

Zastosowanie kontrolowanej atmosfery podczas transportowania owoców i warzyw drogą morską

Wstęp

Transport owoców i warzyw drogą morską jest bardzo ekonomiczny jednak stosunkowo wolny³. Owoce i warzywa stanowią tkankę żywą, w której przebiegają procesy życiowe i czas trwania transportu ma duże znaczenie dla jakości tych produktów w momencie dostarczenia ich do odbiorcy. Dotyczy to zwłaszcza owoców i warzyw transportowanych drogą morską z innych kontynentów, który to transport trwa w zależności od odległości często nawet do kilku tygodni. Wiele gatunków owoców i warzyw nie jest odpornych na tak długotrwały czas przechowywania i mimo obniżenia temperatury, która spowalnia przebieg reakcji ostatecznie dochodzi do znacznego pogorszenia cech sensorycznych oraz zepsucia produktów. Oprócz kontroli takich parametrów jak wilgotność czy temperatura podczas transportu istnieje możliwość regulacji stężenia gazów wewnątrz kontenera takich jak azot, tlen, dwutlenek węgla. Procesy życiowe zachodzące w warzywach i owocach zmieniają skład atmosfery a nowo powstały jej skład może przyspieszać ich psucie. Zachowanie optymalnego stężenia gazów wewnątrz kontenera znacznie wydłuża czas transportu spowalniając procesy życiowe.

Zastosowanie kontrolowanej atmosfery w wielu przypadkach obniża intensywność oddychania owoców i warzyw. Wysokie stężenie dwutlenku węgla i niskie tlenu może powodować u niektórych odmian wzrost intensywności oddychania. Przypuszcza się, że taką różnorodność zachowań w zależności od warunków powodują interakcje określonego stężenia gazów w atmosferze z temperaturą, uszkodzenia tkanek spowodowane zbyt wysokim stężeniem dwutlenku węgla powodujące intensyfikację oddychania. Jednak wybrane owoce i warzywa przechowywane w optymalnych, dobranych w zależności od gatunku rośliny stężeniach gazów

wykazują znaczny wzrost trwałości. Efekty zastosowania kontrolowanej atmosfery zależą od czynników takich jak: gatunek i odmiana rośliny, stężenie poszczególnych gazów, temperatura atmosfery, stopień dojrzałości produktów, warunki uprawy przed zbiorem, poziom etylenu wewnątrz kontenera, przygotowania przed magazynowaniem.

Skutki obniżenia poziomu tlenu w atmosferze są następujące:

- obniżenie intensywności oddychania,
- redukcja utleniania substratów,
- opóźnienie dojrzewania,
- wydłużenie czasu przechowywania,
- opóźnienie rozkładu chlorofilu,
- redukcja stopnia produkcji etylenu.

Korzyści wynikające z zastosowania podwyższonego poziomu dwutlenku węgla to:

- opóźnienie inicjacji dojrzewania,
- inhibicja niektórych enzymatycznych reakcji,
- obniżenie produkcji niektórych substancji lotnych,
- zmiana metabolizmu niektórych kwasów organicznych,
- inhibicja rozkładu chlorofilu,
- zmiany w zawartości cukrów (ziemniaki),
- efekt kiełkowania (ziemniaki).⁴

W przypadku niektórych owoców i warzyw stosowanie kontrolowanej atmosfery jest niekorzystne lub efekt jej zastosowania jest porównywalny

z przechowywaniem bez kontroli stężeń gazów i wtedy należy zrezygnować z jej zastosowania ze względu na brak opłacalności takiego transportu. Koszt zastosowania kontenerów przystosowanych do kontrolowanej atmosfery wynosi ok. 2 centy US na kilogram produktu¹.

Warzywa i owoce różnią się wymaganiami odnośnie stężeń poszczególnych gazów. Celem pracy jest ustalenie optymalnych stężeń i temperatur dla wybranych warzyw i owoców i pogrupowanie ich tak, aby umożliwić transportowanie ich razem w jednym składzie w jednakowych warunkach.

¹ mgr inż., Natalia Daszewska, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych

² dr hab. inż., Krzysztof Bieńczak, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych

³ R. Heap, Food Transportation, 1998, Cambridge UK, s.75

⁴ A. Keith Thompson, Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables, 1998, Cambridge USA, s. 11-12

Procesy życiowe zachodzące w warzywach i owocach podczas przechowywania i transportu

W owocach i warzywach po zbiorze zachodzi szereg reakcji chemicznych, pożądaných ze względu na wytworzenie się określonych cech sensorycznych ale też po pewnym czasie doprowadzających do zepsucia produktów. Podstawowe procesy fizjologiczne w tkankach roślinnych to oddychanie, dojrzewanie i transpiracja.

W wyniku oddychania następuje ubytek masy, wzrost temperatury produktów oraz otoczenia jak również zmiana składu gazowego atmosfery.

Młode, rozwijające się tkanki roślin wydzielają duże ilości ciepła, natomiast szybko dojrzewające rośliny takie jak truskawki, cytrusy przeprowadzają bardzo intensywny proces oddychania. Najmniej intensywnie oddychają suche nasiona, orzechy jak również warzywa okopowe.

Transpiracja jest procesem uwalniania wody. W efekcie tego procesu w warzywach i owocach zauważalny jest znaczny spadek masy. Po dłuższym czasie widoczne staje się pomarszczenie surowca, jego zmiękczenie. Niezauważalna a jednak istotnie obniżająca jakość zdrowotną produktu jest utrata wartości odżywczej gdyż wraz z wodą produkt traci cenne składniki w niej rozpuszczalne.

Tym procesom towarzyszy dojrzewanie rośliny w wyniku, którego następuje zmiana składu chemicznego rośliny (hydroliza lub synteza cukrów, zmniejszenie ilości kwasów organicznych). W trakcie dojrzewania wykształcają się cechy sensoryczne, które zwiększają przydatność konsumencką jednak zbyt długie dojrzewanie doprowadza do przejrzenia, czego skutkiem jest znaczne obniżenie jakości oraz w efekcie zepsucie produktów.⁵

Kontrola oraz regulacja stężenia gazów w atmosferze znacznie spowalnia powyższe przemiany w przypadku niektórych warzyw i owoców. Wpływa to korzystnie na jakość produktu oraz znacznie wydłuża czas transportowania, co jest istotne w przypadku długotrwałego transportu drogą morską.

Wpływ tlenu i dwutlenku węgla na warzywa i owoce

Niektóre odmiany jabłek przechowywane w atmosferze zawierającej niskie stężenie tlenu i wysokie stężenie dwutlenku węgla mogą ulec uszkodzeniu. Początkowo obejmuje ono wewnętrzne tkanki i z czasem zajmuje coraz większe powierzch-

nie. Dwutlenek węgla powoduje powstanie zapadniętej ciemnozielonej powierzchni o wyraźnie zaznaczonych krawędziach, która z czasem ciemnieje i staje się prawie czarna. Uszkodzenia spowodowane niskim stężeniem tlenu są porównywalne do skutków oddychania beztlenowego (fermentacji) i powodują nagromadzenie się toksycznych związków. W efekcie powstaje martwa tkanka wewnątrz produktu.

Jednocześnie istotne wydaje się współdziałanie tlenu i dwutlenku węgla. Badania wskazują, że kukurydza dobrze znosi 2 % stężenie tlenu lub 25% dwutlenku węgla w temperaturze 5°C przez 2 tygodnie ale może zacząć się psuć przy jednoczesnym zastosowaniu tej kombinacji gazów.

Dojrzałe zielone pomidory przechowywano w określonej temperaturze w normalnym składzie atmosfery oraz w atmosferze wypełnionej 100% tlenem przy normalnym oraz zredukowanym ciśnieniu dopóki nie uzyskały pełnego czerwonego zabarwienia. W atmosferze bogatej w tlen oraz przy zredukowanym ciśnieniu zaobserwowano zmiękczenie owoców. Również w tych warunkach zauważalne było szkodliwe nagromadzenie etylenu przyspieszającego dojrzewanie w porównaniu z owocami przechowywanymi w normalnej atmosferze przy zredukowanym ciśnieniu. W wyniku innych badań pomidory przechowywane w temperaturze 12-13°C w atmosferze o stężeniu tlenu 40-50% znacznie szybciej dojrzewały niż te przechowywane w normalnej atmosferze.

Intensywność oddychania bulw ziemniaków przechowywanych w temperaturze 4°C była znacznie mniejsza w przypadku przechowywania ich w 3% lub 1 % stężeniu tlenu niż przechowywanych w 35% tlenu.

Z drugiej strony zauważono pozytywne efekty przechowywania minimalnie przetworzonych owoców i warzyw w atmosferze o stężeniu tlenu sięgającym 80% i pakowanych w warunkach atmosfery modyfikowanej. Znacznie spowolniło to niepożądane reakcje fermentacji, opóźniło brązowienie produktów a poziom tlenu wynoszący 65% zahamował jednocześnie rozwój tlenowej i beztlenowej flory mikrobiologicznej.²

W tab.1 przedstawiono wpływ przechowywania w CA (Controlled Atmosphere, ang) na poziom zepsucia pomidorów zabranych na etapie niepełnej dojrzałości. Zmiana składu atmosfery istotnie ograniczyła psucie produktów natomiast jednocześnie zauważalna jest różnica pomiędzy poziomami tlenu i dwutlenku węgla i procentem zepsutych pomidorów, co oznacza, że poszczególne gatunki owoców i warzyw wymagają odrębnych warunków atmosferycznych

⁵ B. Czerniawski, J. Michniewicz, Opakowania żywności, Agro Food Technology, 1998, Czeladź s. 370-371

Tabela 1. Wpływ przechowywania w CA na poziom zepsucia pomidorów zabranych na etapie niepełnej dojrzałości

Warunki przechowywania	Po przechowywaniu przez 6 tygodni w 13°C [%]	Dodatkowy tydzień temperaturze 15-21°C [%]	Dodatkowe 2 tygodnie w temperaturze 15-21°C [%]
powietrze	65,6	93,3	98,6
0% CO ₂ + 3% O ₂	2,2	4,4	16,7
3% CO ₂ + 3% O ₂	3,3	5,6	12,2
5% CO ₂ + 3% O ₂	5,0	9,4	13,9

Źródło: A. Keith Thompson, *Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables*, s. 78

Powyższe badania i ich wyniki ukazują różnorodność wymagań dotyczących składu gazowego atmosfery kontrolowanej w zależności od rodzaju rośliny.

Wpływ etylenu na owoce i warzywa

Etylen jest hormonem roślinnym w postaci gazowej produkowanym przez roślinę i przyspieszającym dojrzewanie roślin sąsiednich. Ilość produkowanego gazu zależy m.in. od rodzaju rośliny, podobnie wrażliwość na niego związana jest z posiadaniem receptora dla tego związku przez niektóre owoce i warzywa. W przypadku długotrwałego przechowywania i transportowania roślin w jednym pomieszczeniu dochodzi do nagromadzenia się tego gazu, co w efekcie może spowodować zbyt szybkie dojrzewanie oraz zepsucie niektórych produktów położonych sąsiednio. Wysokie stężenie dwutlenku węgla może konkurować z etylenem i biologiczna aktywność 1% etylenu może zostać znacznie zmniejszona w obecności 10% CO₂. Niektóre badania dowodzą, że nagromadzenie CO₂ w przestrzeniach międzykomórkowych owoców wykazuje antagonistyczne działanie w stosunku do etylenu.

W niektórych przypadkach stosowanie kontrolowanej atmosfery stymuluje produkcję etylenu. Przykładem jest przechowywanie selera w chłodniczych warunkach przez 70 dni, kiedy to poziom etylenu nie przekraczał 2ppm, natomiast przy przechowywaniu w kontrolowanej atmosferze jego poziom wzrósł do 25ppm.

Najniższą produkcję etylenu zanotowano dla owoców przechowywanych w atmosferze o stężeniach: tlenu- 1% i dwutlenku węgla- 2% lub tlenu - 1 % i dwutlenku węgla - 0%. Niektóre owoce stają się coraz mniej wrażliwe na etylen wraz z czasem ich przechowywania.

Korzyści wynikające z zastosowania kontrolowanej atmosfery są ściśle uzależnione od temperatury, w jakiej transportowane są owoce i warzywa. Przechowywanie jabłek w temperaturze 10°C i atmosferze kontrolowanej przedłużyło ich trwałość w porównaniu z przechowywaniem w zwykłych warunkach, jednak w temperaturze 15°C efekt był podobny niezależnie od składu atmosfery.²

Współdziałanie kontrolowanej atmosfery i temperatury ma charakter złożony. Badania przeprowadzane na poszczególnych owocach i warzywach dowodzą że optymalny skład atmosfery jest ściśle zależny od rodzaju rośliny i należy go ustalać dla każdego owocu i warzywa indywidualnie.

W pracy podjęto próbę porównania wymagań dotyczących stężeń obu gazów i temperatury i pogrupowania ich tak aby umożliwić przewóz kilku gatunków jednym składem przy zastosowaniu tych samych ustawień aparatury sterującej stężeniami gazów w atmosferze kontrolowanej.

Kontenery przystosowane do transportu w kontrolowanej atmosferze

Transport w zmienionej atmosferze zakłada obecność urządzeń do zmiany oraz pomiaru stężeń określonych gazów. Zadaniem tych urządzeń jest utrzymanie odpowiednich poziomów stężeń tlenu, dwutlenku węgla oraz usunięcie etylenu. W zależności od sposobu otrzymywania określonego składu gazowego wyróżnić można trzy systemy:

- modyfikowaną atmosferę- mieszanke gazową o ściśle określonym składzie wstrzykuje się wewnątrz komory chłodniczej lub do opakowań, które wykonane są z tworzywa zapewniającego określoną przepuszczalność dla O₂ i CO₂. Wadą tego systemu jest samodzielne kształtowanie się składu atmosfery po pewnym czasie w wyniku oddychania produktów,
- pasywny system kontrolowanej atmosfery- opiera się na samodzielnym kształtowaniu składu mieszanki gazowej wewnątrz komory chłodniczej ale zakłada jego późniejszą kontrolę. Produkty zamknięte są w bardzo szczelnej przestrzeni i dojrzewają wewnątrz niej pobierając tlen z atmosfery i wydzielając dwutlenek węgla. Po pewnym czasie aby utrzymać pożądaną poziom tlenu reguluje się zaworem zapewniającym pobieranie tlenu z otoczenia. Nadmiar CO₂ usuwany jest poprzez obecność wapna w ilości 1% masy ładunku. Usuwanie etylenu dokonuje się za pomocą jego absorbentów,
- aktywny system kontrolowanej atmosfery- polega na wstrzyknięciu do przestrzeni azotu

przed samoistnym ukształtowaniem się składu atmosfery przez dojrzewające rośliny. Stosuje się tutaj technologię PSA (Pressure Swing Adsorbent), która zakłada tendencję gazów do bycia przyciąganym przez określony adsorbent pod obniżonym ciśnieniem. Umożliwia to oddzielenie konkretnego gazu z mieszanki np. azotu a powietrze po przejściu przez adsorbent staje się bogatsze w tlen. Etylen z atmosfery usuwa się za pomocą płuczek etylenowych.

Podstawowe wymagania dla kontenerów transportujących owoce i warzywa drogą morską to:

- wygenerowanie atmosfery ubogiej w tlen w ciągu 24 godzin od załadunku poprzez dostarczenie azotu,
- usunięcie CO₂ oraz etylenu przy zastosowaniu płuczek,
- dobry dodatek pary wodnej w celu utrzymania odpowiedniej wilgotności,
- obecność urządzeń do kontroli i pomiaru poszczególnych gazów,
- szczelność kontenerów, obecność zaworów wyrównujących ciśnienie oraz instalacji umożliwiającej wtrysk azotu i umożliwiających pobieranie próbek,
- obecność systemu alarmowego.

Konstrukcja kontenerów do kontrolowanej atmosfery zależy od producenta i bazuje na pasywnym systemie stosowanym przez TransFresh oraz aktywnych systemów stosujących PSA lub system membranowy.

System TransFresh jest najtańszy i zakłada jedynie szczelność kontenerów, obecność kurtyń izolacyjnych oraz zaworów tlenu.

Carrier Everfresh System używa generatorów azotu oraz butli z CO₂.

BOC/Cronos/DominicHunter PSA System stosuje technologię PSA, ma możliwość również kontroli etylenu oraz wilgotności powietrza.⁶

Łączenie warzyw i owoców transportowanych jednym składem drogą morską

W przypadku stwierdzenia opłacalności stosowania kontenerów z kontrolowaną atmosferą podczas przewożenia owoców i warzyw drogą morską należy odpowiednio dobrać skład mieszanki gazowej oraz produktów w niej przewożonych. Ze względu na indywidualne wymagania poszczególnych warzyw i owoców dokonano porównania pożądanych stężeń O₂ i CO₂ oraz temperatury konkretnych owoców i warzyw i zestawiono w tabelach te o najbardziej zbliżonych wymaganiach.

Warzywa i owoce można podzielić na 3 grupy w zależności od temperatur, w których powinny być transportowane: 0-5°C, 8-10°C, 10-12°C. W ramach każdej z tych grup dokonano rozdziału w zależności od wymaganych stężeń O₂ i CO₂. Podane wartości stężeń O₂ i CO₂ są wartościami przybliżonymi natomiast zastosowanie ich zgodnie z zaleceniem wykazało w badaniach znaczne wydłużenie okresu przechowywania i transportowania w porównaniu z tymi samymi produktami składowanymi w normalnej atmosferze przy zachowaniu optymalnej temperatury.

W tabelach 2, 3 i 4 podano zalecane stężenia O₂ i CO₂ dla poszczególnych produktów oraz ogólny przedział zalecanych stężeń odnoszący się do przypadku, kiedy transportowane są w jednym składzie wszystkie warzywa i/lub owoce z poszczególnych kolumn.

Istnieje grupa owoców i warzyw, których przewożenie w kontrolowanej atmosferze nie jest konieczne ze względu na brak pozytywnych efektów w porównaniu z składowaniem ich w zwyczajnych warunkach. Do tej grupy należą m in: marchew, seler, brokuł, kapusta chińska, chrzan, mandarynka, pomarańcza, rzepa, arbuz, burak.

Tabela 2. Zalecany przedział stężeń poszczególnych gazów dla owoców i warzyw transportowanych w temperaturach 0-5°C

Zalecany przedział temperatur					
0-5°C					
	O ₂	CO ₂		O ₂	CO ₂
	Zalecany przedział stężeń poszczególnych gazów			Zalecany przedział stężeń poszczególnych gazów	
	2-3%	2-3%		1-2%	3-5%
morela	2-3%	2-3%	żurawina	1-2%	0-5%
karczochy	2-3%	2-3%	kiwi	1-2%	3-5%
kapusta	2-3%	3-6%	por	1-2%	2-5%
kalafior	2-5%	2-5%	nektarynka	1-2%	3-5%
groch	2-3%	2-3%	brzoskwinia	1-2%	3-5%
			śliwka	1-3%	0-5%

⁶ R. Heap, A. Lawton, Controlled Atmosphere In Marine Transport-Achievements and Future Needs, 20th International Congress of Refrigeration, IIR/IIF, Sydney, 1999 Volume IV (Paper 447)

Tabela 3. Zalecany przedział stężeń poszczególnych gazów dla owoców i warzyw transportowanych w temperaturach 8-10°C

Zalecany przedział temperatur					
8-10°C					
	O ₂		CO ₂		
	Zalecany przedział stężeń poszczególnych gazów				
	3%		3-5%		
awokado	2-5%		3-10%		grejpfrut
ogórek	3-5%		0-5%		mango
granat	3-5%		5-10%		papaja
fasolka	2-3%		4-7%		ananas
Pomidor dojrzały zielony	3-5%		2-3%		granat
pomidor dojrzały	3-5%		3-5%		

Tabela 3. Zalecany przedział stężeń poszczególnych gazów dla owoców i warzyw transportowanych w temperaturach 10-12°C

Zalecany przedział temperatur		
10-12°C		
	Zalecane stężenia poszczególnych gazów	
	O ₂	CO ₂
	5%	0%
bakłażan	3-5%	0%
ogórek	3-5%	0-5%
cytryna	5-10%	0-10%

Wnioski

Transport owoców i warzyw drogą morską jest zdecydowanie ekonomicznym rodzajem transportu tego ładunku. Jednak długi czas trwania stwarza ogromne zagrożenie dla jakości produktów podatnych na zmiany w czasie. Owoce i warzywa wymagają ścisłych i określonych warunków transportowania takich jak wilgotność czy temperatura. Jednak w przypadku wielu gatunków kontrola tych parametrów może być niewystarczająca. Korzystne efekty zauważalne podczas przechowywania owoców i warzyw w kontrolowanych atmosferach w obiektach stacjonarnych pozwalają przypuszczać, że zastosowanie tego typu rozwiązań w obiektach mobilnych gdzie produkt transportowany jest przez dłuższy czas przyczynia się do przedłużenia jakości owoców i warzyw. Ze względu na bardzo zróżnicowane zapotrzebowanie na poszczególne gazy określonych warzyw i owoców dokonano w pracy analizy i pogrupowania owoców i warzyw. Kryterium podziału stanowiła temperatura oraz stężenia tlenu i dwutlenku węgla zalecanych do przewozu poszczególnych owoców i warzyw. Łączenie owoców i warzyw transportowanych jednym składem wg opracowanych tabel przyczyni się do wydłużenia czasu transportu, zachowania ich wysokiej jakości oraz minimalizacji strat produktów podczas transportu drogą morską.

Streszczenie

Transport morski jest zdecydowanie najbardziej ekonomicznym rozwiązaniem w przypadku przewożenia dużych ilości żywności na dalekich dystansach. Jednak długi czas trwania wymaga zachowania optymalnych warunków w trakcie transportu produktów łatwo psujących się gdyż przy przewożeniu dużych ilości zepsucie jednego z nich przyspiesza niepożądane procesy wszystkich pozostałych. W przypadku transportowania niektórych owoców i warzyw drogą morską niezbędne może być zastosowanie kontrolowanej atmosfery wewnątrz kontenerów, umożliwiającej znaczne przedłużenie czasu transportowania oraz zabezpieczenie przed zepsuciem. Praca ma na celu określenie optymalnych warunków do transportowania drogą morską poszczególnych grup owoców i warzyw z uwzględnieniem konieczności zastosowania kontrolowanej atmosfery.

Abstract

Transport by sea is the most economical for the long distance transport of large quantities of food. The long time of transport of perishable commodities requires maintain optimal conditions. Fruits and vegetables should be transported in controlled atmosphere which can reduce deterioration and extend the time of journey. This article will concentrate on the special requirements for transport of fruits and vegetables which can be transported by sea in controlled atmosphere.

Literatura

1. Heap, R., Food Transportation, 1998, Cambridge UK
2. Thompson, A.K., Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables, 1998, Cambridge USA

3. Czerniawski B., Michniewicz J., Opakowania żywności, Agro Food Technology, 1998, Cze-ladź
4. Heap R., Lawton A., Controlled Atmosphere In Marine Transport- Achievements and Future Needs, 20th International Congress of Refrige-ration, IIR/IIF, Sydney, 1999 Volume IV (Pa-per 447)