

Dinamičko kontrolirano skladištenje jabuka

Sažetak

Pomoću dinamičkog kontroliranog skladištenja (DCA = dinamički kontrolirana atmosfera) plodovi se jabuka skladište u atmosferi koja sadrži najmanju moguću razinu kisika (od 0,3 % do 0,6 %). Na taj se način disanje plodova gotovo zaustavlja, a sve u cilju održanja maksimalne kvalitete plodova tijekom cijelog skladištenja. Međutim, bi se spriječilo trajno oštećenje plodova, koncentracija kisika ne smije pasti ispod anaerobne kontrolne točke (ACP). Pokazane su prednosti i slabosti tri DCA metode koje se temelje na mjerenju fluorescencije klorofila (DCA-CF), računanju respiratornog kvocijenta (DCA-RQ) te mjerenju produkta fermentacije (DCA-FI) u usporedbi sa ULO hladnjačama. Čvrstoća je jabuka pohranjenih u DCA bila značajno veća od one u kontrolnoj skupini voća pod stalnom ULO atmosferom, također, smanjio se postotak skladišnih bolesti.

Ključne riječi: jabuka, skladištenje, dinamička kontrolirana atmosfera (DCA)

Uvod

Priprema jabuka za skladištenje započinje već njihovom berbom, koja treba biti pravovremena. Vrijeme berbe ovisi o sorti, načinu dozrijevanja, namjeni jabuka, podneblju i udaljenost od tržišta. Manji proizvođači jabuke mogu brati u stadiju pune zrelosti, kada su pogodne za potrošnju u svježem stanju, odnosno u stadiju tehnološke zrelosti kada je u pitanju dulji transport, odnosno skladištenje. Za razliku od trešnja ili višnja koje dozrijevaju na stablu, jabuke spadaju u klimakterijsko voće koje nastavlja s dozrijevanjem nakon berbe (zbog toga se berba planira od 3 do 5 dana prije pune zrelosti – plodovi sazrijevaju tijekom transporta ili u skladištu). Nakon što su plodovi ubrani treba ih pravilno skladištiti da bi se što dulje očuvala kvaliteta. Zbog postojanja hormona starenja (etilena) ubrzava se sazrijevanje koje vodi omekšavanju plodova te osigurava kraću skladišnu dob.

Jabuke se pohranjuju u hladnom, tamnom i vlažnom prostoru, što je metoda koja se primjenjuje stoljećima. Razvoj prvih hladnjača, početkom 20. stoljeća, omogućuje dulje skladištenje većine sorti jabuka kod temperature oko 2°C te relativne vlage od 90 do 95 %. Budući da je sastav zraka u takvim skladištima ostao nekontroliran, poznate su kao NA (*natural atmosphere*) hladnjače.

Početkom 30-ih godina 20. stoljeća profesor Robert Smock s Cornell University, SAD, razvio je revolucionarnu tehniku pohranjivanja jabuka u kontroliranoj atmosferi (CA – *control atmosphere*), kojom je kontrolirao, ne samo temperaturu i vlagu na kojoj su jabuke pohranjene, već i atmosferu, odnosno sastav plinova. Jabuke su u CA skladištu zatvorene u okruženju zraka koji sadrži oko 2 % kisika te 3 % CO₂. Pomoću kontrolirane se atmosfera usporava disanje jabuka, što posljedično usporava njihovo sazrijevanje. Kontrolirana je atmosfera omogućila produženje pohrane plodova sve do kasnog proljeća.

Tijekom 50-ih i 60-ih godina prošlog stoljeća CA skladištenje se proširilo SAD-om i Europom te se nekoliko desetljeća razvilo u ULO (*ultra low oxygen*) tip skladišta u kojima se smanjila količina kisika na 0,8 - 1,0 %, odnosno CO₂ na 0,5 - 2,0 %. U toj je atmosferi dužina skladištenja određenih sorti postigla čak 12 mjeseci.

¹ Prof. dr. Denis Stajanko, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Pivola 10, 2311 Hoče-Maribor, email: denis.stajanko@um.si



Slika 1 Pojava *scald* (lijevo) te gorke truleži (desno) kod plodova skladištenih u CA uvjetima

Međutim, inhibicija respiracije, prouzrokovana niskim postotkom kisika u pojedinim sortama te kišovitim godinama, blokira razvoj aroma, prouzrokuje malolaktično vrenje te žućenje mesa, a neravnoteža u metabolizmu može povećati i skladišne bolesti kao što su: gorka trulež (slika 1. desno), ekonomski najznačajnija bolest – smeđa trulež (slika 2 lijevo) te tamna palež kože (*scald*) (slika 1. lijevo), gorka pjegavost (nedostatak Ca – slika 2 lijevo) i mrežavost plodova (slika 2 desno).



Slika 2 Smeđa trulež (lijevo) i mrežavost ploda jabuke (desno)

Dinamički kontrolirana atmosfera

Krajem 90-ih godina prošlog stoljeća u nekim su zemljama zabranjena kemijska sredstva za sprečavanje skladišnih bolesti pa su fiziolozi započeli tražiti nove mogućnosti za održavanje kvalitete skladištenja. Razvila se dinamička kontrolirana atmosfera (DCA) koja podrazumijeva skladištenje voća u promjenljivoj koncentraciji kisika i ugljičnog dioksida koju prilagođavamo odazivu skladištenog voća. Skladišta DCA predstavljaju alternativu skladištima ULO u kojima je koncentracija kisika konstantna. Glavne su prednosti skladišta s dinamičkom kontroliranom atmosferom smanjenje mogućnosti razvoja kožne bolesti *scald* na voću, povećanje tvrdoće skladištenog voća, kao i duže vrijeme skladištenja.

DCA-CF

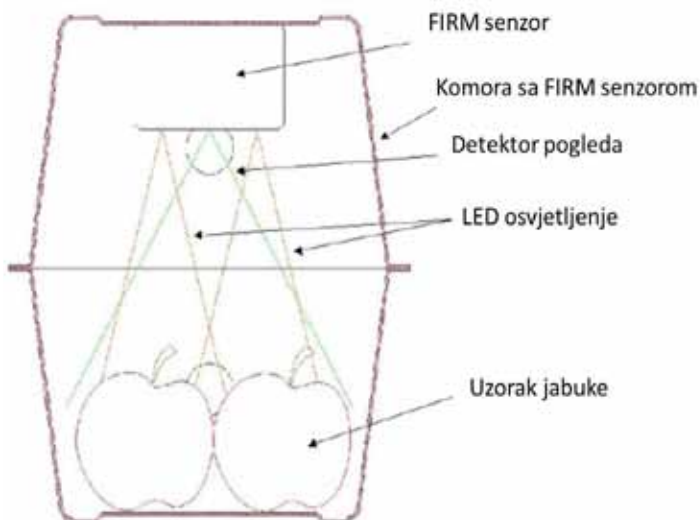
DCA-CF tehnika skladištenja najprostranija je od svih danas poznatih tehnologija. Tim se postupkom godišnje diljem svijeta pohranjuje više od 350.000 tona jabuka (Argentina, Brazil, Čile, SAD, Velika Britanija, Austrija, Njemačka, Švicarska, Poljska, Slovenija, Hrvatska, Srbija,

Izrael, Francuska, Španjolska, Portugal, Južna Afrika i Novi Zeland), a broj je komora još uvijek u porastu.

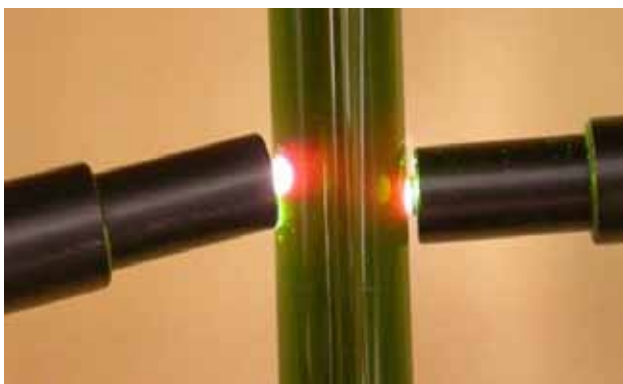
Ovu je tehnologiju skladištenja prva patentirala firma Harvest-Watch™ u Kanadi, a 2003. godine dr. Angelo Zanella (Land-und Forstwirtschaftlichen Versuchszentrum Laimburg iz južnog Tirola) ju je optimizirao i postavio u praksi prve četiri DCA komore.



Slika 3 Otvorena kutija sa F.L.I.R. senzorom



Slika 4 Shema kutije sa F.L.I.R. senzorom



Slika 5 Pojava fluoroscence na klorofilu špinata u otopini pokazuje kako klorofil fluorescira bijelo svjetlo u crveno.



Slika 6 Šest kutija s ugrađenim FIRM senzorima (HarvestWatch™) u komercijalnom ULO skladištu jabuka

Metoda DCA-CF koristi posebne klorofil fluorescentne senzore (slika 3) smještene direktno u manje kutije koje se stavljaju u boks palete i pomoću kojih se u realnom vremenu dinamički kontrolira sustav plinova i time omogućuje spuštanje nivoa kisika do minimalnih granica dišne aktivnosti ploda.

Klorofil je prirodni fluorescent, što znači da je za vrijeme njegova ozračivanja ionizirajućim zračenjem pobuđena svjetlost crvene boje s duljom valnom dužinom (slika 5). Budući da količina klorofila sa zrenjem pada, manja je i izmjerena fluorescencija. F.I.R.M. senzor (*Fluorescencije Interactive Response Monitor*) je tehničko pomagalo koje mjeri količinu reflektirane svjetlosti od kožice ploda u obliku crvene fluorescence. Na taj se način određuje prisutnost anaerobne kompenzacijske točke (ACP – *anaerobic compensation point*) koja predstavlja donju graničnu koncentraciju kisika kod koje prestaje disanje i počinje fermentacija. Pomoću senzora određivanje je ACP točke brzo, točno i u realnom vremenu čime je postupak jednostavan i siguran za uporabu.

U praksi se, pomoću DCA-CF sustava, razina kisika u prostorijama održava između 0,4 % i 0,7 % (za jabuke), što je gotovo 1 % manje od ULO skladišta, čime se stvaraju idealni uvjeti za skladištenje raznih vrsta voća bez rizika hipoksije (stanje smanjene količine kisika u stanicama

i tkivu koja vodi u poremećaje funkcionalnosti organa, sustava i stanica). Također, u komorama su izmjerena značajna smanjenja skladišnih bolesti, koja su često posljedica nedostatka prihrane plodova tijekom rasta i razvoja u voćnjaku, godišnjih vremenskih uvjeta, različitog podrijetla i ritma disanje voća u komorama.

Niske koncentracije kisika, koje iznimno smanjuju intenzitet disanja, poboljšavaju organoleptička svojstva plodova (čvrstoću, sočnost, šećere, kiselost, okus i miris) pa se prema tome produljuje rok trajanja, za razliku od konvencionalne CA tehnologije.

Otkada su u skladištenju voća zabranjena kemijska pomagala npr. DPA za jabuke i *et-hoxyquin* za kruške, DCA-CF tehnologija skladištenja smanjuje postotak skladišnih bolesti diljem svijeta. Taj je način skladištenja osobito pogodan u ekološkoj proizvodnji jabuka, u kojoj je upotreba kemikalija strogo zabranjena.

Druge su, pozitivne nuspojave DCA skladišta, pronađene u posljednjih nekoliko godina i uključuju značajno smanjenje unutarnjeg rumenila u posebno osjetljivih sorti (*Braeburn, Pink Lady, Fuji, Baka, Idared*), smanjenje gorke truleži kod sorte Rubens, također, čuva se bolja boja kože jabuka.

Od kada su u južnom Tirolu, 2004 godine, postavljene prve četiri DCA komore njihov se broj povećao na 519 do 2014. godine. S tim se u skladu pretpostavlja da će ta vrsta skladištenja u budućnosti i dalje primjenjivati i postati standard suvremene tehnologije pohrane jabuka.

Budući da se tehnologija DCA-CF u svijetu ekskluzivno distribuira od strane tvrtke Isolcell Italia SpA, pod komercijalnim nazivom DCA Isostore®, usporedno su razvijene i ostale tehnologije dinamičke kontrole ULO skladištenja koje su predstavljene u nastavku rada.

DCA-RQ

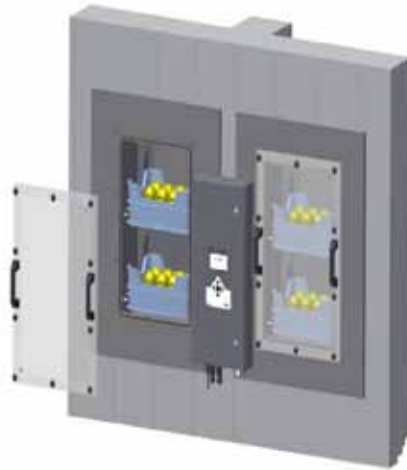
Ova se skladišna tehnika oslanja na vrednovanje respiracionog koeficijenta RQ koji se računa iz kvocijenta produkcije ugljičnog dioksida (CO_2) i potrebe plodova za kisikom (O_2), za vrijeme skladištenja. Naime, usporedno sa smanjenjem koncentracije kisika u skladištu, smanjuje se i respiracioni koeficijent sve do minimalne vrijednosti kod anaerobne kompenzacijske točke (ACP). Nakon pada koncentracije O_2 ispod te kritične granice dolazi do početka fermentacije te do ponovnog rasta respiracionog koeficijenta.

Prema navedenom, DCA-RQ zapravo nije novo tehničko rješenje, već sustav skladištenja prema posebnom protokolu koji nadzire ULO skladište. Protokol se koristi za jabuke i služi za stalnu kontrolu sadržaja kisika iznad anaerobne kompenzacijske točke, odnosno proizvodnje etanola. U svijetu se najviše koriste protokoli firme van Amerongen i Agrofresh.

DCA-FI

DCA-FI skladišna tehnika dinamički kontrolira ULO skladište pomoću mjerenja produkta fermentacije u samom plodu, odnosno u atmosferi koja nastaje tijekom skladištenja u ULO komorama. Pored mjerenja najznačajnijeg produkta tog procesa, etanola, tim se postupkom određuje i količina njegovih naknadnih molekula acetaldehida te etilacetata. Riječ je o aromatičnim molekulama koje nastaju tijekom fermentacije. DCA – FI postupak je najprije razvijen početkom 90-ih godina prošlog stoljeća u ATO – DLO u Wageningenu, Nizozemska, ali se zbog nedostatka preciznosti mjerenja etanola nikada nije proširio u praksu u svom izvornom obliku. Naime, etanol nije samo rezultat vrenja u zdravim plodovima, već nastaje u ranije oštećenim plodovima koji nastavljaju s kvarenjem. S druge strane, zdravi plodovi mogu apsorbirati etanol iz zraka pa se nije moglo dovoljno precizno odrediti odakle zapravo potiču molekule etanola. Posebno je važno napomenuti da se za razliku od kisika i ugljičnog dioksida, koji se mjere u postocima, plinovi fermentacije pojavljuju u milijun puta manjim koncentracijama (ppb). Kako bi riješili taj problem, današnji su mjerni uređaji (www.storex.nl/) stavljeni zajedno sa zdravim

plodovima u posebne mini komore (slika 7., slika 8.) na vrhu ili sa strane komercijalnih komora.



Slika 7 Shema vanjske jedinice za mjerenje produkcije etanola sa četiri 16 kg komore

Dosadašnja su iskustva s DCA – FI u pokrajini Altes Land (Njemačka) pokazala značajnu mogućnost smanjenja fizioloških bolesti kod sorti Elstar (mrežavost), Jonagold (*scald*) te Braeburn (gorka trulež).

Osim uobičajenog automatskog praćenja sastava atmosfere, DCA sustav uključuje i ručno praćenje te umjeravanje plinova za kontroliranje procesa anaerobne fermentacije (etanol, etilacetat i acetaldehid) i to kako bi se spriječio pad vrijednost kisika ispod kritične vrijednosti, a time i nepoželjne nuspojave alkoholne fermentacije u plodovima jabuka.



Slika 8 DCA-FI mjerni uređaj za mjerenje etanola u komorama (lijevo), detalj uređaja (desno)

Granične su vrijednosti produkta fermentacija pokazane u tablici 1 iz koje je vidljivo kako povećanje etanola iznad 50 ppm može prouzrokovati trajne štete plodova što vodi do tržišno nezanimljivih jabuka.

Tablica 1 Granične vrijednosti produkta fermentacije plodova

Produkt	Uvećane vrijednosti	Značajno povećane vrijednosti	Trajne štete, tržišno nezanimljivo
Etanol		> 50ppm	
Etilacetat	> 2ppm	> 5ppm	> 20ppm
Acetaldehid	> 2ppm	> 5ppm	

Budući da je sustav DCA-FI jeftiniji od ranije spomenutog i zaštićenog sustava DCA Isocell®, u različitim su europskim zemljama postavljeni ogledi zdravstvenog stanja skladištenih plodova s više glavnih sorti u više ponavljanja. Kao primjer je u tablici 2 pokazan utjecaj DCA na fermentaciju kod deset sorti jabuka pohranjenih u 134 komore u pokusu koji se vodio u Austriji u 2014. godini, a iz kojih se vidi da je *Red delicious* najosjetljivija na novu tehnologiju, dok su se sorte 'Arlet', 'Fuji', 'Gala', 'Idared' i 'Topaz' pokazale potpuno neosjetljive.

Tablica 2

Sorta	Broj komora	Bez povećanog etanola %	Malo povećan etanol %	Značajno povećan etanol %
Arlet	1	100	0	0
Braeburn	37	78,4	10,8	10,8
Pinova/Evelina	9	55,6	44,4	0
Fuji	1	100	0	0
Gala	19	100	0	0
Golden Del.	38	76,3	13,2	10,5
Idared	5	100	0	0
Jonagold	10	90	0	10
Red Del.	2	50	50	0
Topaz	12	100	0	0

Zaključci za praksu

Glavne su prednosti i slabosti pojedinih DCA metoda pokazane u tablici 3 iz koje vidimo kako svaka od tri predstavljene metode sadržava dobre i slabe strane. Iako je ranije spomenuto da se DCA-CF u svijetu reklamira kao tehnologija budućnosti, njegova je slaba strana (pored cijene) prije svega nedostatak mjerenje produkta fermentacije. Naime, kontroliranje ACP točke jedino pomoću sustava FIRM može dovesti i do kobnih grešaka pa bi se njegova pouzdanost mogla u budućnosti još povećati dodatnim mjerenjima etanola. S druge strane, ostale dvije metode zahtijevaju nadziranje većeg prostora, odnosno broja uzoraka što predstavljaju određene logističke probleme jer namještanje mikro postrojenja ponekada usporava redovite procese punjenja i pražnjenja komora.

U pokusima se skladištenja ekoloških jabuka pokazalo kao je kritična razina kisika u zavisnosti od trajanja potapanja plodova u toploj vodi prije samog skladištenja kao i samog načina proizvodnje. Značajno je istaknuti da kritična donja granica postotka kisika varira od godine do godine (npr. kod sorte Topaz od 0,20 %, 0,18%, 0, 56 % tijekom 3 godine) što se može pripisati različitim klimatskim uvjetima u pojedinim godinama. Također, kod sorti Topaz i Otava se u DCA skladištu očuvala značajno veća kvaliteta u usporedbi s ULO skladištenjem, dok se kod sorte Ariane očuvala veća čvrstoća i kiselost plodova.

Potapanje u toploj vodi, međutim, nije smanjilo pojavu fizioloških bolesti unatoč DCA skladištenju. Također, pokazalo se kako je učestalost truleži voća jako ovisna o sorti jabuka pa je prema tome Topaz jako osjetljiva sorta, dok se Ariane gotovo ne kviri. Isto tako, značajnim se pokazalo da je voće ekološkog uzgoja puno sklonije kvarenju u usporedbi sa IP proizvodnjom. U usporedbi s ULO ni skladištenje u DCA ne smanjuje pojavu truleži.

Tablica 3 Usporedba različitih DCA skladišnih tehnologija

DCA-CF		DCA-RQ		DCA-FI	
Prednosti	Slabosti	Prednosti	Slabosti	Prednosti	Slabosti
Stalna online kontrola komora	Reguliranje atmosfere u komori bazira na malom uzorku	Alternativa klorofilnoj fluorescenci	Ne mjere se produkti fermentacije	Alternativa klorofilnoj fluorescenci	
Samostalan sustav kontrole	Ne mjere se produkti fermentacije	Mjerenje atmosfere cijele komore	Pouzdanost nije provjerena u velikim komorama sobe		Zahtjeva velike uzorke
Nije destruktivna metoda	Visoki troškovi ugradnje zbog monopola firme Isolcell®			Direktno (on line) mjerenje etanola	Mjerenje etanola je komplicirano

Scientific study

Dynamic controlled storage of apple

Abstract

With a dynamic controlled storage (DCA = dynamically controlled atmosphere) apple fruits are stored in an atmosphere, which contains the minimum level of oxygen between 0.3 % and 0.6 %. On this way, the respiration rate almost stopped, in order to maintain maximum quality of fruits throughout storage. However, the oxygen concentration should not fall below the anaerobic control point (ACP) to prevent permanent damage of the fruit due to fermentation. The paper represents advantages and disadvantages of three DCA methods that based on the measurement of chlorophyll fluorescence (DCA-CF), calculating the respiratory quotient (RQ-DCA), and measurements of the fermentation products (DCA-FI) compared to ULO. The apples stored in the DCA was significantly higher outer and inner quality than those in the control group of fruits under constant ULO atmosphere.

Keywords: apple, storage, dynamic controlled atmosphere (DCA)