



Metodické listy OPVK

Moderní metody skladování ovoce

12.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



SKLADOVÁNÍ OVOCE V ŘÍZENÝCH ATMOSFÉRÁCH

V posklizňovém uložení řízená atmosféra významně podporuje skladovatelnost ovoce. U jablek se jejich konzumní jakost rozšiřuje na 9 až 12 měsíců. Pro ostatní hospodářsky významné druhy (hrušky, švestky, třešně, bobulové ovoce) rovněž umožňuje dlouhodobé skladování a omezení fyziologických onemocnění. Typy plyných směsí se odvozují od vzájemného působení sníženého obsahu kyslíku a vyšší koncentrace oxidu uhličitého v chladírenské komoře.

ULO – ultra nízký obsah kyslíku (Ultra low oxygen)

DCA – dynamicky řízená atmosféra (Dynamic controlled atmosphere)

Významné snížení kyslíku v ambientní atmosféře zpomaluje všechny znaky zrání, produkci etylenu z plodů, fyziologická onemocnění a mikrobiální poškození plodů.

Péče o sklizenou produkci má trvale vzestupnou úroveň v souladu s potřebami společenské poptávky. Posklizňové uložení ovoce vytváří soubor technologických činností, které na sebe navazují prostřednictvím procesů zrání plodů. Skladování ovoce se opírá o přesné 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 $\mu\text{l/l}$), což 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 zavádí i pro méně tradičních komodity jako jsou třešně, švestky, broskve. 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) stanovený indexem 100, pak kvalitativní znak založený na pevnosti plodu (příp. jeho stlačitelnosti) má index 75, vůně a nutriční hodnota dosahuje indexu 60.

Fyziologické předpoklady posklizňového uložení ovoce

Vliv sklizňové zralosti

Kvalitu úrody a následné úspěšné uskladnění lze ovlivnit již velmi dlouho před sklizní. Faktory ovlivňující posklizňové uložení ovoce jsou půda, klima, počasí a kulturní podmínky, ve kterých jsou vypěstovány, termín a způsob sklizně. Předčasná nebo pozdní sklizeň nevyhovuje pro dlouhodobé skladování. Plody nabývají na hmotnosti v posledním měsíci růstu na stromě. Metody určení sklizňového termínu jsou rozdílné a také různě náročné na vybavení nebo zkušenosti. Nejjednodušší, bez použití technických prostředků, ale vyžadující zkušenosti jsou např. sklizeň podle odlučitelnosti plodů od plodonoše, zbarvení semen, podle barevné změny slupky. Další jsou metody výpočtové z dat minulých let (např. podle signální odrůdy). Nejvhodnější a nejpresnější jsou metody fyzikálně chemické, kdy rozhodujeme podle aktivity fyziologicky důležitých plynů (CO_2 , O_2 , etylen). Podle povrchové barvy slupky začíná sklizňová zralost změnou zelené barvy na žlutou. Začne-li plod žloutnout je barevná změna jen doplňujícím ukazatelem a na vybarvování slupky se nemá spoléhat. Dosud se dává přednost jen škrobovému testu v pěstitelských oblastech České republiky. Typické 'mramorování' ve střední části dužniny, kdy se objevují již odbarvené plochy vedle zcela modrých (tyto obsahují ještě značná množství škrobu), znamená už zralejší stupeň, což je u odrůdy 'Golden Delicious' typickým stupněm optimální zralosti podle obsahu škrobu na řezné ploše. 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. Z těchto tří měřených hodnot lze snadno formulovat zralostní index, který byl popsán Dr. Streifem z Bavendorfu, Německo (Streif index = $F/R.S$), kde F – pevnost dužniny v kg, při použití razidla 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 (G. Planton, Eufuru). Například pro odrůdu 'Braeburn', která je sklizňově zralá, platí pevnost 8.5–9.0 kg/cm^2 , rozpustná sušina 11°Rf a škrobový index 3 až 4, z nichž je vypočítán Streifův index v hodnotě 0,25 až 0,20. Stupeň odbarvení na řezné ploše v oblasti centrální dužniny nebývá výrazné (dosud nenastalo odbarvení) a prakticky se týká jen



odbarvení jaderníku. Hodnoty (F/R.S) jsou pro odrůdy v období optimální sklizně podobné – pro 'Elstar' 0,30, 'Golden Delicious' 0,10, 'Jonagold' 0,07, 'Braeburn' 0,16.

V průběžném stanovení je změna číselné hodnoty rychlá a během 7 dnů se sníží z jednotek na desetiny hodnot, neboť každý parametr buď se zvyšuje – rozpustná sušina (°Brix), nebo se snižuje pevnost (kg/cm²) a škrobový index se číselně zvyšuje (na každém plodu se snadno vyjádří jednou hodnotou na stupnici 1 až 9). Z praktických měření vyplývá, že variabilita z 5 náhodně odebraných plodů dané odrůdy z různých částí sadu není vysoká a podléhá jen malému rozptylu. Jistě stojí za povšimnutí, že měřenou nebo odhadovanou hodnotou není povrchová barva slupky. Při podrobnějším pohledu na procesy zrání jablek, jako hlavního klimakterického typu ovoce, se v tomto vztahu se neuvádí koncentrace etylenu ve vnitřní atmosféře plodu, kterou by se zralost na přelomu začátku fyziologické fáze klimakteria podstatně zpřesnila. Hodnocení produkce etylenu není do výpočtu zralostního indexu zahrnuta proto, že samotné stanovení je analyticky náročné, které není použitelné v praktickém provozu, ale vzestup produkce etylenu v plodu je dobrým indikátorem skladovatelnosti odrůdy. V tomto případě platí pro všechny odrůdy, že plody s vyšší koncentrací etylenu ve vnitřní atmosféře plodu nejsou vhodné pro dlouhodobé skladování a v případě 'Braeburnu' se navíc vyvolává hnědnutí dužniny. Plody pozdě sklizené jsou vhodné pro krátké skladování nebo přímý prodej, jsou lépe vybarvené, jsou větší a mají vyšší hmotnost a současně i lepší chuť.

Dýchání plodů a jeho kvantifikace

Proces dýchání v ovocných plodech představuje soubor vzájemně spjatých enzymatických pochodů oxidace organických látek. Kromě jiných důsledků, se 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 jak za anaerobních podmínek. Kritériem pro hodnocení dýchací aktivity bývá intenzita dýchání (R), která vyjadřuje množství produkovaného CO₂ nebo spotřebovaného O₂ v hmotnostních jednotkách [mg, g], v objemových jednotkách [ml, µl], někdy l, za časovou jednotku (zpravidla h, 24 h), vztažené na hmotnost plodiny, která je vyšetřována. V časovém intervalu produkovaný CO₂ a nebo spotřebovaný O₂ také není konstantní. Intenzita dýchání závisí na řadě faktorů – kromě přirozených rozdílů mezi ovocnými a zeleninovými druhy a odrůdami, je regulována vnějšími faktory – teplotou, složením atmosféry, ale i vnitřními faktory – chemickým složením, strukturou pletiv, stupněm zrání a dalšími činiteli, které druhotně tyto ovlivňují. 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:



Během vegetace, bezprostředně po opylení (u plodů) dýchají mladé rostlinné organismy velmi intenzivně a postupně se závěrem růstové fáze se rychlost produkce CO₂ tlumí. U neklimakterických plodů intenzita dýchání dále klesá i během dozrávání plodů, naopak u klimakterických druhů se během produkce oxidu uhličitého přechodně zvyší.

Výpar a jeho kvantifikace

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 turgescentní, ale i tak tato ztráta představuje u skladovaných jablek průměrné hodnoty ztráty vody za celou dobu skladování. Mechanické poškození, nesprávný termín sklizně a ztráta hmotnosti transpirací jsou nejdůležitějšími faktory, které zkracují skladování a zhoršují kvalitu dané komodity. U většiny druhů ovoce a zeleniny se ztráta čerstvosti vztahuje k odpaření hmotnosti plodu v rozsahu 3–10 %, přesné hodnoty závisí na dané komoditě. Stupeň ztrát na hmotě lze tolerovat, pokud nepřesáhne 5 % pro jablka a pomeranče. Začínající vizuálně postřehnutelné změny jako je vadnutí, svraskávání, sesýchání a ztráta mechanické pevnosti, jsou asi v



polovině uvedených hodnot. Vzniklý stres z odpaření vody indukuje hormonální změny, které se projevují zvýšenou produkcí etylenu a vzrůstem hladiny kyseliny abscisové (ABA). Nastalé změny vedou ke zrychlení stárnutí, membránové desintegraci buněk v centrálním pletivu a vytékání buněčného obsahu. Prvotně je možné bránit následkům stárnutí omezováním ztráty vody zavedením chladicích systémů.

Výpar je ovlivněn vnitřními podmínkami (chemické, histologické a biochemické vlastnosti plodu) a vnějšími podmínkami (mikroklimatické podmínky vnějšího prostředí) a může být při nevhodném způsobu uskladnění limitujícím faktorem. Nadměrným deficitem vody ztrácí buňky, především v povrchových vrstvách a ve vnějším parenchymatickém pletivu buněčné napětí, čímž se porušují osmotické poměry, následně vyvolávající strukturální změny protoplazmy a porušení látkové výměny.

Kvantifikace výparu probíhá na základě vyjádření ztráty hmotnosti (ΔM) a vypočítá se dle vztahu:

$$\Delta M = m \cdot k_w (P_p'' - P_p)$$

kde: m = hmotnost produktu (t); k_w = koeficient výparu ($\text{g} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$); P_p'' = tlak vodní páry v nasyceném vzduchu (Pa); P_p = tlak vodní páry daného vzduchu (Pa)

Difuze vody z celistvého plodu se uplatňuje přes kutikulu a stomata. Podíl stomatárního výparu ovlivňuje jejich počet ve slupce a jedním z odlišností výparu na úrovni odrůd jablek. Pro plodiny citlivé na výpar se vyžaduje relativní vlhkost vzduchu v rozsahu 92–94 % nasycení vodními parami. Nízká ztráta na hmotnosti v důsledku výparu nastane v řízené atmosféře, kde účinkem vysoké plynotěsnosti chladírenské komory se udržuje $\varphi = 98\%$. 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.

Vliv plynů na dýchání skladovaných plodů

Vliv O₂ na dýchání

Obsah kyslíku v okolní atmosféře pod 10 % úroveň dýchání ovlivňuje méně výrazně. Další jeho snižování je účelné do 2–5 % koncentrace, neboť pod touto hladinou je koncentrační diference mezi vnější atmosférou a mobilní zásobou kyslíku v bezprostřední blízkosti dýchacích center zmenšena do té míry, že difuze kyslíku z vnější atmosféry zpravidla nestačí k aerobnímu průběhu dýchání. K této biochemické situaci, zpomalení difuze kyslíku, dochází také u přirozeně dozrávajících plodů v normálně kyslíkaté atmosféře, zhoršující se propustností pletiv a povrchu plodů respiračními plyny, které vede ke snižující se vnitroplodové koncentraci, tj. k relativnímu nedostatku O₂ a naopak ke hromadění CO₂ v pletivu, zejména blíže středu plodu. Limitní koncentrace kyslíku (LOL) vyvolaná velmi nízkým obsahem kyslíku v ambientní atmosféře se posuzuje respiračním kvocientem (RQ), jehož hodnota vyšší jako 1,0 zvýrazňuje vyšší podíl anaerobního CO₂ nad aerobním CO₂ a vyšší produkcí etanolu (etanol z anaerobního dýchání pletiva), který se hromadí v pletivu. Spotřeba etanolu vlastní oxidací je reakcí vratnou, takže po vystavení pletiva normálně kyslíkaté atmosféře se koncentrace etanolu sníží na fyziologickou hladinu, v případě extrémní anaerobiozy se koncentrace v lepším případě sníží na poloviční koncentrace. Vyšší koncentrace etanolu ještě neznamená snížení senzorické hodnoty produktu, pokud se nezjistí senzorický přípach po etanolu (off-odour). Bude-li vyšší obsah etanolu přetrvávat v plodu, vznikne fyziologické poškození označované jako poškození etanolem.

Vliv CO₂ na dýchání skladovaných plodů

Účinek vyššího parciálního tlaku CO₂ v okolní atmosféře na zpomalení metabolismu je z biochemického pohledu rozmanitější a odehrává se vždy za fyziologicky nutné přítomnosti O₂. Jedním z projevů je nepřímý inhibiční účinek, který se projevuje začleněním atmosférického CO₂ do substrátů dýchání. Tímto způsobem je za nepřítomnosti světla plod schopen karboxylační reakcí vázat volný CO₂ na kyselinu pyrohroznovou, za vzniku kyseliny jablečné. Schopnost plodu poutat CO₂ a prostřednictvím kyseliny jablečné jej včlenit do látkové výměny, má význam na uchovatelnost během skladování. Reakce probíhá při teplotách kolem 0 °C tak intenzivně, že převažuje resyntéza kyseliny jablečné nad jejím odbouráváním. Při vyšších teplotách uložení a při zvýšené koncentraci CO₂ v atmosféře je syntéza kyseliny ještě výrazněji stimulována, avšak výsledný efekt je zeslabený intenzivnějším dýcháním. Vyšší obsah CO₂ v prostředí inhibuje karboxylační reakce některých kyselin

Krebsova cyklu, což vede k nadměrnému hromadění kyseliny oxaloctové. Její zvýšená koncentrace tlumí účinnost enzymu sukcinooxidázy, kterým se dehydrogenuje kyselina jantarová na kyselinu fumarovou.

Tento biochemický stav má dva důsledky:

- akumulace kyseliny jantarové v pletivu, vyvolávající následně poruchy výměny látkové a vedoucí k poškození pletiv vysokým obsahem CO₂ (fyziologická porucha je výraznější pokud je obsah O₂ nižší).
- brždění přenosu vodíkových iontů, zprostředkovaný flavinovou dehydrogenázou FAD ↔ FADH₂ přes ubichinony na cytochromový systém.
- biochemickým důsledkem vyššího obsahu CO₂ je inhibice transaminačních reakcí, které ovlivňují syntézu proteinů. Tím se také vysvětluje zpomalení nástupu klimakteria a vzestupu intenzity dýchání.

Poškození dužniny vysokou koncentrací CO₂ a poškození slupky.



Vliv etylenu na dýchání

Etylen je bezbarvý v nízkých koncentracích nevonný plyn a tvoří se již v předklimakterickém stadiu. Tomuto metabolitu je předkládána funkce hormonu zrání, i když tento termín není zcela přesný. Každý plod tvoří vlastní etylen, jehož hladina závisí na rychlosti produkce, podporované změnami citlivosti pletiva, které jsou dále stimulovány již vzniklým etylenem. Na rozdíl od hormonů nepotřebuje plod detoxikační mechanismus k redukci hladiny v pletivu, protože etylenem difunduje do okolní atmosféry.

Biosyntéza etylenu začíná v methioninovém cyklu (Yangův cyklus), v němž recykluje 5-methyladenosin na methionin. ACC syntéza je specifická pro SAM (S-adenosylmethionine) a vzniká meziprodukt 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 má exponenciální průběh a vyjadřuje se ul/kg.h. Optimální teplota pro produkci etylenu je pro jablka 32 °C a pro rajčata 27 °C. V nižší teplotě je Q₁₀ pro produkci etylenu 2,7–2,8. Stres etylenu se vyvolá vnějším činitelem, na který rostlinné pletivo reaguje zpravidla zvýšenou produkcí endogenního etylenu. Elicitory jsou mechanické, fyzikální a mikrobiální – 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, oxid siřičitý, ozon, amoniak, chlorid sodný, pesticidy a polutanty. Zvyšování koncentrace etylenu ve vnější atmosféře zrychluje nástup klimakterické fáze, avšak maximum produkce oxidu uhličitého se zásadně nemění, jen o 20 mg/kg.h v nejvyšší koncentraci 100 ul/l (ppm) etylenu. Typická koncentrace etylenu ve vnitřní atmosféře plodu v období jednoho až několika dnů před zahájením klimakterické fáze je 40–100 nl/1 (IEC), která je předpokladem pro aplikaci exogenního etylenu, jehož nejnižší koncentrace je 5–100 nl/1. Pro plody jablek je IEC 20 nl/1, v další klimakterické fázi se vytvoří 100–100 000 nl/1. Plody jablek odrůdy 'Golden Delicious' ve fázi IEC v koncentraci 50 nl/1 mají schopnost dozrávat a přezrávat na stromě, neboť v nich snadno dochází ke konverzi SAM (S-methyladenosin) na ACC (1amino-cyklopropanová kyselina) a následně na etylen. Extinkční bod IEC zahajuje klimakterické období zrání, pokud se v pletivu této koncentrace dosáhne. Včasné odstranění stimulační koncentrace v okolní atmosféře je předpokladem pro čištění atmosféry od etylenu (*scrubbing*), která se musí udržovat na koncentraci pod 100 nl/1, avšak musí začít ještě dříve, než se IEC objeví ve vnitřní atmosféře plodu. Je-li však plod jablka zralejší a časově už bude za vznikem IEC v plodu, pak je dodatečné snižování etylenu ve vnější atmosféře neúčinné. Důvod tohoto stavu je vcelku jednoduchý a odvozuje se z difuzního uvolňování etylenu z vnitřní atmosféry plodu do vnějšího prostředí. 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.



Výdej tepla ze skladových plodů

Všemi metabolickými cykly, byť v různém rozsahu zastoupenými, se uvolňuje energie, jejíž přenos a využití rostlinným pletivem není dokonalá a část z nich přechází do okolního prostředí jako teplo, které z hlediska zajištění energií je pro dýchající pletivo ztrátou. Produkce tepla lze zajistit buď experimentálně, přímým měřením, nebo výpočtem ze sumární rovnice aerobního dýchání. Teplotní závislost produkce tepla má exponenciální průběh podle rovnice:

$$Q_t = Q_o \exp(b \cdot t) \quad (\text{kJ} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$$

kde: Q_t – produkce tepla při teplotě t ($\text{kJ} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); Q_o – produkce tepla při teplotě o °C ($\text{kJ} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); b – teplotní koeficient (deg^{-1})

Respirační teplo je významnou položkou v tepelné bilanci chladírenské komory, proto se musí efektivním způsobem odvádět.

Klimakterické a neklimakterické plodiny

U většiny plodin předchází vzestupu respirace vznik fyziologicky aktivní koncentrace etylenu, v mezibuněčných prostorách plodu a exogenní aplikace etylenu nejenže zahájí období klimakteria u nezralých plodů, ale indikuje autokatalytický proces syntézy vlastního etylenu (jablka, hrušky, broskve, nektarinky, meruňky, švestky a slívy, ananas). Klimakterium tedy vyznačuje přechod od růstových a vývojových stádií k začátku stárnutí.

Klimakterické plody (meloun, banány, avokádo, fíky, guava, avokádo, rajčata, okurky aj.) na počátku své růstové fáze (bezprostředně po opylení) dýchají velmi intenzivně. Rychlost produkce oxidu uhličitého se postupně tlumí až k určité minimální hodnotě, která se časově shoduje se závěrem růstové fáze (tzv. klimakterické minimum). V následující fázi vybarvování plodů, sládnutí a měknutí dužiny, tvorby vonných látek, tedy typických projevů zrání, se produkce CO_2 na přechodnou dobu nápadně zvýší. Po dosažení tzv. klimakterického maxima, tedy maximální hodnoty intenzity dýchání, které splývá s konzumní zralostí (maximální vybarvení, plné aroma a ještě dostatečně pevná dužina), pak rychle následuje pokles intenzity dýchání charakteristické pro stárnutí – přezrávání plodu. Tento zlom charakterizuje úplnou fyziologickou zralost, kdy plody jsou právě nejvhodnější ke konzumu, avšak kdy se již nehodí k dlouhodobému chladírenskému skladování. Časový úsek mezi oběma charakteristickými znaky v dýchací aktivitě – tzv. klimakterium, je údobím, které je předmětem uchování plodů, především chladírenského skladování, přičemž zrání plodu je procesem nevratným, který je možno vnějšími podmínkami zpomalit, nikoliv však zastavit. Vedle klimakterické křivky v intenzitě dýchání tyto plody tvoří významné koncentrace etylenu, které mají prahovou koncentraci $0,1 \mu\text{l.l}^{-1}$, jenž je shodná pro všechny rody, které jsou klimakterické, ale maximální hodnoty jsou naopak významně rozlišené v rámci rodu, ale i odrůdy. Třetím znakem je reakce plodů na exogenní etylen, který způsobí důsledné zrychlení všech znaků zrání (měknutí plodu, rychlejší ztráta organických kyselin, vyšší intenzita dýchání) a nastalé změny jsou nevratné.

Neklimakterické plody (třešně, višně, borůvky, maliny, jahody, hrozny, citrusy, ananasy, vodní meloun, okurky aj.) jsou charakteristické lineárním poklesem intenzity dýchání během jejich zrání. Pro praxi je mnohem významnější jejich jiná reakce na oxogenně aplikovaný etylen vzhledem ke klimakterickým plodům. Plody neklimakterického typu je možno podněcovat dávkami etylenu v každém zralostním stupni. U mnohých druhů tohoto typu autokatalytická tvorba etylenu, posuzovaná podle koncentračního rozpětí je velmi malá. Přitom platí vztah, že vzestup dýchání je o to větší, čím je vyšší vnější koncentrace etylenu. Účinek etylenu je přechodný, takže působí jen po dobu trvání zákroku, krátce nato se intenzita dýchání vrací do výchozí úrovně, příp. do stavu, který by odpovídal neošetřeným neklimakterickým plodům. Například reakce plodů od vnější koncentrace $0,1 \mu\text{l/l}$ (ppm) do $1000 \mu\text{l/l}$ (ppm) výrazně zvyšuje odezvu 2–3krát vzhledem k neošetřené kontrole, ale po několika dnech postupně odeznívá a téměř se vrací na původní koncentraci. Neklimakterické plody nedávají stejný rozsah odezvy na vnější etylen ve srovnání s plody klimakterickými. Nejzávažnější je třetí fenomén, který se dotýká ostatních znaků zrání a má tedy praktický význam při umělém dozrávání. U neklimakterického typu plodu stimuluje vnější etylen hlavně respiraci. Ostatní projevy zrání jsou ovlivněny specificky podle druhu ovoce. Citrusové plody reagují na exogenně aplikovaný etylen zvýšením respirace, energickým odbouráváním chlorofylu a zvýšenou hydrolýzou pektinových látek ve slupce, avšak významně se neovlivňuje koncentrace redukcujících cukrů, sacharózy a organických kyselin. Pro odzelenění je potřeba 5–8 dnů s koncentrací etylenu 5–1000 $\mu\text{l/l}$. Je zřejmé, že u citrusových plodů exogenní etylen nemůže indukovat tvorbu endogenního etylenu a proto účinek exogenního etylenu je reverzibilní.

Technologická zařízení pro posklizňové uložení

Sklady bez strojního chlazení

Sklady chlazené pouze větráním venkovním vzduchem, představují nejméně vhodný způsob skladování ovoce. Teplota, relativní vlhkost vzduchu jsou odvozeny z přívodu venkovního vzduchu do roštové podlahy. Výkon ventilátoru, který je zpravidla situován do boční stěny tepelně izolované komory se vhání vzduchu do roštové podlahy. Hmotnost vzduchu za časovou jednotku musí odvést nejen teplo potřebné pro zchlazení na teplotu skladování, ale v průběhu uložení dýchací teplo plodiny podle vztahu:

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

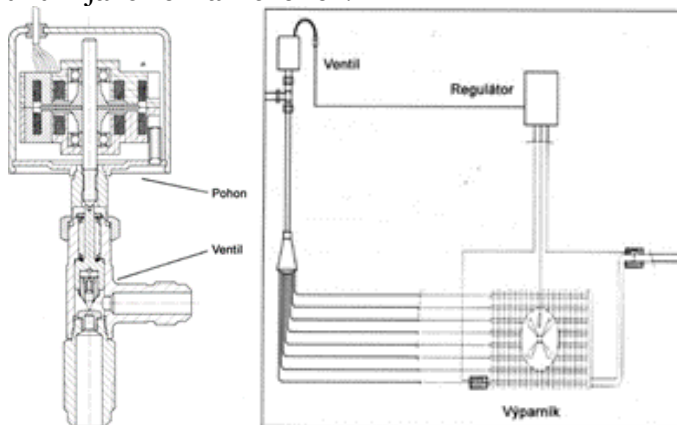
kde: V – hodinový výkon ventilátoru $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; Q – všechny druhy tepla ve větrané komoře $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$; Δi – rozdíl entalpií vzduchu vycházejícího z komory a vzduchu venkovního $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$; P – hustota vzduchu vycházejícího z větrané komory $\text{kg} \cdot \text{m}^3$

Uložené plodiny jsou uloženy v obalech, které mají být snadno přístupné toku vzduchu z ventilátoru, budou-li ve velkoobjemových bednách, pak přímo větraný objem je jen mimo tyto bedny. Budou-li plodiny ukládány volným vrstvením, pak tuto techniku větrání lze uplatnit u plodin s velkou pórovitostí, což odpovídá spíše zeleninovým druhům jako ve hlávkové zelí.

Chlazené sklady bez úpravy atmosféry,

u nichž se řídí teplota (nastavená teplota $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$), relativní vlhkost v rozsahu 92–94 % a rychlost vzduchu vyvolaná výparníkovým ventilátorem s minimální lineární rychlostí $0,2 \text{ m s}^{-1}$ a ve fázi zchlazování $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ v prostoru mezi skladovanými plodinami. Tato nízká rychlost se měří anemometrem s kuličkou, jejímž ochlazováním vyvolá proudová odchylka. Ve velkoobjemových bednách s hmotností 330 kg je pohyb vzduchu neměřitelný a odvozuje se z teplotního gradientu. Naopak lineární rychlost vzduchu v ústí výparníku je vyšší jak 10 m.s^{-1} a postupně se snižuje na poloviční hodnoty na protilehlé stěně chladírenské komory. Obsah vodní páry je výslednicí mezi příjmem vody do okolní atmosféry ze skladovaných plodin a ztrátami vody na výparníku a měří se relativní vlhkostí. Kolísání relativní vlhkosti během dne je nepřímo závislé na spínání chladicí fáze. 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 na 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 $1 \text{ }^\circ\text{C}$, 3,5 kW pro teplotní diferencí $4 \text{ }^\circ\text{C}$, 5,4 kW pro teplotní diferencí $6 \text{ }^\circ\text{C}$ a 7,8 kW pro teplotní diferencí $8 \text{ }^\circ\text{C}$. Pro minimalizaci kolísání relativní vlhkosti je možné s výhodou použít dvou typů expanzivních ventilů, jejichž základní funkcí je uvolňovat kapalné chladivo do výparníku.

Bude-li expanzivní ventil spínat na principu ohřívání trubkového prostoru prostřednictvím tykavky nebo tykavky ohřívané vzduchem nasávaným do výparníku (termostatický expanzivní ventil), což je dosud běžný způsob otvírání expanzivního ventilu, pak se dá očekávat vysoké kolísání relativní vlhkosti v chladírenské komoře. Naopak elektronicky řízený expanzivní ventil uvolňuje chladivo do výparníku na základě teplotních diferencí v hodnotách $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, 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 $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ až $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$ 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.



Řez expanzivním ventilem elektronicky řízeným (vlevo) a jeho zapojení do výparníku (vpravo).



Tab. 1: Vztah mezi teplotou v chladírenské komoře a teplotou vzduchu na výparníku, vzniklý teplotní rozdíl odpovídá relativní vlhkosti vzduchu vycházejícího z výparníku.

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 %

Ve výparníkovém prostoru musí být možnost čtení teplotního rozdílu mezi teplotou vzduchu v chladírenské komoře a výparnou teplotou chladiva (tabulka 1). 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.

Chladírenské komory s řízenou atmosférou ULO a DCA

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). Další vývoj výzkumu plyných atmosfér se opíral o poznatky účinku kyslíku. Pokud se koncentrace kyslíku v okolní atmosféře pohybovala na hranici fyziologické snesitelnosti a přitom se neprojevovalo anaerobní dýchání (1,0–1,2 % kyslíku), označila se termínem **ULO** (Ultra Low Oxygen). Pro potřeby skladovatelské praxe je uplatňována od poloviny 90. let a všechny významné podniky v ČR tuto technologii užívají alespoň v části svojí skladovatelské kapacity. V posklizňových technologiích se začíná prosazovat dynamicky řízená atmosféra (**DCA** –Dynamic Control Atmosphere), která přechází z výzkumného okruhu do praktického provozu velkokapacitních chladíren. Obsah kyslíku ($O_2 = 0,7\%$) v podstatě iniciuje tvorbu anaerobních sloučenin jako je etanol, acetaldehyd a etyl acetát, které jsou důsledkem nedostatku kyslíku, ale jejich kumulace v pletivu je zpomalena postupnou adaptací pletiva na difuzi kyslíku do vnitřních částí plodu. 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 O_2 sníží k nejnižšímu limitu (0,2 %), který ještě zaručuje aerobní dýchání plodů. Na této koncentraci (v rozmezí 0,2 až 0,4 % O_2) se drží po celou dobu skladování. Parciální podíl CO_2 nehraje zásadní roli ve skladovatelnosti plodu, ale spíše je zbytkovou koncentrací (do 1 %) při jeho technologickém odstraňování z prostoru chladírenské komory. DCA je dominantní pro skladování jablek, pro hrušky jsou stávající principy nezávládnuté.

Technické vybavení pro úpravu atmosféry

Úprava atmosféry v skladě se dosahuje postupy, které využívají účinku skladovaných plodů nebo záměrným přidáním technických plynů do atmosféry chladírenské komory. Technickým předpokladem udržení atmosféry je plynostnost chladírenské komory. *Biologická úprava atmosféry* – Atmosféra uskladněné komodity se mění vlivem vlastního dýchání skladovaných produktů. Obsah kyslíku se postupně uníží a obsah oxidu uhličitého stoupá. Obsah dusíku se nemění a zůstává na 78 %. Při tomto skladování platí, že součet obsahu kyslíku a oxidu uhličitého dávají spolu vždy hodnotu 21 % objemových. Nutná je jen plynostná komora či obalový materiál. Nevýhodou je, že obsah kyslíku na koncentraci 2 obj. % závisí na zaplnění skladovanými jablky a v průběhu skladování nelze komoru otevírat beztoho, aby se mohla obnovit původní atmosféra. Bude-li obsah kyslíku snížený dýcháním plodů, pak přebytečný CO_2 se odstraňuje dekarbonizačními jednotkami, jejichž technická úprava se historicky vyvíjela.

Odstranění CO_2 z atmosféry chladírny

Je založena na několika principech: absorpce (chemické reakce), adsorpce (fyzikální vazby) a difuze. Podle opakovatelnosti: bez možnosti regenerace (do vyčerpání absorpční látky), s možností regenerace po zachycení CO_2 v dekarbonizátoru je změnou fyzikálních podmínek dosaženo jeho uvolnění a systém je znovu schopný zachytávat CO_2 .

- dekarbonizátory na principu absorpce: louhové, bikarbonátové, vodní, absorbér se suchým vápnem, alkanaminové,
- dekarbonizátory na principu adsorpce: s molekulárními sítí, s aktivním uhlím,
- membránové difuzéry využívají principu selektivní propustnosti plynů membránami.

Technická úprava atmosféry je založena na:



- **produkci atmosféry** s velmi nízkým podílem kyslíku (spalováním uhlovodíkových plynů) má generátor atmosféry s výkonem asi 60 m³/h, z něhož se plynná směs do chladírenské komory přivádí z vnějšího vzduchu, který se spaluje s propanem. Technologicky se čistí od oxidu uhličitého a po dosažení ca 3 % CO₂ se zapojí adsorbér obsahující aktivní uhlí. Technologicky se využijí tři adsorbéry, které jsou postupně ve fázi sorpce CO₂ a další dva se protiproudě zbavují sorbovaného CO₂ vháněním venkovního vzduchu. Technologická jednotka sníží obsah O₂ a odstraní nadbytečného CO₂ za 72 hodin v chladírenské komoře o kapacitě 250 t.
- **separaci vzduchu membránovými difuséry** s využitím dusíkové frakce, která obsahuje 10 až 30 dutých trubíc separujících O₂ od N₂ za vysokého tlaku, kterým se rychlost difuze O₂ zvýší na tolik, že tento plyn prochází trubicí a zůstávající N₂ se odvádí do zásobníku. Systém dutých trubíc je uspořádaný jako trubkový a svazkový.
- **separaci vzduchu adsorpcí na aktivním uhlí** a oddělení kyslíkového podílu. Toto uhlí se označuje jako CMS (Carbon Molecule Sieve) – uhlíkové molekulární síto. Uhlí má strukturu, která umožňuje molekulám kyslíku vtlačet se do pórů a adsorbovat se na velkém povrchu uhlí. Dusík je adsorbován minimálně a prochází adsorpční komorou na druhou stranu. Tím dochází k oddělení dusíku od kyslíku u plynu získaného z venkovní atmosféry.
- **zředování původní atmosféry** chladírenské komory vháněním dusíku. Přivádí se plynný N₂ z tlakových lahví nebo LIN (Liquid Nitrogen). Technologie LIN vyžaduje zásobník LIN, ze kterého se tekutý dusík přivádí do výdechu výparníku. Vedle účinku zředění kyslíku také snižuje teplotu v chladírenské komoře svým výparným teplem (310 kJ/kg), což nedostačuje pro odvedení tepla nutného pro zchlazení plodiny (podle tepelné bilance chladírenské komory označení jako čistý chladicí výkon).

Technologické jednotky, pracující na těchto principech, dostačují pro 5–8 chladírenských komor o kapacitě 250 t. Použití LIN se týká vždy jen jedné chladírenské komory. Na rozdíl od biologického způsobu nastavení řízené atmosféry, se mohou v případě netěsnosti chladírenské komory dodatečně spustit, aby se eliminovaly ztráty původní atmosféry. Historicky nejstarší je technologie uhlovodíkových plynů, která je v ČR zavedena od konce 60. let.

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. Projevily-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 rozpustných 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 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. chillin 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 vyvolávají soustavu nežádoucích biochemických reakcí. Bod mraznutí 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 zřejmě žádné změny, ale teprve tehdy až se přenesou 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 snižování jeho koncentrace pomocí všech technologických opatření jako je jeho sorpce do KMnO₄ nebo jeho katalytická oxidace na vodu a CO₂. 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 plynná směs je na hranici 1 %. Vyšší koncentrace CO₂ 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. Chladicí vzduch z výparníku s teplotou -2,0 až -3,5 °C s rychlostí 10m/s podchlazuje jablka uložená v proudě 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 projevy chladového onemocnění – viditelně se projeví minimálně ve třech formách moučnatění až plstnatosti 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 právě broskve a jsou známy odrůdy, které byly záměrně šlechtěny pro eliminaci tohoto onemocnění.



Spála jablek

Fyziologické 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 -farnesan, 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 anebo 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, které je nezbytným pro minimalizaci spály, je omezení vlivu etylenu ve vnější atmosféře chladírenské komory. Etylen a ethephon (2-metylfosforečná kyselina, která 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 druhích vůbec nevytvořil a přitom se nemusela používat řízená atmosféra. Antietylenová sloučenina se jmenuje 1-MCP (1-methylcyklopropan) 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

Fyziologické 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 Ca²⁺ a vysoká koncentrace Mg²⁺ a K⁺. Nízká koncentrace Ca²⁺ 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 šfavelovou 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 Ca²⁺ 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 Ca²⁺.



Desinfekční prostředky v chladírnách a balírnách ovoce

Snížení povrchové mikroflóry na sklizených a následně na 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 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 environmentálním prostředí, v němž nepřevyšuje koncentraci 11 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 1,3 ppm, která je technologicky významná pro účely ošetření plodů, pak po ukončení ozonování 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 ve 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 pára) nebo čistý kyslík, nejlépe získaný frakcionovanou destilací vzduchu a v kaplaném 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 ovládnutí 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 220 V napětí a jsou s příkonem 100-500 W, 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 (probubláváním, 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 každé činidla jsou rozdílné. Primární použití ozonu je pro desinfekci, oxidaci anorganických polutantů (Fe²⁺, Fe³⁺, Mn²⁺, S²⁻), oxidaci mikroorganismů, oxidaci 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 absorbance při 253,7 nm s citlivostí pod 0,5 ppm. Jodometrická titrace využívá průchodu ozonu přímo z generátoru, který je zaváděn 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 o odolné spory *Bacillus stearothermophilus* nebo vegetativní buňky *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus* byly po 10 minutové expozici redukovány o 4,45 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 sulfohydroxylových (-SH) a některých enzymových aminokyselin, peptidů a bílkovin s krátkým řetězcem. Druhý účinek ozonizace vede k oxidaci polynasycených 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 chladiřenské 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 chladiřenských 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 činidla jako je ozon, je vnikání plynu do vnitřních vrstev slupky. Ozonová penetrace je všeobecně nedostatečná. Technologicky významné je vnikání do zabalených jednotek jak přes plastické obaly 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 plynných komunikací se však znesnadňuje difuzi plynu do zabalených jednotek. Sanitace povrchů vnitřních zařízení balíren a chladičích komor stejně tak inaktivace povrchové mikroflóry skladovaného ovoce vyžaduje koncentraci ozonu 200 ppm po dobu alespoň jedné hodiny. Odolnost plísníových 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, nevočkovaná 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 citriauranti*) 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 000ppm 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 zaplněné chladírenské komory jablky (cca 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 zbařený vodní páry v desikačním stupni.

Účinek ozonu rozpuštěného ve vodě

Ozon ve vodě je často popisovaný jako alternativa chlornanu (Na⁺, Ca²⁺) jako desinfekční sanitální 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 mohly být vyvolány. Druhou nespornou předností ozonu je okamžitý inaktivační účinek vůči bakteriím, virům a plísňovým sporám, než vykazuje chlornan. Ozon oxiduje strukturované fenolické sloučeniny, což se dává do spojitosti s oxidací některých pesticidů a mykotoxinů uvolňovaných do ozonové vody. Tyto atributy jsou dobrým důvodem, 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 sanitacím prostředkům, typickou koncentrací je 300 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.

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, neprocházels 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 ke snížení populace plísní, neboť *Penicillium digitatum* nebo *Geotrichum citriauranti* se sníží o 1 až 2 logaritmické jednotky 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 čínidla je nízká a hlubší infekci nelze efektivně zasáhnout. Rovněž účinek chloru nebo chlornanu v koncentraci 200 ppm nemá desinfekční účinky.

Ochrana před ozonem v balárně a chladárně

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 absorbéry ozonu obsahující účinnou látku MnO₂.

Kontrolní otázky

1. Uveďte charakteristické rozdíly mezi klimakterickým a neklimakterickým ovocem.
2. Uveďte příklady klimakterického typu ovoce.
3. Kteří činitelé ovlivňují produkci etylenu v posklizňové technologii?
4. Významné parametry zralosti ovoce pro skladování a jejich kvantifikace.
5. Chlazení vzduchu v chladírenské komoře na výparníku jaké jsou očekávané změny ve vlhkosti ochlazeného vzduchu?
6. Jaký je projev poškození jablek oxidem uhličitým?
7. Význam úpravy atmosféry v chladírenské komoře?
8. Princip tvorby atmosféry s nízkým obsahem kyslíku při skladování ovoce?
9. Výpar ze skladovaných plodů – možnosti jeho ovlivnění, způsob vyjádření?

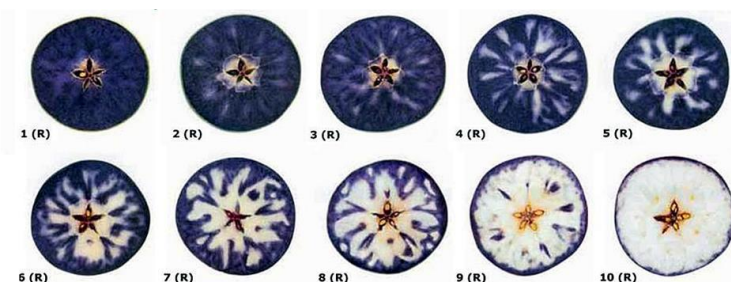
Praktické cvičení - pokus kategorie a - vyžadující běžné vybavení

Stanovení vybraných parametrů sklizňové zralosti ovoce - Škrobový test

Úkol: Stanovte stupeň zralosti dužnatých plodů pomocí Lugollva roztoku

Pomůcky a chemikálie: laboratorní sklo, nůž, Lugollův roztok

Pracovní postup: Lugollův roztok se používá pro hodnocení obsahu škrobu v dužnatých plodech. Lugollův roztok je rozpuštěný jod (1–2 g) v 4% roztoku jodidu draselném. Modré zbarvení vznikne reakcí amylopektinu s jodem. Dužnatý plod se rozřízne kolmo v ose stopka– kalich a řeznou plochou se namočí na několik sekund do Lugollova roztoku. Velikost plochy zbarvení se porovná s 10čtenou stupnicí. Sklizňová zralost jablek je v rozsahu hodnoty 4 až 6.



Struktura škrobu na řezné ploše jablka

Praktické cvičení - pokus kategorie b - vyžadující určité laboratorní vybavení

Stanovení pevnosti slupky a dužniny penetrometricky

Úkol: v dužnatém plodu (např. jablku) stanovte pevnost slupky a dužniny.

Pomůcky a chemikálie: penetrometr, posuvné měřidlo, nůž

Pracovní postup:

1. Kalibrace tenzometrického snímače – stanovení konstanty přístroje: Kalibrace tenzometrického snímače se provede pomocí závaží o hmotnosti 2 kg, což odpovídá hodnotě $2 \times 9,806$ N. Na grafickém záznamu se odečte výchylka v mm. Měření se opakuje nejméně 3× a vypočítá se aritmetický průměr (h_k). Konstanta přístroje se označí **k** a uvádí se v N.mm⁻¹ (výpočet: $2 \times 9,806 / h_k$).





2. Stanovení pevnosti slupky a dužniny penetrometricky: Plod se uloží na tenzometrický snímač a zatěžuje se razidlem válcovitého tvaru o známém průměru d (mm). Pro měření pevnosti jablek a hrušek lze použít razidlo průměru 11 mm. Měření se ukončí v okamžiku, kdy se na grafickém záznamu prokáže mez prasknutí slupky a pevnost dužniny.

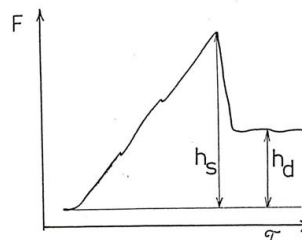
Z hodnot grafického záznamu se vypočítá penetrační napětí slupky:

$$\sigma_{ps} = \frac{F_s}{A} \text{ [MPa]}$$

Z hodnot grafického záznamu vypočítejte penetrační napětí dužniny:

$$\sigma_{pd} = \frac{F_d}{A} \text{ [MPa]}$$

Grafický záznam průběhu síly zatěžování neporušeného plodu



kde: $F_s = h_s \cdot k$ [N]; $F_d = h_d \cdot k$ [N]; h_s – výchylka odpovídající síle potřebné k penetraci slupky [mm]; h_d – výchylka odpovídající síle potřebné k penetraci dužniny [mm]; A – plocha razidla [mm²]

Praktické cvičení - pokus kategorie b - vyžadující určité laboratorní vybavení

Stanovení obsahu titrovatelných kyselin

Úkol: U předložených vzorků ovoce stanovte titrovatelné kyseliny.

Pomůcky a chemikálie: pH – metr s kombinovanou elektrodou, váhy, laboratorní míchačka pro titraci, 0,1 mol.l⁻¹ odměrný roztok NaOH.

Pracovní postup:

Zhomogenizovaný průměrný vzorek ovoce se přefiltruje přes gázu. Z tekutého podílu se odváží 5 g vzorku, přidá se 20 ml destilované vody a titruje za stálého míchání 0,1 mol.l⁻¹ odměrným roztokem NaOH do pH 8,1.

Výpočet: Obsah titrovatelných kyselin se vyjádří na kyselinu jablečnou (1 ml 0,1 mol.l⁻¹ NaOH odpovídá 0,0067 g kyseliny jablečné:

$$\% \text{ titrovatelných kyselin} = \frac{a \cdot f \cdot 0,0067 \cdot 100}{m}$$

a – spotřeba 0,1 mol.l⁻¹ NaOH v ml

f – faktor 0,1 mol.l⁻¹ NaOH

m – navážka vzorku použitá k titraci v g

Praktické cvičení - pokus kategorie b - vyžadující určité laboratorní vybavení

Stanovení rozpustné sušiny refraktometricky

Úkol: ve vzorku ovoce stanovte rozpustnou sušinu refraktometricky.

Pomůcky a chemikálie: mixer, filtr, Abbého refraktometr,

Pracovní postup: Zhomogenizovaný průměrný vzorek ovoce se přefiltruje přes gázu. Z tekutého podílu se mezi hranolky refraktometru nanese vrstvička zkoušeného vzorku temperovaného na 20 °C. Hranolem refraktometru se otáčí tak dlouho, až hranice světla a stínu protne nitkový kříž zorného pole. Na stupnici se pak odečtou hmotnostní procenta sacharózy, měření musí být provedeno při 20 °C, jinak se musí provést příslušná korekce. Získaný výsledek se označí v °Brix, protože se měří index lomu všech látek, které jsou v tekutém podílu.

Streifův index zralosti

V období sklizňové zralosti jsou hodnoceny parametry, které se významně mění při zrání na stromě a je možné je objektivně zjistit v provozních podmínkách. Provádí se výpočtem z výše naměřených parametrů:

$$\frac{\text{pevnost [N]}}{\text{rozpustná sušina [°Brix]} \cdot \text{škrob [1-10]}}$$

Příklad výpočtu pro plody odrůdu jablek 'Idared'

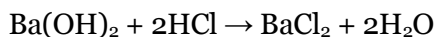
Termín	Rozp.sušina [°Brix]	Pevnost [N]	Škrobový test	Streifův index
1.8.	9,5	90,25	5	1,9
1.9.	12	86,4	8	0,9
25.9.	12,8	52,45	9	0,5



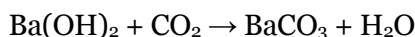
Praktické cvičení - pokus kategorie c - možno realizovat po dohodě pouze na specializovaných pracovištích

Stanovení intenzity dýchání jablek

Úkol: U jablek o známé hmotnosti zjistíte množství uvolněného oxidu uhličitého do perkolujícího vzduchu, který se reaguje s hydroxidem barnatým. Ze spotřeby odměrného roztoku HCl na odměrný roztok hydroxidu barnatého před a po reakci s CO₂ se určí hmotnost uvolněného CO₂ v měřeném časovém rozmezí.



0,025 mol Ba(OH)₂ je reakčně ekvivalentní 0,05 mol HCl (tj. 1,82 mg/ml)



0,025 mol Ba(OH)₂ je reakčně ekvivalentní 0,025 mol CO₂ (tj. 1,1 mg/ml)

Výpočet hmotnosti CO₂, který reagoval s Ba(OH)₂

$$m_{\text{CO}_2} = (a - b) \cdot f_{\text{HCl}} \cdot 1,1 \text{ [mg]}$$

a – spotřeba 0,05 mol.l⁻¹ HCl na titraci odměrného roztoku 0,025 mol/l Ba(OH)₂ před reakcí s oxidem uhličitým; b – spotřeba 0,05 mol.l⁻¹ HCl na titraci odměrného roztoku 0,025 mol/l Ba(OH)₂ po reakci s oxidem uhličitým uvolněným plody; f_{HCl} – faktor 0,05 mol.l⁻¹ HCl; 1,1 – hmotnost CO₂ v mg odpovídající 1 ml odměrného roztoku 0,025 mol.l⁻¹ Ba(OH)₂

Výpočet produkce CO₂ (intenzity dýchání):

$$R = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m \cdot \tau} \text{ (mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}\text{)}$$

m – hmotnost jablek uložených v respirátoru (kg); τ – doba měření intenzity dýchání (h)

Pomůcky a chemikálie: aparatura na zachycování oxidu uhličitého, váhy, 0,025 mol.l⁻¹ odměrný roztok hydroxidu barnatého, roztok 0,05 mol.l⁻¹ kyselina chlorovodíková, fenolftalein 1 % roztok.

Pracovní postup: Sestaví se aparatura ve sledu: absorpční nádobka s natronovým vápnem pro odstranění CO₂ z nasávaného vzduchu, respirátor s plody, reakční nádobka s odměrným roztokem hydroxidu barnatého, nasávací čerpadlo.

Titračně se stanoví spotřeba 0,05 mol.l⁻¹ kyseliny chlorovodíkové o známém faktoru na 40 ml 0,025 mol.l⁻¹ odměrného roztoku Ba(OH)₂ na indikátor fenolftalein – spotřeba a.

Do respirátoru se vloží jablka o stanovené hmotnosti (kg). Do reakční nádoby se odpipetuje 40 ml odměrného roztoku 0,025 mol.l⁻¹ Ba(OH)₂. Aparatura se hermeticky uzavře, sepne se nasávací čerpadlo, nastaví průtokový objem vzduchu na 0,5 l/min. Začne se zaznamenávat doba τ (hod) měření uvolňování oxidu uhličitého plody. Po ukončení měření se titračně se stanoví spotřeba 0,05 mol.l⁻¹ kyseliny chlorovodíkové na 40 ml 0,025 mol.l⁻¹ odměrného roztoku Ba(OH)₂ na indikátor fenolftalein – spotřeba b.

Příklad měření:

40 ml původního roztoku odměrného hydroxidu barnatého bylo titrováno, pomocí 0,05 mol.l⁻¹ kyseliny chlorovodíkové o faktoru 1,0000. Jako indikátor byl použit fenolftalein a titrace probíhala, dokud nevymizelo růžovo-fialové zbarvení. Spotřeba činila 41 ml kyseliny chlorovodíkové (hodnota a).

Do hermetické nádoby (respirátoru) o objemu 4 litry byly uloženy jablka o celkové hmotnosti 1,254 kg, teplota plodů byla 21 °C. Následně se nádoba hermeticky uzavřela a spustilo se nasávací čerpadlo na konci sestavené aparatury. Po dobu 40 minut (0,66 h) se nechal probublávat vzduch čerpaný z respirátoru přes 40 ml odměrného roztoku 0,025 mol.l⁻¹ hydroxidu barnatého, který je umístěn v reakční nádobce.

Následně byl neprodleně roztok hydroxidu barnatého z reakční nádoby titrován 0,05 mol.l⁻¹ kyselinou chlorovodíkovou na fenolftalein, dokud nevymizelo růžovo-fialové zbarvení. Výsledná spotřeba byla 32,4 ml kyseliny chlorovodíkové (hodnota b).

$$m_{\text{CO}_2} = (41 - 32,4) \cdot 1,0000 \cdot 1,1 = 9,46 \text{ mg}$$

$$R (\text{CO}_2) = 9,46 / 1,254 \cdot 0,666 = 11,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$$



Aparaturní sestava pro absorpci oxidu uhličitého do hydroxidu barnatého odsáváním atmosféry z nádoby za konstantního průtoku vzduchu zbarveného CO₂.



Praktické cvičení - pokus kategorie c - možno realizovat po dohodě pouze na specializovaných pracovištích

Zchlazování plodu a výpočet poločasu zchlazování

Úkol: Zznamenejte průběh zchlazování plodu jablka v laboratorním chladicím zařízení a vypočítejte poločas zchlazování. Do boxu vložte jablko, instalujte teplotní čidlo a box uzavřete. V pravidelných časových intervalech zaznamenávejte teplotu plodu, hodnoty sestavte do tabulky. Z naměřených hodnot zjistíte poločas zchlazování.

Popis sledovaného děje a formulace poločasu zchlazování:

Zchlazováním plodiny se odebrává vnitřní teplo, což se navenek projevuje snižováním teploty plodiny. Odvádění tepla závisí na řadě činitelů, z nichž součinitel přestupu tepla a povrch plodiny jsou za konkrétních podmínek konstantní. Odvod tepla z plodiny rovněž závisí na teplotním rozdílu mezi teplotou plodiny a teplotou prostřední obklopující plodinu.

Poločas zchlazování je časový údaj (v sekundách, minutách, hodinách), v němž teplotní diference mezi teplotou plodiny a teplotou prostředí klesne na svoji polovinu. Bude-li počáteční teplota plodiny t_1 a konečná teplota je teplotou prostředí t_p , potom platí rovnice, která vyjadřuje průběh zchlazování plodiny:

$$t_\tau = (t_1 - t_p) \cdot 2^{-a\tau} + t_p$$

t_τ teplota plodiny měřená v čase τ (°C); τ celková doba zchlazování plodiny (min); t_1 teplota plodiny na začátku zchlazování (°C); t_p konečná teplota zchlazování (shodná s teplotou prostředí) (°C); a konstanta, která zahrnuje všechny konkrétní podmínky zchlazování (objem, hmotnost plodiny, druh a rychlost chladicího média, způsob uložení plodiny). Převrácenou hodnotou a je poločas zchlazování

$$\tau_{0,5} = 1/a \text{ (min)}$$

Stanovení teploty plodu:

Do dužniny vpíchneme čidlo digitálního teploměru, hloubka ponoření má zasáhnout do 1/4 poloměru plodu. Teplotu dužniny odečítáme s přesností na 0,1°C na digitálním teploměru. Současně zaznamenáváme stopkami čas. Teplota se zaznamenává každé tři minuty, celkem 39 minut.

Výpočet hodnoty a :

Hodnotu a vypočítáme podle rovnice:

$$\ln(t_1 - t_p) - \ln(t_m - t_p) = 0,693 \cdot a \cdot \tau_m$$

kde: t_1 počáteční teplota plodu v době zahájeného zchlazování (°C); τ_m doba experimentálního měření teploty dužniny (39 minut); t_m teplota plodu při posledním měření v době (°C); t_p výsledná teplota zchlazeného plodu, která je shodná s teplotou chladicího média (°C)

Poločas zchlazování $\tau_{0,5}$ je daný vztahem

$$\tau_{0,5} = 1 / a \text{ (min)}$$

Vyjádření poločasu zchlazování:

Poločas zchlazování je důležitou hodnotou, ze které lze vypočítat čas nutný na zchlazení, ve vodních tunelech u komodit, které vyžadují rychlé zchlazení ihned po sběru, na zabezpečení co nejdelší skladovatelnosti (například třešně).

Stanovení poločasu zchlazováním plodů jablek:

Do jablka vpíchneme čidlo digitálního teploměru tak, aby zasahovalo do 1/4 poloměru plodu. Vložíme do boxu laboratorního chladicího zařízení a box uzavřeme (obr. 8). Teplotu plodu odečítáme s přesností na 0,1°C na digitálním teploměru. Současně zaznamenáváme stopkami čas. Teplota se zaznamenává každé tři minuty, celkem 39 minut.

Příklad měření:

Počáteční teplota jablka byla 22 °C (t_1). Plod spojený s čidlem byl vložen do chladicího boxu, ve kterém byla nastavena teplota vzduchu na 1 °C (t_p). Přívodní kabel k teplotnímu čidlu byl utěsněn v místě uzavírání tak, aby nedocházelo k vnikání okolního vzduchu dovnitř boxu. V pravidelných 3minutových intervalech byly zapisovány teploty plodu po dobu 39 minut.



Zchlazovací tunel pro měření poločasu zchlazování dužnatých plodů

Naměřená data průběhu zchlazování:

Doba zchlazování (min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39
Teplota plodu (°C)	20,6	19,9	18,5	17,0	15,9	14,8	13,9	13,0	12,2	11,5	10,7	10,1	9,5

Výpočty:

$$\ln(t_1 - t_p) - \ln(t_m - t_p) = 0,693 \cdot a \cdot \tau_m$$

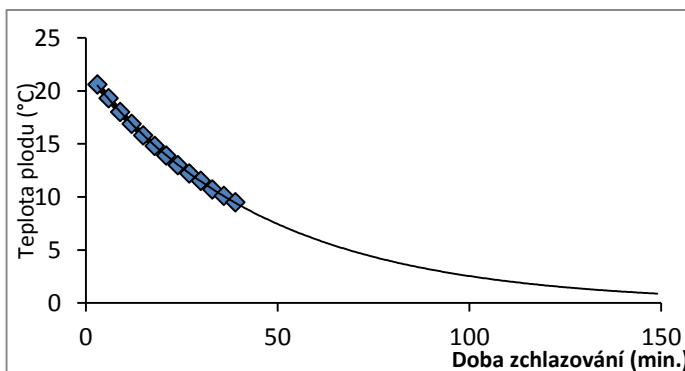
$$\ln(22 - 1) - \ln(9,5 - 1) = 0,693 \cdot a \cdot 39$$

z toho

$$\text{vypočítaná hodnota } a = 0,0335 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{poločas zchlazování: } \tau_{0,5} = 1/a = 1/0,0335 = 29,9 \text{ min.}$$

Naměřené hodnoty teploty plodu po dobu 39 minut zchlazování z původní teploty 22 °C na teplotu 9,5 °C s ukázkou trendu zchlazení plodu na teplotu okolního prostředí (1°C).



Vypočítané snižování teploty plodu podle stanoveného poločasu zchlazování:

Doba zchlazování (min)	30	60	90	120	150
Výpočet poklesu teploty (°C)	(22-1)/2 = 10,5	(11,5-1)/2 = 5,3	(6,2-1)/2 = 2,6	(3,6-1)/2 = 1,3	(2,3-1)/2 = 0,7
Teplota plodu (°C)	11,5	6,2	3,6	2,3	1,6

Po pětinasobku stanoveného poločasu zchlazování (29,9 · 5 = 149,5 minuty) dosáhne plod předpokládané teploty 1,6 °C.

1-MCP (SMART FRESH)

Aplikace přípravků na bázi 1-MCP (1-methylcyklopropen) má za cíl prodloužit skladovatelnost ovoce. Velmi dobrých výsledků dosahuje SmartFresh v kombinaci s ULO či řízenou atmosférou. Posklizňové ošetření tímto přípravkem je založeno na jednorázové aplikaci chemické látky 1-MCP, která účinně inhibuje ethylen, čímž je zabráněno dozrávání plodů. SmartFresh je aplikován rozptýlením pomocí difuzoru v plynotěsně uzavřených prostorách ULO boxů.

Ovoce zastává ve výživě a zdraví lidí důležitou roli. Je tedy třeba zajistit celoročně dostatek kvalitních plodů a pravidelné zásobování v zimních i jarních měsících. Na posklizňové dozrávání ovoce působí mnoho vlivů, jako je teplota, vlhkost, složení atmosféry, apod. Ovoce je citlivé na etylen, který se vyskytuje v okolí, nebo si ho plody sami během dozrávání vytvářejí. Etylen zrychluje zrání a zkracuje dobu skladovatelnosti. Cílem obchodníků je zabránit nebo alespoň zbrzdit tyto účinky, tak aby bylo zajištěno dodávání ovoce v co nejlepší kvalitě i delší dobu po sklizni. Jedním ze způsobů je zvolení vhodných skladů. Zbrzdění dozrávání lze dosáhnout chladírenskými teplotami nebo uložením plodů ve skladech, kde je upravena atmosféra tak, že je dýchání plodů sníženo a tím se docílí zpomalení zrání.

Možnosti dlouhodobého skladování ovoce jsou středem zájmu komerčních podniků. Udržení svěžích plodů po delší dobu vyžaduje dobré skladování v prostorách s optimální teplotou a vlhkostí vzduchu. Snižování obsahu vzdušného kyslíku a udržení určitého podílu CO₂ zpomaluje dozrávání plodů a prodlužuje dobu skladování. Skladovatelnost ovoce je vyjádřena jako počet dní, po které si ovoce uchová tržní jakost. Je ovlivňována už během růstu a vývoje mnoha faktory, jako např.: odrůdovými vlastnostmi, klimatickou oblastí a počasím daného roku, typem půdy a hnojením, dále sklizňovou zralostí a termínem sklizně. Rozhodujícím faktorem jsou optimální skladovací podmínky.





V neposlední řadě se rozvíjí výzkum chemických látek, které inhibují etylen. Jedním z nich je 1-methylcyklopropen (1-MCP). Jde o látku netoxickou, která brání dozrávání plodů a používá se ve velmi nízkých koncentracích. Působí ve formě plynu, který se váže v ovoci na vazebná místa etylenu a tím inhibuje zrání. Zabraňuje měknutí plodů nebo ho alespoň zpomaluje, snižuje úroveň dýchání, tvorbu etylenu a vybarvování plodů. Rozsah inhibice je spojen s druhem, skladováním druhu a délkou skladování. Efektivní význam má použití 1-methylcyklopropenu u klimakterického ovoce.

Významné zpomalení dozrávání ovoce docílíme ve skladovacích ULO (ultranízký obsah kyslíku) komorách, kde je doporučován obsah kyslíku v rozsahu 0,9–2,5 % a obsah oxidu uhličitého 1,5–2,5 %. Nízkého obsahu kyslíku se docílí tím, že se uzavřená atmosféra zředí N_2 , vyrobeným na generátoru dusíku nebo z tlakových lahví v tekutém i plynném stavu. Obsah oxidu uhličitého se udržuje tlakovou separací vzduchu přes aktivní uhlí.



trvanlivosti a uskladnění ovoce.

Aplikace přípravků na bázi 1-MCP (1-methylcyklopropen) dosahuje velmi dobrých výsledků v kombinaci s ULO atmosférou. Posklizňové ošetření tímto přípravkem je založeno na jednorázové aplikaci chemické látky 1-MCP, ve formě stabilního prášku, v němž je komplex s γ -cyklodextrinem, takže 1-MCP je při rozpuštění ve vodě snadno uvolněn jako plyn. Používá se ve velmi nízkých koncentracích, rozptýlením v plynotěsně uzavřených komorách. Doba působení této aplikace je 24 hodin, poté proces skladování pokračuje jako obvykle. Hlavní výhodou 1-MCP je prevence proti rychlému zrání a měknutí. Hlavním přínosem ošetření je prodloužení

Příklad praktické aplikace přípravku SmartFresh u jablek

Aplikace se provádí co nejdříve, nejpozději do 7 dní po sklizni jablek, po jejich předchozím zchlazení. Přípravek se smí aplikovat jen ve vzduchotěsných prostorách, jako jsou sklady (klasické chladírny a řízená atmosféra), u kterých byla předem prověřena jejich plynotěsnost. Na uzavřených dveřích musí být upevněn nápis: „Pozor – nevstupovat. Probíhá aplikace přípravkem SmartFresh.“ Nápis musí zůstat na dveřích po celou dobu aplikace a odstraněn až po důkladném vyvětrání. Po ukončení aplikace musí být prostory řádně vyvětrány se všemi chladicími ventilátory běžícími na plný výkon nejméně po dobu 15 minut před opětovným vstupem. Při odstraňování difuzoru je třeba ověřit, zda se obsah sáčku rozpustil a nejsou viditelné žádné usazeniny. Přípravek bez difuzoru nelze použít. Difuzor musí splňovat normy požadované pro tyto typy přístrojů. Dávka přípravku u jablek je $0,049\text{g}/\text{m}^3$, podle kapacity skladu (objem v m^3) se spočítá dávka pro aplikaci. Před použitím je nutné si přečíst příložené pokyny.

Metoda s použitím 1-methylcyklopropenu umožňuje udržet vysokou kvalitu ovoce v průběhu skladování a její efekt je viditelný i po vyskladnění. Významně se tak snižují ztráty a zlepšují se fyziologické vlastnosti ovoce, udržuje se vzhled plodů, jejich svěžest, šťavnatost, a pevnost dužniny. V našich podmínkách je asi nejvýznamnější použití při skladování jablek a švestek. Důležitým faktorem úspěchu je kvalita a stupeň zralosti plodů. Podle výzkumů je vhodnější ošetření plodů, které již dosáhly konce sklizňové zralosti, nebo začátku konzumní zralosti, protože jsou plně vybarvené a splňují požadavky na chuť.

V České republice se tato metoda posklizňového ošetření vyskytuje pod obchodním názvem SmartFresh. Vlastníkem technologie SmartFresh pro skladování ovoce je firma AgroFresh a výhradním zástupcem pro ČR se stala firma Pebaco Brno s.r.o. Pro zavedení technologie SmartFresh v České republice je nutné jednat s vlastníkem práv, firmou Agrofresh a provést certifikaci pro tuzemské použití.

Kontrolní otázky

1. Charakterizujte látku 1-MCP a popište její význam pro skladování ovoce?
2. Popište aplikaci chemické látky 1-MCP?

Praktické cvičení - pokus kategorie b - vyžadující určité laboratorní vybavení

Hodnocení a rozbor vnitřní kvality ošetřených a kontrolních plodů

1. K hodnocení a rozboru potřebujete od jedné odrůdy 5 ks plodů ošetřených přípravkem 1-MCP a 5 ks plodů kontrolních (bez ošetření). Pevnost plodů se měří pomocí ručního penetrometru určující pevnost dužniny plodů. Z těchto naměřených hodnot vypočítejte průměr pevnosti plodů ošetřených a kontrolních.
2. Refrakce je měřena pomocí digitálního refraktometru HI 96801 a opět použijeme stejné plody. Postupně odkrojíme z každého plodu malou část dužniny a vymáčkeme šťávu na skleněnou plošku měřicí jednotky a přečteme si výslednou hodnotu. Před každým měřením šťávu otřeme např. papírovým ubrouskem. Z těchto naměřených hodnot vypočítejte průměr obsahu refraktometrické sušiny plodů ošetřených a kontrolních.
3. Výsledné naměřené hodnoty všech odrůd porovnejte mezi sebou. U jednotlivých odrůd porovnejte průměry ošetřených a kontrolních plodů.

Nároky na technické a materiální vybavení: Digitální refraktometr – k měření obsahu refraktometrické sušiny. Penetrometr (ruční) – k měření pevnosti plodů

