

EDYTA MALINOWSKA-PAŃCZYK, ILONA KOŁODZIEJSKA

## MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA WYSOKIEGO CIŚNIENIA W PRZEMYSŁE OWOCOWO-WARZYWNYM

### Streszczenie

Wysokie ciśnienie w umiarkowanej temperaturze może być wykorzystane w przemyśle owocowo-warzywnym do utrwalania produktów takich, jak: soki owocowe, dżemy czy galaretki, gdyż pozwala na zachowanie naturalnej barwy, zapachu i smaku oraz wysokiej wartości odżywczej tych produktów. Chlorofil, karotenoidy i antocyjany występujące w warzywach i owocach są w dużym stopniu stabilne podczas działania ciśnienia w umiarkowanej temperaturze. Również zawartość witamin: A, C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, i E nie zmienia się znacząco w owocach i warzywach (oraz ich przetworach) bezpośrednio po zastosowaniu wysokiego ciśnienia. Technika wysokociśnieniowa nie nadaje się jednak do przedłużania trwałości całych owoców i warzyw, gdyż w tych warunkach ma miejsce mechaniczne uszkodzenie tkanek. Prowadzi to do przyspieszenia procesów enzymatycznych i nieenzymatycznych. W wyniku uszkodzenia owoców i warzyw dochodzi do niepożądanych zmian ich tekstury, a niekiedy również zapachu.

**Słowa kluczowe:** wysokie ciśnienie, przemysł owocowo-warzywny

### Wprowadzenie

Owoce i warzywa to grupa surowców o bardzo zróżnicowanym składzie chemicznym, których charakterystyczną cechą jest duża zawartość wody, nawet do 96 %. W suchej substancji główny składnik stanowią sacharydy, natomiast mało jest białka, a jeszcze mniej tłuszczu, zwykle 0,1 - 0,3 %. Ze względu na obecność w owocach wielu kwasów organicznych mają one odczyn kwaśny. W związku z tym naturalną mikroflorę powodującą psucie się owoców i warzyw stanowi głównie bardzo zróżnicowana grupa tlenowych bakterii mezofilnych oraz drożdży i pleśni. Zazwyczaj produkty żywnościowe wytworzone z surowca roślinnego poddawane są procesom, które przedłużają ich okres przydatności do spożycia oraz zwiększają strawność. Podczas obróbki cieplnej zmieniają się jednak ich właściwości sensoryczne i obniżona zostaje wartość

---

*Dr inż. E. Malinowska-Pańczyk, prof. dr hab. inż. I. Kołodziejska, Katedra Chemii, Technologii i Biotechnologii Żywności, Wydz. Chemiczny, Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk*

odżywcza. Dlatego też ciągle poszukuje się nowych metod utrwalania i przetwarzania, które pozwolą na zachowanie dobrej jakości produktów, a jednocześnie mikrobiologicznie bezpiecznych. Nowe możliwości stwarza zastosowanie do tego celu wysokiego ciśnienia. Do całkowitej inaktywacji naturalnej mikroflory owoców i warzyw wystarczy zastosowanie ciśnienia do 400 MPa. Dodatkowo niskie pH wielu owoców wzmacnia efekt letalny.

Barwa, smak i tekstura owoców i warzyw są ważnymi wyróżnikami jakości oraz głównymi czynnikami wpływającymi na ich akceptację przez konsumentów. Wysokie ciśnienie pozwala na zachowanie wartości odżywczej i naturalnych właściwości sensorycznych owoców i warzyw, gdyż nie oddziałuje na składniki niskocząsteczkowe: witaminy, barwniki czy związki aromatyczne. Jednakże pod wpływem wysokiego ciśnienia zachodzą zmiany takie, jak: uszkodzenie błon komórkowych roślin, aktywacja lub inaktywacja enzymów, denaturacja białek lub też ich żelowanie. Wielkość i kierunek tych zmian zależą od poziomu zastosowanego ciśnienia, czasu jego działania oraz temperatury procesu. Dlatego też podczas obróbki surowca roślinnego warunki ciśnienia i temperatury powinny być tak dobrane, by uzyskać zamierzony efekt bez pogorszenia jego cech sensorycznych. Dodatkowo jakość owoców i warzyw traktowanych ciśnieniem może zmieniać się podczas przechowywania. Z drugiej strony w przypadku niektórych przetworów owocowych i warzywnych technologia wysokociśnieniowa stwarza możliwości uzyskiwania produktów wysokiej jakości o polepszonych cechach sensorycznych.

Poniższy przegląd piśmiennictwa przedstawia aktualny stan wiedzy dotyczący zmian jakie zachodzą w owocach i warzywach oraz ich przetworach po traktowaniu zwiększonym ciśnieniem.

### **Przeżywalność mikroorganizmów w warzywach i owocach oraz ich przetworach**

Naturalna mikroflora owoców i warzyw jest bardzo zróżnicowana i zależy od gatunku rośliny oraz miejsca jej uprawy. Jest ona zwykle bardziej odporna na działanie wysokich ciśnień niż sztucznie wprowadzone drobnoustroje [2, 30]. Na przykład ciśnienie 350 MPa (20 °C, 10 min) zmniejszyło populację  $10^4$  komórek/ml drożdży i pleśni naturalnie występujących w pomidorach i sałacie o 3 rzędy wielkości, podczas gdy w tych samych warunkach całkowitej inaktywacji uległy wprowadzone w tej samej liczbie *Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus niger* i *Penicillium* spp. [2].

Metoda z wykorzystaniem wysokiego ciśnienia może być dobrym sposobem utrwalania kwaśnych produktów owocowych takich, jak: soki owocowe, dżemy, galaretki [10, 17]. Podstawową mikroflorę tych produktów stanowią drożdże, pleśnie i bakterie kwasu mlekowego, a więc organizmy stosunkowo wrażliwe na działanie ciśnienia [1, 35]. Dodatkowo kwaśne środowisko hamuje kiełkowanie przetrwalników i rozwój mikroorganizmów patogennych oraz wzmacnia efekt bakteriobójczy wysokiego



ciśnienia [44]. Traktowanie ciśnieniem 550 MPa przez 5 min w temp. 20 °C szczepu *E. coli* O157:H7 w soku pomarańczowym o pH 3,4 - 4,5 spowodowało zmniejszenie liczby komórek o 6 rzędów wielkości. Do osiągnięcia takiego samego poziomu inaktywacji w środowisku o pH 5 wymagana była temp. 30 °C [24].

Niskie pH produktów owocowych i warzywnych uniemożliwia komórkom naprawę uszkodzeń wywołanych działaniem wysokiego ciśnienia, co może przedłużyć okres ich przydatności do spożycia [12, 27]. Przechowywanie w temp. 8 °C soku jabłkowego o pH 3,3, w którym wcześniej zawieszono komórki *E. coli* LMM1010 i traktowano ciśnieniem 300 MPa przez 15 min, powodowało zwiększenie poziomu inaktywacji o ok. 4 rzędy wielkości już po 2 dniach przechowywania. W przypadku *E. coli* K-12 oraz *Staphylococcus aureus* PCM 2054 traktowanych ciśnieniem 193 MPa w temp. -20 °C żywe komórki nie były wykrywane po 10 dniach przechowywania soku w temperaturze pokojowej [27].

Metoda utrwalania kwaśnych soków owocowych przy użyciu wysokiego ciśnienia może okazać się skuteczna również do niszczenia drobnoustrojów kwasolubnych. Zastosowanie ciśnienia 414 MPa w temp. 71 °C przez 10 min okazało się wystarczające do całkowitej inaktywacji termoacidofilnych przetrwalnikujących form *Alicyclobacillus acidoterrestris* wprowadzonych w ilości 10<sup>5</sup> komórek/ml soku jabłkowego. Drobnoustroje te są często przyczyną psucia się surowych i pasteryzowanych soków owocowych [23].

Według Jordan i wsp. [16] zwiększenie efektu letalnego w kwaśnych przetworach może potęgować obecność chlorku sodu. Autorzy wykazali, że traktowanie ciśnieniem 500 MPa przez 5 min szczepu *E. coli* O157 w soku pomidorowym (pH = 4,1), zawierającym 0,7 % NaCl powodowało zmniejszenie liczby tych bakterii o 5 rzędów wielkości. Te same warunki zastosowane w przypadku soku pomarańczowego o pH 3,8 powodowały inaktywację jedynie o 1 - 2 rzędy wielkości, mimo niższego pH tego soku. Nie można jednak wykluczyć, że obserwowane rozbieżności dotyczące przeżywalności bakterii były wynikiem różnic zawartości innych niż chlorek sodu składników, np. sacharydów.

Większość przetworów owocowych zawiera duże ilości cukrów, które mogą wpływać ochronnie na mikroorganizmy poddane działaniu ciśnienia. W zagęszczonym soku pomarańczowym, o zawartości cukru 42 %, traktowanym ciśnieniem 350 MPa przez 10 min następowała inaktywacja populacji *Leuconostoc mesenteroides* o 4 rzędy wielkości mniejsza niż w soku o zawartości cukru 11,4 % [5].

### **Wpływ wysokiego ciśnienia na barwę owoców i warzyw oraz ich przetworów**

Chlorofil jest zielonym barwnikiem obecnym w liściach i zielonych łodygach roślin. W roślinach występują zazwyczaj dwa rodzaje chlorofilu: *a* i *b*, które różnią się stabilnością w zależności od warunków: temperatury i ciśnienia. Z reguły w temperatu-

rze pokojowej nawet w najwyższych ciśnieniach obie formy chlorofilu są całkowicie stabilne, natomiast w temp. powyżej 50 °C, w zakresie ciśnienia 200 - 800 MPa degradacji szybciej ulega chlorofil *a* niż chlorofil *b* [41]. Tak więc zastosowanie zwiększonego ciśnienia i umiarkowanej temperatury pozwala na zachowanie naturalnej barwy zielonych roślin. Jednakże w niektórych przypadkach zaobserwowano zmiany barwy zielonej lub jej natężenia. Na przykład barwa zielonej fasolki traktowanej ciśnieniem 500 MPa w temperaturze pokojowej przez 1 min stawała się bardziej intensywna niż przed traktowaniem ciśnieniem [21]. W wyższej temperaturze zielona barwa fasolki zmienia się w odcień oliwkowo-zielony, a podczas przechowywania nie zmienia barwy, prawdopodobnie z powodu całkowitej inaktywacji enzymów odpowiedzialnych za przemianę barwnika. Stwierdzono bowiem, że podczas przechowywania warzyw traktowanych ciśnieniem w temperaturze pokojowej zielona barwa roślin może zmieniać się w jasnożółtą w wyniku biochemicznych procesów takich, jak np. reakcje enzymatycznego utleniania [21, 22].

Karotenoidy są ważnymi pomarańczowo-żółtymi i czerwonymi barwnikami niektórych owoców i warzyw. W warzywach traktowanych ciśnieniem są one raczej stabilne. Natomiast wyekstrahowane heksanem translikopeny poddane działaniu wysokiego ciśnienia (500 MPa, 20 °C, 12 min) ulegają izomeryzacji. Takie zjawisko nie występuje w przypadku translikopenów w koncentracji pomidorowym po zastosowaniu ciśnienia w tych samych warunkach [31].

Kolejną grupę barwników roślinnych stanowią antocyjany – rozpuszczalne w wodzie flawonoidowe barwniki odpowiedzialne za czerwony i niebieski kolor owoców i warzyw. Są one stabilne podczas działania ciśnienia w umiarkowanej temperaturze. Np. 3-glukozyd pelargonidyny w czerwonych malinach i truskawkach nie ulegał żadnym zmianom podczas działania ciśnienia 800 MPa w temp. 20 °C przez 15 min [13]. Stabilność antocyjanów w owocach i warzywach po traktowaniu ciśnieniem jest zależna od temperatury przechowywania. Podczas przetrzymywania przez tydzień owoców czarnej porzeczki w temp. 20 lub 30 °C po zastosowaniu ciśnienia (200 - 800 MPa, temp. 20 °C) barwniki te ulegały degradacji, natomiast w temp. 4 °C były stabilne.

### Zapach i smak

Potencjalną korzyścią z zastosowania wysokiego ciśnienia w przemyśle owocowo-warzywnym może być możliwość zachowania naturalnego zapachu i smaku produktów [6, 28]. W niektórych badaniach stwierdzono jednak, że działanie ciśnienia prowadzi do niekorzystnych zmian. W wyniku działania ciśnienia w pomidorach pojawił się jełki zapach. Z kolei zapach traktowanej ciśnieniem cebuli był mniej intensywny i przypominał zapach cebuli mrożonej [8, 29]. Jełki zapach pomidorów po działaniu ciśnienia związany był ze zwiększeniem w nich zawartości n-heksanal. Związek ten w małych ilościach, rzędu 1 - 2 mg/kg, jest odpowiedzialny za charakterystyczny



aromat świeżych pomidorów. Większa zawartość tego związku prowadzi do pojawienia się niepożądanego zapachu. W przypadku cebuli zmiana zapachu po traktowaniu ciśnieniem wywołana była dwoma czynnikami: zmniejszeniem zawartości dipropylo-sulfidów – składników odpowiedzialnych za ostry smak i charakterystyczny aromat świeżej cebuli oraz zwiększeniem zawartości transpropenylodisulfidu i 3,4-dimetylo-tiofenu – związków uczestniczących w tworzeniu typowego zapachu opiekanej lub mrożonej cebuli.

Także traktowanie wysokim ciśnieniem, rzędu 800 MPa, soku z marchwi zwiększa intensywność zapachu marchwiowego, jednak nabiera on metalicznego, gorzkiego posmaku [11, 18]. Właściwości sensoryczne produktu pogarszają się w jeszcze w większym stopniu po przechowywaniu przez 21 dni w temp. 4 °C [11].

### **Tekstura**

Zmiany tekstury owoców i warzyw mogą być związane z enzymatycznymi i nie-enzymatycznymi reakcjami przebiegającymi w tkankach roślinnych. Są one wzmagane przez uszkodzenia błon komórkowych wywołane działaniem wysokiego ciśnienia. Wielkość zmian w komórkach jest nie tylko zależna od wysokości ciśnienia, lecz także od rodzaju roślinnych komórek. Zaburzenie półprzepuszczalnego charakteru błony komórkowej owoców i warzyw umożliwia niekontrolowane przemieszczenie wody i metabolitów komórki. Substraty, jony i enzymy, które są usytuowane w różnych kompartmentach w komórkach, zostają uwolnione i mogą oddziaływać ze sobą podczas działania ciśnienia. Wysokie ciśnienie wpływa także na organizację parenchymy (tkanki miękkiszowej). Komórki te rozpadają się, co prowadzi do zaniku przestworów komórkowych wypełnionych powietrzem. W wyniku tych przemian po zastosowaniu ciśnienia obserwuje się formowanie por w miększu i wyciek.

Basak i Ramasamy [4] stwierdzili, że po działaniu ciśnienia od 100 do 400 MPa w temperaturze pokojowej twardość owoców i warzyw (jabłek, gruszek, pomarańczy, ananasa, selera, zielonej i czerwonej papryki) malała wraz z wydłużaniem czasu działania ciśnienia. Odmienne zjawisko występuje w przypadku pomidorów. Traktowanie podwyższonym ciśnieniem tych warzyw zwiększa ich twardość oraz powoduje rozluźnienie skórki i łatwe odstawanie jej od miększu. W tych warunkach nie występują natomiast znaczące zmiany tekstury marchwi [9].

### **Wpływ wysokiego ciśnienia na witaminy i inne składniki**

Bigon [6] wykazał, że zawartość witaminy A, C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, i E w owocach i warzywach (oraz ich przetworach) nie zmienia się znacząco bezpośrednio po działaniu ciśnienia w temperaturze pokojowej w przeciwieństwie do produktów traktowanych podwyższoną temperaturą. Ponadto podczas przechowywania owoców traktowanych



ciśnieniem np. truskawek (400 - 600 MPa, 15-30 min) zawartość witaminy C zmniejszała się wolniej niż w przypadku owoców nietraktowanych ciśnieniem [33]. Zawartość witaminy C w soku pomarańczowym i marchwiowo-pomarańczowo-cytrynowym poddanych działaniu ciśnienia 500 MPa i 800 MPa pozostawała bez zmian lub tylko nieznacznie zmniejszała się w porównaniu z próbką kontrolną. Potwierdza to stabilność kwasu L-askorbinowego w warunkach wysokiego ciśnienia i łagodnej temperatury [7].

Stwierdzono, że ciśnienie nie wpływa na czynniki przeciwmutagenne oraz przeciwutleniacze znajdujące się w produktach otrzymanych z różnorodnych owoców i warzyw (pomarańczy, jabłek, marchwi, pomidorów i truskawek). Bezpośrednio po działaniu ciśnienia nie następuje zmniejszenie zawartości tych substancji w produktach poddanych obróbce wysokim ciśnieniem [7].

Podczas przechowywania w warunkach chłodniczych uprzednio ciśnieniowanych produktów może dojść do zmniejszenia zawartości niektórych składników, np. sacharozy. W dzemie truskawkowym poddanym działaniu ciśnienia 400 - 500 MPa przez 10 - 30 min w temp. 4 °C zawartość sacharozy zmniejszyła się aż o około 70 % podczas 60 dni przechowywania [20]. Według cytowanych autorów degradacja sacharozy została wywołana działaniem enzymów. W dzemie produkowanym w sposób tradycyjny poziom sacharozy nie zmienił się podczas 3-miesięcznego przechowywania w tych warunkach.

## **Wpływ wysokiego ciśnienia na enzymy owoców i warzyw**

### ***Pektynometyloesteraza***

Pektynometyloesteraza (PME) jest to enzym, który katalizuje reakcje demetylacji pektyn, powodując uwolnienie metanolu i powstawanie wolnych grup karboksylowych. Grupy te, reagując z jonami wapnia, tworzą usieciowane kompleksy pektynianu wapnia, które w sokach owocowych i warzywnych wytrącają się w postaci kłaczkowatego osadu, powodując ich mętnienie. PME powoduje również pogorszenie konsystencji produktów, m.in. pomidorów [29]. Dlatego też enzym ten jest niepożądany w przetworach owocowo-warzywnych. Pasteryzacja (np. 90 °C, 1 min) przetworów owocowych i warzywnych inaktywuje PME, jednak obróbka termiczna często prowadzi do pogorszenia cech sensorycznych [3].

Wrażliwość PME na działanie wysokiego ciśnienia zależy od źródła pochodzenia i stężenia enzymu, pH środowiska i zawartości sacharydów oraz obecności jonów  $Ca^{2+}$ . PME wyizolowana z marchwi traci swoją aktywność po działaniu ciśnienia powyżej 400 MPa w temp. 60 °C [19], podczas gdy PME z pomidora zachowuje częściową aktywność w tej temperaturze nawet przy ciśnieniu 900 MPa [38]. Co więcej, stopień inaktywacji PME w tych warunkach jest mniejszy niż w tej samej temperaturze przy



ciśnieniu atmosferycznym [38]. Wynika z tego, że ciśnienie ogranicza stopień zahamowania aktywności enzymu przez wysoką temperaturę. Obniżenie pH środowiska pozwala na inaktywację PME w niższych ciśnieniach; w buforze cytrynianowym o pH 3,7 miała ona miejsce przy ciśnieniu 400 MPa, podczas gdy w wodzie destylowanej o pH 6,0 przy 600 MPa [39].

### **Oksydoreduktazy warzyw i owoców**

#### *Polifenylooksydaza*

Polifenylooksydaza (PPO) jest enzymem odpowiedzialnym za brunatnienie uszkodzonych tkanek owoców, warzyw i grzybów podczas przechowywania i przetwarzania, co jest główną przyczyną pogorszenia ich cech sensorycznych. W zależności od źródła pochodzenia, PPO wykazuje zróżnicowaną wrażliwość na działanie wysokiego ciśnienia. Najbardziej odporną na ciśnienie jest PPO pochodząca z grzybów i ziemniaków. Po traktowaniu ciśnieniem 800 MPa w ciągu 10 min PPO z ziemniaków zachowuje 40 % pierwotnej aktywności, a polifenylooksydaza pochodząca z grzybów 60 % [14]. Większą wrażliwość w warunkach wysokociśnieniowych wykazują PPO winogron, truskawek i moreli, które są całkowicie inaktywowane odpowiednio przez ciśnienie 600, 400 i 100 MPa [15]. To zróżnicowanie we wrażliwości PPO wynika przypuszczalnie z różnic pH badanych owoców. Wykazano bowiem, że podobnie, jak w przypadku PME, inaktywacja PPO zachodzi szybciej w kwaśnym pH [43]. Polifenylooksydaza z awokado w buforze o pH 4,0 traciła całkowicie aktywność po działaniu ciśnienia 450 MPa. Do uzyskania takiego samego efektu przy pH 5,0 konieczne było zastosowanie ciśnienia 650 MPa. Inne czynniki wpływające na odporność na wysokie ciśnienie PPO, to obecność soli oraz związków organicznych, np. peptydów czy kwasów organicznych. Wykazano, że traktowanie PPO z grzybów ciśnieniem 800 MPa w obecności 5 mM glutationu powodowało zmniejszenie jej aktywności o ok. 65 %, a w obecności 50 mM kwasu benzoowego o 50 % w porównaniu z próbami traktowanymi ciśnieniem w takich samych warunkach bez tych dodatków [42].

#### *Peroksydaza*

Peroksydaza (POD) to enzym powodujący niekorzystne zmiany smaku i zapachu owoców i warzyw podczas ich przechowywania. Spośród wszystkich enzymów występujących w owocach i warzywach jest on najbardziej odporny termicznie. Przykładowo, całkowita inaktywacja POD z marchwi ma miejsce w temp. 75 °C w ciągu 10 min [36], podczas gdy inaktywacja PME zachodzi w tym samym czasie w temp. 65 °C [26]. POD z różnych źródeł różni się wrażliwością na działanie ciśnienia. POD z zielonego groszku poddana działaniu ciśnienia 700 MPa w temp. 40 °C przez 10 min traciła ok. 95 % początkowej aktywności [32], natomiast podobny stopień inaktywacji



peroksydazy z marchwi uzyskiwano już po zastosowaniu ciśnienia 600 MPa w temp. 45 °C [36].

#### *Lipooksygenaza*

Innym enzymem ważnym z technologicznego punktu widzenia jest lipooksygenaza (LOX). Utlenianie wielonienasyconych kwasów tłuszczowych katalizowane przez ten enzym prowadzi do niepożądanych zmian w żywności pochodzenia roślinnego. W wyniku aktywności enzymatycznej LOX następuje obniżenie wartości odżywczej fasoli, grochu, soi czy kukurydzy poprzez reakcję wolnych rodników z witaminami lub też powstawanie lotnych związków nadających zjełczały zapach produktom z tych roślin. LOX jest wrażliwa na działanie wysokiego ciśnienia. Aktywność LOX pochodzącej z soi drastycznie spada po działaniu ciśnienia 600 MPa przez 2 min w temp. 25 °C zarówno w warunkach modelowych w buforze o pH 7, jak i w mleku sojowym, a całkowita inaktywacja następuje już po 10 min. traktowania wysokim ciśnieniem [34]. Wykazano również, że LOX jest bardziej odporna na działanie wysokiego ciśnienia w środowisku o odczynie zasadowym niż kwaśnym. W środowisku o pH 9 całkowita inaktywacja następuje po 20 min działania ciśnienia 600 MPa, natomiast w pH 4 LOX ulega inaktywacji już przy 400 MPa [37].

#### *Mirozynaza*

Mirozynaza (MYR) jest enzymem rozkładającym glukozynolany, metabolity wtórne występujące w roślinach z rodziny kapustnych (*Brassicaceae*). Glukozynolany i produkty ich rozkładu (np. izotiocyjaniiny) odpowiedzialne są za specyficzny smak i zapach tych warzyw. Produkty enzymatycznego rozkładu glukozynolanów mają korzystny wpływ na zdrowie człowieka. Np. zawarta w brokułach glukorafanina w wyniku działania MYR ulega przekształceniu w sulforafan, który jest związkiem antykancerogennym [40]. Z drugiej strony, hydroliza glukozynolanów wywołuje również niepożądane zmiany w tych warzywach takie, jak cierpki, gorzki smak czy przykry zapach. W porównaniu z innymi enzymami owoców i warzyw MYR jest bardzo wrażliwa zarówno na inaktywację cieplną, jak i działanie wysokiego ciśnienia. W temp. 60 °C enzym ten traci 90 % aktywności już po 3 min ogrzewania w warunkach ciśnienia atmosferycznego [25]. Inaktywacja 50 % MYR zachodzi w temp. pokojowej po zastosowaniu ciśnienia 450 MPa przez 20 min. W wyższej temp. (35 °C) taki sam poziom inaktywacji enzymu uzyskuje się dopiero po 60 min działania ciśnienia [25, 40].

#### **Podsumowanie**

Zmiany zachodzące w surowych owocach i warzywach zależne są od rodzaju surowca oraz wielkości ciśnienia, czasu działania i temperatury. Nieprzetworzone owoce





i warzywa traktowane ciśnieniem ulegają niekorzystnym zmianom szybciej niż próby niepoddane działaniu wysokiego ciśnienia. Zmiany te są wynikiem mechanicznego uszkodzenia tkanek. Dlatego też technika wysokociśnieniowa nie nadaje się do przedłużania trwałości owoców i warzyw, może być natomiast w tym celu stosowana do ich przetworów, przede wszystkim soków. W przypadku niektórych produktów owocowych i warzywnych technologia wysokociśnieniowa stwarza możliwości uzyskiwania produktów wysokiej jakości o polepszonych cechach sensorycznych w porównaniu z tradycyjną obróbką termiczną.

### Literatura

- [1] Arroyo G., Prestamo G., Sanz P.D.: Response to high-pressure, low temperature treatment in vegetables: determination of survival rates of microbial populations using flow cytometry and detection of peroxidase activity using confocal microscopy. *J. Appl. Microbiol.*, 1999, **86**, 544-556.
- [2] Arroyo G., Sanz P.D., Prestamo G.: Effect of high pressure on the reduction of microbial populations in vegetables. *J. Appl. Microbiol.*, 1997, **82**, 735-742.
- [3] Basak K., Ramaswamy H.S.: Ultra high pressure treatment of orange juice: a kinetic study on inactivation of pectin methyl esterase. *Food Res. Int.*, 1996, **29**, 601-607.
- [4] Basak S., Ramasamy H.S.: Effect of high pressure processing on the texture of selected fruits and vegetables. *J. Texture Stud.*, 1998, **29**, 587-601.
- [5] Basak S., Ramaswamy H.S., Piette J.P.G.: High pressure destruction kinetic of *Leuconostoc mesenteroides* and *Saccharomyces cerevisiae* in single strength and concentration orange juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2002, **3**, 223-231.
- [6] Bignon J.: Cold pasteurizers Hyperbar for the stabilization of fresh fruit juices. *Fruit Proc.*, 1996, **6**, 46-48.
- [7] Butz P., Fernández Garcia A., Lindauer R., Dieterich S., Bognár A., Tauscher B.: Influence of ultra high pressure processing on fruit and vegetable products. *J. Food Eng.*, 2003, **56**, 233-263.
- [8] Butz P., Koller W.D., Tauscher B., Wolf S.: Ultra-high pressure processing of onions: chemical and sensory changes. *Lebensmit. Wiss u Technol.*, 1994, **27**, 463-467.
- [9] Eshtiaghi, M.N., Stute, R., Knorr D.: High pressure and freezing pre-treatment. Effects on drying, rehydration, texture and color of green beans, carrots and potatoes. *J. Food Sci.*, 1994, **59**, 1168-1170.
- [10] Farkas D.F., Hoover D.G.: High pressure processing. Supplement. Kinetics of microbial inactivation for alternative food. *Processing technologies. J. Food Sci.*, 2000, **1**, 47-64.
- [11] Fernandez-Garcia A., Butz P., Tauscher B.: Effects of high-pressure processing on carotenoid extractability, antioxidant activity, glucose diffusion, and water binding of tomato puree (*Lycopersicon esculentum* Mill). *J. Food Sci.*, 2001, **66**, 1033-1038.
- [12] Garcia-Graells C., Hauben K.J.A., Michiels Ch.W.: High-pressure inactivation and sublethal injury of pressure-resistant *Escherichia coli* mutants in fruit juices. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1998, **64**, 1566-1568.
- [13] Garcia-Palazon A., Suthanthangjai W., Kajda P., Zabetakis I.: The effects of high pressure on  $\beta$ -glucosidase, peroxidase and polyphenoloxidase in red raspberry (*Rubus idaeus*) and strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Food Chem.*, 2004, **88**, 7-10.
- [14] Gomes M.R.A., Ledward D.A.: Effect of high pressure treatment on the activity of some polyphenoloxidases. *Food Chem.*, 1996, **56**, 1-5.



- [15] Hendricks M., Ludikhuyze I., van den Broeck I., Weemaes C.: Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends Food Sci. Technol.*, 1998, **9**, 197-203.
- [16] Jordan S.L., Pascual C., Bracey E., Mackey B.M.: Inactivation and injury of pressure-resistant strains of *Escherichia coli* O157 and *Listeria monocytogenes* in fruit juices. *J. Appl. Microbiol.*, 2001, **91**, 463-469.
- [17] Kalchayanand N., Dunne C.P., Sikes A., Ray B.: Germination induction and inactivation of *Clostridium* spores at medium-range hydrostatic pressure treatment. *Innov. Food Sci. Technol.*, 2004, **5**, 277-283.
- [18] Kervinen R., Myllymaki O., Ahvenainen R.: Improvement of the stability of minimally processed carrot by high pressure technology. 9<sup>th</sup> Congress of Food Science and Technology, Budapest 1995.
- [19] Kim Y., Park J.S., Cho Y., Park J.: Effects of combined treatment of high hydrostatic pressure and mild heat on the quality of carrot juice. *J. Food Sci.* 2001, **66**, 1355-1360.
- [20] Kimuru K., Ida M., Yosida Y., Ohki K., Fukumoto T., Sakui N.: Comparison of keeping quality between pressure-processed jam and heat-processed jam: changes in flavour components, Hue, and nutrients during storage. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 1994, **58**, 1386-1391.
- [21] Krebbers B., Matser A.M., Koets M., Bartels P., van den Berg R.: Quality and storage-stability of high-pressure preserved green beans. *J. Food Eng.*, 2002, **54**, 27-33.
- [22] Krebbers B., Matser A.M., Koets M., Bartels P., van den Berg R.: High pressure-temperature processing as an alternative for preserving basil. *High Press. Res.*, 2002, **22**, 711-714.
- [23] Lee S., Dougherty R., Kang D.: Inhibitory effects of high pressure and heat on *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in apple juice. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2002, **68**, 4158-4161.
- [24] Linton M., McClements J.M.J., Patterson M.F.: Survival of *Escherichia coli* O157:H7 during storage in pressure-treated orange juice. *J. Food Prot.*, 1999, **62**, 1038-1040.
- [25] Ludikhuyze L., Ooms V., Weemaes C., Hendrickx M.: Kinetic study of the irreversible thermal and pressure inactivation of myrosinase from broccoli (*Brassica oleracea* L. Cv. *Italica*). *J. Agric. Food Chem.*, 1999, **47**, 1794-1800.
- [26] Ly-Nguyen B., Van Loey A.M., Smout C., Eren Özcan S., Fachin D., Verlent I., Vu Truong S., Duvetter T., Hendrickx M.: Mild-heat and high-pressure inactivation of carrot pectin methylesterase: A kinetic study. *J. Food Sci.*, 2003, **68**, 1377-1383.
- [27] Malinowska-Pańczyk E., Kołodziejaska I.: Effect of pH and high pressure at sub-zero temperature on the viability of some bacteria. *High Press. Res.*, 2009, **29**, 443-448.
- [28] Ogawa H., Fukuhisa K., Kubo Y., Fukumoto H.: Pressure inactivation of yeasts, molds, and pectinesterase in satsuma mandarin juice: effects of juice concentration, pH, and organic acids, and comparison with heat sanitation. *Agric. Biol. Chem.*, 1990, **54**, 1219-1225.
- [29] Poretta S., Birzi A., Ghizzoni C., Vicini E.: Effects of ultrahigh hydrostatic pressure treatment on the quality of tomato juice. *Food Chem.*, 1995, **52**, 35-41.
- [30] Préstamo G., Sanz, P.D., Fonberg-Broczek M., Arroyo G.: High-pressure response of fruit jams contaminated with *Listeria monocytogenes*. *Lett. Appl. Microbiol.*, 1999, **28**, 313-316.
- [31] Qiu W., Jiang H., Wang H., Gao Y.: Effect of high hydrostatic pressure on lycopene stability. *Food Chem.*, 2006, **97**, 516-523.
- [32] Quaglia G.B., Gravina R., Paperi R., Paoletti F.: Effect of high pressure treatments on peroxidase activity, ascorbic acid content and texture in green peas. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 1996, **29**, 552-555.
- [33] Sancho F., Lambert Y., Demazeau G., Largeteau A., Bouvier J.M., Narbonne J.F.: Effect of ultrahigh hydrostatic pressure on hydrosoluble vitamins. *J. Food Eng.*, 1999, **39**, 247-253.
- [34] Seyderhelm I., Boguslawski S., Michaelis G., Knorr D.: Pressure induced inactivation of selected food enzymes. *J. Food Sci.*, 1996, **61**, 308-310.



- [35] Simpson R.K., Gilmour A.: The resistance of *Listeria monocytogenes* to high hydrostatic pressure in foods. *Food Microbiol.*, 1997, **14**, 567-573.
- [36] Soysal C., Soylemez Z., Bozoglu F.: Effect of high hydrostatic pressure and temperature on carrot peroxidase inactivation. *Eur. Food Res. Tech.* 2004, **218**, 152-156.
- [37] Tangwongchai R., Ledward D.A., Ames J.M.: Effect of high pressure treatment on lipoxygenase activity. *J. Agric. Food Chem.*, 2000, **48**, 2896-2902.
- [38] van den Broeck I., Ludikhuyze L.R., van Loey A.M., Hendrickx M.E.: Effect of temperature and/or pressure on tomato pectinesterase activity. *J. Agric. Food Chem.*, 2000, **48**, 551-558.
- [39] van den Broeck I., Ludikhuyze L.R., van Loey A.M., Weemaes C.A., Hendrickx M.E.: Thermal and combined pressure-temperature inactivation of orange pectinesterase: influence of pH and additives. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, **47**, 2950-2958.
- [40] van Eylen D., Oey I., Hendrickx M.E., van Loey A.M.: Kinetics of the stability of broccoli (*Brassica oleracea* Cv. *Italica*) myrosinase and isothiocyanates in broccoli juice during pressure/temperature treatments. *J. Agric. Food Chem.*, 2007, **55**, 2163-2170.
- [41] van Loey A., Ooms V., Weemaes C., van den Broeck I., Ludikhuyze L., Indrawati O.: Thermal and pressure-temperature degradation of chlorophyll in broccoli (*Brassica oleracea* L. *italic*) juice: a kinetic study. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, **46**, 5289-5294.
- [42] Weemaes C.A., De Cordt S.V., Ludikhuyze L.R., van den Broeck I., Hendrickx M.E., Tobback P.P.: Influence of pH, benzoic acid, EDTA, and glutathione on the pressure and/or temperature inactivation kinetics of mushroom polyphenoloxidase. *Biotechnol. Prog.*, 1997, **13**, 25-32.
- [43] Weemaes C.A., Ludikhuyze L.R., van den Broeck I., Hendrickx M.E.: Effect of pH on pressure and thermal inactivation of avocado polyphenol oxidase: a kinetic study. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, **46**, 2785-2792.
- [44] Zook C.D., Parish M.E., Braddock R.J., Balaban M.O.: High pressure inactivation kinetics of *Saccharomyces cerevisiae* ascospores in orange and apple juices. *J. Food Sci.*, 1999, **64**, 533-535.

#### POSSIBILITIES OF USING OF HIGH PRESSURE IN FRUIT AND VEGETABLE INDUSTRY

##### S u m m a r y

High pressure at a moderate temperature may be used in the fruit and vegetable processing industry to preserve such products as fruit juices, jams, or jellies, because it allows for retaining the natural colour, taste, flavour, and nutritional value of those products. Chlorophyll, carotenoids, and anthocyanins present in fruits and vegetables are stable, to a high degree, when high pressure and moderate temperature are applied. No significant changes in the content of vitamins A, C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, and E in fruits and vegetables (and in their preserves) occur immediately after the high pressure has been applied. However, the high pressure technique is not suitable for extending the shelf life of whole fruits and vegetables since the tissues of the fruits and vegetables are mechanically damaged under such circumstances. This causes the enzymatic and non-enzymatic processes to accelerate. The result of mechanical damage to fruits and vegetables are undesirable changes in their textures, and, sometimes, in their smell.

**Key words:** high pressure, fruit vegetable industry ☒

