

ALEKSANDRA CIOLKOWSKA, WALDEMAR GUSTAW,
KATARZYNA SKRZYPCZAK, BARTOSZ SOŁOWIEJ, ANETA SŁAWIŃSKA

WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE MODELOWYCH NAPOJÓW FERMENTOWANYCH OTRZYMANÝCH Z WYBRANYCH PREPARATÓW BIAŁEK SERWATKOWYCH Z DODATKIEM INULINY

Streszczenie

Celem pracy było otrzymanie oraz określenie właściwości reologicznych modelowych napojów fermentowanych na bazie wybranych preparatów białek serwatkowych z dodatkiem 7 % sacharozy i inuliny w ilości: 2, 3 i 4 %. Jako kultury starterowe stosowano bakterie fermentacji mlekowej zdolne do syntezy egzopolisacharydów. Wyznaczano krzywe płynięcia przy użyciu reometru Haake RS300, a po ich analizie obliczono współczynnik konsystencji (K) oraz wskaźnik płynięcia (n) badanych próbek. Wraz ze wzrostem stężenia serwatki w proszku (SP), serwatki o zmniejszonej zawartości laktozy (SZZL) i koncentratu białek serwatkowych (WPC 65) w otrzymanych napojach malała wartość współczynnika konsystencji, natomiast przy wyższym stężeniu koncentratu białek serwatkowych (WPC 35) i izolatu białek serwatkowych (WPI) wartość ta wzrastała. Spośród wszystkich badanych próbek najwyższą wartością K charakteryzowały się napoje fermentowane na bazie WPC 35. Dodatek sacharozy i inuliny wpłynął na poprawę konsystencji napojów. Wartości wskaźnika płynięcia wszystkich badanych próbek były mniejsze od jedności, co świadczy o ich pseudoplastycznym charakterze. Najniższe, zbliżone wartości współczynnika konsystencji zaobserwowano w przypadku układów na bazie serwatki w proszku (SP) i serwatki zdemineralizowanej (SZ) z dodatkiem sacharozy i inuliny w różnych stężeniach. Natomiast najwyższymi wartościami parametrów reologicznych charakteryzowały się te na bazie WPC 35 z dodatkiem sacharozy i 4 % inuliny. W tym przypadku wartości współczynnika konsystencji wyniosły: $10,5 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ (MYE 95) i $10,2 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ (MYE 96).

Słowa kluczowe: napoje fermentowane, preparaty białek serwatkowych, inulina, reologia

Mgr inż. A. Ciolkowska, prof. dr hab. W. Gustaw, mgr inż. K. Skrzypczak, dr A. Sławińska, Katedra Technologii Owoców, Warzyw i Grzybów, dr hab. B. Sołowiej, Katedra Biotechnologii, Żywienia Człowieka i Towaroznawstwa Żywności, Wydz. Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Skromna 8, 20-704 Lublin. Kontakt: aleksandra.ciolkowska@gmail.com

Wprowadzenie

Serwatka jest produktem ubocznym przemysłu mleczarskiego. Wzrastający popyt na żywność funkcjonalną sprawia, że coraz częściej wykorzystuje się serwatkę i jej preparaty do produkcji funkcjonalnych napojów fermentowanych. Napoje te zawierają białka serwatkowe o dużej wartości biologicznej. Technologia produkcji funkcjonalnych napojów serwatkowych jest stosunkowo prosta, a fermentowane produkty uznawane są za żywność o właściwościach prozdrowotnych [9, 15].

Białka z serwatki odzyskuje się głównie przy zastosowaniu technik membranowych i chromatografii jonowymiennej. Podczas procesu ultrafiltracji białka, ze względu na ich rozmiary, zostają oddzielone od laktozy i związków mineralnych, które przechodzą przez membranę jako permeat. Wysuszony na suszarkach rozpyłowych retentat zawierający od 35 do 80 % białka nazywany jest koncentratem białek serwatkowych [16, 19]. Zastosowanie chromatografii jonowymiennej pozwala na otrzymanie izolatów białek serwatkowych o zawartości białka powyżej 90 % oraz wyizolowanie poszczególnych białek serwatki i ich fragmentów jak np. kazeinomakropetydu [8].

Bakterie fermentacji mlekowej (LAB) są wykorzystywane m.in. do produkcji mlecznych napojów fermentowanych. Do wzrostu LAB wymagają podłoża bogatego w peptydy, aminokwasy, kwasy tłuszczowe, węglowodany oraz witaminy. Wykazują one zdolność do hydrolizowania tłuszczów i białek mleka. Poszczególne białka mleka, jak i preparaty białek mleka stymulują wzrost LAB [1, 9, 13].

Inulina jest naturalnie występującym polisacharydem stanowiącym materiał zapasowy niektórych roślin, gromadzonym w wakuolach. W przemyśle spożywczym wykorzystywana jest ze względu na swoje właściwości prebiotyczne oraz funkcjonalne. Inulina wykazuje zdolność do pochłaniania wody i tworzenia żeli. W środowisku o pH poniżej 4,5 dochodzi do hydrolizy inuliny do fruktozy [7].

Egzopolisacharydy (EPS) to wielkocząsteczkowe polimery wydzielane przez mikroorganizmy na zewnątrz komórki. Wpływają one na właściwości reologiczne fermentowanych produktów na bazie mleka, zwiększając ich lepkość, dlatego też bakterie fermentacji mlekowej zdolne do wytwarzania egzopolisacharydów odgrywają istotną rolę w przemyśle mleczarskim. Ponadto niektóre EPS wykazują działanie przeciwnowotworowe oraz immunomodulujące [17].

Celem pracy było otrzymanie oraz określenie właściwości reologicznych fermentowanych napojów na bazie wybranych preparatów białek serwatkowych z dodatkiem inuliny. Jako kultury starterowe stosowano bakterie fermentacji mlekowej zdolne do syntezy egzopolisacharydów.

Material i metody badań

Do badań zastosowano: serwatkę w proszku (SP) (Spomlek, Radzyń Podlaski, Polska), serwatkę o zmniejszonej zawartości laktozy (SZZL) (Foremost Farms, USA), serwatkę zdemineralizowaną (SZ) (Euroserum, Port-Sur-Saone, Francja), koncentraty białek serwatkowych: WPC-35 (Laktopol, Warszawa, Polska), WPC-65 i WPC-80 (Milei GmbH, Allgau, Niemcy), izolat białek serwatkowych WPI (Milei GmbH, Allgau, Niemcy), inulinę (Frutafit, Sensus, Holandia), odtłuszczone mleko w proszku (OSM Krasnystaw) oraz sacharozę spożywczą. W celu ujednoczenia pH roztworów mleka w proszku przeznaczonego do otrzymania inokulum doprowadzono je do wartości pH = 6,0. Do regulacji pH wykorzystano kwas octowy i NaOH (POCH Gliwice).

W celu otrzymania napojów fermentowanych użyto szczepionek MYE 95 i MYE 96 (Danisco, Poznań, Polska), w skład których wchodziły szczepy *Streptococcus thermophilus* i *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*.

Przygotowanie inokulum

Do 50 ml spasteryzowanego 10-procentowego roztworu odtłuszczonego proszku mlecznego dodano 4 mg szczepionki i inkubowano w cieplarni w temp. 42 °C do momentu uzyskania pH na poziomie 4,8 co trwało 4 h. Hodowlę prowadzono w zlewkach o pojemności 100 ml zakrytych folią aluminiową.

Otrzymywanie modelowych napojów fermentowanych

Przygotowywano roztwory preparatów białek serwatkowych o stężeniu 5, 6 i 7 % w wodzie destylowanej poprzez mieszanie w temp. 20 ± 2 °C mieszadłem magnetycznym MR 3002S (Heidolph, Niemcy) przez 30 min. W drugim etapie badań do 7-procentowych roztworów preparatów białek serwatkowych, wybranych na podstawie ich konsystencji, dodawano 7 % sacharozy oraz 2, 3 lub 4 % inuliny. Po dokładnym wymieszaniu próbki pasteryzowano w temp. 90 °C przez 15 min w łaźni wodnej. Otrzymane roztwory schładzano do ok. 42 °C i zaszczepiano 2 % inokulum, a następnie fermentowano do uzyskania pH na poziomie 4,8. Napoje fermentowane schładzano, następnie przez 24 h przechowywano w temp. ok. 4 °C.

Reometria rotacyjna

Pomiary wykonywano przy użyciu reometru RS 300 (Haake, Niemcy) z zastosowaniem układu pomiarowego cylindrów współosiowych Z41. Wyznaczano krzywe płynięcia w zakresie szybkości ścinania od 0,1 do 100 1/s w ciągu 60 s i w temp. 20 °C. Otrzymane krzywe płynięcia analizowano z wykorzystaniem równania Ostwalda - de Waele'a. Oznaczano również właściwości tiksotropowe otrzymanych napojów fermentowanych, wyznaczając pętlę histerezy w zakresie szybkości ścinania od 0,1 do 200 1/s, a następnie od 200 do 0,1 1/s w ciągu 180 s w temp. 20 °C. Pola powierzchni

histerezy tiksotropii wyliczano przy zastosowaniu oprogramowania RheoWin. Wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach po 5 prób.

Analiza statystyczna

Analizę statystyczną wykonano przy użyciu programu Statistica 8.0 (StatSoft, Polska). Zastosowano wieloczynnikową analizę wariancji (ANOVA). Do opracowania wyników przedstawionych w tab. 1., 2. i 4. zastosowano trójczynnikową analizę wariancji, natomiast wyniki przedstawione w tab. 3. opracowano za pomocą dwuczynnikowej analizy wariancji. Do oceny istotności różnic pomiędzy wartościami średnimi zastosowano test Tukeya ($p \leq 0,05$).

Wyniki i dyskusja

W tab. 1. przedstawiono wartości współczynnika konsystencji (K) oraz wskaźnika płynięcia (n) napojów fermentowanych na bazie różnych preparatów białek serwatkowych o stężeniu 5, 6 i 7 %. Wzrost stężenia stosowanych preparatów serwatkowych nie wpływał istotnie na wartości współczynnika konsystencji. Jedynie w przypadku WPC 35 zaobserwowano znaczny wzrost wartości K przy stężeniu 6 %. Dalszy wzrost stężenia koncentratu nie powodował wyraźnych zmian konsystencji. Najwyższą wartość współczynnika konsystencji, która wynosiła $8,1 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$, osiągnięto przy 7-procentowym stężeniu WPC 35 z zastosowaniem szczepionki MYE 96.

We wcześniejszych badaniach [6] również stwierdzono, że w większości przypadków wzrost stężenia dodawanych preparatów serwatkowych (SP, SZ, SZZL) powodował pogorszenie właściwości reologicznych napojów fermentowanych. Inni autorzy otrzymali napój fermentowany z wykorzystaniem WPC 35 o stężeniu 10 %, co zapewniało odpowiednią konsystencję produktu zbliżoną do produktów otrzymanych z mleka [12]. Sodini i wsp. [15] wykazali, że niektóre jogurty z dodatkiem WPC charakteryzowały się lepkością zbliżoną do lepkości jogurtów z dodatkiem odtłuszczonego mleka w proszku, natomiast w większości przypadków jogurty z WPC charakteryzowały się mniejszą lepkością pozorną. Właściwości reologiczne jogurtów zależały prawdopodobnie od zawartości niebiałkowych składników, takich jak laktoza i tłuszcz w koncentratkach oraz od stopnia denaturacji białek.

Deep i wsp. [3] badali wpływ egzopolisacharydów wytwarzanych przez LAB na rozpuszczalność, właściwości emulgujące i zdolność do żelowania WPC produkowanych z serwatki zaszczipionej kulturami wytwarzającymi EPS. Próba kontrolna nie zawierała kultur wytwarzających EPS. Serwatkę tę następnie pasteryzowano, zagęszczano metodą ultrafiltracji i suszono metodą rozpyłową. W obecności EPS w uzyskanych WPC wzrastała rozpuszczalność białek serwatkowych, zmniejszał się stopień denaturacji białek i polepszały się właściwości emulgujące. Dodatek EPS poprawiał teksturę żeli WPC. Obecność EPS w mlecznych produktach fermentowanych może

wpływać również na interakcje pomiędzy kazeiną a białkami serwatkowymi, które kształtują właściwości reologiczne produktów mleczarskich [5].

Tabela 1. Wartości współczynnika konsystencji (K) i wskaźnika płynięcia (n) serwatkowych napojów fermentowanych za pomocą szczepionek MYE 95 i MYE 96, na podstawie krzywych płynięcia

Table 1. Values of consistency coefficient (K) and flow behaviour index (n) determined based on flow curves of whey beverages fermented by MYE 95 and MYE 96 inoculants

Rodzaj i stężenie preparatu [%] Type and concentration of preparation [%]		MYE 95		MYE 96	
		K [Pa·s ⁿ]	n	K [Pa·s ⁿ]	n
SP	5	0,01 ^a ± 0,00	0,63 ^{abcde} ± 0,02	0,07 ^a ± 0,01	0,74 ^{abcde} ± 0,03
	6	0,01 ^a ± 0,00	0,66 ^{abcde} ± 0,01	0,04 ^a ± 0,01	0,84 ^{abcd} ± 0,03
	7	0,01 ^a ± 0,00	0,69 ^{abcde} ± 0,22	0,03 ^a ± 0,01	0,87 ^{ab} ± 0,38
SZ	5	0,07 ^a ± 0,00	0,59 ^{abcde} ± 0,11	0,65 ^a ± 0,04	0,86 ^{abc} ± 0,14
	6	0,01 ^a ± 0,00	0,63 ^{abcde} ± 0,16	0,83 ^a ± 0,01	0,78 ^{abcde} ± 0,03
	7	0,01 ^a ± 0,00	0,58 ^{abcde} ± 0,09	0,71 ^a ± 0,04	0,82 ^{abcd} ± 0,11
SZZL	5	0,02 ^a ± 0,01	0,77 ^{abcde} ± 0,25	0,07 ^a ± 0,05	0,96 ^a ± 0,26
	6	0,01 ^a ± 0,00	0,58 ^{abcde} ± 0,26	0,07 ^a ± 0,01	0,68 ^{abcde} ± 0,35
	7	0,01 ^a ± 0,00	0,52 ^{abcde} ± 0,04	0,06 ^a ± 0,00	0,77 ^{abcde} ± 0,27
WPC 35	5	0,16 ^a ± 0,04	0,42 ^{abcde} ± 0,08	0,18 ^a ± 0,05	0,36 ^{abcde} ± 0,03
	6	6,60 ^b ± 3,20	0,13 ^{ab} ± 0,01	7,20 ^b ± 0,17	0,15 ^{abcd} ± 0,04
	7	7,20 ^b ± 4,00	0,03 ^a ± 0,01	8,10 ^b ± 0,56	0,14 ^{abc} ± 0,03
WPC 65	5	0,80 ^a ± 0,41	0,37 ^{cde} ± 0,11	1,30 ^a ± 0,35	0,28 ^{abcde} ± 0,02
	6	0,14 ^a ± 0,01	0,42 ^{abcde} ± 0,02	0,81 ^a ± 0,00	0,61 ^{abcde} ± 0,06
	7	0,02 ^a ± 0,01	0,62 ^{abcde} ± 0,02	0,04 ^a ± 0,00	0,91 ^{ab} ± 0,11
WPC 80	5	0,91 ^a ± 0,26	0,10 ^{ab} ± 0,03	0,90 ^a ± 0,09	0,21 ^{abcde} ± 0,04
	6	0,98 ^a ± 0,00	0,33 ^{abcde} ± 0,04	0,13 ^a ± 0,09	0,51 ^{bcde} ± 0,02
	7	0,14 ^a ± 0,03	0,64 ^{abcde} ± 0,03	0,09 ^a ± 0,00	0,75 ^{abcde} ± 0,04
WPI	5	0,01 ^a ± 0,00	0,75 ^{abcde} ± 0,11	0,08 ^a ± 0,00	0,65 ^{abcde} ± 0,10
	6	0,02 ^a ± 0,00	0,80 ^{abcde} ± 0,07	0,09 ^a ± 0,00	0,66 ^{abcde} ± 0,08
	7	0,16 ^a ± 0,08	0,40 ^{abcde} ± 0,05	0,16 ^a ± 0,01	0,04 ^a ± 0,01

Objaśnienia / Explanatory notes:

SP – serwatka w proszku / whey powder; SZ – serwatka zdemineralizowana / demineralised whey; SZZL – serwatka o zmniejszonej zawartości laktozy / whey with reduced content of lactose; WPC 35, WPC 65, WPC 80 – koncentraty białek serwatkowych / whey protein concentrates; WPI – izolat białek serwatkowych / whey protein isolate. W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values ± standard deviations; n = 5; a - l – wartości średnie oznaczone różnymi literami różną się statystycznie istotnie (p < 0,05) / mean values denoted by different letters differ statistically significantly (p < 0.05).

Dimitreli i wsp. [4] zaobserwowali, że wyższe stężenie WPC prowadziło do skrócenia czasu fermentacji oraz wzrostu wartości współczynnika konsystencji, a tym samym lepkości pozornej. Wykazali znaczne różnice pomiędzy wartością K kefirów wyprodukowanych z dodatkiem WPC do mleka przerobowego przed obróbką cieplną i po niej. Zdenaturowane białka powodowały dużo większy wzrost wartości współczynnika konsystencji w porównaniu z białkami natywnymi. Na podstawie wyników stwierdzono, że poszczególne preparaty serwatkowe wykazują odmienne właściwości, gdy stosowane są w różnych stężeniach. Dodatek większej ilości danego preparatu nie zawsze wpływa korzystnie na konsystencję próbki, gdyż zależy to od składu zastosowanego preparatu białek serwatkowych.

Wyznaczone wartości wskaźnika płynięcia (n) (tab. 1) były mniejsze od jedności, co oznacza, że wszystkie otrzymane napoje miały charakter pseudoplastyczny, a ich lepkość zmniejszała się wraz ze wzrostem prędkości ścinania.

Tabela 2. Wartości pola powierzchni histerezy tiksotropii (S_T) serwatkowych napojów fermentowanych za pomocą szczepionek MYE 95 i MYE 96

Table 2. Values of hysteresis area loop (S_T) of whey beverages fermented by MYE 95 and MYE 96 inoculants

Rodzaj i stężenie preparatu [%] Type and concentration of preparation [%]		MYE 95	MYE 96
		S_T	S_T
SP	5	214,80 ^{hijk} ± 11,03	270,40 ^{kl} ± 32,17
	6	104,40 ^{bcdelgh} ± 7,63	97,50 ^{abcdelgh} ± 6,20
	7	127,40 ^{defghij} ± 49,60	13,20 ^{abcd} ± 2,30
SZ	5	-20,20 ^a ± 5,60	-17,40 ^{ab} ± 8,93
	6	-1,70 ^{abc} ± 0,10	9,70 ^{abcd} ± 3,10
	7	-3,10 ^{abc} ± 0,30	7,50 ^{abcd} ± 1,40
SZZL	5	232,10 ^{ijk} ± 14,90	380,30 ^l ± 86,34
	6	53,80 ^{abcdel} ± 4,95	112,80 ^{cdefghi} ± 3,90
	7	18,10 ^{abcd} ± 2,10	71,60 ^{abcdelg} ± 18,00
WPC 35	5	16,80 ^{abcd} ± 2,30	43,80 ^{abcde} ± 18,34
	6	167,10 ^{ghijk} ± 5,70	531,70 ^l ± 174,00
	7	193,90 ^{ghijk} ± 13,70	570,60 ^l ± 84,80
WPC 65	5	82,10 ^{abcdelg} ± 1,20	43,40 ^{abcde} ± 5,90
	6	30,10 ^{abcd} ± 3,10	36,70 ^{abcde} ± 11,00
	7	174,10 ^{ghijk} ± 54,70	40,30 ^{abcde} ± 7,60
WPC 80	5	209,40 ^{hijk} ± 31,40	154,10 ^{efghijk} ± 9,19
	6	273,40 ^{kl} ± 17,80	182,40 ^{ghijk} ± 3,70
	7	18,10 ^{abcd} ± 14,00	246,70 ^{jk} ± 54,80
WPI	5	39,00 ^{abcde} ± 2,90	3,70 ^{abc} ± 1,02
	6	8,10 ^{abcd} ± 2,48	5,20 ^{abcd} ± 0,40
	7	4,30 ^{abc} ± 1,10	12,90 ^{abcd} ± 4,70

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Najwyższą wartość pola powierzchni histerezy tiksotropii (S_T) (tab. 2), świadcząca o silnych właściwościach tiksotropowych, zaobserwowano w przypadku napojów otrzymanych z dodatkiem 7 % WPC 35 i z zastosowaniem szczepionki MYE 96. Natomiast ujemne wartości S_T napojów serwatkowych na bazie SZ świadczą o ich antytiksotropowych właściwościach. W takim przypadku lepkość układu wzrasta wraz ze wzrostem szybkości ścinania.

W tab. 3. przedstawiono wartości współczynników K i n mlecznych napojów fermentowanych, otrzymanych z 7-procentowych preparatów białek serwatkowych z dodatkiem 7 % sacharozy. W przypadku próbek z SP nie zaobserwowano poprawy konsystencji, a wartość K napojów z SZ nieznacznie zmniejszyła się. Dodatek sacharozy powodował niewielki wzrost wartości współczynnika konsystencji produktów z SZZL, WPC 35, WPC 60 i WPC 80, natomiast najbardziej widoczny wzrost wartości K nastąpił w przypadku napojów serwatkowych na bazie WPI. Najwyższą wartość współczynnika konsystencji uzyskano przy zastosowaniu WPC 35 i szczepionki MYE 96.

Tabela 3. Wartości współczynnika konsystencji (K) i wskaźnika płynięcia (n) serwatkowych napojów z dodatkiem sacharozy, fermentowanych za pomocą szczepionek MYE 95 i MYE 96, na podstawie krzywych płynięcia

Table 3. Values of consistency coefficient (K) and flow behaviour index (n) determined based on flow curves of whey beverages with saccharose added and fermented by MYE 95 and MYE 96 inoculants

Rodzaj preparatu Type of preparation	MYE 95		MYE 96	
	K [Pa· ⁿ]	N	K [Pa·s ⁿ]	n
SP	0,01 ^a ± 0,00	0,93 ^f ± 0,13	0,03 ^a ± 0,01	0,85 ^{ef} ± 0,38
SZ	0,01 ^a ± 0,00	0,95 ^f ± 0,01	0,24 ^a ± 0,03	0,58 ^{cdef} ± 0,09
SZZL	0,02 ^a ± 0,01	0,79 ^{ef} ± 0,04	0,11 ^a ± 0,01	0,49 ^{bcd} ± 0,14
WPC35	8,16 ^c ± 1,77	0,12 ^{ab} ± 0,01	12,80 ^d ± 3,9	0,13 ^{ab} ± 0,03
WPC65	0,05 ^a ± 0,01	0,60 ^{def} ± 0,02	0,01 ^a ± 0,00	0,93 ^a ± 0,18
WPC 80	0,44 ^a ± 0,02	0,33 ^{abcd} ± 0,02	2,53 ^{ab} ± 0,25	0,21 ^{abc} ± 0,03
WPI	1,65 ^a ± 0,50	0,12 ^{ab} ± 0,01	5,64 ^{bc} ± 0,93	0,05 ^a ± 0,01

Objaśnienia / Explanatory notes:

a - f – wartości średnie oznaczone różnymi literami różną się statystycznie istotnie ($p < 0,05$) / mean values denoted by different letters differ statistically significantly ($p < 0,05$). Pozostałe objaśnienia jak pod tab. 1. / Other explanatory notes as in Tab. 1.

Według Nastaja i wsp. [11], dodatek sacharozy do roztworów WPI i WPC 80 powodował zmniejszenie wartości granicy płynięcia, a jednocześnie następował wzrost lepkości badanych układów. Podobne wyniki otrzymali Davis i Foegeding [2], którzy

stwierdzili, że dodatek sacharozy do roztworów WPI oraz spolimeryzowanego WPI powoduje poprawę lepkości fazy ciągłej próbek.

Zmiany wartości współczynników K i n na skutek dodatku inuliny w różnych stężeniach do otrzymanych napojów serwatkowych na bazie SP, SZ, WPC 30 i WPC 80 przedstawiono w tab. 4. Zastosowanie inuliny w ilości 2 % powodowało pogorszenie konsystencji większości badanych próbek w porównaniu z próbkami z dodatkiem samej sacharozy. Zwiększenie stężenia inuliny wpływało na wzrost współczynnika K, chociaż w przypadku SP i SZ różnice pomiędzy poszczególnymi stężeniami inuliny były nieznaczne. W napojach z WPC 80, fermentowanych za pomocą szczepionki MYE 95, zaobserwowano niewielkie zmniejszenie wartości współczynnika K wraz ze wzrostem stężenia dodawanej inuliny. Najwyższą wartość współczynnika konsystencji osiągnięto w przypadku napojów otrzymanych z WPC 35.

Tabela 4. Wartości współczynnika konsystencji (K) i wskaźnika płynięcia (n) serwatkowych napojów z dodatkiem sacharozy i inuliny, fermentowanych za pomocą szczepionek MYE 95 i MYE 96, na podstawie krzywych płynięcia

Table 4. Values of consistency coefficient (K) and flow behavior index (n) determined based on flow curves of whey beverages with saccharose and inulin added and fermented by MYE 95 and MYE 96 inoculants

Rodzaj preparatu i stężenie inuliny [%] Type of preparation and concentration of inulin [%]		MYE 95		MYE 96	
		K [Pa·s ⁿ]	n	K [Pa·s ⁿ]	n
SP	2	0,01 ^a ± 0,00	0,92 ^d ± 0,01	0,04 ^a ± 0,01	0,92 ^d ± 0,05
	3	0,01 ^a ± 0,00	0,97 ^d ± 0,01	0,04 ^a ± 0,01	0,63 ^c ± 0,04
	4	0,02 ^a ± 0,00	0,75 ^{cd} ± 0,18	0,05 ^a ± 0,00	0,31 ^{ab} ± 0,04
SZ	2	0,01 ^a ± 0,00	0,86 ^{cd} ± 0,25	0,01 ^a ± 0,00	0,81 ^{cd} ± 0,01
	3	0,01 ^a ± 0,00	0,83 ^{cd} ± 0,02	0,01 ^a ± 0,00	0,79 ^{cd} ± 0,02
	4	0,04 ^a ± 0,00	0,82 ^{cd} ± 0,06	0,02 ^a ± 0,00	0,80 ^{cd} ± 0,03
WPC35	2	7,90 ^b ± 0,90	0,14 ^{ab} ± 0,03	8,23 ^b ± 0,23	0,19 ^{ab} ± 0,03
	3	8,52 ^{bc} ± 0,30	0,13 ^{ab} ± 0,01	9,42 ^{cd} ± 0,77	0,18 ^{ab} ± 0,07
	4	10,5 ^c ± 0,30	0,09 ^a ± 0,03	10,2 ^{de} ± 0,90	0,13 ^{ab} ± 0,03
WPC80	2	0,38 ^a ± 0,11	0,36 ^b ± 0,09	0,12 ^a ± 0,05	0,34 ^b ± 0,06
	3	0,31 ^a ± 0,01	0,27 ^{ab} ± 0,02	0,27 ^a ± 0,06	0,32 ^{ab} ± 0,05
	4	0,30 ^a ± 0,01	0,27 ^{ab} ± 0,03	0,37 ^a ± 0,02	0,27 ^{ab} ± 0,06

Objaśnienia / Explanatory notes:

a - d – wartości średnie oznaczone różnymi literami różną się statystycznie istotnie ($p < 0,05$) / mean values denoted by different letters differ statistically significantly ($p < 0,05$). Pozostałe objaśnienia jak pod tab. 1. / Other explanatory notes as in Tab. 1.

Glibowski i Bochyńska [6] badali wpływ dodatku inuliny na właściwości reologiczne roztworów izolatu białek serwatkowych (WPI). Na podstawie otrzymanych

wyników stwierdzili, że zarówno zwiększenie stężenia dodawanej inuliny, jak i stężenia WPI, powodowały wzrost wartości naprężenia ścinającego, a przy dodatku inuliny na poziomie 15 % powstawały żele o słabej konsystencji. Poprawę właściwości reologicznych roztworów tłumaczono oddziaływaniami pomiędzy inuliną a białkami serwatkowymi, zaś istotnym czynnikiem odpowiedzialnym za wzrost lepkości badanych mieszanin była zawartość białek serwatkowych. Podobne wyniki uzyskano w badaniach dodatku inuliny do jogurtów otrzymywanych metodą termostatową. Zwiększenie dodatku inuliny powodowało wzrost lepkości pozornej otrzymanych jogurtów oraz ograniczało wielkość synerezy [10].

Wnioski

1. Napoje serwatkowe fermentowane otrzymane z WPC 35 charakteryzowały się najwyższymi wartościami parametrów reologicznych spośród wszystkich próbek, zarówno w przypadku napojów bez dodatków, jak i z dodatkiem sacharozy i inuliny.
2. Dodatek sacharozy wpływał na poprawę konsystencji większości napojów fermentowanych.
3. Zastosowanie inuliny pogorszyło konsystencję napojów, miały one mniejszą lepkość od napojów z dodatkiem samej sacharozy. Jednak wraz ze wzrostem stężenia inuliny wartości współczynnika konsystencji zwiększały się.
4. Przez odpowiednie połączenie preparatów białek serwatkowych z inuliną możliwe jest otrzymanie napojów o odpowiednich właściwościach jakościowych i funkcjonalnych.

Literatura

- [1] Bury D., Jelen P., Kimura K.: Whey protein concentrate as a nutrient supplement for lactic acid bacteria. *Int. Dairy J.*, 1998, **8** (2), 149-151.
- [2] Davis J.P., Foegeding E.A.: Foaming and interfacial properties of polymerized whey protein isolate. *J. Food Sci.*, 2004, **69** (5), 404-410.
- [3] Deep G., Hassan A.N., Metzger L.: Exopolysaccharides modify functional properties of whey protein concentrate. *J Dairy Sci.* 2012, **95** (11), 6332-6338.
- [4] Dimitreli G., Gregoriou E.A., Kalantzidis G., Antoniou K.D.: Rheological properties of kefir as affected by heat treatment and whey protein addition. *J. Textures Stud.*, 2013, **6** (44), 418-423.
- [5] Gentès M.C., St-Gelais D., Turgeon S.L.: Exopolysaccharide-milk protein interactions in a dairy model system simulating yoghurt conditions. *Dairy Sci. Technol.*, 2013, **93** (3), 255-271.
- [6] Glibowski P., Bochyńska R.: Wpływ inuliny na właściwości reologiczne roztworów białek serwatkowych. *Acta Agrophysica*, 2006, **8** (2), 337-345.
- [7] Gramza-Michałowska A., Górecka D.: Wykorzystanie inuliny jako dodatku funkcjonalnego w technologii produkcji potraw. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2009, XLII, **3**, 324-328.
- [8] Kozioł, J., Gustaw, W.: Kazeinomakropeptyd – właściwości technologiczne i żywieniowe. *Przem. Spoż.*, 2011, **4**, 34-36.

- [9] Kozioł J., Skrzypczak K., Gustaw W., Waško A.: Wpływ preparatów białek mleka na wzrost bakterii z rodzaju *Bifidobacterium*. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2013, **3 (88)**, 83-98.
- [10] Nastaj M., Gustaw W.: Wpływ wybranych prebiotyków na właściwości reologiczne jogurtu stałego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2008, **5 (60)**, 217-225.
- [11] Nastaj M., Sołowiej B., Gustaw W.: Właściwości fizykochemiczne bez wysokobiałkowych otrzymanych z różnych preparatów białek serwatkowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2014, **2 (93)**, 33-47.
- [12] Pescuma M., Hébert E.M., Mozzi F., Font de Valdez G.: Functional fermented whey-based beverage using lactic acid bacteria. *Int. J. Food Microbiol.*, 2010, **141 (1-2)**, 73-81.
- [13] Pescuma M., Hébert E.M., Mozzi F., Font de Valdez G.: Whey fermentation by thermophilic lactic acid bacteria: Evolution of carbohydrates and protein content. *Food Microbiology* 2008, **25**, 442-451.
- [14] Ruas-Madiedo P., Hugenholtz J., Zoon P.: An overview of the functionality of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. *Int. Dairy J.*, 2002, **12**, 163-171.
- [15] Sodini I., Montella J., Tong P.S.: Physical properties of yogurt fortified with various commercial whey protein concentrates. *J. Sci. Food Agric*, 2005, **5 (85)**, 852-859.
- [16] Sołowiej B., Mleko S., Gustaw W., Udeh K.: Effect of whey protein concentrates on texture, meltability and microstructure of acid casein processed cheese analogs. *Milchwissenschaft*, 2010, **65 (2)**, 169-173.
- [17] Welman A.D., Maddox I.S.: Exopolysaccharides from lactic acid bacteria: Perspectives and challenges. *Trends in Biotechnology*, 2003, **21 (6)**, 269-274.
- [18] Yang T., Wu K., Wang F., Liang X., Liu Q., Li G., Li Q.: Effect of exopolysaccharides from lactic acid bacteria on the texture and microstructure of buffalo yoghurt. *Int. Dairy J.*, 2014, **34**, 252-256.
- [19] Yee K.W.K., Wiley D.E., Bao J.: Whey protein concentrate production by continuous ultrafiltration: Operability under constant operating conditions. *J. Membrane Sci.*, 2007, **290**, 125-137.

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF MODEL FERMENTED BEVERAGES PRODUCED FROM SELECTED WHEY PROTEIN PREPARATIONS WITH INULIN ADDED

S u m m a r y

The objective of the research study was to obtain and determine the rheological properties of model fermented beverages produced from selected whey protein preparations with 7 % saccharose and inulin added in the amounts of 2, 3 and 4 %. As starter cultures were used two lactic acid bacteria capable of synthesizing exopolysaccharides. With the use of a Haake RS300 dynamic rheometer, flow curves were determined, and, upon the analysis thereof, there were computed a consistency index (K) and a flow behaviour index (n) of the samples studied. Along with the increasing concentration of whey powder (SP), whey with reduced lactose (SZZL), and whey protein concentrate (WPC 65), the value of the consistency index decreased, but it increased at higher concentration levels of whey protein concentrate (WPC 35) and whey protein isolate (WPI). Of all the samples analyzed, the products fermented on the basis of WPC 35 were characterized by the highest K value. The adding of saccharose and inulin caused the consistency of the beverages to improve. The flow behaviour index values were less than one for all the samples studied and this fact reflected their pseudo-plastic character. The lowest, similar values of consistency index were reported in the case of the samples made on the basis of whey powder (SP) and demineralised whey (SZ) with saccharose and inulin added at various concentration rates. However, the samples made on the basis of WP 3 with added sucrose and 4 % of inulin were characterized by the highest values of rheological properties. In the latter case, the consistency index values were 10.5 Pa·sⁿ (MYE 95) and 10.2 Pa·sⁿ (MYE 96).

Key words: fermented milk beverages, whey protein preparations, inulin, rheology ☒