vyšší v 2-5 % CO₂ jak v 0% CO₂. V 1% CO₂ byly plody pevnější než v ostatních atmosférách. BBD se vyskytuje v prvních dvou týdnech skladování, pokud jsou plody nedostatečně vychlazené. Další možností skladování je kombinace teploty s řízenou atmosférou. Tato odrůda žádá zvláštní průběh skladování v tom smyslu, že po zchlazení nenavazuje bezprostředně vytvoření řízené atmosféry, ale plody zchlazené na požadovanou teplotu 0°C až 1.0°C se nechají 14 dnů pouze chladit (označuje se jako zpožděná řízená atmosféra) a teprve pak se vytvoří plynná směs 1% O₂ + 0.5% až -1.0% CO₂. Důvodem je zábrana hnědnutí jaderníku (vyloučení BBD).

Hrušky

Počátek zrání hrušek se odvozuje z klimakterického začátku zrání s prahovou koncentrací etylenu. Exogenní etylen může kompenzovat neúplné zrání vyplývající z chladového stresu a u odrůd dozrávajících ve střední době vytváří kapacitu pro zrání. U odrůdy 'Konference' je možné indukovat zrání čerstvě sklizených plodů ve vzduchu s přídavkem 100 ppm etylenu ve 20°C po dobu 24 - 48 hodin. Pozdě sklizené hrušky mají kapacitu pro zrání mnohem dříve, než plody sklizené v nezralém stavu, u nichž je krátká perioda chladu nebo ošetření exogenním etylenem nutná. Včasnější měknutí pozdně sklizených nebo dlouhodobě skladovaných plodů se vysvětluje vzestupem endogenního etylenu, jehož koncentrace je už dostačující a není nutné aplikovat exogenní etylen. Budou-li hrušky sklizeny v rozdílných stupních zralosti, použije se buď chladová teplota, nebo se ošetří etylenem. Obě opatření podporují uniformní zrání. Dávka chladu nebo trvání doby působení etylenu závisí na zralosti při sklizni. Pro plody sklizené z teplejší sklizňové lokality a lokality s nižšími nočními teplotami se může doporučit účinek exogenního etylenu pro zahájení rovnoměrného zrání, doporučená dávka je 100 µl/l po dobu 24 hodin. Vysoká koncentrace etylenu je v přímém vztahu ke ztrátě kvality. Evropské hrušky i při skladování v teplotě -1 °C mají dostačující koncentrace etylenu ve vnitřní atmosféře. Odrůda 'Konference' produkuje 35 µmol/kg.h etylenu (980 µg/kg.h) při této teplotě, pokud se vytvoří vysoká koncentrace, zvyšuje se hnědnutí jaderníku (*core browning*), mnozí autoři nedoporučují odstraňování etylenu při teplotě -0,5°C. V 70. letech se považoval vliv etylenu za nejasný, ale shoda byla v tom, že exogenní etylen je škodlivý. Jeho vysoká koncentrace způsobí měknutí plodu a žloutnutí a zrychlené zrání v teplotách, které nejsou považovány přímo za chladové. Během této fáze je nezbytné jeho odstraňování z ambientní

atmosféry. Budou-li plody skladovány v teplotě $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ po předem zvolenou dobu, která je pro danou odrůdu už vyzkoušena, a následně budou přemístěny do teploty $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, pak dozrávají normálně.

Teplota je nejdůležitější podmínkou skladování v souvislosti s následným dozráváním prostřednictvím etylenu. Teplota skladování plodů hrušek je v širším rozsahu od $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro dlouhodobé skladování největšího počtu odrůd hrušek je teplota vymezena $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro odrůdu 'Williamsova' a 'Anjournská' je o 40% účinnější teplota skladování $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, než teplota $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, takže i tato malá teplotní diference má svoje fyziologické opodstatnění. Délka skladování v chladírenské teplotě je významná ve vztahu k biosyntéze etylenu, protože pro hospodářsky významné odrůdy je vymezena doba minimálního skladování v chladu. Hrušky odrůdy 'Anjournská' jsou před prodejem více jak z 80% sklizeného množství ošetřeny etylenem, aby se zlepšila chuť plodů. Dozrávání hrušek oddělených od plodonoše všeobecně nevytváří máslovitou a šťavnatou texturu požadovanou pro marketing a přímou spotřebu. Dozrání lze dosáhnout dvěma metodami:

- nízkou teplotou při dlouhodobém skladování v teplotě -1 až $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*teplotní kondicionování*)
- účinkem etylenu, který je exogenní v nastavené koncentraci (*ethylenové kondicionování*).

Schopnost dozrávat se hodnotí počtem dnů po vystavení plodů na dobu 7 dnů do teploty $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vztah mezi penetrometrickou pevností hodnocenou po 7 dnech ve $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a dobou kondicionování v teplotě $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ má lineární závislost. Tato závislost se uvádí minimálním počtem dnů po tomto kondicionování, kdy penetrometrická pevnost klesne na 222 kPa. Budou-li plody odrůdy 'Boscova' skladovány 28 dnů v $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ teplotě, budou schopny po nezbytném temperování měknout do máslovité konzistence bezprostředně. Naopak budou při $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ uloženy 7 dnů, pak budou dozrávat za 12 dnů. Pro odrůdu 'Williamsova' bude doba 21 dnů v teplotě $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ nutná pro normální dozrávání při počáteční pevnosti 760-840 kPa.

Naopak pro odrůdu 'Anjournská' je doba 25-30 dnů při sklizňové pevnosti 580 kPa, 45 dnů při pevnosti 580-620 kPa a 60 dnů při pevnosti 620-670 kPa. Při přesně definované penetrometrické pevnosti v době sklizně bude odstupňována doba skladování v chladíreně. Konzumní zralost se zjišťuje v teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 7 dnech. Jakost plodů se hodnotí podle penetrometrické pevnosti sníženou na požadovanou hodnotu 222 kPa, kromě toho se může k tomu přidat hodnocení šťavnatosti dužniny a koncentrace obsažených organických kyselin vyjádřená jako titrační kyselost.

Asijské hrušky

Pěstované odrůdy čínských a japonských hrušek pochází z *Pyrus ussuriensis* Maximowicz, *P. serotina* Rehder (*P. pyrifolia* [Burman] Nakai) a některých z *P. bretschneideri* Rehder.

Asijské hrušky zůstávají pevné, ale jsou křehké a šťavnaté v době, kdy dosahují konzumní zralosti, zatímco 'Williamsova' nebo jiné evropské hrušky *P. communis* L. jsou měkké a máslovité konsistence, když dozrají. Asijské hrušky se také nazývají orientální, čínské, japonské, nashi, písková jablka, salátové hrušky. Při dopravě čerstvých produktů se také často nazývají jablkové hrušky, což klamné označení. Ačkoliv většina odrůd japonských hrušek jsou kulovitěho tvaru, jejich textura a vůně jsou naprosto rozdílné od jablek. Většina čínských hrušek má hruškovitý tvar.

Podle účinku na vnější mechanickou sílu jsou odrůdy velmi citlivé na náraz a kompresní otlačení ('Tsu Li') a odrůda 'Ya Li' kromě toho na otlačení po období skladování. Naopak odrůda 'Chojuro' má pevnou dužninu a je odolná vůči mechanickému poškození. Pevnost dužniny, vyjádřená jako penetrační síla 63 až 100 kPa (razidlem o průměru 8 mm s hodnotou 7 lb až 10 lb) v závislosti na odrůdě je považována za konzumní zralost, přitom jen malé změny v pevnosti byly zjištěny při skladování v 0°C. Asijské hrušky mohou být šťavnaté, nikoliv moučnaté s rozpustnou sušinou 11 – 14 °Rf v závislosti na odrůdě. Vnější znaky zralosti jsou odrůdově rozdílné, kdy barva slupky ze zelené do žlutě zelené je u odrůd 'Nijisseiki', 'Shinseiki', 'Tsu Li', 'Ya Li' nebo do zeleno hnědé ('Hosui', 'Kosui', 'Niitaka', 'Shinko'). Zpožděná sklizeň, která nepřináší zvýšení rozpustné sušiny, naopak podporuje náchylnost k fyziologickým onemocněním a vyšší citlivosti k mechanickému poškození.

Skladovací podmínky: asijské hrušky mají být skladovány v teplotě 0°C v úplně zabalených obalech s podložkami. Je nutná relativní vlhkost > 90%, protože plody jsou citlivé na hmotnostní ztráty. Bude-li ztráta vody vyšší než 5 – 7 %, plody na povrchu vadnou, zvláště 'Kosui' a 'Hosui'. V konzumní kvalitě chybí křehkost a šťavnatost. Při trvalé přítomnosti etylenu v okolí atmosféře může hnědnout slupka a plod výrazně stárne, proto musí být uloženy v nejnižší úrovni etylenu a také nesmí být dlouhodobě uloženy produkty, které mají vysokou produkci etylenu. Pro asijské hrušky se nedoporučuje rychlé tlakové zchlazování, protože se neprokázaly přednosti z důvodu vyšší ztráty pevnosti a rozpustné sušiny a v dužnině vznikaly hnědé skvrny. Místo rychlého zchlazení plodů z polní teploty na teplotu skladování (0°C) za 24 hodin, se dává přednost obvyklému zchlazení v chladírenské komoře za dobu 2-4 dny. Optimální teplota je 0 °C ± 1 °C s relativní vlhkostí 90-95 %. Bod mrznutí je -1.5°C a je závislý na rozpustné sušině. Dýchání je 2-8 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ v teplotě 0°C, ale v teplotě 20°C je 20-30 mg CO₂.kg⁻¹.h⁻¹. Znalostí o uplatnění řízené atmosféry je méně než u evropských hrušek. Předpokládá se delší skladovatelnost o jednu čtvrtinu. Hladina kyslíku má být od 1-3% jako je odrůda 'Nijisseiki', pro ostatní 3 až 5% jako je 'Ya Li'. Úprava kyslíku podporuje vyšší pevnost dužniny a zpomaluje změny barvy slupky. Asijské hrušky jsou citlivé

na poškození vyšší koncentrací CO₂. Bude-li vyšší než 2%, což platí pro většinu odrůd, a doba bude delší než 30 dnů, fyziologické onemocnění se zvyrazňuje. Některé odrůdy ('Nijisseiki', 'Kosui', and 'Niitaka') produkují velmi nízké hodnoty etylenu < 0.1 μl kg⁻¹ h⁻¹ a mají neklimakterický průběh dýchání a neprodukují rovněž v období zrání etylen. Jiné odrůdy ('Tsu Li', 'Ya Li', 'Chojuro', 'Shinsui', 'Kikusui', 'Hosui') jsou klimakterického typu a produkují 9 to 14 μl kg⁻¹ h⁻¹ ('Tsu Li' and 'Ya Li') nebo 1 to 3 μl kg⁻¹ h⁻¹ (ostatní odrůdy v 0 °C). Expozice klimakterických typů k exogennímu etylenu >1 μl/l zrychluje ztrátu chlorofylu ve slupce a slabě ovlivňuje měknutí (20°C). Podpora zrání etylenem v 0°C je minimální.

Chřest

Chřest (*Asparagus officinalis* L.) je trvalou zeleninou pěstovanou v hroblích na písčivých půdách několik let. Tržní druhy jsou zelené nebo vybělené, tomu pak odpovídá pěstitelská technologie. Balí se do svazků o délce 20 - 25 cm a hmotnosti 0.45 - 1.20 kg. Chřestové výhony jsou krátkodobě uchovatelné a okamžitě po sklizni se zchlazují vodou na 0 - 2°C. Bude-li zpoždění 4 hodiny, snižuje se o 40 % křehkost výhonu. Posklizňové uložení bude v 0°C s relativní vlhkostí 99 % po dobu 14 až 21 dnů. Vysoká vlhkost vzduchu udržuje křehkost a omezuje vadnutí výhonu, rovněž do obalů mají být vloženy nasákové vložky. Naopak volná voda v obalu podporuje hnilobu. Upravenou atmosféru lze provést dvojitým postupem, buď se zvýší na 5 - 10% CO₂ a zpomalí se měknutí výhonů a hniloba, nebo jednorázové ošetření kyslíkem (2 - 10 %) a souběžným zvýšením CO₂ na stejné hodnoty, což musí být provedeno v 0 - 1°C. Nemusí to však vést k lepším výsledkům, než když se přidá CO₂ do vzduchu. Bude-li obsah O₂ snížen pod 2%, povede to k anaerobním podmínkám, které jsou spojeny s vývojem zápachu. Chladový stres se projeví po 10 dnech skladování v 0°C a projeví se ztrátou lesku a vytváření šedivých ploch na povrchu. Produkce etylenu je střední a vzrůstá dobou skladování, přičemž exogenní etylen zvyšuje houževnatost výhonu (účinkem lignifikace). Intenzita dýchání je nejvyšší bezprostředně po sklizni a postupně klesá. Bod mraznutí je pod -0.5°C s projevem se zavodněnými místy na povrchu a měknutím pletiva.

Karotka

Karotka (*Daucus carota* L.) se v případě expedice zchlazuje sprchovou vodou na < 5 °C, má-li zůstat čerstvá a křehká. Praní se provede několikrát na pračkách kartáčových, případně bubnových. Je vhodné, aby prací voda byla ozonovaná. Vysoká koncentrace ozonu ve vodě působí oxidace karotenoidů a tvorbu hnědých skvrn, i když je ozon účinný vůči bakteriálním rodům *Botrytis* a *Sclerotinia*. Naopak bude-li dlouhodobě skladována, pak je nutná teplota 0-1°C při velmi vysoké relativní vlhkosti, které je nutná pro omezení výparu a udržení křehkosti kořene, což prodlouží skladovatelnost na 210 až 270 dnů. Svazková mrkev je málo

uchovatelná v důsledku přítomnosti listů a nepřekročí 8 - 12 dnů, na delší vzdálenosti se doporučuje vkládat do obalů drcený led. Řízená atmosféra neprodlužuje dobu skladování. Nízký obsah kyslíku (pod 1%) sice omezuje vyrůstání, ale navozuje anaerobní procesy vedoucí k měknutí s nežádoucím přípachům. Vyšší $\text{CO}_2 > 5\%$ způsobí hnědnutí střední části kořene. Karotka produkuje velmi málo etylenu $< 0.1 \mu\text{l kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ve 20°C , naopak expozice k exogennímu etylenu ($\sim 0.2 \mu\text{l l}^{-1}$) indukuje izokumarin a hořkost kořene. Tvorba izokumarinu je nejvyšší na řezaných částech, méně na loupáném povrchu. Exposice k etylenu kořenů už loupáných nezvyšuje hořkost. Celé kořeny a technologicky upravené loupáním se nemají skladovat s produkty, které produkují etylen. Stabilita čerstvě řezané karotky je nízká proto, že se kořeny sklízí v nezralém stavu, takže uchovatelnost v 0°C představuje 21 až 28 dnů, v teplotě 5°C se zkracuje na 14 až 21 dnů.

Celer

Celer (*Apium graveolens* L.var. *rapaceum* (Mill.) Graud se sklízí v pozdním podzimu a je skladovaný s upravenou bulvou. Primární jakost se vztahuje k pevné textuře s tvrdou dužninou, bulvy s měkkou dužninou nejsou vhodné pro dlouhodobé skladování. Sklízet se má v době, kdy dosáhne potřebné hmotnosti bulvy. Předchlazování až na 0°C je zvláště vhodné, budou-li produkty následně expedovány. Pro dlouhodobé skladování jsou bulvy odhliněny, boční kořeny se zalomí, budou-li nad 2 cm, ale neodstraní se praním ve vodě. Nechládivé skladování bývá v nadzemních skladech přívodem chlazeného venkovního vzduchu, který se rozvádí podle šířky skladu do jednoho nebo dvou kanálů. Dosažení požadované teploty 0°C vyžaduje větrání vzduchem který je nejchladnější. V chládivé technologii je požadovaná teplota snadno dosažitelná i při vysoké relativní vlhkosti (až 98%), pak je skladovatelnost 180 až 240 dnů. Celer je citlivý na mrazové poškození ($< -1^\circ\text{C}$), které se projevuje na povrchu vodnatými plochami a jejich měknutím. Řízená atmosféra není efektivní pro prodloužení uchovatelnosti, neboť nízký O_2 (2%) nevede ke snížení ztrát a vysoký CO_2 (5 to 7%) poškozuje bulvy během 150 dnů skladování. Rychlost produkce etylenu je $< 0.1 \mu\text{l.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ při 20°C , ačkoliv řapíkatý celer je vůči etylenu mírně citlivější, proto nemůže být skladovaný s produkty vyvíjející vyšší koncentrace etylenu.

Řapíkatý celer (*Apium graveolens* L.)

Řapíkatý celer má rovné, tlusté pevně přirostlé listy, lehce zelené a křehké. Při úpravě hlávky nesmí být vnější listy žluté, vadnoucí a nahnílé. Po úpravě mají délku 20, 25, nebo 30 cm balené od 8 do 13 kg do kartonové krabice. Celery se typicky zchlazují vodou nebo vakuově s přídavkem chlazené vodní mlhy do vakuovaného prostoru. Celery se skladují v 0°C při $> 95\%$ relativní vlhkosti. V optimálních podmínkách je skladování 35 až 50 dnů, naopak doba

skladování se zkracuje < 14 dnů, pokud teplota bude 5°C. Vnitřní řapíky mohou trvale růst v teplotě > 0 °C, což zhoršuje jakost celeru. Řízená atmosféra má malé až střední přednosti pro skladovatelnost, neboť celerové hlávky mají pevnější texturu a listeny jsou křehčí vůči skladování ve vzduchu. Snížený O₂ (2% až 4%) a zvýšený CO₂ (3% to 5%) zpomaluje stárnutí, žloutnutí listů a hnilobu. Nízký O₂ a vysoký CO₂ (< 2% O₂ nebo > 10% CO₂), poškozují hlávky přípachy v chuti a vůni a vyvolává vnitřní žloutnutí listů. Celerové hlávky nejsou citlivé k chladovému stresu a mohou být skladovány těsně nad bodem mrznutí (-0.5 °C). Celery tvoří málo etylenu (< 0.1 μl kg⁻¹ h⁻¹ ve 20°C) a jsou jen málo citlivé na nízké koncentrace exogenního etylenu, pokud jsou uloženy v nízké teplotě. Naopak v teplotě 5°C, ale hlavně v 10°C, expozice ke koncentraci etylenu vyšší jak 10 μl.l⁻¹ zrychluje ztrátu zelené barvy a tvorbu hnědých skvrn. Řezaný řapíkatý celer ve vhodný do směsí s karotkou a brokolicí, jejichž uchovatelnost je 12 až 14 dnů v teplotě 0-5°C. Limitními ukazateli zkrácení uchovatelnosti jsou odbarvování cévních pletiv, rozštěpování řezných ran a bakteriální hniloba.

Květák

Hlávky květáku (*Brassica oleracea* L) jsou zdužnatělé květy s krátkými stonky. Pěstitelské podmínky a jsou náročné na chladná období, vysokou vlhkost a dobrou výživu. Květákové růžice se sklízí se 4 - 6 pokryvnými listy. Chladírenské skladování převládá v systémech úchovy (0°C , 95% relativní vlhkost) s dobou uchovatelnosti 21 dnů. Vyšší vzdušná vlhkost snižuje hmotnostní ztráty a zlepšuje pevnost růžice. Naopak v teplotě 5°C se doba ukrajuje na 7 až 10 dnů, v 10°C pak jen na 5 dnů. Využití řízené atmosféry není významné, neboť nízký obsah O₂ (< 2%) v kombinaci s 3 až 5% CO₂ zpomaluje žloutnutí krycích listů. Podněcuje ale jejich měknutí a hnědnutí spojené s nepříjemným zápachem. Bude-li CO₂ > 10%, pak se vzniklá poškození projeví do 2 dnů. Květák má velmi nízkou produkci etylenu < 1 μl.kg⁻¹.h⁻¹ a současně je extrémně citlivý na přítomnosti etylenu v okolní atmosféře, což se projeví žloutnutím obalových listů, jejich měknutím a oddělováním od růžice.

Okurky

Plody okurek (*Cucumis sativus* L) jsou sklizeny jako nezralé s tmavou zelenou barvou. Okurky jsou neklimakterickým typem s velkou citlivostí na chladový stres, takže všechny způsoby zchlazování zkracují uchovatelnost. Krátkodobé zchlazení do oblasti poškození chladovou teplotou nemá překročit 6 hodin. Skladování má být v teplotě 10 - 12°C v 95 % relativní vlhkosti. Doba skladování je < 14 dnů, po ní vizuální a sensorická kvalita rychle klesá. V teplotách pod 10°C se chladový stres projeví za 2 - 3 dny měknutím slupky, která se může snadno sloupnout, později dojde k roztečení celého plodu. Naopak teploty vyšší než

15°C způsobují žloutnutí plodu. V řízené atmosféře s 3 - 5% O₂ plody žloutnou během několik dnů. Podobně i vyšší CO₂ na hladině 10 % má podobné účinky jako snížení obsahu kyslíku v okolní atmosféře. Partenokarpické odrůdy se mohou skladovat 7 až 21 dnů v 0.5 až 2% O₂ ve 12°C. Okurky produkují velmi málo etylenu 0,1 do 1,0 μl.kg⁻¹.h⁻¹, což způsobuje, že jsou k vyšším koncentracím etylenu v okolní atmosféře velmi citlivé. Bude-li v prostředí 1 – 5 μl.l⁻¹ etylenu, což může být při skladování s jinými klimakterickými produkty, jako jsou jablka, hrušky, meruňky, zrychluje se žloutnutí a hniloba plodů.

Cibule

Cibule (*Allium cepa* L.) je dlouhodobě uchovatelný produkt, pokud bude skladována v suchém prostředí s nízkou vzdušnou vlhkostí. Sklízí se v polovině srpna, kdy 50-80 % cibulí je ve vrcholové části už zaschlá a nechá se 8-10 dnů oschnout na poli. Nebude-li dostatečně suchá, musí se už ve větraném skladu větrat venkovním vzduchem nebo přehříváním vzduchem, který má teplotu 25-27°C, pak následuje postupné zchlazování.

Sušení je ukončeno, když je krček cibule zaschlý, vnější listy jsou suché a barva povrchových listů je jednotně hnědá. Hmotnostní ztráty v této fázi jsou 3 - 5 %. Pro dlouhodobé skladování se předchlazuje venkovním vzduchem, první měsíc se zchladí na +2 až +4°C, druhý měsíc se teplota sníží na 0°C, ve třetím měsíci se sníží teplota na -2.5°C až -2.0°C, relativní vlhkost má být 78-80 %. Cibule šalotka se ve druhém měsíci zchlazuje jen na 0°C. Množství vzduchu nutného pro fázi posklizňového dosušení má být 150 m³.m⁻³.h⁻¹ a pro následné skladování 60-100 m³.m⁻³.h⁻¹. Bude-li výška vrstvy 3,5 m, pak tlakové provětrání musí mít přetlak 300 Pa, proto, aby se dosáhlo průniku vzduchu z roštové podlahy až do horní vrstvy cibulí, neboť hmotnost cibulí bývá 500-1000 kg pro skladovací box. Chladírenské skladování dovoluje vytvoření teploty -1 až -2°C, přitom začátek mrznutí je -2,5 až -3,5°C. Budou-li cibule zmrzlé, pak se ledové krystaly dobře roztaví v teplotě +5,0°C během 7 až 14 dnů. V tomto období se nesmí cibule přemísťovat stohováním nebo vyšším větráním. Zvýšení teploty je třeba provést 14 dnů před vyskladněním. U cibule je možné krátkodobě tolerovat teplotu 30 -35°C pro prodej v čerstvém stavu nebo pro potravinářské zpracování.

Svazková cibule se skladuje 40 -60 dnů v 2% O₂ + 5% CO₂ v 0 °C, dokonce se může tolerovat 1% O₂ a 5% CO₂, zvýší-li se teplota na 5°C, pak projeví tvorba páchnoucích sloučenin. Vůči chladovému stresu je cibule odolná, může se skladovat v -2 to -3 °C, ačkoliv bod mrznutí je - 0.8 °C. Bude-li teplota < -4 °C projeví se poškození mrazem. Produkce etylenu je < 0.1 μl.kg⁻¹.h⁻¹, citlivost vůči etylenu je nízká, ale projeví se až při vnější koncentraci etylenu 1500 - 2000 μl.l⁻¹.

Česnek

Česnek (*Allium sativum* L.) vyžaduje stejné podmínky v posklizňovém ošetření a skladování jako cibule. Dozrávání na poli nepřekračuje 8 dnů, dalších 21 až 28 dnů se suší pod střechou a pokud se skladuje do výšky 2 m, pak větrání má být $80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$. Stonek se následně zkrátí na délku 5 cm. Při skladování -1°C a relativní vlhkosti do 70% je doba skladování 180 dnů. V teplotě -3°C a relativní vlhkost do 90 % je doba skladování 180 dnů, avšak při $+25^\circ\text{C}$ se doba skladování zkracuje na 30 dnů. Větrání venkovním vzduchem uplatňované v krátkých časových intervalech se uplatní $10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$. Společné skladování s ostatními produkty s ohledem na specifické nároky je možné jen s cibulí. Ve větraných skladech jsou hmotnostní ztráty 2,2 % za měsíc, v chladírenských komorách sotva 1,5 % za měsíc, k tomu se připočítají ztráty plesnivěním v rozsahu od 3 do 20 %.

Rajčata

Plody (*Lycopersicon esculentum* L.) se rozdělují podle zralostních stupňů odvozených od povrchové barvy do 6 skupin (zelená, šedobílá, začínající růžová, růžová, červená, plně červená), u nichž klimakterické minimum je v začínající růžové barvě a vrchol produkce CO_2 se shoduje s červenou barvou. Skleníková rajčata se sklízí v době, kdy 10 - 30% povrchu plodu ztratila zelenou barvu a začínají definitivní změny růžovění a vzniku červené barvy. Rajčata ve svazku (clustrovaná) se sklízí v době, kdy poslední plod dosáhl červené barvy.

Rajčata se předchlazují pouze na 20°C budou-li následně dozrávat, nebo na 12°C , budou jen skladována. Použije-li se tlakové zchlazování na 20°C dosažené za 2,5 hodiny, pak tyto rajčata zrají rovnoměrněji ve srovnání s rajčaty uloženými na paletě a dozrávající jen v teplotě 23°C . Optimální skladovací teplota je 19 to 21°C , při 90-95 % relativní vlhkosti. Uložení $> 27^\circ\text{C}$ vede ke zpomalení tvorby červené barvy, naopak $< 13^\circ\text{C}$ nejen že zpomaluje zrání, ale vyvolává chladový stres rajčat, která jsou zelená. Rajčata už červená se mohou uložit do 7°C jen na několik dnů, i když rajčata v 10°C mají nízkou tvorbu vonných sloučenin ve srovnání s těmi, které jsou v teplotě 13°C . Za uspokojivou řízenou atmosféru se považuje 3% O_2 + 2% CO_2 , její účinek se hodnotí tvorbou lykopenu a ztrátou sacharidů, organických kyselin a rychlostí odbourávání chlorofylu. Plynná směs 3% O_2 + 97% N_2 rozšiřuje posklizňové skladování u zralostního stupně zelená rajčata v teplotě 13°C na dobu 42 dnů, aniž by se vytvářely přípachy. Vůči chladovému stresu jsou rajčata velmi citlivá, v závislosti na stupni zralosti. Zelená rajčata optimálně dozrávají v rozsahu teplot od 13 do 21°C , zatímco zralé se mohou skladovat v 10°C , aniž se projeví viditelné symptomy chladového poškození, rovněž se omezuje produkce vonných sloučenin. Rajčata produkují středně vysoká množství etylenu od 1 to $10 \mu\text{l kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ve 20°C . Pro komerční zrání zelených

rajčat, které jsou uloženy v teplotě 20 - 21°C při 90 % relativní vlhkosti, je potřeba koncentrace 50 $\mu\text{l.l}^{-1}$, která zahájí rovnoměrné zrání. Budou-li plody ve stadiu zrání, kdy se právě odboural chlorofyl, pak vysoké kvality se dosáhne za 3 dny po etylenovém ošetření.

Paprika

Plody papriky (*Capsicum Annum*, L) jsou hodnoceny kvalitativními kritérii velikosti, pevnosti a povrchové barvy. Po sklizni se plody zchlazují pouze do 7°C při vysoké relativní vlhkosti proto, aby se neprojevil první známky vadnutí, dosáhnout se toho může tlakovým, vakuovým a vodním chlazením. Pro 14 – 21 denní skladování je vhodná teplota 7°C s 90 - 95 % relativní vlhkostí, chladový stres se projeví v teplotě pod 7°C, naopak teploty nad 13°C podporují dozrávání a bakteriální měknutí. Některé odrůdy jsou citlivé k chladu už v teplotě 5°C. Řízená atmosféra má málo předností, neboť 2 až 5% O₂ pro zeleninou papriku zpomaluje zrání a dýchání, teprve 3% O₂ + 5% CO₂ v teplotě 5-10°C prodlužuje skladování na 21-28 dnů bez toho, že by se projevil vady jako je odbarvování pletiva u kalichu, černé pihy ve slupce a měknutí. Paprika jsou neklimakterickou zeleninou s minimální produkcí 0.1 to 0.2 $\mu\text{l.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ etylenu jak v 10°C také ve 20°C, přídavek exogenního etylenu se nedoporučuje proto, že se neovlivní vybarvování plodů, ale zato se podněcuje jen dýchání a měknutí. Vyhovuje pak skladování ve 20 - 25 °C s relativní vlhkostí > 95% avšak zásadně se vylučuje uložení s jinými ovocnými a zeleninovými druhy, které uvolňují do okolní atmosféry významná množství etylenu, i když bude tatáž teplota. Řezaná paprika se často používá do zeleninových směsí, před dělením se skladuje v 7 - 10 °C, po dělení se skladuje v 0 - 5 °C, krouhanku je možné skladovat do 12 dnů v 5°C a v atmosféře 3% O₂ + 10% CO₂.

Hrášek

Pro potravinářství a čerstvý konzum jsou tři typy hrášku (*Pisum sativum* L.). Obvyklý je hrášek zahradní (*P. sativum* var. *sativum* L.), který má tuhé lusky, které se snadno vylupují, a hodí se pro konzervářské a mrazírenské zpracování. Ostatní dva jsou měkké a s jedlými lusky. Lusky mají být zelené v celé ploše. Hrášek se sklízí před fyziologickou zralostí ještě dříve, než se projeví deformace luskou narůstajícími semeny. Používají se dvě metody – PAN (podíl v alkoholu nerozpustný), kterým se stanoví zvyšující se obsah škrobu v lusky a je v rozsahu 18 - 22 % nerozpustných látek v alkoholu za definovaného zpracování (laboratorní měření). Druhou metodou se měří pevnost hrachového zrna vůči profilovanému razidlu (polní metoda). Mezi oběma způsoby měření je vysoká korelační závislost. Po sklizni je nutné hrášek okamžitě zchladit tlakovým vzduchem, kterým se efektivně odebere teplo ze sklizňové teploty na teplotu skladování nebo následné distribuce, tomuto zchlazování se dává přednost pro luskový hrášek. Všechny typy hrášku se skladují 7 až 14 dnů v teplotě 0°C při 95-98 %

relativní vlhkosti. Zahradní hrachy se lépe skladují jako neloupané, budou-li lusky s kondenzovanou vlhkostí na povrchu, pak je nutná teplotě vždy pod 2°C. Pro řízenou atmosféru jsou skromné údaje. Zelené hrachy se skladují při 0°C v 5 až 7% CO₂. Hrachy nejsou citlivé k chladovému účinku a jejich produkce etylenu je < 0.1 μl.kg⁻¹.h⁻¹. Poškození mrazem začíná na -0.6 °C a projevuje se vodnatými skvrnami, na nichž okamžitě začíná bakteriální rozklad.

Fazole

Fazole (*Phaseolus vulgaris* L.) typy zelené žluté a červené se sklízí po období rychlého růstu, zpravidla po 8 -10 dnech po kvetení, sklizeň se provede v době, kdy nejsou vyvinuty fazole v lusku a tento je lehce lámavý. Chlazení lusků je vhodné vodním sprchování, zejména v suchém klimatu, kdy fazole snadno vadnou, naopak zbytky vlhkosti podněcují hnilobu. Chlazení tlakovým vzduchem se použije v případě, že lusky už jsou zabaleny do přepravního obalu. Pro posklizňové skladování je vhodná teplota 5 až 7°C s 90 % až 100 % relativní vlhkostí a předpokládanou dobou 8-12 dnů. Příznaky chladového onemocnění se projevují těsně pod 5°C za 7-8 dnů. Naopak v teplotách vyšších jak 7°C rychle klesá kvalita lusku, které žloutnou, semena se vyvíjí a zvyšuje se transpirace. V doporučené teplotě obsah 2 až 5% O₂ s možností 3 až 10% CO₂ se snižuje dýchání, žloutnutí lusků a jejich hniloba. Koncentrace 20-30 % CO₂ vyvolá během 24 hodin pronikavý zápach. Chladové poškození je zřetelné rezavě hnědými skvrnami na slupce. Viditelné změny mohou nastat se zpožděním až do 2 dnů v 1°C, 4 dny v 2.5°C, 6 až 10 dnů v teplotě 5°C. Mrznutí lusků začíná v -0.7°C vodnatými skvrnami, z nichž se zahajují hniloby. Fazolové lusky produkují (< 0.05 μl.kg⁻¹.h⁻¹) v 5 °C. Expozice lusků v prostředí, v němž je >0.1 μl.l⁻¹, vytváří souběh ztráty chlorofylu a hnědnutí doprovázenou ztrátou uchovatelnosti o 30 až 50 % již v teplotě 5°C.

Skladování ovoce a zeleniny v plynných směsích

Historie řízení atmosféry

Pokusy s fyziologicky aktivními plyny jako je kyslík a oxid uhličitý v atmosféře skladovaných plodů začaly ve 20. letech minulého století v East Mallingu (Anglie). Určily se základní fyziologické limity (nejnižší koncentrace kyslíku a nejvyšší koncentrace oxidu uhličitého), odvodily se fyziologická onemocnění a přeměny látkových složek, které nastanou v důsledku účinku obou plynů. Prakticky až do konce druhé světové války zůstaly objevy plynných směsí nepovšimnuty, teprve v 60. letech se začaly stavět první chladírny, které měly řízenou atmosféru. Další vývoj výzkumu plynných atmosfér se opíral o poznatky účinku kyslíku. Pokud se koncentrace kyslíku v okolní atmosféře pohybovala na hranici fyziologické snesitelnost a při-

tom se neprojeví anaerobní dýchání (1,0-1,2 % kyslíku), označila se termínem ULO (Ultra Low Oxygen). V moderních chladírenských komorách je tato technologie dominantní, neboť přinesla výrazné prodloužení uchovatelnosti jablek nejméně o 90 dnů. Přednosti skladování v této atmosféře jsou nesporné také proto, že se ještě hlouběji zpomalují látkové přeměny, plod méně dýchá a tím spotřebuje méně zásobních látek. Fysiologická nemocnění, tak častá při vyšším obsahu kyslíku v ambientní atmosféře se zcela utlumí. Týká se to především *spály* (*superficial scald – povrchová spála*). Spála se bohužel neprojeví bezprostředně po sklizni plodů, ale teprve po 90 a více dnech jako hnědé skvrny na povrchu plodů, které mohou zasáhnout i větší polovinu povrchu plodu. Zavedením ULO technologie se spála zcela odstraní. ULO skladování potlačuje spálu mnohem lépe než ošetřením DPA (diphenylamin). Obsah kyslíku ($O_2 = 0,7\%$) v podstatě iniciuje tvorbu anaerobních sloučenin jako je etanol, acetaldehyd a etyl acetát, které jsou důsledkem nedostatku kyslíku, naopak rozvoj spály se téměř zastaví. Naopak atmosféra s 1,5 % O_2 potlačuje spálu málo účinně. Technologicky dosáhnout 0,7 % O_2 v chladírenské komoře je možné úpravou generátoru atmosféry, avšak podrobnější studie se dotýkají zavedení dynamicky řízené atmosféry, (DCA – dynamic controlled atmosphere).

Nízké koncentrace kyslíku v provozu chladíren

Pro praktického provozovatele skladování jablek se změní měřicí systém, který bude řízený podle koncentrací etanolu. K tomu budou vztaženy kyslíkové koncentrace, které jsou běžně snímány, stejně jako CO_2 , z plynného prostoru chladírenské komory. Koncentrace etanolu bude měřena na úrovni desítek $nl.l^{-1}$ ($c = 1.10^{-8}$ v/v). Každá chladírenská komora bude **extrémně plynotěsná**, minimálně na přetlak 270 Pa po dobu 30 minut. Pokud stavebně a technologicky tomuto požadavku nebude chladírenská komora vyhovovat, pak výsledné koncentrace 0,4 – 0,6 % kyslíku nebude možné v průběhu skladování dosáhnout.

Dynamicky řízená atmosféra pro tržní druhy ovoce

V posklizňových technologiích se začíná prosazovat dynamicky řízená atmosféra (DCA – Dynamic Control Atmosphere), která přechází z výzkumného okruhu do praktického provozu velkokapacitních chladíren. DCA je dominantní pro skladování jablek, pro hrušky jsou stávající principy nezvládnuté. Technologie se skokově v posledních 5 letech rozšířila do všech ovocnářských oblastí světa; výzkumné výsledky jako první uvedli do výrobní praxe v Ontariu (Kanada). Podobně jako ULO (velmi nízký obsah kyslíku – Ultra Low Oxygen) i tato technologie se zakládá na stejných předpokladech – nastavení nejnižší možné teploty plodu při zachování vysoké relativní vlhkosti a vytvoření nezvykle nízké koncentrace kyslíku (0,2 % O_2).

Zbytková koncentrace CO₂ má být do 1 %, což je zřejmou předností před konvenční řízenou atmosférou ŘA (CA – controlled atmosphere), v níž se CO₂ doporučoval až do 5 %. Mnohdy se stávalo, že zvýšená koncentrace, vyvolávala hnědnutí slupky (*external CO₂ injury*) a v pokročilejším stadiu i hnědnutí dužniny (*Browncore*). Představa o vysoké koncentraci CO₂ v chladírenské komoře se opírala o praktickou zkušenost, že jablka z takovéto atmosféry jsou pevnější a málo měknou při prodeji. Bez toho, že by plody podlehly anaerobnímu dýchání je limitní koncentrací CO₂ 8-10%, která vznikne jen při technologickém selhání. Bohužel plynné směsi mírně nad 5 % CO₂ se aktivují nesprávnou manipulací s produkcí v chladírenské komoře. Jedním z důvodů je poddimenzovaný výkon celé soustavy, kdy výparník chladí méně jak 10 kW, což vede k tomu, že uskladněná produkce po několik dnů setrvává na teplotách 4-6°C. Vedle nedostatečného zchlazení tento proces podporuje liknavá vnitřní cirkulace vzduchu v chladírenské komoře, zejména v blízkosti obvodového pláště. Důsledkem je nahromadění CO₂ ve vnitřní atmosféře plodu, jehož vysoká koncentrace podporuje kumulaci neoxidovaných volných radikálů a tvorbu hnědých ploch ve slupce, což se neprojeví ihned, ale se zpožděním 4-6 týdnů (latentní fáze fyziologického onemocnění), budou-li plody vyzvednuty z chladírenské komory do teploty 20°C zřetelně se projeví jako výrazné hnědnutí.

Technické a technologické předpoklady pro zavedení DCA

Označení dynamicky řízená je vztaženo k pozvolnému snižování kyslíku z hodnot, které platí pro ULO (1,0-1,2 %) na počátku skladování a během dalších 30 – 50 dnů (tedy ca do první třetiny efektivního skladování v DCA) se koncentrace O₂ sníží k nejnižšímu limitu (0,2 %), který ještě zaručuje aerobní dýchání plodů. Na této koncentraci (v rozmezí 0,2 až 0,4 % O₂) se drží po celou dobu skladování. Parciální podíl CO₂ nehraje zásadní roli ve skladovatelnosti plodu, ale spíše je zbytkovou koncentrací (do 1 %) při jeho technologickém odstraňování z prostoru chladírenské komory.

Obtížné okruhy při tvorbě DCA

Jedná se o dvě zásadní obtížnosti.

(1) **dosažení extrémně nízká koncentrace O₂** vyžaduje vysokou plynotěsnost chladírenské komory a chladírenských vrat. Plynotěsnost chladírenské komory se všeobecně požaduje u všech technologií s upravenou plynou směsí, ale v případě DCA je prvořadou podmínkou. Je nezbytné, aby vytvořený podtlak nebo přetlak – (fyzikálně je to stejné) v komoře byl vyšší jak 270 Pa a neklesl na barometrický tlak do 30 minut. V Jižním Tyrolsku při rekonstrukci chladírenských komor z ULO na DCA modernizují stávající elektronické systémy

řízení plyné směsi (dávkování plyného dusíku, sorpci CO₂ na aktivní uhlí). Zpravidla konstrukční plášť, podlaha a strop vyhovují požadavkům na DCA atmosféru.

(2) **spolehlivé stanovení kyslíku v okolní atmosféře** v krajní hodnotě 0,2 % už se nedá zprostředkovat plyným analyzátozem pro O₂, který je však pro ULO dostatečně přesným měřidlem, ba naopak se musí vytvořit jiné měřící systémy. První metoda měření se opírá o typickou reakci zvratu aerobního dýchání na anaerobní dýchání. Pokud se plod nachází v plném nedostatku kyslíku (pod limitem aerobní oxidace), pak do atmosféry chladírenské komory se z plodu uvolňuje etanol (hlavní podíl etanolu však zůstává v plodu). Vytvoří se zcela nepatrné koncentrace (do 50 nl/l – 5.10⁻⁸ l), které se nahromadí v okolní atmosféře. Dlouhodobé provozní zkoušky však ukázaly, že etanol v atmosféře v tak nízké koncentraci se nedá spolehlivě měřit. Druhý měřící systém, který plně nahradil etanolový senzor, rovněž využívá reakce plodů na kritický nedostatek kyslíku, ale je směřovaný na specifické vlastnosti chlorofylu v plodech.

Chlorofylový senzor v praktickém provozu DCA technologie

Kyslíkové čidlo nahrazuje měření chemické změny chlorofylové fluorescence prostřednictvím parametru F, který se prokazuje jako výrazný pík při dosažení LOL (*Low Oxygen Limit*). Je jistě zajímavé zjištění, že koncentrace kyslíku je při teplotě 3°C na hladině 0,27% a jen mírně se zvyšuje při teplotě 5°C. Jakmile se obsah kyslíku zvýší nad LOL, pak pík F se zruší a děje se tak vždy reversibilně při opakované změně v koncentraci kyslíku na úrovni LOL. Příčinou je iniciace plasmatické acidózy v chloroplastu, která je rovněž vratná při zvýšení koncentrace kyslíku. Potřeba chlorofylu v plodu je prakticky splněna u všech skladovaných plodin, i když se zdá, že zcela červené plochy jablek, jako je to např. u odrůdy 'Starkrimson', nejsou na závadu. Dostačuje minimální obsah chlorofylu, který se nemusí vizuálně postřehnout, mnohem důležitější je výběr plodů pro fluorometrická měření. Je zde nutný průměrný vzorek, který svojí hmotností plodu, zralostním stupněm a obdobným barevným pokryvem slupky je ve shodě se skladovanou produkcí v komoře, která má atmosféru DCA. Spoléhá se na malý počet plodů (6 kusů), u nichž se měří F, proto se musí plody výrazně sjednotit, má-li vzniknout reprezentativní vzorek. F je efektivním parametrem pro vyznačení nejnižší koncentrace kyslíku v atmosféře DCA.

Dosažení nejnižších koncentrací kyslíku v technologii DCA

Jablka uložená ve velkoobjemových bednách v hmotnosti 350 kg se účinně zchladí tak, aby uvnitř obalu se teplota přibližovala chladicímu vzduchu. Chladírenská komora s parametry s plyností odpovídající pro tuto technologii se musí uzavřít do 5 - 6 dnů. Koncentrace kyslíku na hodnoty 5-6 % se sníží injekcí dusíku z tlakových lahví nebo tekutého dusíku, obě

varianty je možné v našich podmínkách uskutečnit, spíše se bude zvažovat láce každé varianty. V technologii ULO už zavedený dusíkový generátor, kterým se snižuje obsah kyslíku na 1,7 až 0,7 % při účinném odstraňování přebytečného CO₂, dosáhne hladiny kyslíku 1,2 %. Tato koncentrace se udržuje 3 týdny, pak teprve se vyvolá povolný pokles, alespoň o 0,2 % týdně v časovém období 4 týdnů. Prakticky v polovině ledna by se koncentrace kyslíku měla pohybovat nad kritickou hodnotou (0,3 % O₂). Z důvodu bezpečnosti před anaerobním dýcháním se udržuje atmosféra na 0,4 – 0,5 % kyslíku až do ukončení skladovacího období, i když se připouští, že mírné zvýšení obsahu kyslíku na spodní hranici ULO nepoškozuje účinnost této atmosféry.

Jakost plodů skladovaných v DCA

Úvahy o této atmosféře se výhradně týkají jablek proto, že jsou už dlouhodobé zkušenosti s ULO skladováním. Dochází k dramatickému zbrzdění zrání až na hranici anaerobních procesů. Pokud by k této chybě došlo a plody byly exponovány extrémnímu nedostatku kyslíku v okolní atmosféře, pak bude hnědnout dužnina v distribučních teplotách (fyziologické onemocnění z nedostatku kyslíku je málo pravděpodobné). Náchylnost k tvorbě etanolu je známa u odrůdy 'Coxova reneta' a 'Booskopské', což se zohlední při volbě hladiny kyslíku asi 1 %. Naopak odrůdy náchylné ke spále jsou bezpečně ochráněny. Všeobecně platí, že jablka z DCA jsou pevnější, kyselejší a se zelenější barvou slupky, zato jsou málo aromatická. Neschopnost plodu tvořit vonné aromatické látky je objektivním fenoménem, který plyne z nedostatku energetických sloučenin (adenosintrifosfátu). V plodu je jich v málo pro biogenezi vyšších mastných kyselin, které jsou nutné pro syntézu vonných sloučenin. Dozrávání plodu se nezlepšuje v následném distribučním řetězci, což spíše vyhovuje prodejcům, kteří dávají na prodejní pulty jablka nezrající, zato stabilní, ale méně to vyhovuje konzumentům, kteří dostanou plody mnohdy barevně atraktivní, odpovídající barevnému vzhledu už při sklizni, tvrdé konsistence, ale málo vonné.

Model výpočtu koncentrace plynů v chladírenské komoře s řízenou atmosférou

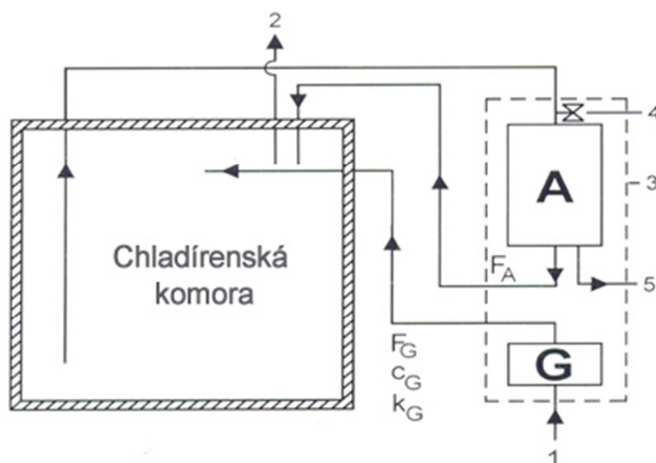
Výpočty platí pro velkobjemovou chladírenskou komoru, která jako prázdná má kapacitu 1450 m³ s příslušnými zařízeními pro tvorbu a úpravu plynného složení. Naskladněné množství bylo 230 t jablek odrůdy 'Golden Delicious'. Hermetičnost chladírenské komory odpovídala přetlaku 100 Pa pro dobu 30 minut, kdy byl stále zaznamenaný mírný přetlak na 30 Pa při teplotě 3 °C. Každá chladírenská komora byla napojena na generátor a na adsorber rourovým propojením s vnitřním průměrem roury 200 mm, spolu s řídicím systémem vytvořila

technologickou jednotku. Generátor pracoval na principu spalování uhlovodíkových plynů (směs propanu a butanu) a adsorbér jako účinnou adsorpční látku obsahoval aktivní uhlí.

Při dosažení provozní teploty na 400°C vytvářel generátor plynnou směs s objemovým průtokem 60 až $80 \text{ m}^3/\text{h}$ a se zbytkovým obsahem O_2 $0,4 \%$ až $0,8 \%$ a při koncentraci CO_2 13% až 15% . Koncentrace obou plynů byla měřena infračerveným analyzátozem. Přepínání mezi adsorpční a desorpční fází bylo získáno ve výtokovém kanále z adsorbéru.

Funkční části technologické jednotky pro tvorbu atmosféry

Nastavená koncentrace obou plynů v hermetické chladírenské komoře byla vyrobena v generátoru (G) na hodnoty $3\% \text{ O}_2$ a $3\% \text{ CO}_2$, přičemž přebytečný CO_2 se adsorboval na aktivním uhlí v adsorpční jednotce (A). Spalná směs s koncentrací O_2 , označená e_G a koncentrací CO_2 označená jako k_G s objemovou rychlostí F_G , kterou byla vháněna do hermetické chladírenské komory. Z chladírenské komory pak byla atmosféra nasávána objemovou rychlostí F_A , takže část CO_2 se vázalo do aktivního uhlí, čímž se dosáhlo požadované koncentrace tohoto plynu v atmosféře chladírenské komory.



Graf 10: Funkční zapojení chladírenské komory na generátor atmosféry (G) a adsorbér (A)

- 1 - přívod venkovního vzduchu do generátoru atmosféry
- 2 - ventil pro kompenzaci tlaku v chladírenské komoře
- 3 - technologická jednotka tvorby a čištění atmosféry
- 4 - ventil pro otvírání každé dekarbonizační nádoby
- 5 - uvolňovaná atmosféra z fázového čištění aktivního uhlí

Počáteční podmínky pro zavedení plynné směsi

Po zavedení spalné směsi do chladírenské komory s objemovým průtokem mění koncentrace O_2 v chladírenské komoře $c(t)$ proporcionálně k objemu O_2 v chladírenské komoře $V(t)$

$$\frac{dc(t)}{dt} = k \frac{dV(t)}{dt} \quad (1)$$

Počáteční koncentrace k teplotě t_0 je $c(t_0) = c_0$. Bude-li V označený jako efektivní objem chladírenské komory, pak trvá mezi aktuálním objemem O_2 a aktuální koncentrací O_2 vztah

$$V(t) = V * c(t) \quad (2)$$

řešením (2) vůči (1) získá se $k = 1/V$.

Změna objemu obsahu O_2 v chladírenské komoře $dV(t)/dt$ je dána objemovou rychlostí mezi rozdílem koncentrací O_2 ve spalné směsi a koncentrací v atmosféře chladírenské komory podle vztahu

$$\frac{dV(t)}{dt} = F_G * c_G - F_G * c(t) \quad (3)$$

prostřednictvím rovnice (3) získá se diferenciální rovnice

$$\frac{dc(t)}{dt} = \frac{F_G}{V} (c_G - c(t)) \quad (4)$$

Výpočet koncentrace kyslíku v hermetické chladírenské komoře po spalování v technologické jednotce

Hermeticky uzavřená chladírenská komoře je napojena na technologickou jednotku (sestavá z generátoru atmosféry a adsorbéru), do níž se přivádí spalná směs (definovaná atmosféra vysokého obsahu CO_2 , která je téměř bez kyslíku). Současně se z chladírenské komory odvádí vzniklá atmosféra, která je směsí původní atmosféry a přídavku spalné směsi, do adsorbéru (obsahuje aktivní uhlí ve třech nádobách, v nichž cyklicky probíhá vázání CO_2 do aktivního uhlí a po nasycení sorbetu se aktivní uhlí desorbuje větráním venkovním vzduchem). Tímto dějem se snižuje obsah O_2 v chladírenské komoře na požadované technologické hodnoty (zpravidla 1,0-1,5 % O_2). Současně v atmosféře chladírenské komory zůstává parciální podíl CO_2 , který je technologicky žádoucí (např. 2,0 – 5,0 %). Aktuální koncentrace O_2 po dané době chodu technologické jednotky se vypočítá podle vztahu:

$$c(t) = \frac{c_0 - c_G}{\exp \frac{F_G}{V} (t - t_0)} + c_G \quad (\text{obj. \%})$$

kde:

$c(t)$	koncentrace O_2 po dané době provozu technologické jednotky	(obj. %)
c_0	koncentrace O_2 na počátku provozu technologické jednotky	(obj. %)
c_G	koncentrace O_2 ve spalné směsi vycházející z generátoru atmosféry	(obj. %)
F_G	objemová rychlost spalné směsi z generátoru atmosféry do chladírenské komory	(m^3/h)
V	objem chladírenské komory	(m^3)
t_0	počátek provozu technologické jednotky	(h)
t	doba chodu technologické jednotky, kdy se měří koncentrace O_2	(h)

V hermetické chladírenské komoře ($V = 1\,000\ m^3$), která je napojena na technologickou jednotku, se přivádí spalná směs, která obsahuje 15,0 obj. % CO_2 a 1,0 obj.% O_2 . Objemová rychlost spalné směsi F_G je $60\ m^3/h$. Po 30 hodinách úpravy atmosféry klesne koncentrace O_2 z původních 21 obj % na 4,30 obj %. Naopak zvýší-li se objemová rychlost spalné směsi na $73\ m^3/h$, pak za stejnou dobu bude výsledná koncentrace O_2 3,30 obj. %.

Výpočet koncentrace CO_2 v chladírenské komoře po době provozu technologické jednotky

Vháněním spalné směsi z generátoru atmosféry, který vytvoří limitní koncentraci CO_2 ve spalné směsi (14,0 – 15,0 obj. %) a jen zbytkový obsah O_2 , se zpravidla postupuje tak, že prvních několik hodin je v provozu jen generátor atmosféry, který chladírenskou komoru výrazně obohacuje o CO_2 , v dalším období např. po 2-3 hodinách se zapojí do provozu adsorbér, jehož účinkem se snižuje koncentrace CO_2 v chladírenské komoře na předem požadovanou koncentraci (např. 3,0 obj. %). Pro výpočet je třeba znát objemové průtoky z generátoru atmosféry do chladírenské komory (F_G) a objemové průtoky z chladírenské komory do adsorbéru (F_A), koncentrace CO_2 ve spalné směsi (k_G) a koncentrace kyslíku ve spalné směsi k_0 , objem chladírenské komory (m^3) a dobu chodu technologické jednotky t (h).

Koncentrace CO_2 do dané době provozu technologické jednotky se vypočítá podle vztahu:

$$k(t) = \frac{(F_G + F_A)k_0 - F_G k_G}{(F_G + F_A) \exp \frac{F_G + F_A}{V}(t - t)_0} + \frac{F_G k_G}{F_G + F_A} \quad (\text{obj. \%})$$

kde:

$k(t)$	koncentrace CO_2 v chladírenské komoře po dané době provozu technologické jednotky	(obj. %)
--------	--	----------

F_G	objemová rychlost spalné směsi z generátoru atmosféry do chladírenské komory	(m ³ /h)
F_A	objemová rychlost vyčištěné atmosféry z adsorbéru do komory	(m ³ /h)
V	objem chladírenské komory	(m ³)
k_0	počáteční koncentrace CO ₂ v chladírenské komoře při zahájení provozu technologické jednotky	(obj. %)
k_G	koncentrace CO ₂ ve spalné směsi proudící z generátoru atmosféry do chladírenské komory	(obj. %)
t_0	zahájení provozu technologické jednotky	(h)
t	doba provozu technologické jednotky	(h)

V hermetické chladírenské komoře se hromadí CO₂ jednak dýcháním plodů a přívodem spalné směsi z generátoru atmosféry. Objemová rychlost spalné směsi 65 m³/h, která obsahuje 15,0 obj. % CO₂ a objemová rychlost odvedené atmosféry z chladírenské komory do adsorbéru 308 m³/h bude mít počáteční koncentraci CO₂ v chladírenské komoře ($k_0 = 3,2$ obj. %). Po 30 hodinách provozu technologické jednotky se ustaví koncentrace CO₂ 2,6 obj. %.

Stanovení objemu CO₂ vyloučeného z adsorbéru technologické jednotky

V adsorbéru technologické jednotky se část CO₂ váže do aktivního uhlí a po nasycení aktivního uhlí, které neváže další plynné složky do svého povrchu, se provede souprůdným nebo protiprůdným výplachem odstranění CO₂ (ale i jiných plynů jako je vodní pára) prostřednictvím venkovního vzduchu. Atmosféra z adsorbéru bohatá na CO₂ se odvede do vnějšího prostředí.

Výpočet vyloučeného CO₂ $V(t)$ se provede podle vztahu

$$V(t) = t_0 + \frac{V}{F_G + F_A} \ln\left(\frac{(F_G + F_A)k_0 - F_G k_G}{(F_G + F_A)k_t - F_G k_G}\right)$$

kde:

$V(t)$	objem CO ₂ odvedeného adsorbérem do vnějšího prostředí	(m ³)
F_G	objemová rychlost spalné směsi z generátoru atmosféry do chladírenské komory	(m ³ /h)
F_A	objemová rychlost vyčištěné atmosféry z adsorbéru do komory	(m ³ /h)
V	objem chladírenské komory	(m ³)
k_G	koncentrace CO ₂ ve spalné směsi proudící z generátoru atmosféry do chladírenské komory	(obj. %)

k_0	koncentrace CO ₂ v chladírenské komoře v čase t_0	(obj. %)
t_0	doba spuštění adsorbéru	(h)
k_t	koncentrace CO ₂ v chladírenské komoře po dané době chodu adsorbéru	(obj. %)

Podíl CO₂ se vylučuje adsorberem, který se před tím adsorboval na aktivní uhlí. Po zahájení provozu technologické jednotky s objemovým průtokem spalné směsi $F_G = 65 \text{ m}^3/\text{h}$ s koncentrací CO₂ $k_G = 15,0 \text{ obj. \%}$ a $F_A = 208 \text{ m}^3/\text{h}$ byla koncentrace CO₂ v chladírenské komoře $k_0 = 5,1 \text{ obj. \%}$. Po 3 hodinách provozu adsorpční jednotky se snížila koncentrace CO₂ na $k_t = 4,1 \text{ obj. \%}$ a do vnějšího prostředí se vyloučilo $25,03 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$.

Stanovení objemové rychlosti odsávaného vzduchu z chladírenské komory pro dosažení minimální koncentrace etylenu

V chladírenské komoře běžně větrané venkovním vzduchem jsou zabudovány v rozích a na stejné straně jako je zavěšený výparník, dvě roury o průměru 200 mm, do kterých se odsává vzduch z chladírenské komory. Ústí odsávacích rour je ca 400 mm od podlahy. Odsávaný vzduch se odvádí nad střechu chladírenského objektu. Vzduchové čerpadlo je společné pro několik chladírenských komor. Do prostoru chladírenské komory se venkovní vzduch nasává tak, aby procházel výparníkem, kde se zchladí a vysuší. Principem minimalizace koncentrace etylenu v chladírenské komoře je přivedený venkovní vzduch, který původní atmosféru zředí, ale nedosáhne se stejné koncentrace etylenu jako je ve vzduchu (tato je téměř nulová – etylen v enviromentálním prostředí je trvale přítomný a je v koncentraci 5 ppb). Vytvoří se c_∞ jako výsledná koncentrace etylenu, která se ustaví po dlouhodobém větrání venkovním vzduchem. Výpočet je podle těchto vztahů:

$$c_{ekv} [c_\infty] = \frac{mG}{F_{exp}} \quad (\mu\text{l/l})$$

$$F_{exp} = (\pi d^2 \omega_1 / 4) + (\pi d^2 \omega_2 / 4) * 3600 \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

kde:

c_{ekv}	rovnovážná koncentrace etylenu po dlouhodobém větrání venkovním vzduchem	($\mu\text{l/l}$)
m	hmota uložených jablek (jiných plodin) v chladírenské komoře	(t)
G	produkce etylenu skladovanými jablky (jinými plodinami)	($\mu\text{l/kg.h}$)
F_{exp}	objemová rychlost odsávaného vzduchu z chladírenské komory	(m^3/h)
d	průměr odsávací roury	(mm)
ω	rychlost vzduchu v odsávací rouře	(m/s)

V chladírenské komoře jsou instalovány odsávací roury, každá v rohu, na stejné straně jako je výparník. Průměr roury $d = 200$ mm, v jedné byla změřena anemometrem rychlost odsávaného vzduchu $\omega = 13,0$ m/s a ve druhé rourě $\omega = 14,2$ m/s. V chladírenské komoře bylo uloženo 250 t jablek odrůdy *Golden Delicious* s produkcí etylenu 35 $\mu\text{l/kg.h}$. Výsledná koncentrace etylenu c_{ekv} po dlouhodobém větrání se ustaví 2,84 $\mu\text{l/l}$.

Desinfekční prostředky v chladírnách a balírnách ovoce

Snížení povrchové mikroflóry na sklizených a následně skladovaných plodinách a rovněž ve vztahu k manipulacím s minimálně zpracovanými celými a dělenými částicemi ovoce a zeleniny vede k prodloužení jejich uchovatelnosti a k zachování organoleptických vlastností původní sklizené suroviny. Moderní tendence jsou soustavně spojovány s technologickými postupy odpovídající ekologickým zpracováním hmoty a použitými technickými přípravky, které vykazují zanedbatelné zbytkové účinky (vlastní reziduum a jeho případné vedlejší reakce s jinými látkovými složkami). Do této skupiny sloučenin patří ozon. Ozon jako plynná složka nebo rozpuštěný ve vodě je ekologicky přijatelné činidlo, které nezanechává v prostředí zbytkové koncentrace. Dlouhodobě je známý jako desinfekční sloučenina pro pitnou vodu, poprvé byl použitý v Holandsku v roce 1893, prakticky až po téměř 50 letech, kdy byl jako popsán F. C. Schonbeinem (1839). Jako mnoho jiných plynů (olefinické plyny jako je methan nebo etylen) se nachází v enviromentálním prostředí, v němž nepřevyšuje koncentraci 15 ppb (15 nl/l), což je hluboko pod jeho zdravotní závadností a také na hranici analytické stanovitelnosti. Naopak při vysokých koncentracích (tyto se vyvolají pouze uměle v ozonových generátorech), má ozon korozivní účinky a je toxický. Ozon se vytváří ve stratosféře, v UV sterilizačních lampách a v elektrickém oblouku. V běžné teplotě se rychle rozkládá na kyslík, pokud není trvale vytvářený umělými zdroji. Jeho poločas rozkladu je 15 minut, takže už po dvou až třech poločasech klesne koncentrace ozonu do zcela bezpečných hodnot. Bude-li v balírně ovoce nastavena koncentrace ozonu 0,3 ppm, která je technologicky významná pro účely ošetření plodů, pak po ukončení ozónování se plyn po 45 minutách rozloží na koncentraci 0,07 ppm, přičemž pro dlouhodobý pobyt osob v manipulačních prostorách je podle hygienické normy (USA) přípustná hodnota 0,1 ppm po dobu 8 hodin. Naopak 0,3 ppm ozonu v atmosféře je možné tolerovat po dobu 15 minut. Ozon je vodě 13krát rozpustnější jako kyslík (teplota 0-30 °C), ale v teplotě vody 60 °C je jeho těkavost tak vysoká, že se v ní vůbec neudrží.

Záměrná tvorba ozonu

Molekula ozonu je nestabilní, vzniká endotermní reakcí molekulárního kyslíku a má-li se udržet v efektivní koncentraci pro technologické účely, musí se trvale vyrábět za dostatku vnější energie (8-17 kWh/kg O₃). Účinnost tvorby ozonu závisí vedle konstrukčních proporcí také na tom, zda se použije vzduch (předem zbavený aerosolových částic a vodní páry) nebo čistý kyslík, nejlépe získaný frakcionovanou destilací vzduchu a v kapalném stavu se přivádí do koronového oblouku generátoru (varianta pro vysoké produkce ozonu). Efektivnost elektrické energie na vývoj ozonu je nízká (asi 85 % se přemění na tepelnou energii), takže vedle ovládání elektrického výboje musí být účinné chlazení tělesa generátoru. Budoucí uživatel musí zvážit technické řešení konstrukce generátoru a výkon produkce ozonu. Generovaný plyn nemůže být skladovaný a spontánně se rozkládá na molekuly kyslíku. Technicky málo komplikované ozonátory jsou snadno přenosné, využívající 220V napětí a jsou s příkonem 100-500 VA, u nichž uvolňovaná koncentrace ozonu nepřevyšuje 5000 ppm, a jsou určeny pro přímé uvolňování ozonu do okolního prostředí. Vodní ozonové generátory zavádí ozonovou atmosféru do vody (probubláním, injektáží, turbínovým kontraktorem). Obsah ozonu v pitné vodě je alternativou aplikace plynného chloru, chlornanu (Na⁺, Ca²⁺) jako desinfekční a sanitární prostředek, i když důsledky použití každého činidla jsou rozdílné. Primární využití ozonu je pro desinfekci, oxidaci anorganických polutantů (Fe²⁺, Fe³⁺, Mn²⁺, S²⁻), oxidaci mikroorganických polutantů (fenolických sloučenin, pesticidů (jen některých), sloučenin ovlivňujících chuť a vůni pitné vody, oxidace organických makroorganických polutantů, odstranění barevných sloučenin, zvýšení biologického rozkladu DBP sloučenin a řízení koncentrace chloru.

Kvantitativní stanovení ozonu

Metody pro stanovení ozonu jsou založeny na oxidačních vlastnostech ozonu a jsou vypracovány jak pro plynnou fázi, tak i pro stanovení ve vodě. Měření UV absorpcí využívá maximum absorpance při 253,7 nm s citlivostí pod 0,5 ppm. Jodometrická titrace využívá průchodu ozonu přímo z generátoru, který je zaváděný do jodidu draselného s následnou titrací odměrným roztokem jodu. Při stanovení vadí oxidy dusíku, které se musí předem zachytit v manganistanu draselném. Chemiluminiscenční metoda měří ozon v plynné fázi, nejobvyklejší je reakce ozonu s etylenem, která je pro ozon specifická, citlivost je od nulových koncentrací až po 0,5 ppm.

Mechanismus účinku ozonu na mikroorganismy

Antimikrobní účinek ozonu je v posklizňových technologiích prvořadým hlediskem proto, že povrchová mikroflóra ovoce a zeleniny v obvyklé četnosti, která představuje i několik

logaritmických řádů, může obsahovat odolné bakteriální rody. Ozon ve vodném prostředí efektivně usmrcuje gram pozitivní bakterie jako je *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis*, a gram negativní bakterie jako je *Pseudomonas aeruginosa* a *Yersinia enterocolitica*, jakož i kvasinky *Candida albicans* a *Zygosaccharomyces bacilli* a spory plísně *Aspergillus niger*. Bakteriální populace rodů obsahující i odolné spory *Bacillus stearothermophilus* nebo vegetativní buňky *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus* byly po 10 minutové expozici redukovány o 4,46 až 4,93 logaritmického řádu. Antimikrobní účinek ozonu na živé bakterie má několik mechanismů, které souvisí s potlačením původní životnosti mikrobiálních struktur. Povrch bakteriální buňky je obvyklou reakcí ozonu se dvěma reakčními sledy – oxidace sulfhydrylových skupin (-SH) a některých enzymových aminokyselin, peptidů a bílkovin s krátkým řetězcem. Druhý účinek ozonizace vede k oxidaci polynenasycených mastných kyselin na kyselinové peroxidy. Umrtnění buňky se také projeví poškozením až rozkladem nukleových kyselin.

Účinek ozonu ve vzduchu

Dobře realizovatelnou možností je přidavek ozonu do atmosféry chladírenské komory a do posklizňových balících středisek, které se od sebe zpravidla liší převažující teplotou atmosféry. V obou případech se předpokládá, že se sníží četnost mikrobů na povrchu plodů, projeví se sanitační efekty na provozním zařízení a bude se oxidovat etylen reakcí s ozonem. Účinek plynného ozonu bude záležet na několika činitelích. Koncentrace ozonu v ovzduší je prioritní veličinou, u níž se musí volit mezi aktuální reakcí s mikrobiálním napadením povrchu plodů a případným poškozením oxidačními reakcemi s citlivými látkovými složkami v povrchových vrstvách slupky. Pokud nastanou, nesmí vyvolávat vizuálně rozpoznatelné změny. Povrchová spála u plodů jablek, která má podobné symptomy jako působení ozonu ve vysokých koncentracích, není účinkem ozonu ani vyvolána a rovněž biochemicky nemá přímou souvislost. V chladírenských komorách s průběžnou koncentrací ozonu 3,25 ppm po dobu 5 měsíců vedlo k povrchovému poškození slupky hnědnutím, avšak v koncentraci 1,96 ppm se vizuální poškození povrchu neprojevilo, i když povrch plodů byl mírně lepkavý. Fyziologické vlastnosti plodů ošetřených a kontrolních byly stejné. Koncentrace ozonu 0,3 – 1,0 ppm brzdí sporulaci všech běžných rodů bakterií a plísní ve fázi, kdy je plyn přítomný v atmosféře, ale má reziduální účinky po přenesení do jiného prostředí. V balírnách citrusového ovoce vznikají resistantní formy sporulantů v případě, že se užívá běžná sanitace např. chlorovými čidly, avšak bylo opakovaně potvrzeno, že účinkem ozonu byla sporulace zastavena, pokud byla souběžně snížena teplota na 5 °C a níže. Vhodnou vlastností plynného čidla jako je ozon, je vnikání plynu do vnitřních vrstev slupky. Ozonová penetrace je

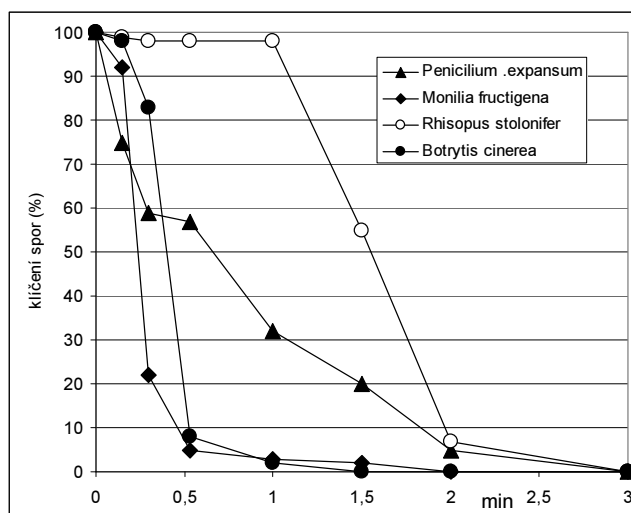
všeobecně nedostatečná. Technologicky významné je vnikání ozonu do zabalených jednotek, jak přes plastické obal nebo dřevovláknité materiály. Bude-li koncentrace ozonu ve vnějším prostředí 0,7 ppm, pak při dostatečné ventilaci dovnitř obalu provedenými průrazy v obalu, lze předpokládat uvnitř obalu 0,6 ppm. Běžná tloušťka balících materiálů bez plyných komunikací však znesnadňuje difuzi plynu do zabalených jednotek. Sanitace povrchů vnitřních zařízení balíren a chladících komor stejně tak i inaktivace povrchové mikroflóry skladovaného ovoce vyžaduje koncentraci ozonu 200 ppm po dobu alespoň jedné hodiny. Odolnost plísňových spor vůči účinku ozonu je v rozporu se stabilitou a jakostí skladovaných plodin. Vizuální změny hnědnutí povrchu jsou důsledkem vysoké oxidační kapacity ozonu. Jeden týden po provedené expozici ozonem byly takto nepoškozeny – kiwi, citrusy, melouny voskovaná jablka a cibule, naopak hrušky, nevoskovaná jablka, peckové ovoce, banány, mango, brokolice, listová zelenina byly poškozeny. Stejně tak bylo zaznamenáno zrychlení křehnutí a stárnutí plastových materiálů. Usmrcení spor patogenů zelené hniloby (*Penicillium digitatum*), modré hniloby (*Penicillium italicum*), červené hniloby (*Geotrichum citri-aurantii*) však při uvedené koncentraci 200 ppm vyžaduje vysoké nasycení skladového ovzduší na 95 % relativní vlhkosti, neboť při nasycení vodní parou jen na 35 % relativní vlhkosti, je smrtící účinek ozonu nedostatečný. Ozonátory produkující koncentraci 10 000 ppm jsou určeny do skladištních prostor, v nichž je technicky vyřešený únik plynu do okolního prostředí a primárně slouží pro insekticidní účinky na obilniny a semena jiných rostlinných materiálů.

Oxidace etylenu účinkem ozonu

Chemická oxidace dvojně vazby molekuly etylenu na etan, jak by se očekávalo, není jednoznačnou reakcí, ale vznikne nestechiometrická skupina oxidačních produktů, které vyplývají z mnoha radikálů, které ozon spontánně tvoří a tyto mohou vstupovat do reakce. Rychlá reakce ozonu s etylenem je dobře dokumentovaným fenoménem. Výsledkem delšího působení zdroje ozonu na skladovací atmosféru bude vytvoření rovnovážného stavu, který je výsledkem hmotnosti skladované produkce, tvorby etylenu plodinou a účinností ozonového generátoru. Z uvedené rovnováhy vyplývá, že pro dosažení výsledné koncentrace ozonu pod 1 ppm ukazuje, že při běžném zaplnění chladírenské komory jablky (ca 0,18 t/m³ prostoru) bude v atmosféře chladírenské komory trvalý vysoký podíl reaktivního ozonu. Účinek ozonu z koronového prostoru při tvorbě ozonu se mnohdy zaměňuje za vedlejší efekty vytvořených oxidů dusíku v případě, že vzduch vstupující do prostoru generátoru není dostatečně zbavený vodní páry v desikačním stupni.

Účinek ozonu rozpuštěného ve vodě

Ozon ve vodě je často popisovaný jako alternativa chlornanu (Na^+ , Ca^{2+}) jako desinfekční a sanitační prostředek, i když se liší v mnoha ohledech. Zásadní předností ozonu je rychlý rozklad na molekulární kyslík, který nezanechává zbytkové koncentrace a vedlejší produkty z reakcí, které by mohl být vyvolány. Druhou nespornou předností ozonu je okamžitý inaktivační účinek vůči bakteriím, virům a plísňovým sporům, než vykazuje chlornan. Ozon oxiduje strukturované fenolické sloučeniny, což se dává do spojitosti s oxidací některých pesticidů a mykotoxinů uvolňovaných do ozonované vody. Tyto atributy jsou dobrým důvodem proto, aby provozní voda byla během svého použití recyklována. Jakkoliv ozon ve vodě je velmi dobře rozpustný plyn a jeho rozpustnost je relativně nízká ve vztahu k jiným sanitačním prostředkům, typickou koncentrací je 30 ppm při 20 °C. Přítomnost sloučenin, které snadno reagují s ozonem a pocházejí z půdy nebo z ovoce jsou příčinou rychlého vyčerpání ozonu. Předběžná příprava vody jako je filtrace, odstředění kalových částic a obecné snížení organického znečištění je nezbytnou technologickou nutností před injektáží ozonu do vody. V praktickém provozu se očekává koncentrace ozonu ve vodě vyšší jak 10 ppm, i když mnohé generátory nevytvoří ani 5 ppm. Naopak usmrcení spor nevyžaduje vysoké dávky ozonu, mnohdy postačí 1,5 ppm ozonu po dobu nepřevyšující 3 minuty, aby bylo usmrceno 90 - 95 % přítomné mikroflóry.



Graf 11: Klíčení spor patogenních plísni ve vodě obsahující 1,5 ppm ozonu při teplotě 16°C a pH 6.4, Skog, Chu, 2001

Ozon se z vody snadno uvolňuje do okolního prostředí už při koncentraci o něco vyšší jako je 1 ppm, proto je nutné, aby technologická voda měla teplotu pod 15°C, neprocházela tryskami nad hladinou a nevytvářely se zbytečně drobné kapky, které budou ve styku s okolním

prostředím. Rovněž má být navržena ochranná zóna (např. volbou vhodné plachty) a následná ventilace pro snižování nadměrné koncentrace ozonu uvolněné z technologické vody.

Ozonování provozní vody

Koncentrace ozonu musí být nejen v provozních žlabech, ale i v zásobnících provozní vody, která přijde do styku s ovocem. Spory povrchové mikroflóry jsou usmrceny téměř okamžitě, ale přesto ve vodě je nezanedbatelné množství organických zbytků, ale i makroskopických částic, které jsou ozonem oxidovány, takže dostatečná koncentrace ozonu musí být v nadbytku (jedná se o reakce prvního řádu). Generátor atmosféry musí pracovat s velkým přebytkem produkce ozonu, aby kompenzoval ostatní ztráty. Efektivnost povrchové inaktivace ovoce provedená postřikem nebo nořením do ozonované vody vede k snížení populace plísní, neboť *Penicillium digitatum* nebo *Geotrichum citri-aurantii* se sníží o 1 to 2 log₁₀ jednotek na plochu ve vodě s obsahem ozonu 1 až 5 ppm. V období před sklizní je plísňové napadení pronikající do podslupkových vrstev plodu jen málo hojitelné prostřednictvím účinku ozonu jak plynného prostředí, tak i ze styku s vodou. Vyplývá to z toho, že penetrační schopnost činidla je nízká a hlubší infekci nelze efektivně zasáhnout. Rovněž účinek chloru nebo chlornanu v koncentraci 200 ppm nemá desinfekční účinky.

Ochrana před ozonem v balírně a chladírně

Inhalovaný ozon je toxický plyn poškozující zdraví a z prostředí se musí účinně odstraňovat ventilací stropními ventilátory. Bude-li v provozní vodě, pak se musí dbát na jeho samovolné uvolňování, které je třeba technologickými opatřeními minimalizovat. Pobyť pracovníků je možný v koncentraci ozonu 0,1 ppm po dobu pracovní směny nebo používat respirátory, pokud koncentrace dosáhne 5 ppm během krátkého období několika minut. V prostředích nad vodní hladinou je vhodné umístit absorbery ozonu obsahující účinnou látku MnO₂.

Zpracování ovoce a zeleniny

Způsoby ochrany před vnějšími činiteli

Přirozený princip ochrany ovoce a zeleniny vůči rozkladné činnosti mikroorganismů je odvozený z četnosti mikrobů a k němu se přidává ochrana vůči enzymatické činnosti. Bude-li se hodnotit rychlost rozkladné činnosti mikrobů, pak se rozliší **přímá inaktivace mikrobů** (z hlediska četnosti a sporulace) a vliv prostředí, v němž mikroby se mohou projevit, se přímo nevyhodnocuje. Tato konzervace se označuje jako **přímá inaktivace mikrobů (přímá konzervace)**, kterou je možno podle tepelného zdroje rozlišit na:

(1) **sterilaci fyzikálními zákroky** - (1.1) sterilace teplotou (termosterilace), (1.2.) sterilace ionizujícím zářením, (1.3.) sterilaci ultrazvukem

(2) **sterilaci chemickými činidly** (2.1.) sterilace kyslíkem (ozonem), (2.2.) sterilaci chemickými činidla jako je DeKP, iontové stříbro Ag^+),

Nepřímá inaktivace mikrobů (nepřímá konzervace) je založena na záměrném zvyšování odolnosti prostředí vůči účinkům mikroorganismů, přičemž četnost mikrobů v prostředí se přímo nesleduje, ale žádá je jejich minimalizovaný počet, který nesmí potravinu rozkládat, stejně tak i enzymatický systém potraviny se nesmí projevovat v rozsahu poškozující výslednou jakost produktu. Rozdělení je podle způsobu zpracování upravené suroviny na:

(1) **fyzikálně chemickou úpravou potravin**, (1.1) vysušováním potravin, (1.2) zvyšováním osmotického tlaku v potravině

(2) **snížováním teploty potraviny** (2.1.) chlazením (2.12.) mrazením,

(3) **odnímáním kyslíku z prostředí**, (3.1) mechanickou evakuací okolí potraviny, (3.2.) konzervací netečnými plyn (impregnací pomocí CO_2),

(4) **konzervace přidavkem chemických činidel**, (4.1.) konzervace přísadou bioproduktů (organických kyselin, etanolu, soli), (4.2.) přidavkem rafinovaných chemikálií (konzervantů)

(5) **konzervace biologickou úpravou potraviny**, (5.1) alkoholickým kvašením, (5.2.) mléčným kvašením.

Sterilace přívodem tepla

Účinkem tepla nejprve hynou vegetativní formy a posléze i spory. Jde-li o umrtvování vegetativních stádií, nikoliv o inaktivaci spor jedná se o pasteuraci, budou-li při stejné teplotě inaktivovány i spory mluvíme o sterilaci. V praxi za pasteraci považují teploty záhřevu nižší, jen do $90^\circ C$, vyšší teploty jsou spojovány s termínem sterilace. V nekyselém prostředí se vyskytují bakterie (*Clostridium botulinum*, *C.pasterianum*, *Bacillus polymaxa*, *B.cereus*), které vytvářejí velmi odolné spory, jenž je možné inaktivovat až při teplotách $120-130^\circ C$ (v autoklávu). Konzervační účinnost záhřevů (příkon tepla pro inaktivaci mikrobů, ale i enzymů) se hodnotí výškou teploty a dobou působení teploty, jehož vyjádření vyhovuje pro okamžité působení teploty a doby (případ bleskové sterilace). Při působení tepla při ohřevu kusových výrobků (apertační sterilace), při němž se sdílení tepla vedením, ale i prouděním, se musí připočítat teplo ve fázi zahřívání a chlazení sterilované jednotky. Tento zápočet tepla je významnější pro nekyselé konzervy více, jak pro kyselé konzervy. Obchodní sterilitou se rozumí stav po fázi sterilace, po níž mohou přežívat mikrobiální formy, sice v minimálním počtu, avšak nenaruší stabilitu sterilovaného produktu. Výšku smrtící teploty a doby působení ovlivňují další činitele, (a) vliv vlhkosti prostředí, (b) vliv kyselosti prostředí, (c) vliv trvání záhřevu, (d) vliv počtu přítomných mikrobů.

Vliv vlhkosti prostředí souvisí s vytvořením vlhkého stavu, v němž se mikroby se pohybují ve vegetativních formách, zatímco ve fyziologicky suchém prostředí mikroby vytváří sporová stadia, která jsou vůči účinku tepla odolnější. Případem fyziologicky suchého prostředí jsou nesmáčené zbytky zeminy na surovině nebo zbytky tuku na skleněném obalu.

Vliv kyselosti prostředí má zásadní význam pro inaktivaci mikroorganismů, protože na kyselost prostředí je citlivá čeleď *Bacteriaceae* (celkem 27 rodů), pouze jen některé rody bakterií mléčného kysání snášejí kyselé prostředí. V technologii se rozlišuje **kyselé prostředí**, které má pH nižší jako 0,4, zpravidla v rozsahu od 2,9-3,5, je vytvořeno organickými kyselinami (kyselina citronová, jablečná, vinná, octová) obsaženými v ovoci v koncentraci 0,5-1,2 g/100 g zpravidla se uvádí jako titrační kyselost. Kyselina octová vzniká činností octových bakterií, jestliže hmota nakvácí, jako primární kyselina v surovinách není téměř přítomná, uvádí se jako těkavé kyseliny (postupuje se tak, že vzorek se destiluje vodní parou a destilát se titruje stejným způsobem jako u titračních kyselin). Málo kyselým nebo zcela nekyselým prostředím patří zelenina, maso a jiné potraviny, jejichž pH je 4,0-5,5 označené jako málo kyselé, pH 5,5-6,5 jsou hmoty zcela nekyselé. Titrační kyselost těchto prostředí je menší jako 0,1 g/100 g. Ve vysloveně nekyselých hmotách mohou vegetovat jen nesporulující mikroorganismy a ty, které vytvářejí spory, jsou stejně tak citlivé na teplotu (plísně a kvasinky). Tyto mikroorganismy a jejich spory hynou v teplotě 60-100°C za dobu několika minut. Do této skupiny patří všechny **nesporulující bakterie**, z nichž nejodolnější hynou, jsou-li prohřaty nad 88°C nebo působí-li na ně teplota 64°C po dobu 10 minut. V kompotech a sladkokyselých okurkách jsou to druhy *Lactobacillum plantarum*, *Streptococcus mesenteroides*, působí bombáže u okurek produkcí CO₂. Vegetativní stadia **kvasinek** hynou při 66°C po dobu 5 minut a **plísně** spolu se sporami hynou při 65-45°C za 30 minut, přitom nesnášejí anaerobní prostředí. V **málo kyselých a nekyselých hmotách** (pH větší jako 4) obsahují sporulující bacily a clostridia, z nichž clostridia máselného kvašení jsou anaerobní bacily, které snášejí pH 4,2-4,7. Spory jsou tepelně odolné, a proto se musí provádět sterilace v teplotách 120-130°C v autoklávech. Vliv doby, po kterou teplota působí, zahrnuje teplo nutné pro inaktivaci mikroorganismů. Platí pravidlo, že stoupá-li teplota lineárně, klesá potřebná doba exponenciálně.

$$D = a \cdot 10^{-kt}$$

$$\log D = -kt + \log a$$

kde D je doba nutného působení teploty, t je teplota, a a k jsou konstanty. Hodnota k je směrnicí v této rovnici a vyjadřuje se rovněž jako **hodnota z** , která udává teplotní rozdíl vztažený na jeden logaritmický řád doby

$$\log D_2 - \log D_1 = 1/z$$

kde D_1 je hodnota D , odpovídající teplotě t_1

D_2 je hodnota D , odpovídající teplotě t_2

Při termoinaktivaci mikroorganismů je hodnota z cenným ukazatelem, protože zůstává v oblasti použitelným teplot stálá. Obvyklými testovacími mikroorganismy nekyselých potravin *Clostridium botulinum* a *Cl. sporogenes* vykazují hodnotu $z = 10^\circ\text{C}$. Pro mesofilní nesporelující bakterie rodu *Lactobacillus* a *Leuconostec* mají $z = 4-6$, kvasinky a plísně $z = 4-6$. Sterilační teploty a doby se musí týkat veškeré hmoty, u objemových jednotek (konzerv) se bere za počátek účinné doby teprve okamžik, kdy dosáhlo této teploty i místo, které je nejvíce vzdálené od povrchu jednotky. Proto se musí rozlišovat sterilační doby a teploty (uvnitř sterilovaného obalu) od zahřívacích dob a teplot, což jsou hodnoty sterilační lázně.

Vyjádření sterilační teploty nekyselých potravin

Rychlost enzymatické reakce je vyjádřena Arrheniusovou rovnicí, kde k představuje konstantu pro logaritmickou závislost mezi teplotou (T) a aktivační energií E , R je plynovou

$$k = Ae^{\frac{-E_a}{RT}}$$

konstantou (8.314 J/K mol). Při integraci s časovým limit (t) a snížení počtu mikroorganismů z počáteční hodnoty N na nejnižší počet N_0

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\int_0^t k(t)dt$$

pak relativní logaritmická redukce se získá pro časově závislé teploty $T=f(t)$ a funkční vztah $k = f(T)$ je známy pro hraniční hodnoty teploty a letalitu mikroorganismů. Pro zahřívání nekyselých výrobků, které mají pH vyšší jak 4 (nekyselé výrobky) se zavedl pojem D (decimální redukční čas) jako čas (min) nutný pro snížení mikrobiální četnosti o 90%. (logaritmický řád). Rychlostní konstanta (k) je v reciproční hodnotě $k D$:

$$k = \frac{2.3}{D}$$

Tudíž pro zvýšení letality termální ho ošetření se využije teploty, která je vyjádřena vyšším k nebo snížením decimálního redukčního času D . Lineární funkční vztah se vyjádří logaritmickou hodnotou D vůči ošetření teplotou T . Pro celkový decimální redukční čas D se

bere do vztahu praktické podmínky jako je, T teplota aktuálně měřena a od teploty referenční se příliš neodlišuje T_{ref} , (121.1°C= 250°F) a hodnota z (teplotní rozdíl nutný pro jeden logaritmický řád mikrobních sporulantů), což je vyjádřeno vztahem.

$$D = D_{ref} \times 10^{\frac{T-T_{ref}}{z}}$$

Decimální redukční čas D_{ref} se vztahuje k teplotě T_{ref} , přitom hodnota z musí být známa. Pro změny teploty, které je funkční času $T=f(t)$ se odvodí z tohoto vztahu

$$F = \int_0^f 10^{\frac{T(t)-T_{ref}}{z}} dt$$

kde F hodnota je užitečným nástrojem pro vyjádření teplotního účinku, kde teplota zahřívání není konstantní. V teplotním průběhu nekyselých konzerv je 12.1°C (=250°F) se používá tato teplota. Spory termofilní bakterií *Bacillus stearothermophilus* mají decimální redukční čas D_{121} daný hodnotou 3 minut (také označovaný jako D_r), zatímco toxické klostridie *Clostridium botulinum* mají D_r 0.2 minuty. Při koncepci 12 D (12 logaritmických cyklů) bude nutné pro *Bacillus stearothermophilus* prodloužit dobu při 121.1°C na 36 minut a pro *Clostridium botulinum* jenom 2.4 minuty. Uvedené doby se aplikovaly přibližně, protože bude záležet na podmínkách, v nichž se mikroorganismy nacházejí (je to vliv látkového složení sterilované hmoty). Přesnost predikce hodnoty závisí na bakteriálním druhu, a hodnotí se přibližně, nejlépe bude-li kalkulována jako $z=10^\circ\text{C}$. Význam výpočtu hodnoty F je v tom, že ve výpočtu se zahrnuje časové kolísání teploty při sterilačním zákroku v autoklávu. Jednoduchým příkladem je zahřívání konzervové konzervy tvaru válce, která je plněna blanšírovanou zelenou fazolkou v slaném nálevu (výsledný obsah NaCl v konzervě bude 1,2 w/w%). Konzerva je vložena do vodní lázně autoklávu. Při zahřívání produktu ve válcovité nádobě postupuje teplota od povrchu do středu vedením tepla (obal je statický) nebo (prouděním tepla v rotačním autoklávu), přitom je rozhodující střed konzervy, který je kritickým bodem, kterého musí být dosaženo, aby se mohlo postupovat podle hodnoty F. Tento inaktivační účinek se vyjádří podle D a poměru inaktivace mikroorganismů (sporující bakterie) a jejich koncentrací před inaktivačním zákrokem c_0 a po sterilaci c_1 podle vztahu

$$F = D \log_{10} (c_0/c_1)$$

D je decimální redukční čas v minutách, vztažený na teplotu referenční, snižující četnost mikrobů o jeden logaritmický řád a podíl koncentrací ukazuje počet logaritmických řádů.

Smrtící účinek na mikroby

Závislost teploty aktuální k teplotě referenční a teplotní citlivosti, vyjádřená hodnotou z , umožňuje vyjádřit inaktivační účinek L podle vztahu

$$L = 10^{\frac{t - t_{ref}}{z}}$$

Bude-li výsledná hodnota letality L menší jak 1, pak ukazuje podíl hodnoty k teplotě referenční, naopak bude-li teplota aktuální vyšší jako referenční pak rovněž ukazuje na významnost, které má kladné hodnoty. Bude-li aktuální teplota v autoklávu jen 112°C a referenční bude 121.1°C, při $z=9.5$, pak smrtící účinek (letalita) L bude $L = 10^{((112-121.1)/9.5)} = 0.112$, takže tato teplota představuje jen 0.112 vůči referenční teplotě a mikroorganismy nebudou dostatečně inaktivovány. Bude-li produkt v autoklávu zahříván na teplotu 133°C, přitom referenční teplota bude 121.1°C, při stejném $z=9.5$, pak $L = 10^{((133-121)/9.5)} = 10^{1.25} = 17.8$, takže teplota poskytuje vyšší hodnoty L , která je 17.8 násobkem k referenční teplotě.

Sterilace technologicky kyselých výrobků

Kyselé výrobky, které jsou sterilovány, mají pH menší jak 4.0, protože použitá surovina byla kyselá (ovocné druhy), kyselidlo (převažuje kvasný ocet) bylo přidáno do nálevu (upravená zelenina zalitá sladkokyselým nálevem) nebo se jedná o zeleninové druhy, které mléčně prokvasily (kvašené zelí, kvašené okurky). Teploty sterilační lázně jsou v rozsahu od 82°C do 100°C s dobami záhřevu, kdy se dosáhne této teploty v nejméně prohřívaném místě obalu. Dosáhnout tohoto prohřátí není vždy nezbytné, mnohdy dostačuje u plodových zelenin, jako jsou okurky, jen povrchového prohřátí, ale za předpokladu, že se použije ocet jako kyselidlo v příslušné koncentraci.

Sterilační zařízení

Rozdělení sterilačních zařízení je možné provést podle několika hledisek podle tlaku v okolí sterilované jednotky - (a) za atmosférického tlaku – sterilační vany, kontinuální parní a kontinuální vodní sterilátory, (b) za přetlaku – autoklávy (stojaté, ležaté, protitlakové). Dalším hlediskem rozlišení je (c) sterilace v obalu (plní se vsádka do obalu a zalévá nálevem, uzavře se a steriluje a ve vhodném sterilátoru), (d) sterilace mimo obal (sterilované hmota proudí sterilačním zařízením a následně se plní do obalu). Bude-li obal předem sterilní, pak po uzavření se pouze chladí (tento způsob se označuje jako aseptické balení). Zařízení pro sterilaci o v obalech se dále rozdělují na zařízení pracující (e) diskontinuálně (sterilační vany, autoklávy), (f) kontinuálně (pásové vodní sterilátory, pásové parní sterilátory, vanové sterilátory, sprchové sterilátory, hydrostatické sterilátory).

Sterilační vany jsou čtyřhranné nádoby ve spodní části vybavené topným hadem, v němž proudí buď horká voda, nebo pára. Obaly (plechové, skleněné) se vkládají na děrované dno

sterilační vany. Do vodní lázně, která je předem zahřátá (teplota vody bude o 40°C vyšší než je teplota v obalu před sterilací), se vkládají už předem naplněné sterilační koše. Sterilační režim má fázi zahřívací, fázi výdrže (předepsaná teplota a doba) a fázi chlazení (přívodem chladicí vody až po dosažení asi 40°C. Zchlazovací voda se dále použije jako voda užitková. Teploty a doba se sledují u sterilační lázně, nikoliv uvnitř obalu. Na podobném principu pracují otevřené autoklávy, skříňové a sprchové sterilátory.

Kontinuální sterilátory pro kyselé konzervy mají vanový tvar, a pohybuje se v nich kontinuální dopravník. Tunel kontinuálního dopravníku je rozdělený na část předeřívací, sterilační a chladicí. Sterilované jednotky vstupují do zahřívací části kontinuálně a mohou mít náplň už předeříváanou (blanširovanou a s horkým nálevem), takže se ve sterilátoru překonávají jen menší teplotní rozdíly, případně se zajišťuje teplotní výdrž. Ohřev sterilační sekce může být vodou nebo parou. Ve vodném prostředí se sterilované obaly noří do vody, která má 80-95°C. Voda jako vyhřívací medium má vysoký součinitel přestupu tepla a užívá se do ohřevu 100°C. Za zvýšeného tlaku může teplota vody přesáhnout 100°C, s tlakovou vodou se pracuje nejčastěji do 200°C, což odpovídá tlaku 0,16 MPa (v případě autoklávů je teplota 125-135°C s příslušným přetlakem). Při ohřevu sytou parou se dosahuje vysokých koeficientů přestupu páry, když pára kondenzuje na povrchu výrobku Teplota ohřevu se reguluje změnou tlaku páry, jehož hodnota je v rozmezí od 0.12 – 0.80 MPa, což odpovídá teplotě 104-170°C. Ztráta kondenzátu z parovodního okruhu se doplňuje vodou, která se nákladně upravuje změkčováním kotelní vody s požadovanými hodnotami do 0,5°něm.

Tlaková sterilace je nejjednodušší ve stojatém autoklávu s odklopným víkem, kterým se šroubovým uzávěrem vytvoří tlakový prostor. Ve spodní části nádoby je rošt, pod ním je děrovaný topný had, do něhož se ventilem přivádí tlaková (přehřátá) pára. Tlaková nádoba má pojistný ventil, odvzdušňovací ventil a manometr. Ve fázi chlazení je nutná chladicí voda, jejíž přebytek se odvádí přepadovým potrubím. Autoklávu může být v provozu vodním, parním, příp. párovzdušným – směs páry a vzduchu. V první fázi sterilace, v případě vody jako media, se nejprve nádoba naplní vodou, do níž se vloží koše naplněné výrobky, přičemž spodní část koše leží na roštu. Přebytečná voda odchází přepadem. Autokláv se zajistí víkem a hermeticky se uzavře. Přívodem páry se zvyšuje teplota vody, Uniká-li z odvzdušňovacího ventilu jen pára, tento se uzavře a zahájí se tlaková fáze. Provozní teploty jsou 125-130°C, jímž odpovídá přetlak 0,8-0,9 MPa (barometrický tlak je 0,1 MPa). Po ukončení fáze výdrže teploty se zahájí chlazení tlakovou vodou. V obalech se vytvořil přetlak (až 0,5 MPa), který musí být trvale kompenzovaný chladicí vodou až do teploty pod 80°C, jinak nastane deformace obalu (například uvolnění kovových vík ze sklenice). Vychlazení obalů se dosáhne

teplotami pod 40°C. Sterilované šarže se skladují odděleně, zejména u citlivých produktů jako je sterilovaný hrášek ve slaném nálevu. Frakcionovaná sterilace se použije jako následná sterilace tohoto produktu za 1-2 dny, tímto se sleduje vyklíčení spor, které nebyly při první sterilaci inaktivovány. Sterilace přehřátou parou, která je v autoklávu a nahrazuje vodní prostředí, má stejný technický postup, kdy přenos tepla je vysoký při kondenzaci páry na povrchu sterilované jednotky. **Horizontální autoklávy** jsou podélné tlakové nádoby, do nichž sterilované jednotky se vkládají vozíkem po kolejnicích. Mají tlakový zásobník, do kterého se vytlačí horká voda z předcházející sterilace, takže po uzavření sterilátory tato voda se stává znovu sterilační a tlakové nádobě se během fáze výdrže a chlazení vytváří trvalý přetlak, kterým se kompenzuje vnitřní tlak ve sterilované jednotce. **Hydrostatické sterilátory** využívají hydrostatického tlaku vytvořením sloupce o výšce ca 10m, který je ve střední části sterilátoru, první sekce je zahřívací, a třetí sekce je chladicí. Ve druhé (střední) sekci se produkty pohybují v teplotě 120-130°C, která je vytvořena přehřátou parou. Ačkoliv je tato sterilace energeticky málo náročná než diskontinuální sterilátory, efektivní je pouze nepřetržitý provoz sterilovaných jednotek stejně hmotných a už předem hermetických (plechových obalů). Naopak je nákladné uvedení do provozu a vysoké investiční náklady.

Sterilace potravin mimo obal

Pracovní postup pro kusové materiály jako je sterilovaná zelenina ve sladkokyselém nálevu je kritický, protože vsádka, nálev musí mít sterilační hodnoty. Po uzavření obalu víkem se krátce obrátí na víko. Sterilace mimo obal se jednoznačně se hodí pro ovocné šťávy, rajčatovou šťávu a kyselé pro protlaky ovocné a zeleninové. Průtoková sterilace má oproti sterilaci v obalech několik předností, především je možné volit sterilační teploty a doby působení a následným zchlazením téměř na původní teplotu. Použije-li se **blesková sterilace**, pak se šťáva rychle zahřeje na 95-105°C (bude-li v okruhu příslušný přetlak), za dobu několika desítek sekund a v další sekci se pak stejnou rychlostí zchladí, následně se plní do sterilní obalů (tetrapakové obaly pro ovocné šťávy). Tento postup odpovídá **aseptickému plnění**, který je nejvýznamnější způsob sterilace mimo obal. Náročnější postup nastane při plnění zahuštěného rajčatového protlaku (30°Rf) přímo z výrobní linky do velkoobjemových plastových obalů (hmotnost 200 kg), které jsou předem sterilní účinkem γ -zářením, pak kritickým bodem je rychlost plnění, hermetické uzavření obalu a pH výsledného produktu, které musí být pod pH 3,9. Zchladí-li se šťáva až po naplnění do obalu (označuje se jako horký rozliv) a teprve poté, až po uzavření se zchladí. Obaly nemusí být sterilní a jen čisté (většina mikroflory je odstraněna). **Průtokové sterilátory** musí splňovat požadavky na rychlost záhřevu, které se dosáhne tenkou vrstvou kapaliny a čistotou stykových ploch

sterilátoru, které musí být dobře rozebíratelné a čistitelné. Potřebám průtokové sterilace odpovídající deskové sterilátory, trubkové sterilátory, které jsou pro ovocné šťávy a votátory (hotbreak). Tato šneková zařízení jsou pro sterilaci protlaků a kašovitých hmot, kde v trubkovém tělese, kterým se nuceně pohybuje promíchávaná sterilovaná hmota a v protiproudu k ní (oddělena stěnou) ohřívá pára nebo horká voda.

Zhodnocení sterilace záhřevem

Sterilace zahříváním je zcela obvyklý způsob konzervace, který nevyžaduje nákladné investice a při využití technologických poznatků umožňuje konzervovat technologicky kyselé i nekyselé produkty při dodržení hospodárnosti výroby. Při průtokových sterilacích šťáv a polotekutých hmot je možné sterilační doby podstatně zkrátit zvýšením teploty sterilace při současně zvýšeném tlaku s následným okamžitým zchlazením. Možným nepříznivým změnám termolabilních složek potravin se předchází volbou kombinací zahřívacích teplot a dob. Krátké a vysoké záhřevy denaturují vysokomolekulární bílkoviny mikroorganismů a enzymů, kdežto cenné nízkomolekulární sloučeniny mohou zůstat bez poškození. U potravin sterilovaných po odvodu se rozsáhlou inaktivací enzymů účinně omezí oxidační procesy, takže ovoce a zelenina jsou při správném pracovním postupu velmi hodnotné jak svými organoleptickými vlastnostmi, tak i obsahem nutričně významných termolabilních látek.

Kusovité sterilované výrobky

Výrobky vznikly apertací, jako jsou kompoty a sterilovaná zelenina (rozdělená podle pH výsledného produktu) se dělí na upravenou zeleninu v sladkokyselém nálevu a ve slaném nálevu.

Kompoty jsou produkty vzniklé z technologicky upraveného, uloženého do obalu, zalitého cukerným nálevem (s možností přídavku kyseliny citronové), uzavřené a sterilované za barometrického tlaku, nejčastěji ve vanových sterilátorech. Široký výběr surovin zaručuje i bohatý sortiment kompotů. Navíc se u jednoho ovoce vyrábí několik druhů kompotů (loupaný, neloupaný, celý plod, dělený, půlený). Míchané kompoty obsahují několik ovocných druhů z předem připravených polotovarů (sterilovaných záchovek) vyrobených v období sezony. Surovina musí být zdravá, mechanicky nepoškozená, nepoškozená od škůdců a chorob. Většina ovoce se sklízí v technologické zralosti, která se mnohdy odlišuje od konzumní zralosti (hrušky musí být zcela pevné a nezralé, stejně tak i angrešt). Technologické postupy na výrobu jednotlivých druhů kompotů mají mnohé společné operace, ale odlišují se surovinou a požadavky na sterilační režim. Při výrobě kompotů se používají přísady – voda, řepný cukr, kyselina citronová, potravinářská barviva (podle zákona o potravinách max. 0,01 % s uvedením “přibarveno“, kvasný ocet k proslazení dyňového

kompotu, NaCl proti červivosti třešní. Surovina se třídí velikostně na třídičkách podle příčného průměru. Jakostní vytřídění se děje těsně před plněním do obalů a řeší negativním tříděním tak, že se odstraňuje nevhodný podíl plodů (nahnilých, výrazně nezralých, mechanicky poškozeným a s vadami po škůdcích). Plody odstraněné z kompotování, které mají odchylky od zralosti, od velikosti, mírných vad na povrchu, ale jsou nenahnilé a neplesnivé, se zpracují na **polotovary** (pulpy a protlaky), přičemž jejich úchova před konečným zpracováním bude sterilací, mražením nebo chemickou konzervací (povolenými konzervovadly - kyselinou siřičitou, kyselina benzoovou, příp. kyselinou sorbovou). **Praní suroviny** je operací, která musí být vždy uplatněna, protože se praním snižuje povrchová mikroflóra, naopak plody nesmí být mechanicky poškozeny. Proto se volí pračky sprchové, vzduchové a pro velmi jemné ovoce pračky vibrační. Jádrové ovoce se pere v kartáčových pračkách. Před plněním do obalů se některé druhy ovoce blanšírují, někdy se spojuje s barvením (světlé třešně), účelem je inaktivace enzymů, snížení tuhosti (hrušky), částečná inaktivace mikrobů a snížení obsahu plynu v plodu (jablka). **Předváření** se provede v cukerném roztoku, který má o 4°RF vyšší sušinu jako předvářená hmota. U zeleninových druhů se předváří v solném roztoku (asi 1 %), čímž se rovněž jako u ovoce zabraňuje vyluhování sušiny do předvářecí lázně. Blanširované ovoce se okamžitě chladí vodou, bude-li plněno za horka, pak má následovat zalití horkým nálevem. Plnění do obalů je dvojí, obvykle se naplní vsádkou a následně se přidá nálev. Druhým postupem je předlev, kdy se přesně dávkuje nálev a pak se přidává vsádka. Mezi nálevem a víčkem je volný prostor, který představuje asi 5 % z celkového objemu kompotu a slouží k vyrovnávání objemových změn během sterilace. Uzavírání obalů kovovými víčky je řešeno jako mechanické uzavření obalu a teprve po sterilaci se vytvoří hermetický uzávěr (typ víka Omnia) nebo se dosáhne hermetického uzavření (typ Twisst-off). Plechovky jsou už při uzavření zcela hermetické, jenž se zkouší předem na řezu mezi víkem tělem plechovky. Uzavřené obaly se vkládají do sterilizačních košů a po jejich naplnění se sterilují ve sterilizačních vanách. **Sterilizační režim**, vztažený na velikost obalu a obalový materiál (sklenice, plechovka), je řízený podle parametru zahřívací lázně v hodnotách doby záhřevu od počáteční teploty po dosažení sterilizační teploty (údaj v minutách), výdrže (doba a teplota sterilizační lázně) a chlazení přívodem pitné vody (údaj v minutách) pro snížení teploty pod 30°C ve sterilizační vaně. Chladicí voda odtéká mimo sterilizační vanu a dále se použije jako voda technologická na předmáčení sklenic.

Příprava nálevu

Nálev kompotu (sterilované zelenině) vytváří kapalný podíl, odvzdušňuje a upravuje pH prostředí a výslednou rozpustnou sušinu. Při sterilaci zlepšuje prostup tepla prouděním. Výpočet koncentrace nálevu vychází z bilančního výpočtu hmotnosti vsádky (m_1), a rozpustné sušiny ovoce ($c_1(^{\circ}\text{Rf})$), hmotnosti nálevu (m_2) a koncentrace nálevu ($c_2(^{\circ}\text{Rf})$) a výsledné hmotnosti kompotu (m_3) a výsledné sušiny kompotu ($c_3(^{\circ}\text{Rf})$) podle vztahu

$$m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2 = m_3 \cdot c_3$$

z toho

$$c_2 = (m_3 \cdot c_3) - (m_1 \cdot c_1) / m_2$$

hodnoty hmotnosti se uvádí v gramech, a jsou dány technickou normou, stejně tak i výsledná refraktometrická sušina kompotu (pro většinu kompotů je 20°Rf , jen pro švestkový a třešňový kompot je 18°Rf). Rozpustná sušina vsádky se zjišťuje přímým měřením a při změně suroviny se upravuje zalévací nálev. Podle výpočtového vztahu a dosazením hodnot se zjistí, že většina cukerných nálevů se pohybuje od 36°Rf až 41°Rf . Výpočet kyselosti nálevu na kompoty je obdobný, jen za rozpustnou sušinu se dosazuje obsah kyselosti ovoce (c_1), nálevu (c_2) a hotového výrobku (c_3). Obsah organických kyselin, se zjišťuje titrací (titrační kyselost). Výsledná koncentrace titračních kyselin kompotu je v rozsahu od 0,4 do 1,2 g/100g a většina kyselin v kompotu je z ovoce (vsádky). V případě nízkého obsahu je přidává do nálevu kyselina citronová (obvykle 0,3 %), která nálev také číří a vyběluje. Cukerný nálev se připravuje pro každý druh kompotu zvlášť. Nálev se připravuje v oddělené místnosti, v níž se v duplikátorovém kotli rozpustí cukr a příslušné množství kyseliny citronové. Vhodnou koncentrací cukru je 60°Rf , který je stabilní (nenakváší) a může vážit nebo měřit (ve 20°C má 1 litr tohoto roztoku 772 g cukrů, takže 1000 kg sacharózy je v 1129,5 litru 60°Rf roztoku). Při vaření nálevu se odstraňuje pěna, čiření nálevu pomáhá kyselina citronová, již se má přidat v množství 100 g na 100 kg cukru v nálevu, mimo vypočítané množství kyseliny, určené pro okyselení výrobku. Některé nálevy, např. nálev na jahodový kompot, se barví. Do plniček se přečerpávají ze zásobníku skleněným potrubím. Plní se samospádem a doporučuje se plnit nálevem teplým 70 až 80°C .

Sterilovaná zelenina

Sterilaci se vyrábí veškerá zelenina – plodová i vegetativní, všeobecně se vyrábí na rozdíl od kompotů v jedné třídě jakosti. Jednotlivé výrobní operace jsou v podobném sledu jako u zpracování ovoce. Analytické hodnoty sladkokyselých nálevů je 0,6-1,2 % NaCl, 0,4-1,2 % kyselosti, 3,0-6,0 % cukru, ve slaných nálevech je 0,6-1,2 % NaCl a kyselost max. do 0,2 %. Koření je důležitou chuťovou součástí nálevů, přidává se do octu (macerace koření v 10%

octu po dobu 14 dnů). Na 1000 litrů nálevu se dávkuje 3-5 litrů lihových výtažků. Na sterilované okurky výluhy obsahují nové koření, černý pepř, hřebíček, bobkový list, chilský pepř, tymián, koprové aroma, citronové aroma a estragonovou třešť. Vydatnost výtažku je možné zvýšit přídatkem (0,1 litru do 1000 litru nálevu) extrahovaného koření do etanolu a zahuštěného ve vakuové odparce na výslednou sušinu 60°Rf. Mezi výrobní operace se přiřazují speciální způsoby jako je odšpičkování fazolky, odjadřincování papriky, praní kořenové zeleniny. Mnohdy je do výrobní linky zařazuje předmáčecí pračka a násobné praní v kartáčových pračkách (u okurek až 5 liniově zapojené pračky). U suroviny, která bude následně loupaná párovzdušně (při teplotě 120°C a přetlaku 0,3 MPa) je pak minimalizováno mikrobiální znečištění. Avšak většina suroviny se bezprostředně stýká s půdou, pak je nezbytné zařadit blanšírování, jako nástroj pro výraznou eliminaci mikroflory, bude-li výrobek mít nekyselou reakci (pH vyšší než 4,0 převážně pH 5,5-6,0) a bude naléván solným nálevem. U zpracování hrášku a fazolky, kromě snížení mikroflory se surovina po blanšírování zbavuje slizových látek, které musí být ve fázi chlazení odplaveny, jinak se hromadí ve výrobku. Teplotní režim při **sterilaci zeleniny** se řídí podle pH zalévacího nálevu. Při sladkokyselých nálevech se steriluje podobně jako u kompotů. Doby a teploty výdrže sterilační lázně jsou různorodé podle sterilovaného výrobku. Sterilované okurky ve sladkokyselém nálevu se prohřívají jen povrchově kvůli udržení křehkosti výrobku. Naopak sterilovaná kořenová zelenina i po fázi blanšírování se steriluje při teplotách výdrže 90-95°C. Naopak sterilace výrobků se slaným nálevem je v autoklávech v teplotách 120-135 °C. Režim sterilace se počítá podle D (decimálního redukčního času), který se násobí počtem logaritmických řádů nutných pro dosažení sterilačního účinku.

Mrazírenství

Konzervační princip mrazírenství má dvě hlediska - snížením teploty produktu se dosáhne minimální rychlosti enzymatické činnosti v osmoticky účinném prostředí vzniklém vázání volné vody do ledových struktur při úplné inaktivace psychrofilní mikroflory. Požadované teploty, nejméně -18°C, znemožňují povrchové odtávání mrazeného produktu. Podpůrným technologickým opatřením je předváření, jímž se prioritně inaktivuje enzymový systém suroviny, ostatní efekty převáření podporují výživovou hodnotu mrazeného produktu. V mrazírenské technologii se využívají techniky pro dosažení teplot do -45°C, v nichž je led krystalické struktury, dosažení amorfního ledu je spojeno s mnohem nižšími teplotami, které vyžadují nákladné kaskádní zchlazení až na -130°C, což pozbývá potravinářského významu.

Kryogenetické zmrazování

Nořením do kryogenické kapaliny, jako je tekutý dusík (LIN), se dosáhne rychlého zmrazení. Použije se pro malé hmotnosti, protože náklady na výrobu jsou vysoké ve srovnání s mechanickým zmrazováním. Výroba LIN je energeticky náročná, i když se může zmrazovat na malém prostoru. Oxid uhličitý jako CO_2 se použije na stejné produkty jako postřik z tlakové láhve v tepelně izolovaných skříních. Suchý led (pevný CO_2) ochlazuje výparný sublimačním teplem za současného zplynění do volného prostoru. Kapalný umělý vzduch během odpařování nesnižuje kyslík v prostředí, ale je výrobně nákladnější než LIN a v praktickém kryogenním zmrazování nemá velký význam.

Kompresorové chlazení

Mechanický kompresorový cyklus má čtyři základní složky - kompresor, kondenzátor, výparník a škrtící ventil, v nichž cyklicky dochází k fyzikální přeměně chladiva. Výparná teplota chladiva závisí na tlaku v chladicím okruhu, který je nízký ve výparníku a jeho odpařováním se odebrává teplo z ochlazovaného prostoru. Po stlačení chladiva v kompresoru se chladivo zkapalní v kondenzátoru, tím že se teplo přeneso na chladicí vodu. Kapalné chladivo z kondenzátoru se převede do zásobníku kapalného chladiva, z něhož se čerpadlem přivádí k jednotlivým výparníkům v mrazírenských komorách. Dávkování chladiva do výparníku je řízeno podle povrchové teploty výparníkových ploch.

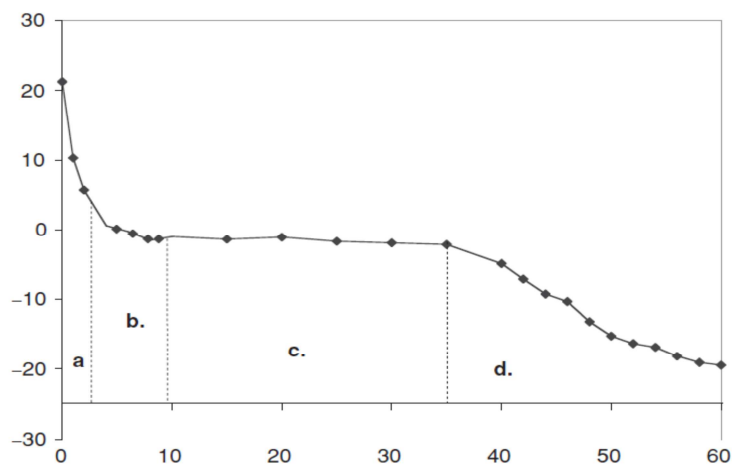
Volba chladiva v chladicích systémech

Ideální účinnost chladicího systému není závislá na chladivu, protože tato je to funkcí vypařovací teploty a kondenzační teploty. Rozhodují další vlastnosti jako jsou vlastnosti chladiva (měrné teploty), plocha výparníku a vedlejší komponenty jako jsou chladiče oleje. V průmyslovém chlazení se volí mezi čpavkem a halogenovanými uhlovodíky, které se hodnotí podle velikosti chladicího výkonu, bezpečnosti systému, kapitálových nákladů a provozní účinnosti. Čpavkové chladivo je používá u vysokých chladicích výkonů, protože náklady na zařízení jsou nízké při vysoké energetické účinnosti, rovněž i náklady na ochranu před únikem chladiva. Čpavek je aktuálně toxický, proto je nutná rychlá detekce v prostoru úniku, jakož i jeho odstranění v případě vyššího úniku v lokálním prostoru. Musí být zvažena ochrana vedlejších prostor (mrazírenských provozů, manipulačních prostor). Evropská norma EN 378 žádá automatizovanou detekci plynu v mrazírenském prostoru a izolaci přívodu elektrické energie. Účinnost ventilace zasaženého prostoru je nutná nejen kvůli znehodnocení skladovaného produktu, ale hlavně proto, že ve vyšší koncentraci je čpavek výbušný. Poplach v nízkých koncentracích není nutný, protože čpavek se pozná čichem. Operační opatření se týkají průniku do vody, v níž je neomezeně rozpustný, ale i toxického účinku na vodní faunu.

Halogenované uhlovodíky byly podrobeny hluboké kritice kvůli svoji těkavosti, neschopnosti se rozkládat je neškodné deriváty a reakci se stratosférickým ozonem. Jejich omezování v ambientní atmosféře setrvale prosazuje od roku 1975. Chladiwa halogenových derivátů od metanu a etanu mají nepatrnou toxicitu, jsou nevybušné a nepoznatelné čichem, ale naopak jsou velmi těkavé a průlinčité pro pórovité konstrukčními materiály, jejich netěsnostmi unikají do okolního prostředí. Náklady na výrobu jsou vyšší ve srovnání se čpavkem. Pro průmyslové využití jsou vhodné R-404A a R-410A, které jsou zcela nevonné a snadno unikají netěsnostmi v chladicím okruhu. Použijí se do malých chladicích systémů pro dosažení teplot -50°C , zatímco při čpavkovém chlazení se dosáhne -33°C . Pro semi-hermetické kompresory se tyto freony nehodí, protože vyšší úniky se dají určit jen po vložení detektoru, což je pak dražší než zavedení následného čpavkového chlazení. Úniky čpavku jsou obvyklé v kompresorovně, kde jsou uloženy 2-3 kompresory a vodou chlazený kondenzátor.

Zmrazovací proces a tvorba ledových krystalů

Zmrazováním se snižuje teplota nejméně na -18°C za současné krystalizace části vody a některých roztoků. Bude-li teplota vody snížena pod bod mrznutí, nevytvoří se okamžitě krystaly, ale potravina je jen **podchlazena**. Krystalizace, která pak následuje, znamená pravidelné vytváření pevné formy krystalu z roztoku, jenž má fázi **nukleace**, jako spojování molekul do mnohačetných částiček, jenž tvoří základ pro **růst krystalů**. Vysokým přenosem tepla z produktu do vnějšího prostředí, což označujeme jako rychle mrznoucí potraviny, obsahují malé krystaly při jejich vysokém počtu, zatímco u pomalu mrznoucích potravin se tvoří velké krystaly jen z několika nukleací (krystalizačních center). Tvorba hmotných krystalů je spojena s jejich pohybem, což se může označit jako migrace vody do velkých krystalů. Počtem nukleací se prakticky řídí **rychlostí odvodu tepla** ze zmrazované hmoty, hodnocené počtem centimetrů zmrzlé vrstvy za hodinu.



Graf: 12: Časový průběh mrznutí (osa y- teplota, osa x – doba v minutách)

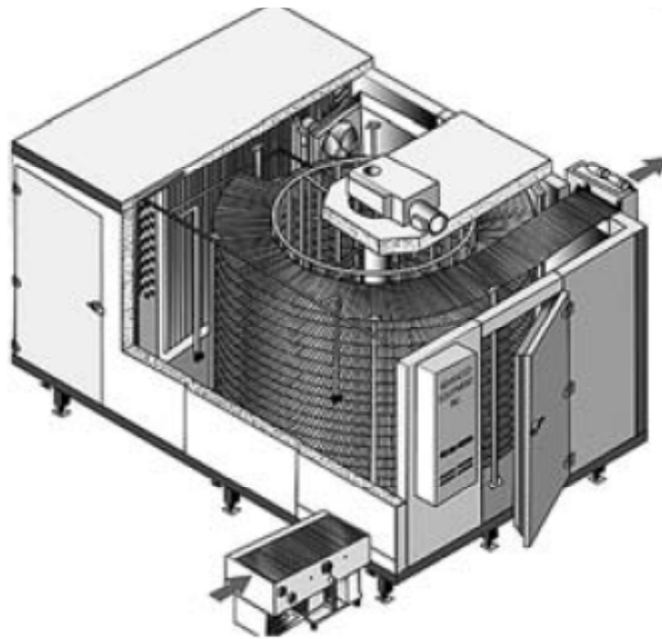
Během mrznutí se rozliší 4 časové úseky. Časový úsek (a) odpovídá odvedení tepla z potraviny během chladicí fáze, kdy hmota ještě nedosáhla bodu mrznutí. Počáteční bod mrznutí závisí na obsahu vody při souběžném odvádění zjevného tepla (teplo přehřátí hmoty). Fáze (b) je podchlazení hmoty, které je přechodné a vždy se nepozoruje. Fáze (c) je období transformace vody v led v celé hmotě. V této fázi zůstává teplota konstantní, což je v ideálním stavu, nicméně se teplota téměř nesnižuje, protože se odvádí teplo tuhnutí (krystalizační), které pro vodu je 333 kJ.kg^{-1} . Proces krystalizace představuje nukleaci a tvorbu krystalů, velikost krystalů roste navazováním dalších molekul vody do struktury krystalu. Fáze (d) domrazení – je to období, v němž se v potravine snižuje teplota až na výslednou teplotu.

Zmrazovací doba je ovlivněna velikostí částic potravina, prakticky tloušťkou, sloužením potravina a parametry přenosu tepla a teplotou chladicího media. Z fyzikálního hlediska potravina sestávají z vodných roztoků rozpuštěných látek, jejichž bod mrznutí je pod 0°C . Snížení bodu mrznutí je $1.86^\circ\text{C mol.l}^{-1}$, jehož průměr závisí na koncentraci rozpuštěných molekul ve vodní fázi, tedy nikoliv jen na obsahu vody. Teplotní rozsah způsobující nevratnou změnu je od 1°C do -5°C , proto v průběhu zmrazování se musí tati teplota rychle překonat. Solidifikace (zpevňování) struktury v zóně maximální tvorby ledových krystalů mezi 0°C až -3.9°C se musí překonat během 30 minut. Vysoký obsah vody přeměněné na led při rychlém mrazícím procesu způsobí vytvoření jen malých ledových krystalů.

Zmrazovací systémy

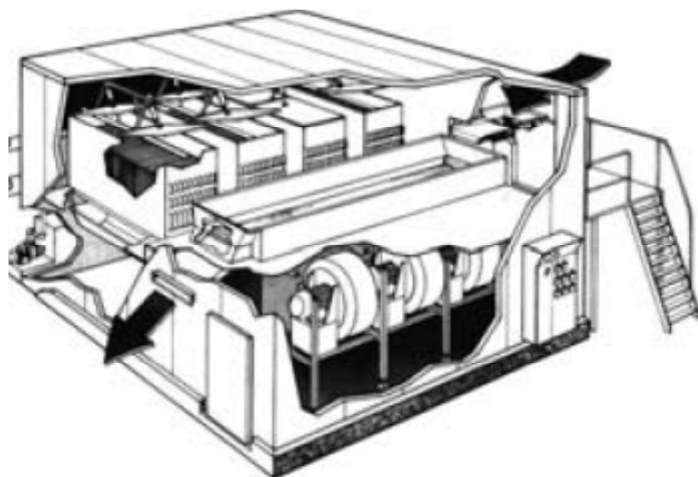
Zmrazování vzduchem

Zmrazování vzduchem je stále nejobvyklejší metodou kvůli ekonomickým, hygienickým a vlastnostem chladicího media. Odvod tepla z produktu na cirkulující vzduch je menší ve srovnání s dotykovým nebo imerzním zmrazováním, s velkou výhodou se uplatní u nepravidelných tvarů zmrazené hmoty. **Zmrazování vzduchem může být statické** ve velkokapacitních mrazírenských komorách, které mají stropní výparníky a zmrazované produkty jsou uloženy do výšky komory, buď jako volně ložené nebo balené v kartonových obalech vložené do statických portálů. Vzduch cirkulující rychlostí 1 m.s^{-1} až 10 m.s^{-1} udržuje teplotu min. -18°C až -22°C . Technologickou obdobou jsou zmrazovací tunely, v nichž je zmrazovací teplota -40°C při minimální rychlosti vzduchu 10 m.s^{-1} jejichž účelem je zmrazení suroviny na vnitřní teplotu -20°C a po jejím dosažení se následně dlouhodobě skladuje v mrazírenských komorách. **Kontinuální zmrazování** probíhá v tunelovém zmrazování na pásech s bočními nebo stropními ventilátory s rychlostí vzduchu $10 - 12 \text{ m.s}^{-1}$ a zmrazovací teplotou minimálně -22°C . Tunelové zmrazovače jsou omezeny délkou pásu, na němž se dosáhne požadované vnitřní teploty.



Obr. 1: Spirálový zmrazovač v řezu

Spirálové zmrazovače mají vzestupné nebo sestupné drátěné pásy, které v krouživé spirále s průměrem dvou metrů, zmrazí balené jednotky pravidelného tvaru při teplotě minimálně -26°C . Jsou konstruovány jako samostatné jednotky spolu s kompresorovou jednotkou. Tato konstrukce je alternativou tunelového zmrazování. **Zmrazování ve vzosu – fruidizační zmrazování** je modifikací zmrazování v proudu vzduchu. Pevné částice velikosti hrášku až do průměru 12.5 cm se přivádí na drátěný dopravník o šířce do 1.8m a délce 5-7 m, do jehož spodní strany proudí ochlazený vzduch o teplotě -32°C a rychlostí $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zmrazované plody na páse jsou maximálně ve vrstvě do 2 cm, což je vhodné pro částice, které jsou na páse nadzvedávány. Pro blanšírované zeleniny jako je zelená fazole může být fluidizovaná vrstva ca 10 cm. Fluidizační doba pro dosažení změny teploty z 21°C na -18°C je pro hrášek a kukuřičná zrna 3-4 minuty, zatímco pro zmrazování v proudu vzduchu se žádá 15-20 minut. Fluidizační doba pro jahody je 8-12 minut, pro dělenou karotku blanšírovanou 6 minut. Krátká doba fluidizace odpovídá rovněž nízkým hmotnostním ztrátám, které nepřesáhnou 1 % ztráty hmotnosti. Nevýhodou fluidizačního zmrazování je limitovaná velikost částic nebo nerovnoměrný tvar a hmotnost částic, které nemohou být efektivně fluidizovány při daném rychlosti vzduchu. Naopak technologickou výhodou je nastavení pracovních podmínek v krátkém čase (do 30 minut), kdy přívodem chladiva (čpavku) se ve výparnicích, které jsou těsně pod drátěnými dopravníky, a spuštěním výparnickových ventilátorů se nastaví teplota zmrazování.



Obr. 2: Fluidizační komora s dopravníkem, výparníky (vpravo), ventilátory (pod dopravníkem)

Fluidizační komora, která je tepelně izolována, má krátké vzdálenosti od bubnového blanžéru. Fluidně zmrazený produkt se balí jako polotovar o hmotnosti do 50 kg a následně se skladuje v mrazírenské komoře při teplotě pod -18°C . Technologickou předností je časování provozu fluidizační komory a dostupné manipulace s připravenou surovinou, neboť se fluidizační komora situuje do technologické haly.

Kontaktní zmrazování

Metoda kontaktního zmrazování je založena na přenosu tepla z produktu na kovovou plochu, v níž proudí chladivo s výparnou teplotou -40°C . Kontaktní plochy, jichž je 14-16, se hydraulicky přitlačí ke zmrazované potravíně. Obdobou kontaktní mrazení je přímé ponoření do podchlazené kapaliny. V tomto postupu se je lepší přenos tepla a významně se šetří energie. Naopak se žádá pravidelný tvar a zabalení při kontaktním zmrazování u imerzního zmrazování následné opláchnutí od mrazící směsi. Přenos tepla je závislý na tloušťce zmrazované vrstvy, kontaktu s chladicí plochou a tepelné vodivosti mraženého produktu. S omezením vzdálenosti mezi kontaktními plochami, do nichž se vkládá tvarovaný produkt, nepřekračuje 70 mm. Doba zmrazování se prodlužuje v případě volných vzduchových prostor o 30-60%. Patent na kontaktní zmrazovač získal L. Birdsey v roce 1929.

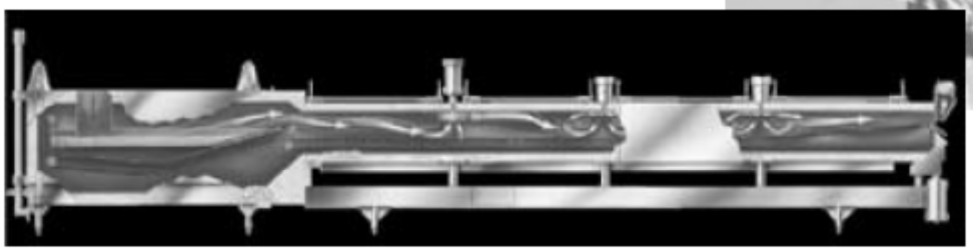


Obr. 3: Kontaktní zmrazovač bez vloženého produktu (vlevo), po hydraulickém stlačení (vpravo)

Imerzní zmrazovače mají dvě technologicky nutné části – imerzní tank, obsahující mrazící roztok o teplotě nižší, než je teplota mrazení a zásobník, z něhož se doplňuje mrazící medium o požadované teplotě, také se označuje jako přímé ponorné zmrazování. Vodné roztoky vzniknou s kapalnými podíly, které samy o sobě mají nízký bod mrznutí. Kombinace se provede podle účelu zmrazování ze dvou až tří mrazících kapalin jako propylen glykol, glycerol, chlorid sodný, etanol. Pro imerzní zmrazování ovoce je vhodná směs vody a etanolu, vodná směs vody, etanolu a glycerolu nebo vodný roztok vody, etanolu a sacharózy. Roztok solanky vzniklý rozpuštěním NaCl na 16 % koncentraci se hodí pro zmrazování drůbeže nebo ryb, kdy malé vniknutí soli pod povrch v první fázi po vnoření do solného roztoku není na závadu. Imerzní zmrazování je středně rychlým mrazením, kdy plechové konzervy o hmotnosti 200 g se zmrazí ze 4°C na -18°C za 10-15 minut.

Kryogenní zmrazování

Přenos tepla kryogenním zmrazováním je 3-5 vyšší ve srovnání s tunelovým zmrazováním s bočním prouděním vzduchu. Tloušťka produktu nemá být vyšší jak 20 mm, přičemž metoda umožňuje rychlé zmrazení jeho povrchu. Většina systému zmrazování předpokládá úplnou ztrátu chladiva (tekutý dusík, tekutý CO₂ a pevný CO₂). Rychlost zmrazení odpařením kryogenní kapaliny je mnohonásobně vyšší ve srovnání s ostatními mrazíci systémy. Tím, že se kryogenní kapalina odpařuje, rozliší se od imerzního zmrazování. Vypařující se mraziva ve svém bodě varu pro potravinářské účely se užije LIN, LCO₂ nebo kapalný CO₂. Oxid dusný (N₂O) jako mrazivo s bodem odpařování -89°C nemá využití pro mrazení potravin.



Obr. 4: Kryogenní zmrazovač s tekutým dusíkem (řez kryogenátorem)

Zmrazovač s LIN má zónu chladící, která není přímo sprejována, ve střední části se rozstříkuje kapalná fáze, která má teplotu vypařování a je v přímém kontaktu s produktem. Před vystoupení produktu, který se pohybuje na páse, se v produktu ustaví výsledná teplota od -18°C do -29°C . Tekutý dusík je obvyklým mrazivem uplatněný jako dimezovaný rozstřík. Není obvyklé imerze do tekutého dusíku v provozních podmínkách. Textura dužnatých plodů, i částečně dělených je porušena v celém profilu, protože jsou málo tepelně vodivé. Technologická varianta postříkem produktu na posuvném páse má řadu předností jako jsou nízké ztráty výparem (menší jak 1%), proces probíhá při úplném vyloučení atmosférického kyslíku a jsou-li produkty upraveny na menší velikost, se neprojeví poškození mrazící teplotou. Porušení textury se vylučuje u produktů, které jsou citlivé na mrazení, jako jsou rajčata, žampiony, melouny, ananas jahody a ostružiny. Maso kryogeneticky zmrazované má minimální tvorbu exudátů při fázi tavení. Výrobní jednotky pro postříkovou aplikaci LIN jsou s relativně nízkými počátečními náklady, ale technologii zdražuje jednotková cena LIN.

Mrazírenské skladování

Produkty se skladují v teplotě -18°C a nižší. Ztráty jakosti se projeví chemickými, fyzikálními změnami, mikrobiální děje v této teplotě nenastanou. Fyzikální změny jsou rekrystalizací a sublimací. Tvorba nové ledové struktury označovaná jako rekrystalizace běžně nastává v -18°C u produktů, které byly pomalu mrazeny. Rekrystalizace bude omezena v konstantních, nekolísajících teplotách a při záměru skladování jen po krátkou dobu. Sublimace ledu se projevuje u volných ploch a u neúplně zabalených produktů (detekují se tmavé skvrny na povrchu drůbeže). Efektivní omezení sublimačního projevu se snadno odstraní vysokou relativní vlhkostí v mrazírenském skladu ve variantě vytvoření ledového povrchu (ryby) a balením do obalů s nízkou propustností pro vodní páru. Další chemické změny jsou vztaženy pro produkt a jeho chemické složení. Změny se týkají vzniku derivátů původního barviva, nerozpustných derivátů proteinů, oxidace lipidů (hydrolytické štěpení, oxidační štěpení), reakcí vedoucí k potlačení rozdílů mezi pomalým a rychlým zmrazováním a reakcí zvyšující podíl tavných exudátů. Tyto reakce jsou zpomalovány v případech snižování

teploty pod -18°C . V komerčním skladování se nedá vyhnout výkyvům teploty, přičemž fluktuační teploty nemá být vyšší jak 5°C v okolí produktu, což má zásadní význam pro udržení kvality u zpracovaných živočišných produktů s přidavkem vajec a škrobu. Vznik růžové barvy na povrchu, zvětšování krystalů a jejich následné tavení jsou důsledkem kolísání teploty. Při teplotě -18°C je doba skladovatelnosti v mrazírenské technologii 6-12 měsíců chřest, fazolové lusky, bruselskou kapustu, více jak 12 měsíců se skladuje brokolice, květák, karotka hrášek a špenát.

Technologické operace v mrazírenství

Podle uspořádání technologické linky a vlastností suroviny se optimalizuje technologický postup v pořadí praní, třídění, řezání a blanšírování. **Praní** se podle stupně znečištění vyžaduje několik stupňů a to předmáčení, hrubé praní, následné praní v čisté vodě a sprchování. Tuto odpovídá řada praček, z nichž některé bývají řazeny za sebou (kartáčové pračky). **Třídění** suroviny mnohdy rozhoduje o možnosti získat výrobek s požadovanými vlastnostmi. Podle barvy a konzistence se zvažuje také stupeň zralosti, který má u mnohých surovin, jako jsou meruňky vliv na výsledné organoleptické vlastnosti mraženého výrobku. Surovina tříděná negativně je mechanicky a mikrobiálně poškozena, takže se vybírají jen vhodné podíly pro další zpracování, což lze chápat jako limitní hodnotu jakosti vstupní suroviny. **Blanšírování** má zásadní význam pro mrazírenskou technologii, protože inaktivace enzymového systému omezuje následné změny během mrazírenského skladování. Tepelné zahřátí celé nebo dělené suroviny na $82-85^{\circ}\text{C}$ primárně inaktivuje enzymy, ale souběžně se prokazují vedlejší účinky tepelného zásahu jako je uvolnění vnitřních plynů, jejichž koncentrace u mnohých surovin je vysoká, jako jsou jablka 12-16 %, u hrášku 9 %, naopak u plodů hrušek, s obsahem 1 % plynů, je zbavení plynů nevýznamné. Četnost mikroorganismů klesne o 90 až 99 %, za 2 minuty blanšírování ve vodě nebo v páře klesne počet mikroorganismů v hrášku a špenátu až na 1%. U listové zeleniny se účinek blanšírovací teploty zkouší na inaktivaci katalázy, která se snadno zjistí např. v homogenizovaném vzorku špenátu po fázi vystírání tím, že se vzorek přelije 1 % H_2O_2 (nedostatečné blanšírování se pozná podle šumění vzorku). Chlorofyl v blanšírované zelenině je stabilní, jinak se u neblanšírované hmoty objevují hnědé až hnědošedé odstíny.

Zpracovávané ovoce a zelenina

Ovocné druhy se mrazí jako celé plody a půlené, volně ložené v mrazírenské skládačce (hmotnost 120 - 200 g) nebo zalité cukerným nálevem o koncentraci 25°Rf . Ovocné protlaky jsou upraveny cukrem na výslednou rozpustnou sušinu 25°Rf . Jako celé plody se zpracovávají

jahody, rybíz, angrešt maliny, borůvky a ostružiny. Pro zpracování se hodí plody dobře vybarvené, s tužší dužninou, neznečistěné a nepoškozené přepravou.

Nepřímá inaktivace mikrobů

Vysušování prostředí zvýšením osmotického tlaku

Životní podmínky pro mikroorganismy se zhoršují tím, že hmota se zbavuje volné vody a vytváří se vyšší osmotický tlak a vegetativní formy podlehnou plazmolýze a hynou. Konzervace osmoanabiozou se provádí sušením, zahušťováním v odparekách, odstraňováním, vody ve formě ledových krystalů, osmózou, přidávkem osmoticky účinných látek jako je cukr (proslazování) a sůl (prosolování). Podstatou konzervace je odstraňování volné vody a současně zvyšování osmotického tlaku, na tyto dva souběžné děje reagují mikroorganismy nestejně, protože podíl odpařitelné vody se snižuje a v limitním stavu klesne na hodnoty vody vázané, která je pro mikroorganismy nepřijatelná, což je spojitě vázáno na zvyšující se osmotický tlak, jakmile ubývá volné vody. Praktickým výrazem je vyjádření aktivity vody (a_w)

$$a_w = p_w/p_w^0 \quad a_w = \varphi/100$$

kde p_w je tlak vodní páry v rovnováze s potravinou a p_w^0 je tlak páry čisté vody při stejné teplotě. Tlak vodní páry v rovnováze s potravinou se buď přímo měří (a_w metrem) nebo se vztahuje k relativní vlhkosti v atmosféře (φ) potraviny nebo roztoku. Aktivita vody závisí na koncentraci vody

$$a_w = X_w \cdot Y_w$$

X_w je molová frakce vody a Y_w je aktivitní koeficient vody. Aktivita vody závisí na rovnováze mezi potravinou a okolním prostředím, závisí na teplotě sorpční isotermy. Aktivita vody se pohybuje v mezích hodnot 0 až 1. Je-li potravina v rovnováze s okolním vzduchem, je aktivita vody v potravine stejna jako rovnovážná relativní vlhkost vzduchu (φ) vyjádřená v % se pohybuje v rozmezí od 0 až 100 %). Aktivita vody v čerstvém ovoci a zelenině je v rozmezí 0,97 - 0,98, v džemech 0,82 - 0,94. Budou-li třešně nebo hlávkový salát uloženy do distribučního skladu, kde bude $\varphi = 0,78$ —0,84, pak bude se voda z produktů odpařovat a tyto budou ztrácet na hmotnosti. Produkty s vysokým podílem osmoticky aktivních látek jako jsou džemy, stačí uvést do rovnováhy s relativní vlhkostí vzduchu, kde $a_w < 0,78$, přičemž proti osmofilním kvasinkám jistě spolupůsobí i poměrně vysoká kyselost výrobku.

Stavy potraviny podle relativní vlhkosti a náchylnosti k mikrobním změnám

Znalost aktivity vody v potravinách a relativní vlhkosti okolního vzduchu umožňuje předpovídat, za jakých okolností bude daná potravina ve styku se vzduchem o určité relativní

vlhkosti vysychat a kdy bude naopak vlhnout. Je-li aktivita vody v potravíně vyšší než je relativní vlhkost vzduchu, potravina vodu ztrácí a vysychá. Je-li naopak aktivita vody v potravíně nižší než je relativní vlhkost vzduchu, potravina vlhne. Při kontrolovaném odstraňování vody sušením (dehydratací) se snižuje hmotnost suroviny a stává se sušeninou, pak aktivita vody bude menší $< 0,5$. Čím menší bude zbytek vody, který v potravíně zůstává při vysušení, tím pevněji je poutaný a tím sušší musí být ovzduší, které by mělo potravinu ještě dále vysoušet

rozsah a_w	mikrobní druh	potravina
1.0-0.95	kvasinky, spory bakterií	čerstvé potraviny, obsahující 40% cukru, 7 % soli
0.95-0.91	koky, některé plísňe, laktobacily	potraviny obsahující 50% cukru, 12 % soli
0.94	<i>Clostridium botulinum</i>	
0.91-0.86	kvasinky	džemy, marmelády s 65% sacharózy, potraviny s 15 % soli
0.86-0.80	plísňe	potraviny obsahují 15-20% vody
0.75-0.65	xerofilní plísňe	fíky, datle, ořechy s méně jak 10% vody
0.65-0.60	osmofilní kvasinky	sušené ovoce, med
< 0.60	růst mikrobů je zastavený	sušené vejce, sušené mléko, instantní káva, obilniny

Tabulka 12: Aktivita vody různých druhů mikroorganismů a potravin

Potlačení enzymové aktivity vyžaduje intenzivní vysušování téměř až na hranici pravé hydratační vody. Pro enzymové změny zeleniny je tato voda 2-6 %, označovaná jako zbytková vlhkost, což odpovídá $a_w \sim 0,12-0,46$. Enzymové hnědnutí probíhá nejrychleji při a_w 0,5-0,6, což odpovídá ~ 10 % zbytkové vlhkosti. Při sublimačním sušení je velká ztráta vody při vysušení vedena za hlubokého vakua a sušenina na počátku má zmrzlou strukturu, proto se neočekávají změny enzymatického systému, které by mohly vést k jejímu hnědnutí. Redoxní enzymy jsou inaktivovány v prostředích se zvýšeným obsahem osmoticky aktivních látek proto, že rychlost je významně zpomalena, takže v džemech, marmeládách a sirupech, v nichž je obvykle 65 % obsah cukru se zpomalí, nebo úplně zastaví, většinou reverzibilně, ale přitom účinně. Přispívá k tomu vysoká viskozita prostředí a výrazně zpomalený přístup kyslíku. Pokud nejsou hmoty ochraňované vysokou viskozitou prostředí zabaleny do hermetického přebalu, pak ve volném prostředí se musí udržovat atmosféra, která je v rovnováze se zbytkovou vlhkostí této potraviny. Jinak by ve skladu buď vysychaly, nebo naopak vlhly a mohly by se kazit. Povrchová vrstva marmelád a džemů v neutěsněných obalech může přijmout tolik vlhkosti, že v ní mohou vyklíčit spory plísni, vegetativní formy se v tomto prostředí snadno adaptují a mycelium prorůstá i do hloubky. Podobně je tomu i u sušené zeleniny, které ve skladu s vyšší relativní vlhkostí vlhne a následně se vytvoří plísňové mycelium. Není-li skladování v suchém prostředí z jakéhokoliv důvodu možné, pak se musí sušenina balit do hermetických obalů. Vysoce vysušená potravina, která má nejnižší zbytkovou vlhkost ~4-6 %, se musí vždy hermeticky uzavřít do obalu.

Stupeň inaktivace mikroorganismů v zahuštěných produktech

Sušení a zahušťování v odparkách a koncentrace šťáv probíhají v teplotách, které nesterilují, ale částečně se usmrcují v osmotickém prostředí jen vegetativní formy. Při svářování marmelád a džemů jsou spory kvasinek a bakterií sotva ohroženy. Značné oslabení probíhá při sublimačním sušení, které lze přičíst na vrub zmrazovací fázi, bude-li do prostředí přidávat jedlá sůl, pak i inaktivaci přispívá její specifické účinky, ale za těchto okolností se neusmrtí bakteriální spory. Proto je nutné dbát na hygienické podmínky, zejména v případech, kdy se zpracují bílkoviny a tuky potravin živočišného původu. V přípravných fázích zpracování ovoce a zeleniny má význam blanšírování (zvyšuje prostupnost cukerných roztoků do proslazované hmoty a snižuje povrchovou četnost mikroorganismů), a síření, kde se předpokládá inaktivací účinek na citlivou mikroflóru a omezení reakční aktivity redoxních systémů. Při skladování hmot s nízkou vlhkostí některé bakterie (enterobakterie přežívají velmi dlouho při $a_w \sim 0,11$, kdežto při $a_w \sim 0,35$ jsou snázeji usmrtitelné po 15 týdnech, rovněž i pro kvasinky (*Saccharomyces cerevisiae*), plísně (*Aspergillus flavus*) a bakterie (*Staphylococcus aureus*) platí tato závislost na zbytkové vlhkosti. Usušené ovocné a zeleninové hmoty mají znatelnou povrchovou mikroflóru, která by však neměla překročit $5.0 \log_{10}$, přitom by neměly být přítomny enterobakterie a choroboplodné bakterie.

Sušárenství

Sušením (dehydratací) se rozumí skutečné odnímání vodní páry ze hmoty, až se stane na omak suchou a přitom má pevnou až práškovitou konzistenci. Voda se odstraňuje jako volná, která není pevně vázána ke koloidním složkám, naopak se při namočení vrací do sušiny (nabobtnává) až dosáhne původní hmoty. Tato vlastnost poukazuje na to, že nebyly nevratně poškozeny koloidy, a mohou dobře přijímat dříve odpařenou vodu. Vysušení až na hranici zbytkové vody, kdy koloidy mohly být potenciálně poškozeny, se proto mnohdy předchází částečným **prosolením** nebo **proslazením**, jimiž se sleduje částečná osmóza jako doplňkové opatření k vlastnímu sušení. Enzymové změny při atmosférickém sušení a v teplotách sušení, které spíše rychlost reakcí podporují, je nutné inaktivovat enzymy krátkým **povařením**, u redoxních enzymů se uplatní kyslík, který podporuje oxidativní hnědnutí sušených pletiv.

Sušení a pracovní podmínky uplatnění sušáren

Sušením se přivádí teplo a vzniklá vodní pára, která se odvádí jako vlhkost. Podle tlaku okolního prostředí se rozlišuje atmosférické sušení, kde teplota sušeniny je pod bodem varu vody a vlhkost se nuceně odvádí proudem vzduchu proudícím v okolí sušeniny, nebo se zahřívá nad bodem varu vody a vzniklé napětí vodních par je vyšší než okolního prostředí. Sušení vakuo-

vé je vedeno za hlubokého vakua a v teplotách pod 50°C. Sušení sublimační (kryosikační, lyofilizační) odvádí vlhkost ze sušeniny, která byla předem zmrazena a posléze se přivádí teplo za vakua (pod trojným bodem varu vody), a voda ve formě ledových krystalů přímo přechází do parní fáze. Z hlediska přívodu tepla k sušenině se teplo sdílí **prouděním**, kdy teplota vzduchu může dosáhnout hodnot vlhkého teploměru na psychrometru (sušení vzduchem na pásových, tunelových sušárnách). Sdílí-li se teplo **dotykem** sušeniny (**kontaktní sušení**) s povrchem vyhřívaných ploch (válcové sušárny) může teplota dosáhnout bodu varu vody a po odpaření volné vody, bude-li teplota povrchu vyšší a dojde k přehřívání, pak se sušenina může znehodnotit. Při sušení je možné přivést teplo jednak horkou vodou nebo párou, ale i **mikrovlnnou** energií (pro sušení není technologicky propracována) nebo **infračervenými paprsky** o délce vlny ($\lambda \sim 1$ mm).

Sušení vzduchem

Při sušení se pracuje s mírně ohřátým vzduchem (60-65°C), který proudí sušárnou v okolí upravené suroviny, která je uložena na pásech nebo lískách. Teplo přiváděné vzduchem je absorbováno sušenou hmotou a odpovídá jednak **teplu** potřebnému **k ohřátí hmoty** na teplotu sušení a hlavně představuje **výparné teplo** nutné ke změně skupenství vody. K odpaření 1 kg vody je zapotřebí 2300 – 2490 kJ. Teplota sušícího vzduchu je charakterizována teplotou suchého teploměru (teploměr uložený v proudu sušícího vzduchu) a teplotou vlhkého teploměru (má navlečenu na stopce teploměru vlhkou tkaninu), jehož teplota je snižována odnímáním tepla potřebného k odpařování vody. Z rozdílu obou teplot je možné určit relativní vlhkost vzduchu porovnáním v psychrometrických tabulkách. Relativní vlhkost vzduchu je významnou veličinou při řízení sušení. Zvýšení teploty nebo snížením relativní vlhkosti se urychluje proces odpařování vody z povrchu hmoty. Dosáhne-li relativní vlhkost svého nasycení, pak se tento stav označí jako **rosný bod**, ochlazením se vysráží vodní pára jako kondenzát. Rychlost sušení závisí na teplotě vzduchu a obsahu vody ve hmotě, vzduch přiváděný na čerstvou hmotu nesmí být příliš suchý a horký, protože by povrchové vrstvy materiálu nepřiměřeně osychaly a kožnatěly a bránily výstupu vody z vnitřních vrstev. Z příliš prudce sušeného ovce vytéká šťáva. Nejteplejší a nejsušší vzduch je proto nejlépe přivádět do styku s hmotou zčásti vysušenou. Zcela čerstvé zboží se suší vzduchem spíše teplejším, nikoliv však příliš suchým a dosoušet se má vzduchem chladnějším a co nejsušším.

Sušení s jednorázově přihříváním vzduchem

První způsob se uplatňuje u sušáren kusového materiálu, kdy zboží na lískách nebo na pásech, se vystaví zahřátému vzduchu, který ze sušeniny odebírá vlhkost. V prostoru sušárny se vzduch ochlazuje, neboť teplo předává jako výparné teplo pro převod vody v sušině do její

parní fáze. Ze sušárny odchází méně teplý, nasycený vodní parou (relativní vlhkost $\approx 90\%$). Zcela vyhovující je tento princip u rozprašovacích sušáren. Hlavními typy jednoduchých sušáren jsou sušárny komorové, pásové, tunelové, bubnové, u nichž se v prostoru sušení je pohyblivě nebo pohyblivě umístěna sušenina a z kaloriferu se přivádí horký vzduch. Ten se vhání do prostoru se sušeninou, kterou prostupuje. Čerstvý vzduch, který se nasává do kaloriferu, se částečně mísí s podílem vzduchu ze sušárny. Tím se využije lépe tepla a nehrozí počáteční sušením příliš suchým vzduchem. Sušenina je umístěna buď na lískách, nebo na pásech, na nichž se během sušení převrací. U **tunelových sušáren** je možné využít protiproudného sušení, při němž směr vzdušného proudu je opačný k průchodu vozíku, na nichž je sušená hmota. Při jednorázovém sušení se sušené částice nestejněmálně vysušují, takže v případě suchého povrchu jsou středy ještě vlhké. Vlhká sušenina není svým horkým okolím ohrožena, proto při vhánění vzduchu 90°C teplým má sušenina teplotu asi 50°C , což je proto, že se z ní voda intenzivně odpařuje. Budou-li však částice už ve fázi dosušování a rychlost vysušování ($\Delta v / \Delta t$) bude klesat a dokonce se zastaví, zvýší se teplota sušeniny na teplotu horkého vzduchu a může být poškozena. Rozprašovací sušárny pracují na principu zvýšení povrchu kapalné nebo mírně husté hmoty (z 1 kg na $300 - 400\text{ m}^2$) a tyto kapičky o průměru $50-70\ \mu\text{m}$, se rozstříkují do válcovité nádoby s trychtýřovým dnem. Kapalina se čerpá do rozprašovacího zařízení, opatřené tryskou nebo rotační tryskou a disperguje se do prostoru dutého válce rychlostí $100 - 200\text{ m/s}$, v němž je teplota 140°C a rychlost $10-12\text{ m/s}$. Kapička se odpaří za 2-4 s při počátečním obsahu vody 88%. Hmota se nepřehřívá, i když je vystavena krátkému účinku horkého vzduchu. Vysušená hmota se následně lisuje do vzduchotěsných krabic a často se přidávají antioxidanty.

Sušení s přihříváním vzdušným proudem

Pokročilejší technologie využívá sušení v protiproudu, přičemž vzduch do sušárny vstupuje zahřátý jen teplotu asi 50°C , při níž je jímavý pro vodní páru hmoty s počáteční vysokou vlhkostí. V prostoru sušárny jsou další kalorifery (duté trubky vytápění vodní parou) nebo infračervené zářiče. Příkon tepla se řídí tak, aby hmota částečně vysušená byla intenzivně zahřívána (vysoká četnost kaloriferů), naopak v místech sušárny, kde je hmota již téměř dosušena, se přivádí suchý vzduch. Sušárny, které mají přihřívací tělesa ve střední části sušárny, se podle pohybu sušeniny rozdělují na: **lískové** (skříňového nebo tunelového typu, v nichž sušenina je stacionární), **pásové** a **bubnové**. Sušárny **vznosové (fluidní)** využívají proudu sušícího vzduchu (rychlost $< 10\text{ m/s}$), který je pod pásy se sušeninou, částice se nadzvedávají vyšší rychlostí vzduchu, v sekci sušárny vzduch recirkuluje.

Sušení v kontaktních sušárnách

Kašovitě hmoty se rozestírají na vytápěnou stěnu otáčejícího se válce. Teplo je přiváděno vedením z horkého povrchu válce do hmoty a vede se na povrch, z něhož se voda odpařuje. Přiměřeně vysušený film se seřezává přiléhajícím nožem. Hlavní odpor proti vedení tepla představuje teplotní vodivost hmoty, další překážky vznikají v důsledku ulpívání částečně vysušených hmot na povrchu válce, čímž se vytváří částečně izolující vrstva vzduchu mezi hmotou a válcem. Z těchto důvodů se optimalizují reologické vlastnosti vysušované hmoty. Teplota sušiny může dosáhnout až teploty varu tekutého podílu a ve vyschlých částech až teploty zahřívací plochy. Proto je možné sušit na válcích vyhřívaných parou jen hmoty, kterým nevadí **varná příchut'**, vzniklá rozkladem citlivých částí vysušené hmoty (v teplotách nad 100°C se rychle rozkládá fruktóza). Ovocné a zeleninové vločky jsou hygroskopické a balí se plynotěsně.

Expanzní sušení

Představuje extruzi jako mechanickou operaci, při níž se vyvolávají podstatné změny v chemickém, ale hlavně koloidním stavu materiálu. Tento je zatěžovaný mechanickému namáhání v tahu a střihu vysokou teplotou a dostatečnou vlhkostí hmoty. Hodnot se dosáhne jednorázovou expanzí vodní páry obsažené ve hmotě spojené s úpravou struktury do pórovitého stavu. Tento usnadní případně dosušení, ale i rychlou rehydrataci v konečné spotřebě. Hmota určená k expanznímu sušení se dělí na menší částice velikosti do 10 mm, předsuší se v obvyklé sušárně na zbytkovou vlhkost 20-40 % a předeřeje na 50°C. Pak se uzavře do extruderu, který představuje rotační autokláv, v němž teplota dosahuje 125-130°C za tlaku 0,178 MPa. Tlak se náhle zruší a obsažená voda se uvolní a pletiva tím zvětší svůj objem. Zůstávající vlhkost se dosuší na ~ 4%. Expanzním sušením se vyrábí kořenová zelenina, cereální výrobky, křupky, extrudované proteiny, atd.

Vakuové sušárny

Sušení probíhá za hlubokého vakua při teplotě ~50°C a tlaku 13,3 kPa. Na dvou válcích, které jsou spojeny nekonečnými pásy, na něž se nanáší tekutá nebo kašovitá hmota pomocí roztíracího válečku ze zásobníku. V prostoru sušárny nejprve se na prvním válci ohřívá na 38°C a během přechodu na druhý válec, který je naopak chlazený na -18°C se hmota suší sálavým teplem. Z podchlazeného pásu se odřezává nožem a v tomto okamžiku představuje zbytková vlhkost 3%. Hluboké vakuum zabraňuje oxidaci termolabilních látek a dosáhne se vysušení až na hodnoty koloidně vázané vody, která už je neodstranitelná.

Sušení infračerveným zářením

Infračervený ohřev je založený na absorpci tepla ze zářiče do vysušené hmoty. Využije se vlnové délky λ 760 nm až 1 mm (infračervené záření). Bude-li hmota vlhká, pak se záření

pohlí, naopak hmota téměř vysušená infračervenou energií minimálně přijímá. Tloušťka ozářované vrstvy může být 1-3 cm, při hrubších vrstvách se vytváří teplotní gradient představující až 250°C/cm. Zdrojem záření jsou světelné zářiče (emitují část viditelného záření) a tmavé zářiče ($\lambda \approx 760$ nm). **Infračervené lampy** se montují buď nad lísky, nebo nad pásy. Sušárnou proudí vzduch, který plynule odvádí vytvořenou vodní páru. Využitelnost tohoto sušení závisí na životnosti zářičů a ceně elektrické energie.

Sublimační sušení

Malé kousky hmoty se zmrazí takovou rychlostí, aby se zachovala struktura a krystaly ledu byly malé velikosti. Poté se zmrazené struktury vloží do kryosikátoru (ležatá vakuovaná nádoba s vyhřívanými tělesy, které mohou být jako podložky, na nichž se hmota pokládá, nebo nad nimi jsou sálavé zdroje tepla). V kryosikátoru se vytvoří vakuum, které je nižší jak **trojný bod vody** (≈ 610 Pa) a za provozních podmínek 27-133 Pa sublimuje z těch míst, kde se právě nachází. Tím se stane, že usušená hmota si zachovává texturu. Potřebné teplo se přivede vedením nebo mikrovlnným zářením. Sublimační fáze sušení vylučuje škodlivé biochemické a fyzikálně chemické reakce (oxidace, koagulace), které by mohly probíhat zpomalenou nízkou teplotou, a má trvat tak dlouho, pokud se ze hmoty neodsublimuje všechny přítomný led. Poslední odsušitelné zbytky vody se mohou nadále odvést při teplotách 30-40°C, ale vždy za vakua. Jakmile se hmota náležitě vysuší, zruší se v kryosikátoru vakuum vpouštěním inertního plynu (dusík, CO₂) a balí se co nejrychleji do hermetických obalů, popřípadě se ještě předtím slisují. Při styku s vodou je **rehydratace** rychlá a úplná. Porézní částice mají nižší hustotu než v původní hmotě. Změny látkové složení v sublimovaných hmotách jsou minimální, takže antokyanová barviva, která jsou nestálá a snadno se chemicky změní odštěpením cukerné složky, jsou v tomto případě stabilní a výsledným sensorickým efektem je přirozená červená barva. Rovněž se dobře uchovává původní stavba pletiva a tvar původního materiálu. Aromatické látky zůstávají rovněž nepoškozeny ve fázi sublimačního odsušování. Provozně a investičně je kryosikační (sublimační, lyofilizační) sušení náročné, jak spotřebou energie na fázi mrazení a fázi vakuového sušení, avšak nevyžadují skladování za nízkých teplot, ale pouze hermeticky zabalit. Sublimační sušení je úspěšné pro většinu potravin, ale využití je omezeno na typy, které jsou obtížně sušitelné konvenčně. Snadno sušitelné je ovoce, zelenina, obilí a pro sušení vařeného a syrového masa.

Zhodnocení sušárenských postupů

Sušením se zahustí netěkavá sušina a zbytková vlhkost se podle jednotlivých postupů udrží mezi 9 až 13 %. Za těchto okolností se a_w sušiny tak nízké, že nepodléhá mikrobiálním změnám. Jakmile absorbcí vody hmota zvlhne, stane se nestabilní, pak hermetické balení a případné

slisování zásadně zlepšuje uchovatelnost hotového výrobku. Vzhled výrobku je narušený změnou tvaru, který se nabobtnání vrátí do původního tvaru. V průběhu sušení se může projevit neoxidativní hnědnutí u těch materiálů, které mají relativně vyšší obsah proteinů. Při běžném sušení je ztráta kyseliny L-askorbové 20 až 80% původního obsahu, k čemuž přispívá nesprávná úprava materiálu před sušením a tento pokles pokračuje i během skladování sušeniny. Sublimační sušení zahrnuje zpomalující reakce během mrazící a sušící fáze, takže látkové změny citlivých složek, jako jsou barviva, jsou minimalizovány. Při konvenčním sušení je inhibice oxidačního hnědnutí, jakož i neoxidačního hnědnutí, jsou málo zvládnuty, a tyto procesy se projevují i v období skladování.

Zahušťování polotekuté hmoty evaporací

V zahušťované hmotě se zvýší sušina na koncentrace, které lze dosáhnout za atmosférického tlaku, pak odpařovaná hmota bude mít teploty, které budou překračovat 100°C (duplikátorové kotle) nebo odpařování vody proběhne za vakua (vakuové odparky), kde teplota odpařování je závislá na podtlaku. Zahuštění ovocné hmoty bez přísad, obsahující jen jednoduché cukry a ovocné kyseliny (povidla) stačí zahustit na 50-60% rozpustné sušiny, bude-li se přidávat sacharóza (džemy a marmelády) je třeba zahustit na 65 %. Zcela nekyselé sladové koncentráty, které organické kyseliny neobsahují, ale mají dostatek dextrinů a maltózy, se zakoncentrují na 75 % sušiny.

Duplikátorové kotle slouží pro zahušťování šťáv. Protlaků a mělí v teplotách, které jsou těsně nad 100°C a po krátkou dobu. Při prodloužení varu se počítá změnami jako je Maillardova reakce, což je dobře známé u povidel, které mají tmavou barvu a mírně nahořklou chuť, vzniklou částečným rozkladem cukrů, ovšem namnoze se tyto změny pokládají za zcela přirozené. **Vakuové odparky** mají mnohem širší použití, protože zpracovávají tekuté hmoty, protlaky za podtlaku (tomu odpovídající teplotě varu). Pro zahušťování polotovarů na výrobu marmelády a džemů se užívají kulové odparky, které mají v dolní části duplikátorové vyhřívání parou a hustá hmota je míchána tvarově uzpůsobeným míchadlem, které kopíruje vnitřní povrch odparky. V horní části je odtah brýdových par, které kondenzují v barometrickém kondenzátoru a jsou odtahovány do vývěvy. Teplota svařování je při 70°C a podtlaku 65 kPa. Vedle duplikátorových odparek, kterými se možné zahušťovat až do 70 % sušiny se používají odparky s ohřevem uvnitř odpařovacího tělesa (*Robertova odparka*), které mají samovolné promíchávání v prostorách mezi vyhřívacími tělesy, ale při zvýšení viskozity nad 15 % se další zahušťování provede v kulové odparce. Odtah brýdových par je stejný jako u kulové odparky. **Vícestupňové odparky** lépe využívají tepla brýdových par, které přechází do ropného prostoru druhé odparky, takže při vícestupňových odparkách se tento princip uplatní u

třetího až pátého členu a teprve pak brýdové páry tohoto členu se vedou přes barometrický kondenzátor do vývěvy. Pro ovocné šťávy se konstruuji trubkové odparky s vodorovnými a šikmými trubkami s nuceným oběhem zahušťované hmoty a jejich modifikacemi, které mají uplatnění při výrobě ovocných koncentrátů (zahuštění až na 70 % sušiny).

Ovocné koncentráty

Jsou to výrobky kyselých hmot, jejichž údržnost podporuje rozpustná sušina (dostačuje 60°Brix), ale zahušťují se až 70°Brix (zmenšení objemu) a vyšší kyselost. Bude-li se běžná šťáva zahušťovat z 10°Brix na 60°Brix, pak ovocné kyseliny se rovněž zahustí 6x z původních 1% na 6%. Výrobky jsou viskózní a údržné svým vysokým osmotickým tlakem, pokud se vyrábí na odparkách, které svojí konstrukcí umožňují odpařovat vodu v tenké vrstvě, (filmu) a za dostatečného vakua, pak jen málo trpí oxidací. Vývěvy rychlo Proudných odparek zajišťují v pracovním prostoru odparek zbytkový tlak jen 8-12 kPa (barometrický tlak je 101 kPa). **Zeleninové koncentráty** se vyrábí z protlaků a zahušťují se jen na 30°Brix, ale jsou neuchovatelné a musí dodatečně konzervovat sterilací nebo chemickou konzervací (zahuštěný rajčatový protlak se zahušťuje na 45°Brix, ale přidávají se konzervanty). Důvodem je nízký obsah organických kyselin (u rajčat 0.4 %) a vyšší obsah bílkovinných látek (u zelenin představují až 5%).

Výrobky konzervované cukrem

Ovocná hmota prosycená vysokou koncentrací cukru zastavuje životní funkce mikroorganismů a v krajním případě způsobí plasmolýzu. Spory neklíčí, ale neztrácejí schopnost vyklíčit, sníží-li se koncentrace cukrů. Osmotický tlak 5% glukózy má při 20°C osmotický tlak 0,71 MPa, podobně jako u jiných jednoduchých cukrů. V inhibičním účinku se tento rozdíl projevuje tak, že monosacharidy působí stejně účinně jako sacharóza, pokud jich v prostředí je o 5-10% méně. Džem nebo marmeláda, u nichž došlo k hlubší inverzi, lépe odolávají mikroorganismům, než těch, které mají obsah sacharózy vyšší a málo invertu. Zinvertuje-li se při vaření džemů polovina z celkového obsahu cukrů, který činí 60 °Rf, odpovídá mikrobostatická účinnost obsahu 62-65°Rf neinvertované sacharózy. Bakteriostatická a mykostatická účinnost cukrů se stupňuje podobně a zvyšuje se vyšším obsahem kyselosti. Osmotický tlak cukrů se přímo neměří, ale hodnotí se podle rozpustné sušiny, měřené refraktometricky (°Rf). K výrobkům konzervovaným cukrem se počítají džemy, marmelády, ovocné sirupy, ovocné rosoly a kandované ovoce.

Zásady pracovního postupy výroby marmelád

Marmelády jsou rosolované výrobky, jejichž polotovarem je protlak (ovoce prostřené síty) svařené s cukrem a škrobovým sirupem a na konzistenci, která je krájitelná nožem. Receptura

se sestavuje tak, aby se do hotového výrobku (100 kg) přivedlo 55 kg sacharózy a vytvořila se výsledná sušina 65°Rf . Zbytek sušiny tvoří sušina přidaných protlaků (10 kg). Budou-li přidány tři protlaky, pak zpravidla 5 kg tvoří sušina jablečného protlaku a dva protlaky budou mít v sušině (malinový 2,5 kg, jahodový 2,5 kg). Protlaky přivádí do hotového výrobku ovocné kyseliny, které ve svém součtu mají vytvořit výslednou kyselost, zpravidla na 1,0%. V případě nižší kyselosti protlaků se zvýší kyselinou citronovou, která se do hotového výrobku přidá až na konci sváření proto, aby se sacharóza nadměru nerozložila na invertní cukr.

Škrobový sirup se odečítá z navážky sacharózy a nesmí překročit 5% z celkové hmotnosti hotového výrobku. Přídavek pektinu se přímo neuvádí svojí hmotností, má zajistit ve výrobku pevný rosol. Ovocné suroviny (polotovary) se užívají jako jediný polotovar (jednodruhové marmelády), nebo se kombinují dva polotovary, zpravidla každý z nich má polovinu ze sušiny, v případě marmeládových směsí (tři polotovary, z nichž v sušině tvoří jablečný protlak jednu polovinu). Při sváření surovin na hotový výrobek se odpařuje velký podíl vody pocházející z ovocných polotovarů (zpravidla mají 8-12°Rf), proto jsou vakuové odparky nezbytné pro dosažení výsledné sušiny, nemá-li být hmota nadměrně tepelně zatěžována. Dlouhé sváření hmoty i za vakua se hodnotí obsahem hydroxyfurfuralů, které vzniknou tepelným rozkladem cukrů, zejména fruktózy a výsledná koncentrace nepřekročí 50 mg/kg. Džemy je vyrábí z jednoho druhu ovoce a polotovarem jsou pulpy a měli, u nichž se musí při zpracování zachovat kusovitost, jež se promítne do konzistence džemu. Podíl přidaného cukru představuje z 65°Rf 58 kg a zbytek je sušina z polotovaru, takže je zpravidla odpařovat méně vody a sváření netrvá dlouho. Vaří se prudce a v malých dávkách buď na duplikátorových kotlích, nebo a to lépe, v malých kulových odparkách s výsledným obsahem svářené hmoty nepřekračující 100 kg. Pro dosažení kusovitosti se může přidat jablečná šťáva nebo jablečný sukus (chemicky konzervovaná šťáva konzervovaná kyselinou siřičitou). Džemy se vyrábí odchýlně podle toho, zda byla použita **pulpa chemicky konzervovaná** (nejčastěji s kyselinou siřičitou), pak jsou to džemy z chemicky konzervovaných polotovarů nebo polotovarem je **sterilovaná pulpa**, která se zpracuje bez odsíření a výsledná sušina výrobku může být nižší (58°Rf) a výrobek se buď jen dosteriluje v kontinuálním blanžéru nebo se povrch ožehne plamenem. Jinou možností sterilace je vsíknutí přehřáté páry pod víčko a uzavření uzávěrem twisst-off. **Rosoly** jsou obdobou džemů, ale ovocnou složkou je čerstvá šťáva nebo chemicky konzervovaná šťáva, které jsou vyčiřené a svářejí se s cukrem na pevný rosol s výslednou sušinou 64-67 kg na 100 hotového produktu. Použije se pomalu rosolující pektin, vaší se rychle na duplikátorových kotlích a za horka se plní do sklenic. **Ovocné sirupy** vzniknou proslazením ovocných šťáv, výrobek se nezahušťuje, pouze na závěr se odpění. Na 35-40 hmotnostních dílů ovocné

šťávy (sukusu) se přidá tolik cukru, aby vzniklo 100 hmotnostních dílů hotového sirupu. Hotový sirup se může okyselit kyselinou citronovou na výslednou kyselost a přibarvit jiným druhem ovocné šťávy. Hotový sirup má svojí barvou, vůní a chutí odpovídat deklarovanému ovoci a jeho pH má být <5 a rozpustná sušina (refraktometricky) $\square 60-65^{\circ}\text{Rf}$. Kandované (proslazené) ovoce se vyrobí postupným proslazením blanširovaného ovocného (zeleninového) druhu, až vznikne hmota, která má $\sim 70^{\circ}\text{Rf}$. Proslazování se provede buď v **evaporačních tunelech**, v nichž předem blanširované ovoce se ukládá na ploché kovové mísy a z původních 20°Rf se za ~ 7 dnů dosáhne výsledné cukerné sušiny. Druhou metodou kandování ovoce je zvyšování cukerné sušiny v **bateriovém systému**. Je založený na tom, že do válcovitých nádob o objemu 250 - 300 l, které jsou v liniovém uspořádání, je na roštích každé nádoby uloženo blanširované ovoce. V sytících nádobách se zvyšuje koncentrace cukru, tento roztok se stahuje a následně zahušťuje ve vakuových odparkách do výsledné rozpustné sušiny 70°Rf . V obou případech zahušťování (odpařováním cukerného roztoku, sycením ovoce vyšší koncentrací cukru) se pak ovoce uloží na drátěné pletivo a osuší se. Výsledného vzhledu se také dosahuje **glazováním** (máčením v přesyceném roztoku sacharózy při 80°C na krátkou dobu, kdy se na povrchu vytvoří vrstva ztuhlé sacharózy) nebo prosypáváním cukrem (směs hrubě drceného kandovaného ovoce s přísadkou malého množství kyseliny citronové) a následném lisování do velkých bloků, které se krájí na úzké plátky (**ovocné chlebičky**).

Tvorba pektinového rosolu

Ovocné pomazánky (džemy, marmelády) mají upravenou konzistenci, která je mírně roztékavá (s kousky pevného ovocného podílu – džemy) a konzistenci tuhou (hmota je krájitelná nožem – marmelády). V obou případech se vytvoří rosol, jako hmota s trojrozměrnou mřížkou, která se vytvoří v přítomnosti pektinu (přírodního z ovoce a technického pektinu) a přítomnosti cukrů a dostatečné kyselosti hmoty (pH 3,2-2,8). Přírodní obsah pektinu v ovoci (chemicky je to methyl ester kyseliny polygalaturonové) nedostačuje pro želírování, takže se přidává technický pektin (vyrobený z jablečných výlisků nebo oplodí citrusů), který se hodnotí podle schopnosti vytvořit rosol (sváření technického pektinu v 65°Rf sacharóze optimálně okyselené na pH 3,2-2,8) na pektin vysokoesterifikovaný ($\text{CH}_3\text{COO}^-/\text{COO}^-$) s hodnotou $\square 70\%$, středně esterifikovaný ($\text{CH}_3\text{COO}^-/\text{COO}^-$) s hodnotou 50-70% a nízkoesterifikovaný ($\text{CH}_3\text{COO}^-/\text{COO}^-$) s hodnotou $<50\%$. Pektiny vysokoesterifikované obsahují více jak 70% esterifikovaných karboxylů a 12 % methoxylů. Pro vytvoření pevného rosolu je rozhodující koncentrace cukru, vlastnosti použitého pektinu a okyselení. Proto, aby se rosolu vytvořil, musí být pektin nedisociovaný (volné karboxyly budou v nedisociovaném stavu), což se spojeno s úpravou pH pomazánky. V méně kyselých prostředích je disociace karboxylů značná,

pektiny rosolují pomaleji a tvoří méně pevný rosol, než v prostředích kyselejších. Vysokoesterifikované pektiny tvoří rosoly v pH 3,2-3,1. Středně esterifikované pektiny tvoří rosoly v pH 2,8-3,2. Nízko esterifikované pektiny vyžadují nejkyslejší prostředí (pH<2,8). Naopak přílišná kyselost způsobuje jev, označený jako **synergeze**, což je uvolnění kapalně části rosolu na povrch pomazánky (zmenšení trojrozměrné mřížky). V pomazánce obsah cukru nemá klesnout pod 60°Rf, pak se zvyšuje přídavek pektinu, má-li dosáhnout konzistence pomazánky v 65°Rf. V tomto případě se použijí nízkoesterifikované pektiny nebo s přídatkem Ca^{2+} (vápenatý solí jako je citran vápenatý). Pokud za těchto podmínek se nevytvoří dostatečně pevný rosol, pak se použijí jiné želírující prostředky (například algináty).

Zhodnocení výrobků s přídatkem cukru

Výrobky jsou chráněny proti běžné vlhkosti vysokou osmoticností, která klesá v prostředí s vysokou relativní vlhkostí, je třeba kombinovat oslabení osmotické působení s některým jiným konzervačním faktorem (okamžitá povrchová sterilace pomazánky nebo aplikace chemického konzervantu na povrchu pomazánky).

Aplikace jedlé soli

Solení je velmi starou metodou úchovy potravin nejen rostlinného, ale i živočišného původu.

Při zpracování ovoce se chlorid sodný uplatní málo, protože není chuťově shodný. Připravují se solené polotovary, jako je pomerančová kůra, která se zalije solankou. Nasycený solný roztok má hodnotu 27 %, proto se může použít v rozmezí od 10 do 27 %. Před použitím se polotovar odsolí, přidáváním pitné vody až do úplného odstranění soli a slouží pro výrobu cukrovinek. Pro zeleniny má sůl význam jako chuťový činitel do nálevů slaných nebo sladkokyselých nebo regulační činitel vůči patogenním mikroorganismům v kvasných procesech, ale v koncentraci, která v zásadě nepoškozuje mikroorganismy při mléčném kvašení (výsledný obsah soli 1,5-1,8 % v zelné krouhance, jako solný roztok pro zalití plodové zeleniny je obsah soli 6-8 %). Pokud se do potravin přidá ve vyšší koncentraci, pak solný roztok představuje jedinou složku, která je účinná vysokým osmotickým tlakem, pak dostačuje 20 % jako výrobek vzniklý promícháním se solí. Někdy se zeleniny i houby ukládají jen s 10-12 % NaCl, aby v nich proběhlo částečné mléčné kvašení, a pak tento produkt slouží k přípravě mixed-pickles. Pokud se vyrábí solený rajčatový protlak s výslednou sušinou mezi 40-70%, z toho podíl soli bude 25 %. Mnohdy se ukládá zelenina (nebo houby) do soli teprve, až proběhlo mléčné kvašení.

Úprava potravin odnímáním kyslíku

Mikrobiální kontaminace začíná velmi často aerobními mikroorganismy, které lze snadno vyloučit nedostatkem kyslíku. Budou-li přítomny anaerobní mikroorganismy, které vnější

obsah kyslíku pro svoje rozmnožování nepotřebují, pak se musí zavést další omezující podmínky, které budou tuto vlastnost vylučovat nebo vhodným způsobem upravovat. Při rozlišení máselného a mléčného kvašení je omezující aktuální kyselost (pH) a míra potřeby zbytkového kyslíku ve kvasné hmotě. **Sklizené plody uložené** zpravidla do chladírenských teplot jsou ošetřovány sníženým obsahem kyslíku, jehož koncentrace se zvažuje spolu s koncentrací CO₂, čímž se vytváří vhodné směsi pro dlouhodobé skladování, označované jako ULO nebo DCA. V případě tohoto hemibiotického skladování je obsah kyslíku v rozsahu, který zajišťuje aerobní dýchání plodiny. Mechanická evakuace prostředí při nekolísajícím tlaku vytváří mikrobostatické prostředí pro plísňe a aerobní a anaerobní mikrobi při tlaku 2,0-2,7 kPa s výjimkou menšího omezení pro *Penicillium* sp. Také za tlaku 4,0- 5,5 kPa je rozvoj aerobů silně omezený, kdežto při 12,0 - 13,3 kPa je množení mikrobů neomezené a shodné s kontrolními mikrobi za barometrického tlaku. Mechanické odvzdušnění by muselo být velmi podstatné, aby vyloučilo činnost běžných aerobů. K tomu by se hmota musela okyselit nebo uložit v chladu nebo ji sterilovat. Dlouhodobé ukládání potravin ve vzduchotěsných skříních prodlužuje uchovatelnost jen na omezenou dobu i přesto, že skutečný tlak bude 1,3-2,0 kPa. Pokud se bude uvažovat o **plodech v posklizňovém uložení**, pak **evakuace** jejich okolí ve vakuovaných velkoobjemových válcovitých nádobách nesleduje snížení mikrobiální četnosti na povrchu plodiny, ale opírá se o náhlé zchlazení plodiny na teploty 3-4°C z původních 18-20°C, což je důsledkem rychlé transpirace z povrchu zchlazované plodiny (označuje se jako **vakuové zchlazování**). Vhodnými produkty jsou listové zeleniny, které mají vysokou plochu ve vztahu k hmotnosti.

Sycení ovocných šťáv oxidem uhličitým

Oxid uhličitý je dobře rozpustný v ovocné šťávě a při nasycení na 15 g/l (1,5 hmot %) nepodlehne šťáva za běžných sklepních podmínek mikrobiálnímu rozkladu, stejně tak jeho přítomnost brání oxidaci. Kyslík se při impregnaci vytěsňuje nebo se vyváže na složky šťávy. Pro inhibici mikrobů jsou vytvořeny překážky jejich rozvoji, takže plísňe nemohou být účinné pro úplný nedostatek kyslíku v prostředí, i když by mohly využít dostatek cukrů a kyselého prostředí. Podobně i kvasinky by mohly využít tohoto prostředí, ale omezujícím činitelem je vysoký obsah CO₂, naopak běžné bakterie jsou vyloučeny kvůli vysoké kyselosti šťávy. Kyselost naopak vyhovuje fakultativně anaerobním **mléčným bakteriím**, které jsou původci tankového zápachu (*tank odor*) šťáv. Teplota 1-2°C je natolik nízká, že jim nevyhovuje pro rozmnožování. Je-li nasycena a uskladněna při nižších teplotách, pak dostačuje nižší koncentrace CO₂, takže v teplotě 10-15°C je nutné nasytit na 15 g/l, zatímco při 0-1°C dostačuje 8 g/l. Nízká koncentrace CO₂ zpomaluje kvašení, nikoliv trvale zabránit, takže by se musel celý objem

znovu impregnovat. Nádrže na ukládání šťávy jsou kovové, válcovité a vodorovně uložené a s objemem do 30 m³, které jsou zkoušeny na přetlak a rovněž musí být odolný vůči korodujícím složkám šťávy. **Kovové tanky** jsou opatřeny obvyklou armaturou (vodoznak, vpust a výpust šťávy, přetlakový ventil, otvor pro mechanické vyčistění tanku). Z celkového objemu představuje plynná část asi 3%, v níž se nachází plynný CO₂. Dosažení požadované koncentrace CO₂ ve šťávě lze provést kapalným CO₂ (tlakové láhve, v níž má 5,2 MPa při 15°C) nebo tuhým CO₂ (suchý led), který představuje tuhou amorfni hmotu o hustotě 1,45 kg/m³, a povrchové teplotě -56°C. Šťáva, která bude sycena, se hrubě odkaluje a sytí se do tanku, který už má předem atmosféru CO₂ na požadovaném přetlaku. V případě suchého ledu se do prázdného tanku vloží vypočtená hmotnost suchého ledu, který postupem zaplní prostor tanku. Sycení se provede **jednorázově**, při němž objem šťávy se smíchá s obsahem CO₂ ve směšovací trysce nebo **postupně**, kdy výsledné koncentrace CO₂ se dosáhne několikanásobnou recirkulací šťávy. Při kontrole šťávy se dbá na udržení tlaku, který nesmí klesnout (při teplotě šťávy 2°C je přetlak 0,2 MPa). V průběhu skladování se může odebírat šťáva z tanku postupně, jinak při zpracování celého objemu se odplyní na zbytkovou koncentraci CO₂. Výsledné zpracování je sterilací, kdy filtrovaná šťáva se plní do spotřebitelských skleněných obalů, uzavře se korunkovým uzávěrem a steriluje ve sprchovém sterilátoru. Ve šťávě zůstává zbytek CO₂, který v hotovém výrobku není na závadu. Metoda sycení šťáv CO₂ nevyžaduje sterilní prostředí v tanku a v přírodních potrubích, stačí jen mikrobě čistě. Uvedeným postupem se zpracují velké objemy lisované šťávy, která je jen zbavena hrubých nečistot a nemusí být pektolyzována a filtrována před uložením do tanku. Ve srovnání s přímou sterilací ovocné šťávy, pro ukládání do tanku jako polotovaru, je tato metoda málo používána také proto, že tanková hala musí být chlazená na 0-1°C, po ukončení skladování v CO₂ prostředí se šťáva musí zbavit tohoto plynu, na což navazuje technologie zkapalnění CO₂ pro další použití v rámci této technologie.

Konzervace chemickou úpravou prostředí

Tato metoda zahrnuje čtyři okruhy chemického ovlivnění rostlinného materiálu.

- (1) působením **chemického činidla**, které potlačí vegetativní formy mikrobů, méně pak jejich spory a aplikuje se jako čistá chemická sloučenina, která v ošetřovaného hmotě se téměř nenachází a pokládá se za **konzervant**,
- (2) zvýšení koncentrace látek, které jsou **přírozenou součástí rostlinného materiálu** vzniklé kvasným procesem (kyselina octová, etanol) nebo jsou součástí látkového složení (organické kyseliny, jako je kyselina jablečná, vinná, citronová),

(3) **fytoncidy**, jako látkové složky mnoha surovin, které mají zvýšený antimikrobní účinek a přispívají k prodloužení uchovatelnosti v závislosti na přídatném konzervačním principu a projevují se výraznou vůní a chutí,

(4) **antibiotika**, jako metabolity některých mikrobů, mají vůči epifitní mikrofloře smrtivé účinky, které jsou spíše úzko spektrální a omezující se na vybrané konzervářské zákroky.

Konzervace čistými (rafinovanými) chemikáliemi

Přídavek malého množství (je stanoveno hygienickou normou jako koncentrační údaj) v potravě potlačí rozmnožování, a více nebo méně ochromuje jiné životní funkce činidla v závislosti na podmínkách působení, druhu a povahy činidla. Protože se nevyžaduje dokonalé usmrcení mikrorganismů schopných vegetace, mluvíme o **chemoanabiose**, která je charakteristická také rychlostí usmrcování, která není okamžitá, ale blíží se nule. Naopak při **chemoanabiose** (iontové stříbro, formy kyslíku, hlavně ozon) je jejich účinek na epifitní mikrorganismy, okamžitý (snad s diferencí 1-2 minuty), mluvíme o **chemosterilaci**. Chemická činidla jsou ve většině případů mastné kyseliny nebo jejich deriváty, které jsou schopné se adsorbovat na buněčných částech jen v případě, že se nachází v nedisociované formě. Budou-li v buněčné disperzi jako **anionty**, pak jsou v neúčinné podobě. Proto se při jejich použití do polotovaru nebo hotového výrobku musí znát aktuální kyselost (pH), která rozhoduje o disociaci daného činidla.

Chemická činidla působí na mikroorganismy několika **mechanismy** (1) působí na buněčnou blánu mikroba svojí adsorpcí a způsobí její nefunkčnost, tím, že rozpouštějí lipoidní složky buněčné blány (2) pronikne do buňky a ochromuje endoenzymy mikroba a inhibuje cytoplasmatickou membránu. (3) činidla v nadbytku reagují s jednou rozhodující sloučeninou v látkovém systému mikroorganismu (například nukleovou kyselinou) a snižuje jejich počet, což odpovídá průběhu monomolekulárních chemických procesů (nadbytečné činidlo určuje rychlost reakce). (4) činidla upravující prostředí tím, že mikroorganismy zbavují kyslíku, jako je kyselina siřičitá a kyselina askorbová.

Reakční podmínky pro účinnost konzervantů jsou:

- (1) teplota prostředí při použití konzervovadla,
- (2) kyselost prostředí, v němž konzervovadlo působí,
- (3) ústojčivé (pufrovací) účinky prostředí,
- (4) vliv četnosti mikrorganismů.

Teplota prostředí není příliš významná, ale vmíchání konzervovadla do konzervovaného produktu se žádá, aby chemická reakce proběhla úplně, takže teploty 15-25 °C jsou účinnější, než jsou teploty pod 5°C, kdy chemická reakce má nízkou rychlost a činidlo selhává.

Kyselost reakčního prostředí je jednak v tom, že je různá citlivost mikrobů na koncentraci H^+ iontů a kyselost prostředí ovlivňuje účinnost činidel (konzervovadel) podle pravidel disociace organických kyselin.

čínidlo	disociační konstanta pKa	nedosociovaný podíl čínidla v % při pH				
		2	3	4	5	6
kyselina siřičitá	1.76	37	5,5	0,055	0,04	0,001
kyselina salicylová	3.00	90	49	8.VI	0.94	0.001
kyselina mravenčí	3.75	98	85	36.1	1.00	0.56
kyselina benzoová	4.33	99	94	60	13	1.52
kyselina octová	4.74	99	98	84	35	5.26
kyselina sorbová	4.76	99	98	85	36	5.46
kyselina propionová	4.85	100	99	88	42	6.7

Tabulka 11: Disociační konstanty konzervačních činidel

Disociační konstanty pro čínidla (tab. 11) jsou seřazeny podle nejsilnějšího čínidla, které má nejnižší **pKa**. V konzervovaných polotovarech s pH 4 a pH 5 je kyselina siřičitá pokročile disociována (nedisociovaný podíl tvoří 0.55 a 0.04). Teprve v kyselejších prostředích (pH 3 a pH 2) je účinek nedisociované kyseliny siřičité významně vyšší. Běžná kyselost konzervovaného polotovaru se pohybuje mezi pH 3.6 až 2.5, což dostačuje pro jeho konzervaci. Bude-li se zvažovat konzervace kyselinou benzoovou, pak pro stejné pH 3 a pH 2 je podíl nedisociovaného, tedy účinného podílu 99 až 94%, což představuje významnou účinnost tohoto konzervovadla. V technologicky nekyselém prostředí (pH \square 5) jsou běžná konzervovadla prakticky neúčinná s výjimkou těch, které mají velmi malou disociaci (vysoké pKa). Vyjimečnou skupinou sloučenin jsou **parabeny** (zpravidla směs tří esterů, které jsou vázány na karboxyl kyseliny p-OH-benzoové, jako methyl, ethyl a propyl ester kyseliny para-hydroxybenzoové). Jejich disociační konstanta je velmi nízká, takže i v prostředích s pH 5 jsou minimálně disociované a mohou v této formě být aplikované do majonéz, salátů, kosmetických krémů. Pro nekyselé výrobky ze zeleniny a mastné výrobky nejsou prostředky pro chemickou konzervaci. **Kyselina octová**, uvedená v tabulce, není typickým konzervačním prostředkem, ale v prostředí zesiluje účinek kyselosti, zato má specifickým účinek vůči mikrobiálním aminokyselinám, neboť mechanismem konkurenční inhibice nahrazuje jednoduché aminokyseliny v látkové soustavě mikroba.

Ustojivé (pufrovací) účinky prostředí

Prostředí pro mikroorganismy je hrubě disperzní prostředí bohaté na bílkoviny a na koloidy, které jim poskytuje dostatek výživy a mnohdy se musí přidávat vyšší dávky než pro jednoduchá prostředí. Čínidla působící na principu konkurenční inhibice endogenních enzymů tím, že

nahrazují klíčové meziprodukty, mohou být oslabována nadbytkem látek, jímž konkurují, takže účinek mastných kyselin s krátkým řetězcem jsou oslabovány nadbytkem aminokyselin.

Oxid siřičitý má vyšší afinitu k volným aldehydům jako k mikroorganismům, takže se stane, že polotovar (pulpa) mírně nakvašená, bude mít hodně acetaldehydu, takže dávka kyseliny siřičité u přezrálého ovoce selže. **Viskózní roztoky** zpomalují reakční rychlosti obou reagujících složek (mikroba a činidla). V prostředí dochází k reakcím štěpení sloučenin, které mají být zachovány pro inaktivační účinky. Takovými substancemi jsou **antibiotika**, které se chemicky nebo enzymaticky rozštěpí dříve, než mohou být protimikrobně využita. Naopak se při sterilaci se žádá, aby antibiotikum bylo v neštěpené podobě účinné v krátkém období před sterilací. Působí-li na mikroorganismy dvě nebo více konzervovadel, které spolu chemicky nereagují, sčítají se jejich účinky (aditivní efekt) nebo se dostaví zmocňující synergismus, pak jednotlivá činidla působí svými specifickými účinky, které se navzájem podporují. Bude-li kombinace konzervovadla založeného na disociačním efektu a k tomu se připojí látka, která prostředí okyseluje, pak účinek konzervovadla se prokazuje v menších koncentracích. Snížení konzervovadla se očekává při kombinaci konzervovadla s látkou osmoticky působící jako NaCl. Ve vyšším osmotickém tlaku plasmatická membrána mikrobů prostupnější pro škodliviny a postupně zbobtnává.

Vliv četnosti mikroorganismů

Účinnost konzervační dávky závisí na počtu mikrobů a může být vyjádřena průběhem pseudomolekulární reakce, navíc při vysokém nadbytku mikroorganismů se poruší kinetická rovnováha, takže hmoty silně mikrobně zamořené nemusí být očekávaně konzervovány. Rovněž je třeba vzít v úvahu druhou rozmanitost mikrobů, což způsobí, že odolné formy nebudou zasaženy konzervačním činidlem.

Konzervace čistými chemikáliemi

Používají se látky, které se v rostlinách nachází ve velmi nízkých koncentracích, přitom prokazují vysoké antimikrobní účinky a neškodí lidskému zdraví. Nemají v povolených dávkách ovlivňovat organoleptické vlastnosti ošetřené potraviny (polotovaru). Je povoleno konzervovat jen určitými látkami některé kyselé a okyselené produkty přesně za vymezených podmínek. Hlavně jsou to **ovocné polotovary** k výrobě marmelád, džemů, ovocných sirupů a proslazeného ovoce. Jde o ovocnou dužninu, měl (obě se označují také jako pulpa), ovocný protlak (dřeň), vylisovanou ovocnou šťávu (jako chemicky konzervovaná se označuje jako suskus). Z výrobků určených pro přímý konzum se mohou konzervovat nebo přikonzervovat a některé druhy zeleniny v kyselém nálevu, okurky v hořčici, zeleninové protlaky protlaky (rajčatový zahuštěný protlak a z toho vyrobený kečup, jehož pH je < pH 4), stolní hořčice. Konze-

rvant lze těmito chemikáliemi: kyselina siřičitá (hydrogensířičitany, dvojsířičitany), kyselina mravenčí (byla vyloučena r. 2010), kyselina benzoová a její sodná sůl, kyselina 4-hydroxybenzoová a její estery methyl, ethyl a propyl ester, označené jako **parabeny**, kyselina sorbová a sorbát sodný. Povolené koncentrace se podle chemikálie a konzervovaného produktu pohybují od 1 g/kg do 2 g/kg, je nutné upřesnit chemikálii a produkt.

Kyselina siřičitá

Kyselina siřičitá vzniká rozpouštěním SO₂ ve vodě, vysoké koncentrace snadno uvolňují SO₂ do ovzduší, takže se hodí roztok, který nemá vyšší obsah jak 6% pro síření polotovarů. Při této koncentraci je jeho hustota 1,32 g/l. Připravuje se přímým vpouštěním SO₂ do vody, jeho koncentrace se zjišťuje přímým vážením a hustoměrem podle Baumého (°Bé se vyhledají v tabulce). Při použití K₂S₂O₅ se naváží dvojnásobná dávka, při KHSO₃ se naváží trojnásobná dávka (z pyrosířičitanu se uvolní poloviční množství a z kyselého sířičitanu se uvolní jen jedna třetina). Antimikrobní účinnost kyseliny siřičité je daný redukcí dithioskupin mikrobiálních enzymů a v biochemických procesech odnímá aldehydy. Při rozpouštění v kapalném podílu se SO₂ částečně váže na aldehydy a zbytek zůstává jako molekulární H₂SO₃. Kyselina siřičitá disociuje (štěpí se na ionty) ve dvou stupních:



Kyselina siřičitá tvoří dva typy solí: sířičitany a hydrogensířičitany. Ustavení rovnováhy je vázáno na pH v prostředí. Bude-li pH 3,5 a nižší, pak se ustavuje H₂SO₃ v nedisociované formě a tedy mikrobně účinné. Hydrogensířičitany (-HSO₃⁻) mají maximální koncentraci v pH od 3,0 do 5,0, inhibují mikroby jen minimálně, snad některé choroboplodné mikroorganismy, ale jakmile pH > 4, začnou převládat sířičitany (-SO₃²⁺), které jsou mikrobně neúčinné. Proto je nutné ovocné polotovary (protlaky a měli), které jsou málo kyselé, (pH < 3,5) ještě před skladováním okyselit, (nejčastěji kyselinou citronovou). Pro nekyselé hmoty se H₂SO₃ nehodí, protože je zcela disociována. U ovocných druhů při přezrávání se vytváří v s důsledku částečných anaerobních procesů malé koncentrace etanal (**acetaldehydu**), který kvantitativně převládá nad dalšími aldehydy v alifatické řadě (propanal, butanal, hexanal). Acetaldehyd se snadno váže na H₂SO₃ a vytvoří kyselinu aldehyd siřičitou a tato reakce je přednostnější než vazba na mikroby, takže se stane, že u přezrálého ovoce obvyklé dávky síření nebudou dostatečné. Při rozboru účinnosti vůči běžné mikrofloře jsou koncentrace H₂SO₃ od 400 mg/kg až po 1000 mg/kg velmi účinné vůči plísním a dalším aerobům, kdežto kvasinkám a bakteriím škodí méně výrazně. Ztráta barviva v plodu (odbarvující schopnost) SO₂ se vztahuje k barevným anthokyanům, kde se váže adičně na barvivo a vytvoří se bezbarvá složka. Tak se stane, že jahody zalité do konzervačního nálevu s 1 g/kg H₂SO₃ jsou zcela bezbarvé a barevný

ton se částečně vrátí při tepelné desulfidaci. Zahřátím na teploty 90-95°C vede ke ztrátě SO₂ a neúplné obnově barevného tónu. Pokud byl polotovar silně zasiřený, pak zbytkový SO₂, který se neodstraní tepelnou desulfidací, zůstává v polotovaru a uvolní se až po delším období. Sensoricky vnímaný zbytek SO₂ bude v koncentracích vyšších jako 20 mg/kg. Těkavost SO₂ je dobrou vlastností pro tepelnou desulfidaci, kdy se v zahřátém polotovaru čichem nad povrchem hmoty zjistí SO₂. Naopak sušené polotovary i v teplotách sklepních (5-7°C) ztrácí SO₂ samovolným odpařením, takže v polovině doby uchovatelnosti polotovaru se kontroluje dávka konzervovadla (např. stanovením SO₂ podle Rottenfusera) a následně se přidá odpařený podíl konzervovadla.

Kyselina mravenčí

Kyselina mravenčí byla vyjmuta se seznamu povolených konzervantů, přesto lze poukázat na několik vlastností, kvůli nimž jednoznačně používala. Kyselina mravenčí je jedna z nejsilnějších organických kyselin ($pK_a = 3,75$) v oblasti antimikrobní účinnosti. Kapalina vře při teplotě 100,8°C, takže při odpařování konzervované hmoty se pak odstraní stejné množství jako vody. Mechanismus účinku kyseliny mravenčí se týká reakcí s plasmatickou membránou buňky a konkurenční inhibice endoenzymů, kde vstupuje, vzhledem k malé molekule, do endogenních reakcí, čímž ruší jejich biochemický sled. Vyžaduje pro svoji konzervační účinnost kyselé prostředí, jemuž dobře odpovídají ovocné šťávy. Kyselina mravenčí, na rozdíl od SO₂, nemá odbarvující schopnosti, takže se velmi hodí pro barevné šťávy, jako je višňová, borůvková, brusinková, jahodová. U tohoto činidla je zřejmá hydrolytická vlastnost na zahušťující látky jako jakou pektiny, což způsobí po delším stání polotovaru, který má být v budoucnu želírovaný (pro výrobu marmelády a džemů), že budou chybět nativní pektiny.

Kyselina benzoová a její soli

Kyselina benzoová je slabá organická kyselina s bodem varu 124°C, ve vodě je nerozpustná, ale dobře se rozpouští v alkoholu. Povolená konzervační dávka jsou 2 g /kg, pro konzervaci polotovarů se používá benzoan sodný, který je ve vodě dobře rozpustný, jehož konzervační dávka je 2,4 g/kg. Při hodnocení její účinnosti na mikroorganismy se uplatňuje na cytoplasmatické membráně mikroba. Ve sledu reakcí se včleňuje do vazeb s aminokyselinami a konkurenční inhibicí se potlačuje původních sled biochemických reakcí. Kyselina benzoová je slabou organickou kyselinou, která pro svoji disociaci nepotřebuje příliš kyselé prostředí, ale i tak nesmí pH se zvýšit na $pH \geq 4,0$. Bude-li pH kyslejší ($pH < 3,5$) pak je účinná pro potlačení kvasinek a plísní. Na bakterie v tomto kyselém prostředí působí už rovněž účinně, i když bakterie jsou ve srovnání s plísněmi a kvasinkami mírně odolnější. Nekyselé hmoty se nedají kyselinou benzoovou konzervovat ($pH \geq 5,5$). Vyšší konzervační dávka (ovocné šťávy) se pozná

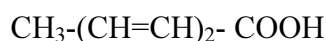
škrablavou chutí na kořenu jazyku. Konzervace benzoanem sodným se provede vmíchání vypočtené dávky do objemu polotovaru (často se používá 16 % roztok benzoanu sodného). Pokud se polotovar konzervuje více, než odpovídá hygienické normě (protlak), pak při svařování na hotový výrobek (marmeláda) dochází při svařování k relativnímu zahušťování kyseliny benzoové (zvýší-li se sušina zahušťované hmoty 3 x, pak koncentrace kyseliny benzoové se zahustí 2,7 x). V tomto případě je vhodná křížová konzervace, kdy se použije dvojice konzervovadel – kyseliny benzoové a kyseliny siřičité, každý podíl s poloviční koncentrací konzervovadla, takže při svařování polotovarů s cukrem, kyselina siřičitá odtěká a zůstane poloviční koncentrace druhého konzervovadla.

Estery 4-hydroxybenzoové kyseliny

Toto konzervovadlo je ještě méně disociované než kyselina benzoová (zeslabení je hydroxylem na 4 uhlíku benzenového jádra) a navíc se karboxylová skupina esterifikuje nejnižšími alkoholy – methylovou, ethylovou a propylovou skupinou, což ještě více snižuje disociaci konzervovadla. Konzervovadla jsou ve vodě málo rozpustná, ale zato jsou rozpustná v ethanolu, což se použije do vodných roztoků (heterogenních směsí) při dávkování na konzervační dávku (0,5-1,0 g/kg). Konzervované hmoty vodné i tukové mají pH 5 až 7.

Kyselina sorbová a její soli

Kyselina sorbová je chemicky hexadienová kyselina, tedy se dvěma dvojnými vazbami.



Karboxylová skupina je málo disociována, což umožňuje použití konzervovadla do hmot, které mají hraniční pH 4. Platí zde obecné pravidlo, že kyselejší hmota může být konzervována menšími dávkami. Kyselina sorbová je vhodná pro inhibici kvasinek a plísní, zejména těch, které produkují mykotoxiny (*Aspergillus*, *Byssochlamys*), naopak na mnoho bakteriálních rodů (*Clostridium*, *Acetobacter*, *Lactobacillus*, *Staphylococcus*) je neúčinná. Kyselina sorbová, podobně jako kyselina benzoová je ve vodě nerozpustná, proto se používá její draselná sůl, která svojí rozpustností ve vodě vyhovuje. Pro kvasinky a pro plísně je vyhovující pH < 4,5, kdy dostačuje 0,4-0,8 g/kg, při pH 4,0-5,0 je účinnější jak kyselina benzoová, při pH ~6,0 ztrácí svoji konzervační účinnost, podobně jako kyselina benzoová. Délkou uhlíkového řetězce je 1/3 mastné kyseliny pocházející z lipidu, takže její rozklad je podobný lipidovým mastným kyselinám. Rovněž se předpokládá menší zdravotní škodlivost a kombinace kyseliny sorbové s termosterilací. Ve vinařské technologii sloužila kyselina sorbová pro stabilizaci vína (možné nakvácení hotového vína v sudech nebo i po lahvování).

Využití chemických konzervovadel

Rafinované chemikálie jsou omezeny hygienickými předpisy, v maximální povolené koncentraci jsou jejich vlastnosti spojeny s některými změnami konzervovaného polotovaru a hotového výrobku. Prvním předpokladem je kyselé prostředí, v němž mají být účinné a stupeň disociace daného činidla. Konzervanty snadno se disociující, vyžadují více kyselé prostředí. Pro málo kyselá a nekyselá prostředí je nespokojivá skladba konzervantů, s jistou tolerancí vyhovují parabeny, i když jejich účinnost na technologické skupiny mikroorganismů se liší. Používaná činidla do jisté míry ovlivňují jakost potraviny, změnou chuti (kyselina benzoová, kyselina siřičitá, kyselina mravenčí, parabeny), vůni (kyselina siřičitá), barvy (kyselina siřičitá, kyselina benzoová). Jistou výhodou je jejich snadná technologická jednoduchost a rychlost aplikace do hmoty. Dlouhodobou tendencí je jejich omezování ve výrobě a s přiměřeným konzumem konzervovaných potravin.

Konzervační vlastnosti látek jako přirozených složek potraviny

Tyto sloučeniny jsou v koncentracích několika procent a vznikly biologickými procesy (alkoholické kvašení, mléčné kvašení), ostatní druhy kvašení jako octové kvašení máselné kvašení jsou hospodářsky významné i když s negativními vlivy na jakost produktu (máselné kvašení). Konzervují teprve v několikaprocentních koncentracích, jedná se o kyselinu mléčnou, ovocné kyseliny a ethanol.

Prostředí etanolu vzniká v ovocných hmotách záměrným kvašením nebo přidavkem lihu, které byl připravený biologickou cestou (čistý líh má až 96% koncentraci) a odpovídá potravinářské normě pro alkoholizování ovocných hmot. Inaktivace patogenních mikroorganismů jako je *Salmonella typhi* začíná již při 8 %, *Serratina marcesces* při 5% a *Vibrio cholerae* při 3 %. Aerobní mikroorganismy, jako octové bakterie a křísové kvasinky, jsou vůči etanolu odolnější, ale výhodnou obranou je vytvoření anaerobních podmínek jako je uzavření lihové kapaliny víkem nebo vzduchotěsnou uzávěrou. V koncentraci alkoholu 13-14 obj % je dostatečná ochrana před epifitní mikroflorou. Zbytkový cukr ve víně a přítomný etanol vytváří přirozenou obranu proti rozkladným dějům, takže vyšší obsah alkoholu může doplňovat nižší extrakt, v němž je přítomný zbytkový cukr. Ovocné šťávy nebo kusové ovoce v cukerném roztoku o koncentraci 20°Rf s přidavkem etanolu (bowle) se připravují sezónně.

Prostředí organických kyselin může hmotu ochránit před rozkladnými procesy jen za určitých okolností a na omezenou dobu. Ovocné kyseliny (kyselina jablečná, kyselina vinná, kyselina citronová) jsou součástí látkového složení ovoce, vytváří kyselost, vyjádřenou pH a měří se analyticky jako titrační kyselost. Kyselina octová, kyselina mléčná vznikají mikrobiální činností ze zásobních substrátů a rovněž se podílí na kyselosti a titrační kyselosti. Bakterie

s výjimkou mléčných bakterií nesnáší kyselé prostředí (pH <4), kdežto kvasinky, plísně a acidofilní bakterie budou zastaveny ve svoji činnosti při mnohem kyselejším prostředí, kterého lze dosáhnout okyselením vhodným acidulantom (je to organická kyselina s $pK_a < 2,0$), u zeleninových druhů dostačuje 1,0-1,5 % jako titrační kyselost. Koncentrace organických kyselin může být ohrožena acivorními mikroorganismy, které mají kyselinu vinnou, kyselinu jablečnou jako zdroj svojí výživy a prostředí odkyselují (hlavně plísně). Proti těmto mikrobům je obrana okyselením s doplňujícími účinky přidavku soli a omezení přístupu vzduchu (příp. zavedení anaerobních podmínek). Mykostatické účinky má nejvyšší kyselina octová (0,048%), kyselina mléčná (2,1 %), další kyseliny (citronová, vinná, jablečná) samy v prostředí potřebují koncentraci 5-15%). Účinnost kyselin se zvyšuje je spojení s doplňujícími konzervačními zátky jako je přidavek soli a nízká teplota. **Kyselina octová** je vůči mikrobům účinná konkurenční inhibicí, k níž nahrazuje jednoduché aminokyseliny v enzymových reakcích, její přidavek do prostředí snižuje pH, neboť má přiměřeně vysokou disociační konstantu $pK_a = 4,74$, ale chuťová snesitelnost je do 3%. Vysoká konzervační účinnost se očekává až při 6 %, v níž odolává acidofilním mikrobům, jako jsou plísně. Marinování je technologický postup, v němž se kombinuje účinek okyselovačů, nejčastěji kyseliny octové, s účinkem soli a nízké teploty (3-5°C) a přidavkem chemických činidel jako je kyselina siřičitá. Marinované zelí je polotovarem, který vznikne vrstvením zelné krouhanky s marinovacím nálevem, který obsahuje 4% soli, 5% octa a 0,5 % kyseliny siřičité, přičemž podíl marinovacího nálevu na výsledné hmotnosti marinády je 30%. Po 3 týdnech v teplotě do 20°C se marináda scezuje, opatří se diferenčním nálevem (podle rozboru marinády) a steriluje se ve spotřebitelských obalech. Samotné okyselení má omezenou dobu trvanlivosti, které se může podpořit přidavkem koření. **Kořeněné octy** se připravují vyloužením koření, jako je hřebíček, hořčičné semeno, anýz, nové koření, estragon, zázvor, bobkový list, v 10 % octu po dobu 21-28 dnů a spíše se používají do sladkokyselých nálevů pro sterilované zeleniny.

Antibiotika

Antibiotika jako samotné konzervovač bylo předpokládáno proto, že jsou v podstatě úzko spektrální a pro postižení epifitní mikroflory by se muselo uplatnit více antibiotik. V úvahu přichází jen ta, která jsou neškodná pro člověka, nesmějí poškodit mikroflóru trávicího traktu a rozloží se již při přípravě potraviny. Nesmějí být použity ve zdravotnictví a jakkoliv, ani nepřímě nesmí ovlivňovat terapeutickou upotřebitelnost jiných antibiotik. Použít se mohou dvě antibiotika – nisin a subtilin, ostatní se uplatňují při zpracování masa. **Nisin** je jednoduchý polypeptid, která produkuje *Streptococcus lactis*. Zvláště zřetelně inhibuje četné druhy rodu *Bacillus* a *Clostridium*. Mimo to potlačuje i řadu mléčných bakterií, např. *Lactobacillus plan-*

tarum, ale také *Bacillus stearothermophilus* a *Clostridium thermosaccharolyticum*. Nisin sám o sobě nemůže zajistit plnou odolnost potravin vůči jakýmkoliv mikroorganismům. Nekyselá konzerva jako je hrášek ve slaném nálevu se steriluje s přídavkem nisinu (5 mg/kg), takže se výška sterilační teploty nemění (120-125°C), ale doby výdrže této teploty jsou na úrovni 75 %. **Subtilin** je rovněž jednoduchý peptid produkovaný bakterií *Bacillus subtilis*, který je rozpustný ve vodě a snáší kyselé prostředí a var. Účinně potlačuje sporuláty, kteří přežili nedostatečný záhřevem málo kyselých konzerv. V hráškových a fazolkových konzervách se přidává do slaného nálevu těsně před sterilací v dávce 10-20 mg/kg. Konzervační aplikace antibiotik se bude vztahovat k prodloužení uchovatelnosti některých surovin v potlačování odolných forem mikrobů objevujících při záhřevech nekyselých potravin.

Fytoncidy

Fytoncidy jsou dlouhodobě známé látky s inhibičním účinkem na mikroorganismy. Tyto sloučeniny, které jsou přirozenou součástí mnohých zeleninových druhů, jako je křen, hořčice, česnek, které jsou všeobecně známy, ale koriandr, hřebíček, skořice, nové koření, které jsou součástí macerátu pro nálevy na okurky, další sterilované zeleniny a míchané zeleninové saláty. Pachově významné fytoncidy se sensoricky snáší spíše se zeleninovými druhy a masitými výrobky než s chutí výrobků z ovoce. **Alicin** (allylester kyseliny allylthiosulfínové) je chemicky disulfid se třemi uhlíkatými řetězci navázanými na dva atomy síry. Je obsažen v cibulích z česneku a uvolní se až po mechanickém rozrušení cibulí. Jeho obsah i po jednom roce uvolňuje dostatek fytoncidu. Rozetřený česnek má inhibiční účinky na choroboplodné a hnilobné mikroorganismy. Vodný roztok, který je dlouhodobě nestálý, ale těsně po přípravě inhibičně působí v poměru v 1 : 10⁵.

Allylisothiokyanatan je obsažen v hořčici a křenu. V čerstvě homogenizované surovině není stálý a po hydrolyze se uvolní CO₂, H₂S a allylamin. Cidní vlastnosti allylisothiokyanatu jsou v poměru 1:10⁶ na choroboplodné mikroorganismy a plíseň *Aspergillus niger*. Použití fytoncidů má lepší vyhlídky, než antibiotika, protože jsou chuťově výrazné a mohou být spolu konzervujícími činiteli ve formě extraktů z koření, které se použijí až po náležitém zředění.

Mléčné kvašení

Mléčné kvašení je sled postupných mikrobiálních dějů, které ve svém celku tvoří metabiosu, s postupným okyselením prostředí a tvorbou plynu. Mléčné kysání má znak tvorby kyseliny mléčné a dalších vedlejších produktů, aniž by vytvářela plynná složka. Bakterie mléčného kvašení vytváří z cukru kyselinu mléčnou jako ochraňující sloučeninu před účinky jiných mikroorganismů. Kvašením vytvořená koncentrace nestačí pro úplnou konzervaci a synergicky

působí vedlejší produkty jako je **kyselina octová**, částečně **etanol**, případně **antibiotika**, jejich obsah se očekává, ale přímo se nezjišťuje. Vznik této směsi kvasných produktů vytvoří rozdílné rody mléčných bakterií, objevující se v metabiose v různých časových úsecích a jejich látkový metabolismus má podíly kyseliny mléčné a kyseliny octové, takže ve svém výsledku se podíl kyseliny octové ve vztahu ke kyselině mléčné objevuje v poměru 1:3. Obsah etanolu, který nepřevyšuje 0,5 obj % se tvoří až na závěr metabiosy, kdy kvasná hmota je dostatečně kyselé a umožňuje kvasinkám se částečně rozvinout. Obsah etanolu sice přispívá k jeho konzervačnímu účinku, ale snadno se esterifikuje s organickými kyselinami (etyl estery kyseliny valerové, kapronové, kaprilové), které ovlivňují vůni kvašeného výrobku. Metabiotické procesy probíhají za anaerobních podmínek. Do kvašené hmoty se ihned na počátku kvašení přidává sůl, která svým osmotickým tlakem uvolňuje z kvašené hmoty šťávu, ale také v koncentraci 1,5-1,7 % vylučuje z kvasného pochodu hnilobné a choroboplodné bakterie. V zásadě jen málo zpožďuje bakterie mléčného kvašení a kvasný proces není v zásadě ovlivněný.

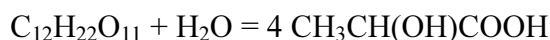
Metabiosa mléčného kvašení

Metabiosa mléčného kvašení je hlavním biologickým faktorem pro průběh kvasného procesu, jehož kritériem je okyselování prostředí. Kvasná hmota, která na počátku má pH 5,5-6,5 se postupně okyseluje až na pH 3,5 – 2,5. Zdrojem kyselosti je zvyšující se koncentrace kyseliny mléčné, ale i octové, která je v nižší koncentraci. Metabioza může pokračovat, byť v nežádoucí podobě, fází odkyselovací, která znehodnocuje dosaženou jakost kvašeného výrobku.

Metabioza je souborem složitých dějů, u níž dochází k souhře i protikladu druhů a širších skupin mikrobů, mezi nimiž musí převládnout užitečné laktobakterie, zvláště ty druhy tohoto rodu, které bez vedlejších sloučenin přeměňují monosacharid jen na kyselinu mléčnou. Rychlost okyselování musí být rychlá proto, aby se překlenula fáze, kdy by hmota mohla projevat hnilobné průběhy, případně se na povrchu vytvářet plísňový povlak, což zásadně svědčí o hrubém opomenutí v přípravné fázi kvašení. Druhým porušením metabiosy pro získání kvalitního výrobku je *máselné kvašení*, které vyplývá z toho, že hmota je dostatečně odvzdušněna, ale okyselování je zpomaleno, vyjádřené hodnotami pH 4,2-4,7, které je příznivé pro rozvoj clostridií máselného kvašení. Obě nebezpečí v průběhu metabiosy v podstatě nehrozí, bude-li produkce kyseliny mléčné dostatečně rychlá.

Látkové složky v metabiose mléčného kvašení

Chemické přeměny pentoz , hexos (monomérů, dimérů) a alkoholických cukrů na kyselinu mléčnou probíhá efektivně přímou přeměnou na kyselinu mléčnou. Štěpení jednoho molu glukózy se vytvoří 2 moly kyseliny mléčné. Pokud se bude spotřebovávat disacharid pak

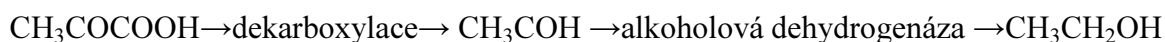


pak vzniknou 4 mol kyseliny mléčné, označuje se jako *homofermentativní* (čistě) mléčné kvašení. Přeměna se projevuje až na konci metabiozy a uplatňují se rod *Lactobacillus*, který netvoří jiné látkové složky. V první fázi pěnivé se projevuje smíšení (heterofermentativní) kvašení, které kromě kyseliny mléčné vytváří kyselinu octovou, CO₂ a etanol. Původci jsou z rodu *Laktobacillus*, *Streptococcus* a *Bakterium*.



Při nečistém mléčném kvašení vznikají kromě uvedených sloučenin také vodík a další páchnoucí sloučeniny. Toto kvašení se projevuje v první, přípravné fázi také za vzniku kyseliny jantarové

$2C_6H_{12}O_6 + H_2O = CH_3CH(OH)COOH + COOH(CH_2)COOH + CH_3COOH + CO_2 + C_2H_5OH + H_2$
Biochemicky je vznik kyseliny mléčné shodný anaerobní glykolýzou s alkoholickým kvašením až po vznik kyseliny pyrohroznové, kdy:



Z kyseliny pyrohroznové se dekarboxylací vytvoří malý podíl acetaldehydu, který se dehydrogenuje na etanol. Proto za aerobních (mikroaerobních) podmínek se vytvoří acetaldehyd, který se přemění na etanol, také záleží na příslušném mikrobu, zda vznikne. Bude-li prostředí anaerobní, pak se kyseliny pyrohroznová hydrogenací přemění na kyselinu mléčnou



Přípravná fáze metabiozy

V této fázi jsou přítomny všechny formy mikroorganismů a v prostředí, kde je dostatek zásobních látek, hlavně monomerů, přitom nejsou přítomny organické kyseliny a pH prostředí je 6,5 až 7,0. Technologicky je surovina připravena ke kvašení, buď jako krouhanka (což se užívá u zelí) nebo jiná forma úpravy (drť u červené řepy) nebo u plodové zeleniny se čerstvá hmota (málo kdy blanširované a znovu zakvašená) zaleje solným nálevem, v případě krouhanky se prosypává solí na požadovanou koncentraci. Hned od počátku je hmota buď sešlapována a nadále udržována v uvolněné šťávě nebo se zalévá (plodová zelenina) solným roztokem tak, aby se vytvořily anaerobní podmínky. Ve hmotě se začnou množit rozličné typy mikrobů, kterým podmínky vyhovují, mezi nimi i bakterie mléčného kvašení. Typické kvašení je zprvu zastřeno smíšenými kvasnými procesy, především heterofermentaticními bakteriemi ze skupiny *Bacterim* (*Escherichia coli*) a *Bacterium* (*Aerobacter*) *aerogenes*. Průběh kva-

šení je typický tvorbou pěny, protože tyto bakterie vytváří dostatek CO₂, případně jiných plynů. Skupiny mikroorganismů v metabiose členěné podle pH

<u>skupina mikrobů</u>	<u>pH</u>
- hnilobné bakterie	7,0 - 6,0
- sporulující aerobové	6,0 - 5,5
- bakterie coli aerogenes	5,5 - 4,5
- bakterie máselného kvašení	4,2 - 4,7
- bakterie mléčného kysání	3,5 - 4,2
- kvasinky	3,5 - 2,5

Na počátku pěnivé fáze se může pozorovat v důsledku malého množství kyslíku tvorba málo znatelného bílého povlaku mikrobů z rodu *Oospora*, *Mycoderma* a *Torulopsis*. Do skupiny *coli aerogenes* se řadí *Bacterium brassicae acidae*, která je vysloveně heterofermentativní a tvoří větší obsah kyseliny octové, málo kyseliny máselné a kyseliny mravenčí. Dlouhotrvající činnosti *coli-aerogenes* se brání praním suroviny (předmáčením okurek). Ochranou proti všem mikrobům pěnivé fáze je zavedení co nejvyšší rychlosti okyselování pod pH<4,2, kdy se rovněž potlačuje máselné kvašení (bakterie máselného kvašení mají optimální pH 4,2-4,7) a převládnu mléčné bakterie. Naopak zpomalení procesu okyselování, kdy v prostředí už se kyslík vyčerpá, pak clostridia máselného kvašení, které jsou přísně anaerobní, by mohly být dominantní. Většina mléčných bakterií jsou tolerantní ke zbytkům kyslíku, takže jeho minimum v kvasící hmotě neomezuje jejich činnost. Jakmile v kvašené hmotě bude dosaženo pH<4,2 je kyselina mléčná a také kyselina octová v dostatečné koncentraci, pak prostředí se stává vhodným pro rozvoj kvasinek, které produkují 0,5 - 1,0 obj.% etanolu. V této souvislosti se uvádějí druhy *Saccharomyces minor*, *Saccharomyces cerevisiae* a příslušníci rodu *Torulopsis*. Etanol v kvasné hmotě nezůstává volným a snadno se esterifikuje s přítomnými organickými kyselinami v homologické řadě od kyseliny mravenčí až po kyselinu kaprilovou, vzniklé estery dávají kvašené hmotě vůni.

Nežádoucí změny v přípravné fázi

Jak bylo už zdůrazněno, kvasný proces musí být dostatečně rychlý, hodnocený tvorbou hlavních produktů, které se podílejí na snižování pH až na úroveň plné kyselosti. Nežádoucí s děje se týkají: hnilobných procesů, máselného kvašení a plesnivění a tvorby křísu.

Hnilobné děje mají svůj počátek už při pH 6-7, kdy v prostředí se nachází bakterie ze skupiny *Bacillus proteus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus mesentericus*, které v případě většího výskytu rozkládají bílkoviny za vzniku páchnoucích sloučenin. Přirozenou preventivní ochranou je rychlé okyselování kvašené hmoty (teplotou, obsahem sacharidních látek, anaerobním pro-

středím), ale v případě hrášku fazolí, krouhané kapusty, které mají vyšší obsah bílkovinných sloučenin, které spolu s jinými mají ústojčivé vlastnosti, je velmi účelné hmoty přisladit, ale i přikyselit. U okurek, zelí, červené řepy, které jsou sacharidní suroviny, se kyselý průběh kvašení prosadí, zejména tehdy když bude optimální teplota. Tvorba odpuzujících sloučenin a hnědé barevné tony spojené s výrazným měknutím, což jsou průvodní znaky hnilobných procesů, nesmí nastat. **Máselné kvašení** se projevuje vysokým pěněním, protože rozkladem 1 molu monomeru cukru nebo rozkladem 2 mol kyseliny mléčné se produkuje 1 mol CO_2 a 1 mol H_2 . Vedle tvorby plynů se projevuje silný zápach po kyselině máselné a nepřírozně žlutá barva hmoty. Zeleninové druhy jsou k máselnému kvašení různě citlivé, náchylnost je v určité závislosti na obsahu bílkovin ve kvašené hmotě, jejich vyšší obsah spíše nahrává k pozvolnější produkci kyseliny mléčné. Pro rychlé překlenutí tohoto kvašení u hrášku, fazolky, květáku a kapusty se musí dbát na rychlé mléčné kvašení a případné přikyselení hmoty. Příznačný je teplotní vliv 35-41°C, který podporuje máselné kvašení. **Tvorba křísu** na povrchu kvašené hmoty souvisí s přístupem vzduchu, který umožní rozvoj plísní a křísových kvasinek. Tyto mikroby zavádějí podmínky pro různé formy rozkladu tím, že spotřebují už vznikající kyselinu mléčnou. Bude-li hmota udusána a na povrchu, bude solný nálev nebo plodová zelenina bude řádně zalita solným nálevem, pak nedochází k odkyselování.

Hlavní fáze kvašení

Hlavní fáze se vyznačuje dvěma znaky – vytvořily se anaerobní podmínky a prostředí je dostatečně kyselé s $\text{pH} < 4,2$. V dalším průběhu se projeví typické kysání (proces bez tvorby plynné složky), které musí být podporovány několika podmínkami (teplotou, anaerobností prostředí, kyselostí prostředí, přítomností cukrů, přítomností bílkovin a vodou a přísadami).

Teplota kvašení rozhoduje o rychlosti kvasného procesu a jeho čistotě. Optimální teplota je v rozmezí od 15 do 27°C, vyšší teplota 27-35°C podněcuje octové kvašení a dokonce teploty 41-50°C vedou k rozsáhlému máselnému kvašení. Naopak budou-li teploty pod 15°C, pak je mléčné kvašení zpomaleno a může se i zastavit v případě, že kvašená hmota je hluboce podchlazena v zimním období, a tím se prodlužuje dobu kvašení. V pozdním podzimu mají být zásobníky zelí udržovány v teplotě 10-15°C, což se zajistí ve větraném skladu. Mnohdy se doporučuje rozkvasit zeleninu při co možná optimální teplotě a k dokončení procesu a ke skladování ji uložit do prostředí chladnějšího jak 10°C. Kvůli velikosti kvasných nádob, i těch, které jsou mobilní, se přesuny nemohou provést. Teplota zásadně ovlivňuje rychlost kvašení, které bývá ukončeno za 7-14 dnů, v podzimním období za 3-4 týdny.

Anaerobnost prostředí se zásadně vyřeší v přípravné fázi kvašení, kdy se hmota po prosypě solí a stlačuje se a nebo zaleje solným nálevem. Laktobakterie jsou fakultativně anaerobní,

aerobní podmínky podle okolností snáší, škodlivé clostridia vyžadují úplně anaerobní podmínky při pH 4,2-4,7. Kyselost prostředí v metabiotickém procesu dosáhne pH 4,2-3,5, stane se účinkem mléčných bakterií a za přiměřeného obsahu cukrů. Přikyselování organickými kyselinami nebo syrovátkou se spíše hodí pro suroviny, u nichž by pozvolné okyselování se mohlo mírně zlepšit. Přítomnost cukrů je nutná pro vznik kyseliny mléčné, pro sacharidní suroviny jako jsou okurky, hlávkové zelí, červená řepa je obsah cukrů dostačující pro rychlý kvasný proces, ale v případě skladovaného zelí v chladírnách po dobu několika měsíců bude nutné krouhanku na počátku kvašení přisladit řepným cukrem o 2-3%. Zeleniny nikterak bohaté na cukry a naopak bohaté na bílkoviny jako jsou kapusta, hrášek, fazole, květák lze účelným přisladením zlepšit podmínky pro správný vývoj mléčného kvašení, snad i napravit slabé okyselování. Přítomnost bílkovin pro kvasný proces může znamenat zpomalení kvašení. Zpracuje-li se zelenina bohatá na bílkoviny s proteolytickými enzymy, vytváří se ústojčivé prostředí, v němž se podporují nevídané procesy, které ve svém důsledku mohou snižovat kvalitu kvašené hmoty. Hluboký rozklad bílkovin v tomto kvašení by zvyšovalo pH prostředí a oslabovalo vzniklou kyselinu mléčnou. Ochranným opatřením může být okyselení na hranici optimálními okyselení. Mají-li se inaktivovat proteolytické enzymy, pak jediným opatřením je krátké povaření krouhanky, její zchlazení a nové zaočkování čistými kulturami mléčných bakterií. Tvrdost vody a přísady souvisí s nálevem na okurky, v němž obsah celkové tvrdosti nemá překročit 15°něm (voda středně tvrdá). Kuchyňská sůl má selekční účinky na povrchovou mikroflóru. Koncentrací 1,5-1,7 % inhibuje choroboplodné, hnilobné mikroorganismy a bakterie odkyselující, ale mléčným bakteriím mírně zpomaluje životní funkce a zásadně jim však neškodí, což ve svém důsledku vede k hlubšímu prokvašování. Fytoncidní látky z přísad cibule, česneku, křenu, papriky zlepšují chuť, ale v zásadě nezpomalují kvasný proces. Při vyšším podílu fytoncidních přísad u okurek rychlokvašek je zpomalené kvašení znatelné.

Závěrečná fáze kvašení

Závěrečná fáze označuje další metabolické fáze na sebe navazující, které jsou odkyselující a snižující dosažené pH ve fázi hlubokého prokvašování. Následné děje snižují trvanlivost prokvašené hmoty. Odkyselující mikroby jsou *Oospora lactis* a kvasinky z rodu *Mycoderma*, které spotřebovávají kyselinu mléčnou a kyselinu octovou a křísové kvasinky mají jako substrát etanol. Na povrchu vykvašené hmoty se tvoří křís jako bílý povlak, který časem zesílí a začne se propadat do nálevu. Od počátku se sbírá z povrchu a nahrazuje se 2%-ní solí. Ochranným prostředkem je nízká teplota skladování (5-7°C), ale v málo chladných skladech nedostatečně brání tvorbě křísu. Další odkyselování nad pH, >4,2 je už prvním stupněm rozkladu, kdy se uplatňují clostridia máselného kvašení, kterým dostačuje anaerobní prostředí,

ale snižují kyselost a hlavně začíná hmota zřetelně páchnout. Dosáhne-li $\text{pH} \leq 5,0$, začínají v hmotě hnilobné procesy, která zcela zásadně hmotu znehodnocují. Bakterie octového kvašení se v rozkladných procesech neuplatňují, protože v prostředí chybí dostatek etanolu. Ve fázi tvorby křísu se skladovaná hmota musí zpracovat jinými konzervačními postupy.

Vady kvašeného zelí

Tmavnutí kvašeného zelí se projeví při vysoké koncentraci soli, která nebyla v krouhance rovnoměrně rozprostřena. Tmavé vrstvy jsou také v místech, které nebyly zality nálevem. Růžovění kvašené hmoty nastane v důsledku kvasinek rodu *Torula*, které vegetují za přístupu vzduchu. Měkká konzistence krouhanky je v důsledku nízké koncentrace soli, vysoké kvasné teploty a volného přístupu vzduchu během kvasného procesu. Máselné kvašení je nenapravitelnou chybou v kvasném procesu, krouhanka je žlutá, odporně páchne a je měkká.

Zpracování vykvašené hmoty

Vykvašená hmota je polotovarem, který se technologicky upraví balením do PE folie, sterilací, nakládáním (přídavkem chemického konzervovadla). Při plnění zelí do sáčků z plastických hmot se použijí plničky, které odděleně plní pevný podíl a nálev, kterého může být max. 20%. Sterilovaná cibulka z kvašeného polotovaru se pere ve vzduchové pračce, případně se blanšíruje, plní do obalů zaleje sladkokyselým nálevem a steriluje. Mléčně kvašený květák se vybírá z kvasných nádob, pere se ve vzduchové pračce, blanšíruje se s přídavkem 0,5% kyseliny citronové, zchladí se studenou vodou, zaleje sladkokyselým nálevem a steriluje se. Kvašené okurky (jejich podíl se snižuje, protože se dává přednost sterilovaným okurkám) se píchají (při kvašení lépe unikají plyny a nezpůsobí se dutost okurek) a ukládají do obalů (lépe z plastových hmot jak dřevěných), zalévají se 5-9% solným nálevem s přídavkem sorbátu sodného 0,2-0,25 %. Tlumí se rozvoj nežádoucí mikroflory (klostridií máselného kvašení), měknutí okurek a prodlužuje se trvanlivost prokvašeného výrobku. Po vykvašení se skladují v chladnu a dolévají slanokyselým nálevem (2 % soli a 1 % kyseliny octové), aby nedocházelo vláčkovatění nálevu a měknutí okurek. Z polotovaru se vyrobí nakládané okurky tak, že se uloží do sklenic, zalijí sladkokyselým nálevem, který místo cukru obsahu umělé sladilo a konzervovadlo, pokud se nepřidalo při kvašení. Pevné plody se ukládají do sladkokyselého nálevu a sterilují se při 65-70°C. Kromě okurek také jiné zeleniny mléčně prokvašené se po fázi kvašení ukládají do kyselých nálevů s přídavkem sorbátu nebo benzoanu (tradiční označení čalamáda). Místo konzervovadla se použije sterilace, které se dává přednost.

Kvašené zelí

Odlisťování hlávek se odstraňují povrchové listy (zavadlé, znečištěné, tvrdé vnější přečnívající listy), košťály se vyvrtávají, protože při řezání vytváří široké plochy. V řezačce se vytvoří

jemné řezy o tloušťce 1-2 mm. Krouhanka se ve vrstvě 20-40 cm jemně prosolí na koncentraci 1,5-1,7 % a po vrstvách se prošlapává v kvasných kádích (betonové nádrže s povrchovou vrstvou odolnou vůči kyselému prostředí) V první fázi kvašení se tvoří plyn, které nadzvedávají kvasný koláč, proto od počátku je hmota zatížena, Bude-li mít povrch pravidelný tvar, tak se hodí plastové polštáře o výšce 20 cm, které jsou naplněny vodou. V protilehlých rozích jsou perforované roury pro odvod plynů. Zelí z kádí se vybírá vidlemi nebo drapákem na scezovací síto a kromě transportních soudků, které už málo využívají, se plné do plastických folií s přídavkem zelné šťávy, octu a silu v podílu do 20%. Připravený výrobek není dostatečně stabilní a snadno nakvasí, takže se použije zelí dobře prokvašené a před plněním do plastického obalu se pasteuruje na teploty do 72°C. Nadbytečná zelná šťáva je bohatá na minerální látky a vitamin C, proto se zpracuje odkalením a sterilací ve skleněných obalech na hotový výrobek.

Marinované zelí

V marinovaném zelí se uplatní účinky vyšší kyselosti doprovázené přídavkem soli a kyseliny siřičité jako zalévací nálev do zelné krouhanky. Technologický postup je stejný, ale liší se objemem marinované hmoty, který nepřekračuje 600 kg. Krouhanka se v kádí vrství a prolévá marinovacím nálevem, jehož objem je asi 30% v celkového objemu. Výsledný obsah soli je 5%, 3,5% octu a 0,05 %H₂SO₃ (nejčastěji jako K₂S₂O₅). Marinovaná hmota se zatíží a po dobu 3 týdnů marinování nesmí nakvasit, proto jsou vhodné teploty pod 16°C. Po ukončení marinovací fáze se krouhanka z kádí odkládá na zcezovací síta, blanšíruje se v parním blanšéru při 85°C proto, aby se odstranil SO₂, do obalů se plní předlevem. V nově připraveném nálevu se zohlední obsah soli, cukru a octu vyplývající z rozdílu složení marinovaného polotovaru. Pro sterilaci vyhovuje teplota 80-85°C. Marinované zelí na rozdíl od kvašeného zelí, které je přirozeně nažloutlé, má jasně světlou barvu v důsledku vybělujícího účinku kyseliny siřičité v marinovacím nálevu. Podobně i sterilované zelí má tento barevný odstín, rovněž vyvolaný ve fázi blanširování krouhanky, kdy se do blanširovací lázně se přidává K₂S₂O₅ v koncentraci do 250 mg/l.

Literatura

BALAŠTÍK, J., 1975: Konzervace ovoce a zeleniny. SNTL, Praha, 04-821-75

BEAUDRY, R.M. 1999: Effect of O₂ and CO₂ partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. *Postharvest Biology and Technology*, 15: 293–303

BIALE J.B., 1960: Post-harvest biochemistry tropical and subtropical fruit. *Advance Food Research*, 10:293-354

- BÖTTCHER, H., 1996: Frischhaltung und Lagerung von Gemüse. Ulmer, Stuttgart, 1996, ISBN 3-8001-5820-5
- BÜNEMANN, G., HANSEN, H. 1973: Frucht- und Gemüselagerung. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, ISBN 3-8001-5226-8
- BURG, S.P., BURG, E.A. 1965: Gas exchange in fruit. *Physiology Plantarum*, 18:870-884
- GOLIÁŠ, J., LÉTAL, J., 1995: Theoretical model and practical preparation of controlled atmosphere in cooling store houses. *Mitteilungen Klosterneuburg* 45: 57-62
- GOLIÁŠ, J., BÖTTCHER, H., 2004: Occurrence of metabolites of anaerobic metabolism in sweet cherry fruits (*Prunus avium* L.) stored in low atmosphere. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 78: 148 -152
- HAVELKA, J. 1952: Konzervářské stroje. Průmyslové nakladatelství Praha, s.239.
- HENZE, J. 1969: Beziehungen zwischen Respiration und innerer Atmosphäre bei CO₂-empfindlichen Kernobsten. *Qual. Plant. Mater. Veg.*, 19:229-242
- SUN, DA-WE, ZHENG, L., 2006: Vacuum cooling technology for the agri-food industry: Past, present and future *Journal of Food Engineering* 77:203–214
- KYZLINK, V., 1988: Teoretické základy konzervace potravin. SNTL/ALFA, Praha, Bratislava, 515 s.
- SKOG, L.J., CHU C. L. 2001: Effect of ozone on qualities of fruits and vegetables in cold storage. *Can. J. Plant Sci.* 81:773-778
- THOMPSON, A.K., 1998: Controlled Atmosphere storage of fruit and vegetables. CAB International, ISBN 0 85199 267 0
- VELTMAN, R.H., VERSCHOOR, J.A., RUIJSCH van DUGTEREN 2003: Dynamic control system (DCS) for apples (*Malus domestica* Borkh. cv. Elstar): optimal quality through storage based on product response. *Postharvest Biology and Technology*, 27:79-86
- VILLALOBOS-ACUÑA, M., MITCHAM, E.J. 2008: Ripening of European pears: The chilling dilemma. Review. *Postharvest Biology and Technology* 49:187–200

Autor	prof. Ing. Jan Goliáš, DrSc.
Název titulu	SKLADOVÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ OVOCE A ZELENINY
Vydavatel	Mendelova univerzita v Brně Zemědělská 1, 613 00 Brno
Vydání	První, 2014
Náklad	200 ks
Počet stran	132
Tisk	ASTRON studio CZ, a.s.; Veselská 699, 199 00 Praha 9 Neprošlo jazykovou úpravou.
ISBN	978-80-7509-195-6

Tato publikace je spolufinancována z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky.

Byla vydána za podpory projektu OP VK CZ.1.07/2.2.00/28.0302 Inovace studijních programů AF a ZF MENDELU směřující k vytvoření mezioborové integrace.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ