

MACIEJ NASTAJ

Katedra Biotechnologii, Żywienia Człowieka i Towaroznawstwa Żywności
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

WPLYW DODATKU CHLORKU SODU NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE PIAN OTRZYMANÝCH Z PREPARATÓW BIAŁEK SERWATKOWYCH

Streszczenie. Celem pracy było przebadanie wpływu dodatku chlorku sodu na właściwości reologiczne pian otrzymanych z trzech rodzajów preparatów białek serwatkowych: izolatu (WPI) oraz dwóch koncentratów (WPC 80 i WPC 65). Właściwości reologiczne pian oceniano za pomocą reometru oscylacyjnego Haake RS 300. Dla badanych próbek wyznaczono wartości granicy płynięcia (τ), modułów zachowawczych (G') i stratności (G'') oraz wielkości kątów fazowych (E). Wyznaczono również wydajności pienienia roztworów badanych preparatów. Właściwości reologiczne otrzymanych pian były zależne od rodzaju zastosowanego preparatu i stężenia NaCl. Piany otrzymane z roztworów WPI cechowały się najlepszymi właściwościami reologicznymi; w ich przypadku zwiększanie stężenia molowego NaCl prowadziło do systematycznego podwyższania się granicy płynięcia i zwiększania wydajności pienienia. Z kolei w przypadku pian otrzymanych z koncentratów WPC 80 i WPC 65 zwiększanie stężenia soli prowadziło do spadków wartości ich granicy płynięcia i zmniejszania wydajności pienienia. Dla pian otrzymanych z WPI stwierdzono zależności liniowe pomiędzy wartościami granicy płynięcia a wydajnościami pienienia oraz granicami płynięcia a kątami fazowymi.

Słowa kluczowe: białka serwatkowe, piany, reologia

Wstęp

Białka są dość powszechnie używanymi składnikami funkcjonalnymi i służą do produkcji całej gamy produktów spożywczych. Szczególnie ich zdolności do pienienia wybijają się spośród innych właściwości funkcjonalnych i zyskują coraz większe zainteresowanie badaczy (YANKOV i PANCHEV 1996).

Piany w technologii żywności są obecne w wielu produktach spożywczych, takich jak chleby, ciasta, ciastka, nugaty, bezy, lody oraz różne wyroby piekarnicze. W wielu przypadkach piana sama w sobie jest produktem, np. ta pełniąca rolę polewy ciast.

Innym przykładem mogą być bezy i ciastka w formie stałej, w których produkcji piany jest wytwarzana jako etap procesu i w kolejnych fazach poddawana przetworzeniu, dopóty, dopóki produkt finalny jest gotowy do spożycia. Obecnie technolodzy i producenci żywności napowietrzanej chcieliby poznać zmienne mechanizmy rządzące procesem powstawania i stabilizacji pian oraz ich właściwości fizyczne. Są to kluczowe sprawy dla przewidywania procesu produkcji oraz kontroli właściwości produktów spienionych. Jak dotąd, mechanizmy rządzące pienieniem się białek nie są do końca poznane, zrozumiane i opisane (PERNELL i IN. 2002).

Zastosowanie dostępnych na rynku preparatów białkowych jako środków spieniających niesie za sobą wiele utrudnień, takich jak ograniczony zakres pH i siły jonowej, co ma istotny wpływ na właściwości pianotwórcze. Zmienność procesu pienienia się preparatów białkowych jest kolejnym ograniczeniem w ich stosowaniu. Z tych względów poznanie nowych technologii mających na celu poprawę właściwości pianotwórczych białek jest bardzo pożądane przez przemysł spożywczy (MLEKO i IN. 2007).

Poznanie chemicznych i fizycznych mechanizmów rządzących procesem pienienia się białek spożywczych jest konieczne z wielu powodów. Pierwszym ważnym powodem jest potrzeba produkowania pian o stałej i wysokiej jakości. Po drugie, przetwórcy chcieliby mieć szeroki wybór składników do produkcji wyrobów napowietrzonych, zatem możliwość zastępowania białek jaja kurzego białkami mlecznymi czy innymi leży w sferze ich zainteresowań (FOEGEDING i IN. 2006).

Celem pracy było określenie wpływu dodatku chlorku sodu na właściwości reologiczne pian otrzymanych z preparatów białek serwatkowych.

Material i metody

Do badań wykorzystano: izolat białek serwatkowych (WPI) o zawartości białka 91,7% (MILEI GmbH, Leutkirch, Niemcy), koncentraty białek serwatkowych: WPC 80 i WPC 65, zawierające odpowiednio: 75,4% i 65,2% białka (MILEI GmbH, Leutkirch, Niemcy).

Z preparatów białkowych użytych do badań przygotowano roztwory o stężeniu białka: 2, 6 i 10% (m/v). Do rozpuszczenia preparatów białkowych wykorzystano wodne roztwory NaCl o stężeniach: 60, 120, 240, 480 mM. Próbami odniesienia były roztwory preparatów natywnych bez modyfikacji stężenia molowego soli. Piany wytwarzano przez ubijanie 50 ml roztworu w zlewkach wysokościennych o pojemności 600 ml z zastosowaniem miksera Philips Essence. Dla każdej próbki roztworu czas ubijania wynosił 2 min.

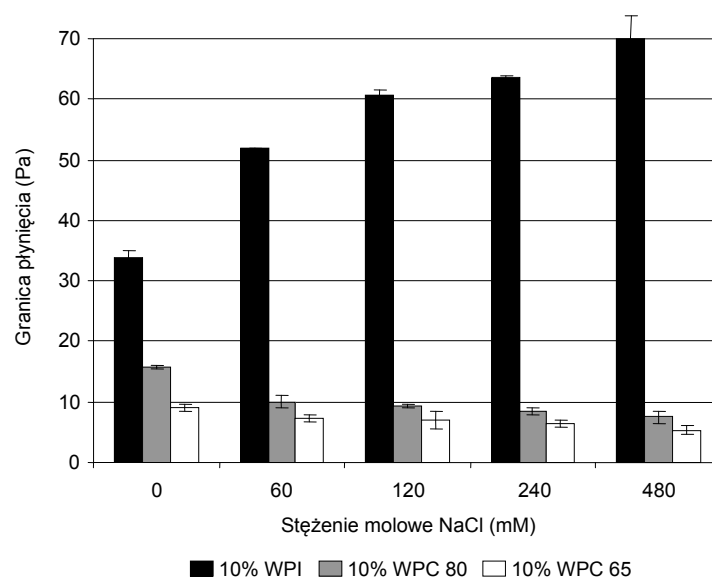
Właściwości reologiczne pian badano za pomocą reometru oscylacyjnego Haake RS 300 (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy). Pomiarów granicy płynięcia dokonywano przy stałej prędkości ścinania wynoszącej $0,01 \text{ s}^{-1}$ z zastosowaniem modułu pomiarowego vane. W teście oscylacyjnym badanych pian określono liniowy zakres lepkości przy częstotliwości 1 Hz i zakresie odkształcenia 0,002-0,05%. Określono również wartości modułów zachowawczego (G') i stratności (G'') oraz wielkości kąta fazowego (E) w zakresie częstotliwości drgań 0,1-10,00 Hz i przy odkształceniu wynoszącym 0,003%.

Pomiarów wydajności pienienia (Φ) roztworów białek dokonano zgodnie z wcześniej stosowaną metodyką (CAMPBELL i MOUGEOT 1999).

Dla każdej próbki piany dokonywano pomiaru w trzech powtórzeniach.

Wyniki

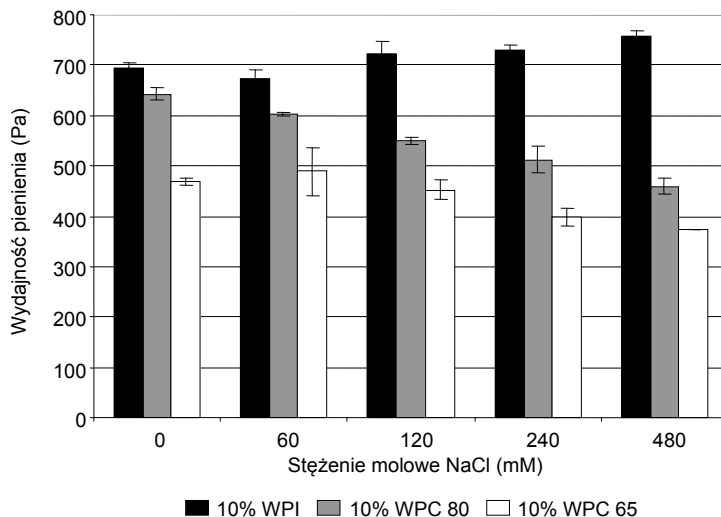
Na rysunku 1 przedstawiono wartości granicy płynięcia (τ) dla pian otrzymanych z 10-procentowych roztworów badanych preparatów. Największe wartości τ stwierdzono dla najsilniejszych stężeń (10%), a dla stężeń słabszych wartości te były odpowiednio mniejsze. Piany uzyskane z roztworów WPI cechowały się największymi wartościami granicy płynięcia. W przypadku WPI zwiększanie stężenia molowego NaCl w całym zakresie (0-480 mM) powodowało systematyczny wzrost τ . W przypadku pian otrzymanych z roztworów WPC 80 i WPC 65 w warunkach zmiennego stężenia molowego NaCl stwierdzono dokładnie odwrotne zjawisko: wzrost stężenia molowego NaCl w całym zakresie stężeń powodował spadek wartości τ pian. Piany uzyskane z WPC 80 generalnie cechowały się mniejszymi wartościami granicy płynięcia w stosunku do pian wytworzonych z WPI, a piany wytworzone z WPC 65 – najmniejszymi wartościami granicy płynięcia.



Rys. 1. Wpływ rodzaju preparatu i zmiany stężenia molowego NaCl na wartości granicy płynięcia pian uzyskanych z 10-procentowych roztworów białek

Fig. 1. The effect of preparation type and various NaCl concentration on yield stress values of the foams obtained from the 10% protein solutions

Na rysunku 2 przedstawiono wartości wydajności pienienia (Φ) dla pian otrzymanych z 10-procentowych roztworów badanych preparatów. Największe wartości Φ stwierdzono dla najsilniejszych stężeń (10%), a dla stężeń słabszych wartości te były odpowiednio mniejsze. Największe wartości Φ stwierdzono dla pian otrzymanych z izolatu białek serwatkowych. Piany uzyskane z koncentratu białek serwatkowych WPC 80 cechowały się mniejszymi wartościami Φ , a najmniejszymi – piany uzyskane z koncentratu WPC 65.



Rys. 2. Wpływ rodzaju preparatu i zmiany stężenia molowego NaCl na wartości wydajności pienienia pian uzyskanych z 10-procentowych roztworów białek

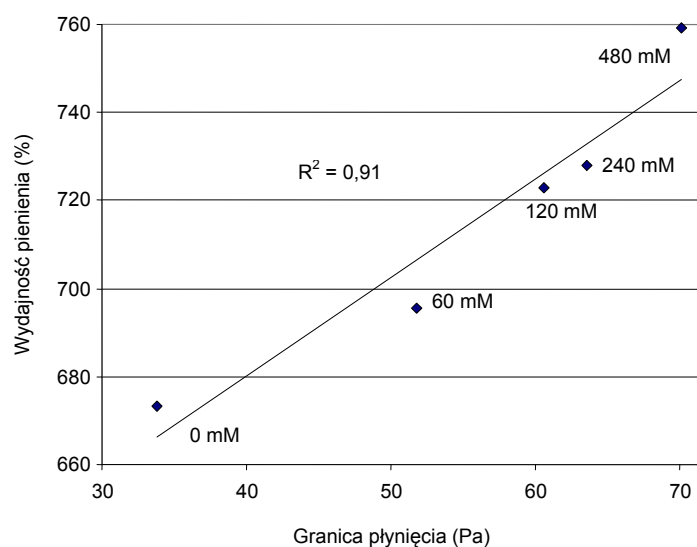
Fig. 2. The effect of preparation type and various NaCl concentration on foam overrun values of the foams obtained from the 10% protein solutions

Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że wartość Φ w istotnym stopniu zależy również od stężenia molowego NaCl w roztworze. W przypadku WPI zwiększanie stężenia molowego NaCl w całym zakresie (0-480 mM) powodowało stopniowy wzrost Φ w pianach uzyskanych ze wszystkich stężeń tego preparatu. Najmniejsze wartości Φ dla pian otrzymanych z WPI stwierdzono w przypadku natywnych roztworów białek bez modyfikacji stężenia molowego NaCl. W przypadku pian otrzymanych z roztworów WPC 80 i WPC 65 wraz ze zwiększaniem stężenia soli stwierdzono dokładnie odwrotne zjawisko: systematyczny spadek wydajności pienienia roztworów.

Należy odnotować pogorszenie się właściwości reologicznych pian otrzymanych z preparatów WPC 80 i WPC 65 przy zwiększaniu stężenia molowego NaCl, co odzwierciedla spadek wartości τ i Φ . Trzeba również wspomnieć, że analizowane preparaty WPC 80 i WPC 65 zawierają odpowiednio więcej i najwięcej jonów metali w porównaniu z WPI, którego retinat w czasie produkcji jest demineralizowany w wyniku procesów ultrafiltracji, dializy czy odwróconej osmozy. W przypadku obu analizowanych koncentratów procesy te mają miejsce w ograniczonym zakresie, zatem zwiększe-

nie wartości stężenia NaCl może wywoływać pogorszenie właściwości reologicznych badanych pian pod wpływem efektu wysalania białek. Również nie bez znaczenia pozostają różnice w składzie badanych koncentratów: koncentrat WPC 80 zawiera większe, a WPC 65 największe ilości laktozy w stosunku do WPI.

Rysunek 3 ilustruje zależność pomiędzy wydajnością pienienia a wartościami granicy płynięcia 10-procentowych pian uzyskanych z roztworu WPI. Określono dużą wartość współczynnika korelacji R^2 , która wynosi 0,91. Dla pian białkowych uzyskanych z koncentratów białek serwatkowych nie stwierdzono zależności między tymi dwoma parametrami fizyczno-chemicznymi.



Rys. 3. Zależność pomiędzy granicami płynięcia a wydajnościami pienienia 10-procentowych pian uzyskanych z roztworów WPI w warunkach zmiennego stężenia molowego NaCl

Fig. 3. The relationship between overrun and yield stress values for the 10% foams obtained from WPI solutions with various molar concentration of NaCl

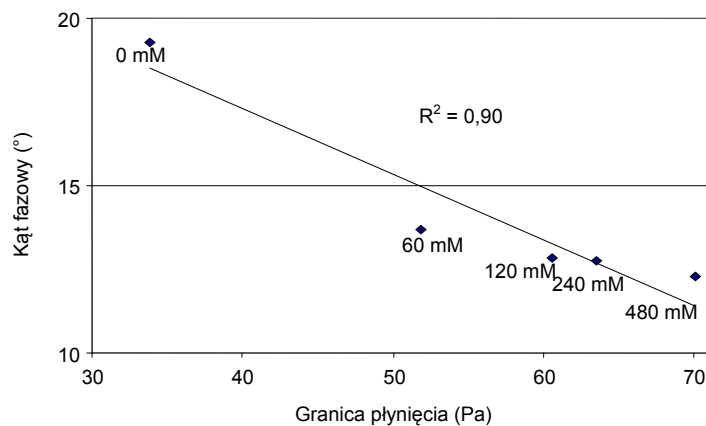
Na podstawie przeprowadzonych testów oscylacyjnych można stwierdzić, że wartości modułów zachowawczego (G'), stratności (G'') oraz kąta fazowego (E) ($^\circ$) dla pian o stężeniu białka 10% i uzyskanych z WPI w istotnym stopniu zależały od stężenia molowego NaCl (tab. 1). Generalnie wartości modułów zachowawczego (G') były około trzech razy większe niż wartości modułów stratności (G''). Zwiększanie stężenia molowego NaCl prowadzi do systematycznego wzrostu wartości modułów zachowawczego (G') i stratności (G''). Największe wartości tych modułów dla pian z WPI stwierdzono przy stężeniu soli wynoszącym 480 mM, a najmniejsze – dla pian otrzymanych z natywnych roztworów WPI bez modyfikacji stężenia molowego NaCl. Wzrost stężenia molowego NaCl prowadzi do spadku wartości kątów fazowych analizowanych pian, co świadczy o polepszeniu ich właściwości reologicznych.

Tabela 1. Wpływ zmiany stężenia molowego NaCl na wartości modułów zachowawczego (G') i stratności (G'') oraz kąta fazowego (E) dla 10-procentowych pian uzyskanych z roztworów WPI
 Table 1. The effect of various molar concentrations of NaCl on storage (G') and loss (G'') moduli and phase angle (E) values for the WPI foams obtained from the 10% protein solutions

NaCl (mM)	G'	G''	E (°)
0	425,6 ^C ±39,03	165,3 ^A ±20,8	19,29 ^A ±0,54
60	643,1 ^B ±39,03	158,75 ^A ±6,29	13,69 ^B ±0,24
120	638,1 ^B ±43,2	155,4 ^A ±11,59	12,83 ^B ±0,15
240	743,95 ^A ±38,72	169,7 ^A ±1,13	12,77 ^B ±0,73
480	749,35 ^A ±2,33	169,79 ^A ±1,59	12,30 ^B ±0,66

A, B, C – wartości średnie istotnie różniące się statystycznie.

Rysunek 4 ilustruje zależność między wartościami kątów fazowych a granicami płynięcia pian otrzymanych z WPI w warunkach zmiennego stężenia molowego NaCl. Określono dużą wartość współczynnika korelacji R^2 , która wynosi 0,90. W przypadku pozostałych preparatów nie zaobserwowano zależności między tymi dwiema wielkościami fizyczno-chemicznymi. Im mniejszy jest kąt fazowy, tym bardziej elastyczny jest układ wobec tego piana jest bardziej podatna na elastyczne rozciąganie. Wzrost siły działającej na próbkę, wynikający z obrotu układu pomiarowego, powoduje jej rozciąganie się i układ jest w zakresie liniowej lepkości. Tak więc w przypadku bardziej elastycznych pian (mniejszy kąt fazowy) nastąpi zerwanie elastycznych połączeń przy większej wartości siły, czyli przy większej wartości τ .



Rys. 4. Zależność pomiędzy granicami płynięcia a kątami fazowymi 10-procentowych pian uzyskanych z roztworów WPI w warunkach zmiennego stężenia molowego NaCl

Fig. 4. The relationship between yield stress and phase angle values for the 10% foams obtained from WPI solutions with various molar concentration of NaCl

Dyskusja

Zdaniem PERNELLA i IN. (2002) zwiększanie stężenia preparatu białkowego w roztworze prowadzi do wzrostu granicy płynięcia uzyskanych pian. Wiąże się to z faktem zwiększania ilości materiału powierzchniowo aktywnego w układzie, co prowadzi do powstania większej liczby białkowych powłok międzyfazowych i wpływa na zmniejszenie się wartości napięcia powierzchniowego roztworu. FOEGEDING i IN. (2006) stwierdzili, że wzajemne sieciowanie się białek na granicy faz prowadzi do powstania elastycznych sieci białkowych, co istotnie wpływa na wartość granicy płynięcia pian.

Również LUCK i IN. (2001) zaobserwowali, że wzrost zawartości laktozy w roztworach WPI prowadził do spadku wartości τ dla uzyskanych pian. Według DAVIS i FOEGEDINGA (2004) również dodatek sacharozy do roztworu WPI i spolimeryzowanego WPI powoduje spadek wartości granicy płynięcia. MURRAY (2007) i THAKUR i IN. (2007) podają, że właściwości pianotwórcze białek generalnie ulegają zmianie, gdy są one obecne w mieszaninie z innymi składnikami niebiałkowymi, jak np. cukry.

Wcześniejsze publikacje donoszą o możliwości poprawy właściwości reologicznych pian poprzez zwiększanie stężenia molowego NaCl. LUCK i IN. (2001) oraz DAVIS i IN. (2004), po przeanalizowaniu wpływu NaCl na właściwości pianotwórcze WPI, stwierdzili, że zwiększenie stężenia molowego w roztworach WPI prowadzi do zwiększenia wartości granicy płynięcia oraz wydajności pienienia dla β -laktoglobuliny i α -laktoalbuminy. Większe wartości τ zanotowane przez tych autorów dla pian otrzymanych z β -laktoglobuliny z dodatkiem NaCl sugerują, że sól ta zmienia międzyfazowe właściwości reologiczne powłoki białkowej oraz przyczynia się do agregacji białek. Jak twierdzą LUCK i IN. (2001), wydaje się, iż zwiększanie się wartości granicy płynięcia zachodzi pod wpływem oddziaływania jonów przeciwnych na ujemne cząsteczki białka w roztworze. To przyczynia się do zmniejszenia bariery elektrostatycznej i cząsteczki białka mogą się łatwiej absorbować na granicy faz.

Jeśli chodzi o pogorszenie się właściwości reologicznych pian otrzymanych z analizowanych koncentratów WPC 80 i WPC 65, to DAMODARAN i IN. (1998) zdefiniowali negatywny wpływ nadmiaru chlorku sodu na pienistość i stabilność pian spożywczych i przypisywali go zahamowaniu adsorpcji powierzchniowej i zmianom w powłokach białkowych na granicy faz.

Zdaniem PERNELLA i IN. (2002), ilość powietrza znajdującego się w pianie jest zależna od stężenia białka w roztworze i czasu ubijania. LEWIS (1996) stwierdza z kolei, że wydajność pienienia lodów jest zależna od ilości składników stałych: im większa ich zawartość, tym większy wzrost Φ .

Według LUCKA i IN. (2001) wzrost udziału laktozy w WPI prowadzi do powstania pian o mniejszej wartości Φ . RAIKOS i IN. (2007) stwierdzili, że wzrost stężenia sacharozy w roztworze albuminy powoduje spadek wartości Φ pian. Według tych badaczy jest to przypisane wzrostowi lepkości roztworu wywołanemu dodatkiem sacharozy, która uniemożliwia wprowadzenie większej ilości powietrza do roztworu spienianego podczas ubijania. W obecności cukru również dochodzi do spadku fazy frakcji powietrznej w pianie. Według LAUA i DICKINSONA (2005) dodatek cukru do napowietrzanego roztworu albuminy powoduje wzrost lepkości fazy ciągłej, co jest zjawiskiem niekorzystnym dla zjawiska inkorporacji powietrza oraz gwałtownej dyfuzji i rozfałdowania się białek w pobliżu granicy faz. ANTIPOVA i IN. (1999) stwierdzili, że adsorp-

cja białek globularnych zmniejsza się w obecności cukrów, prawdopodobnie z uwagi na tworzenie się wiązań wodorowych pomiędzy cząstkami białek a cukrami, co przyczynia się do zmniejszenia ich hydrofobowości i aktywności powierzchniowej.

ZHANG i IN. (2004) zaobserwowali, że zdolność pienienia się izolatu białek serwatkowych rośnie, gdy stężenie NaCl w roztworze WPI wzrasta od 0 do 0,1 M, i spada ze wzrostem stężenia NaCl od 0,1 do 0,8 M. Według tych autorów właściwości pianotwórcze β -laktoglobuliny poprawiają się, gdy w roztworze dochodzi do wzrostu stężenia molowego NaCl do wartości 0,1 M. W przypadku α -laktoalbuminy jej cząsteczka ulega przemianie konformacyjnej wywołanej przez jony Na^+ , co wpływa na zmianę elektrostatycznych interakcji między białkami (ZHANG i IN. 2004). Również RAIKOS i IN. (2007) stwierdzili, że dodatek NaCl do roztworów izolowanej albuminy powoduje poprawę jej właściwości pianotwórczych, czego odzwierciedleniem są większe wartości Φ zarejestrowane w badanych pianach w porównaniu z próbą kontrolną. PHILLIPS i IN. (1991) analizowali piany otrzymane z roztworów WPI o zmiennym stężeniu molowym NaCl. Wszystkie badane stężenia soli przyczyniły się do spadku wydajności pienienia analizowanych roztworów. Z kolei LUCK i IN. (2001), określając wpływ NaCl na Φ roztworów WPI, stwierdzili, że piany zawierające NaCl wykazywały większe wydajności pienienia niż próby kontrolne. W przeciwieństwie do tego DAVIS i IN. (2004) stwierdzili, że wpływ zwiększania stężenia molowego NaCl na wartość Φ pian WPI był minimalny. Można przypuszczać, że u wyżej wymienionych badaczy różnice w wartościach Φ w przypadku porównywania różnych stężeń NaCl wynikają z zastosowania różnych wartości stężeń molowych soli oraz różnych rodzajów preparatu WPI. ZHANG i IN. (2004) stwierdzili, że wpływ siły jonowej na zmianę właściwości pianotwórczych białek zależy od typu białka oraz stężenia zastosowanej soli. Neutralne sole w małych stężeniach poprawiają pianistość roztworów WPI. Zastosowanie dużych stężeń NaCl, powyżej 0,6 M, pogarszało zdolność pienienia się białek serwatkowych, prawdopodobnie poprzez zmianę rozpuszczalności i zdolności polimeryzacji białek. Ci sami autorzy zaobserwowali, że przy stężeniach silniejszych sole zmieniają stopień rozpuszczalności białek, powodując „efekt wysalania białek”. NaCl przy dużym stężeniu, około 1 M, osłabia stabilność piany powstałej z β -laktoglobuliny. Również FUNTENBERGER i IN. (1995) potwierdzili spadek rozpuszczalności białek w roztworze w obecności soli, który był proporcjonalny do zwiększania stężenia soli.

W przypadku korelacji między granicami płynięcia a wydajnością pienienia pian z WPI już wcześniejsze badania donoszą o podobnej zależności (LUCK i IN. 2001, FOGEDING i IN. 2000). Również inni autorzy zauważyli istnienie korelacji związanej ze wzrostem udziału fazy gazowej w pianie, która powoduje wzrost wartości τ (CALVERT i NEZHATI 1987, YOSHIMIURA i IN. 1987, PRINCEN 1985).

MLEKO i IN. (2007) po przeanalizowaniu wpływu pH na zmianę modułów zachowawczego (G') i stratności (G'') pian wytworzonych z albuminy jaja kurzego stwierdzili, że wartości te były niewrażliwe na zmiany częstotliwości i wykazywały właściwości reologiczne podobne do wysoce elastycznych materiałów, takich jak żele. GUNASEKARAN i AK (2000), dokonując analizy oscylacyjnej pian spożywczych, stwierdzili, że wartości G' zwiększały się powoli wraz ze wzrostem częstotliwości. Wzrost częstotliwości drgań powoduje wzrost ilości energii dostarczanej do badanego układu w jednostce czasu. W przypadku słabych żeli oraz innych układów o małej wartości granicy płynięcia większa energia może spowodować zniszczenie układu, a to doprowadzić do

spadku wartości modułu zachowawczego. W przypadku mocnych żeli i innych układów o dużej wartości granicy płynięcia wzrost częstotliwości powoduje, iż struktura, która nie uległa zniszczeniu, zachowuje się jak coraz bardziej elastyczny materiał. Materiał charakteryzuje się coraz mniejszymi wartościami liczby Debory na skutek zmniejszania się czasu odkształcenia przy niezmiennym czasie relaksacji. Materiały o małej liczbie Dobory należą do substancji elastycznych, dla których charakterystyczna jest również duża wartość modułu zachowawczego w stosunku do modułu stratności.

SOŁOWIEJ i IN. (2006) oraz JU i KILARA (1998), zbadawszy wpływ NaCl na właściwości reologiczne żeli otrzymanych z izolatu białek serwatkowych, stwierdzili, że twardość żeli wzrasta wraz ze zwiększaniem stężenia jonów metali w układzie. Również MLEKO i IN. (2002) podczas przeprowadzania procesu podwójnego żelowania izolatu białek serwatkowych uzyskali wzrost wartości modułu zachowawczego (G') wraz ze wzrostem stężenia soli w układzie. Można zakładać, że w przypadku takich układów jak piany uzyskane z WPI mechanizm działania jonów metali na poprawę ich właściwości reologicznych jest analogiczny jak w przypadku żeli uzyskanych z tego preparatu.

Spadek wartości kątów fazowych pian oznacza wzrost elastycznego charakteru próbki (TABILO-MUNIZAGA i BARBOSA-CANOVAS 2005, MLEKO i IN. 2007).

Wnioski

1. Rodzaj zastosowanego preparatu i stężenie molowe chlorku sodu istotnie wpływały na parametry reologiczne otrzymanych pian białkowych.

2. W przypadku pian otrzymanych z izolatu białek serwatkowych, wzrost stężenia molowego NaCl prowadzi do poprawy ich właściwości reologicznych, w przypadku zaś koncentratów WPC 80 i WPC 65 – prowadzi do ich pogorszenia.

3. Preparaty białek serwatkowych mogą być z powodzeniem stosowane jako czynnik spieniający w technologii żywności i mogą stanowić dobrą alternatywę albuminy jaja kurzego.

Literatura

- ANTIPOVA A.S., SEMENOVA M.G., BELYAKOVA L.E., 1999. Effect of sucrose on the thermodynamic properties of ovalbumin and sodium caseinate in bulk solution and at air-water interfaces. *Colloids Surf. B: Biointerfac.* 12: 261-270.
- CALVERT J.R., NEZHATI K., 1987. Bubble size effects in foams. *Int. J. Heat Fluid Flow* 8: 102-106.
- CAMPBELL G.M., MOUGEOT E., 1999. Creation and characterization of aerated food products. *Trends Food Sci. Technol.* 10: 283-296.
- DAMODARAN S., ANAND K., RAZUMOVSKY L., 1998. Competitive adsorption of egg-white proteins at the air water interface: direct evidence for electrostatic complex formation between lysozyme and other egg proteins at the interface. *J. Agric. Food Chem.* 46: 872-876.
- DAVIS J.P., FOEGEDING E.A., 2004. Foaming and interfacial properties of polymerized whey protein isolate. *J. Food Sci.* 69, 5: 404-410.
- DAVIS J.P., FOEGEDING E.A., 2007. Comparisons of the foaming and interfacial properties of whey protein isolate and egg white proteins. *Colloids Surf. B: Biointerfac.* 54: 200-210.

- DAVIS P.J., FOGEDING E.A., HANSEN F.K., 2004. Electrostatic effects on the yield stress of whey protein isolate foams. *Colloids Surf. B: Biointerfac.* 34: 13-23.
- FOGEDING E.A., LI L.H., PERNELL C.W., MLEKO S., 2000. A comparison of the gelling and foaming properties of whey and egg proteins. W: *Hydrocolloids. Part 1.* Elsevier, Amsterdam: 357-366.
- FOGEDING E.A., LUCK P.J., DAVIS J.P., 2006. Factors determining the physical properties of protein foams. *Food Hydrocolloids* 20: 284-292.
- FUNTENBERGER S., DUMAY E., CHEFTEL J.C., 1995. Pressure-induced aggregation of β -lactoglobulin in pH 7.0 buffers. *Lebensm. Wiss. Technol.* 28: 410-418.
- GUNASEKARAN S., AK M.M., 2000. Dynamic oscillatory shear testing of foods-selected applications. *Food Sci. Technol. (Zur.)* 11: 115-127.
- JU Z.Y., KILARA A., 1998. Textural properties of cold set gels induced from heat-denatured whey protein isolates. *J Food Sci.* 63, 2: 288-292.
- LAU C.K., DICKINSON E., 2005. Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar. *Food Hydrocolloids* 19: 111-121.
- LEWIS M.J., 1996. *Physical properties of foods and food processing systems.* Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
- LUCK P.J., BRAY N., FOGEDING E.A., 2001. Factors determining yield stress and overrun of whey protein foams. *J. Food Sci. Food Chem. Toxicol.* 69, 5: 1667-1861.
- MLEKO S., GLIBOWSKI P., GUSTAW W., JANAS P., 2002. Calcium ions induced gelation of double heated whey protein isolate. *J. Food Sci. Technol.* 39, 5: 563-565.
- MLEKO S., KRISTINSSON H.G., LIANG Y., GUSTAW W., 2007. Rheological properties of foams generated from egg albumin after pH treatment. *Lebensm. Wiss. Technol.* 40: 908-914.
- MURRAY B.S., 2007. Stabilization of bubbles and foams. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 12: 232-241.
- PERNELL C.W., FOGEDING E.A., LUCK P.J., DAVIS J.P., 2002. Properties of whey and egg white protein foams. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 204: 9-21.
- PHILLIPS L.G., YANG S.T., KINSELLA J.E., 1991. Neutral salt effects on stability of whey protein isolate foams. *J. Food Sci.* 56, 2: 588-589.
- PRINCEN H.M., 1985. Rheology of foams and highly concentrated emulsions II. Experimental study of the yield stress and wall effects for concentrated oil-in-water emulsions. *J. Colloid Interface Sci.* 105: 150-171.
- RAIKOS V., CAMPBELL L., EUSTON R.S., 2007. Effects of sucrose and sodium chloride on foaming properties of egg white proteins. *Food Res. Int.* 40: 347-355.
- SOŁOWIEJ B., GUSTAW W., GLIBOWSKI P., SZWAJGIER D., CZERNECKI T., 2006. Właściwości reologiczne oraz struktura polimerów izolatu białek serwatkowych. *Żywn. Nauka Technol Jakość* 2, 47: 325-333.
- TABILO-MUNIZAGA G., BARBOSA-CANOVAS G.V., 2005. Rheology for the food industry. *J. Food Eng.* 67: 147-156.
- THAKUR R.K., VIAL CH., DJELVEH G., 2007. Effect of pH of food emulsions on their continuous foaming using a mechanically agitated column. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 7: 203-210.
- YANKOV S., PANCHEV I., 1996. Foaming properties of sugar-egg mixtures with milk protein concentrates. *Food Res. Int.* 29: 521-525.
- YOSHIMIURA A.S., PRUD'HOMME R.K., PRINCEN H.M., KISS A.D., 1987. A comparison of techniques for measuring yield stresses. *J. Rheol.* 31: 699-710.
- ZHANG Z., DALGLEISH D.G., GOFF H.D., 2004. Effect of pH and ionic strength on competitive protein adsorption to air/water interfaces in aqueous foams made with mixed milk proteins. *Colloids Surf. B: Biointerfac.* 34: 113-121.

THE EFFECT OF SODIUM CHLORIDE ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF FOAMS OBTAINED FROM WHEY PROTEIN PREPARATIONS

Summary. The objective of this paper was to investigate the effect of various sodium chloride concentrations on rheological properties of foams obtained from different types of whey protein preparations: isolate (WPI) and two concentrates (WPC 80 and WPC 65). The rheological properties of analysed foams were evaluated by using an oscillatory Haake RS 300 rheometer. For the foam samples, the following rheological parameters were determined: yield stress (τ), storage (G'), loss (G'') moduli and phase angle (E) values. For the each protein solution, the values of foam overrun (Φ) were also calculated. The rheological properties of the analysed foam were dependent on sodium chloride concentration and protein prepare type. WPI foams exhibited superior rheological properties in comparison to foams obtained from WPCs. For the foams produced from WPI, the increase of molar concentration of NaCl resulted in systematic yield stress and overrun increase. In the case of foams obtained from WPCs, it effected in yield stress and overrun decrease. For the WPI foams, the following linear relationships between the analysed parameters have been found: yield stress and foam overrun values and yield stress and phase angle values as well.

Key words: whey proteins, foams, rheology

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Maciej Nastaj, Katedra Biotechnologii, Żywienia Człowieka i Towaroznawstwa Żywności, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Skromna 8, 20-704 Lublin, Poland, e-mail: mnasty@o2.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

29.09.2009

Do cytowania – For citation:

*Nastaj M., 2009. Wpływ dodatku chlorku sodu na właściwości reologiczne pian otrzymanych z preparatów białek serwatkowych. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 4, #122.*