

PAWEŁ GLIBOWSKI^{*)}, AGNIESZKA KULIK, ANNA MASTERNAKUniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Zakład Technologii Mleka i Hydrokoloidów
ul. Skromna 8, 20-704 Lublin

Wpływ temperatury ogrzewania na właściwości reologiczne żeli inulinowych

Streszczenie — Z trzech handlowo dostępnych rodzajów wysokoprzetworzonej inuliny sporządzono 20-proc. zawiesiny w wodzie, po czym ogrzewano je i badano wpływ temperatury na właściwości reologiczne powstałych żeli. Analiza cech termoplastycznych wykazała, że wartości modułu zachowawczego (G') wszystkich badanych próbek żeli były większe niż wartości modułu stratności (G''). Za pomocą reometru rotacyjnego wykazano, że badane żele to układy rozrzedzane ścinaniem, o właściwościach tiksotropowych. Właściwości reologiczne żeli inulinowych wynikały z cech strukturalnych cząstek proszków inulinowych oraz zależały od temperatury przygotowania próbek. Wzrost temperatury powodował istotny ($p \leq 0,05$) spadek wartości modułów zachowawczego i stratności a także lepkości pozornej żeli powstałych z inuliny o amorficznej budowie cząstek. Inulina o budowie krystalicznej tworzyła stabilne żele dopiero w wysokiej temperaturze.

Słowa kluczowe: inulina, struktura amorficzna, struktura krystaliczna, tekstura, właściwości reologiczne.

EFFECT OF HEATING TEMPERATURE ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF INULIN GELS

Summary — In this work, 20 % aqueous suspensions of three commercial high performance inulin powders were prepared and subsequently heated, to study the effect of temperature on the rheological properties of obtained gels. Apparent viscosity, flow curves and frequency sweeps were measured. Moreover, the analysis of texture was carried out, where hardness (Fig. 1), adhesiveness (Fig. 2) and cohesiveness (Fig. 3) of the inulin gels were estimated. All the analysed samples had higher values of storage modulus (G') than loss modulus (G'') (Table 1, Fig. 4). Rotational rheometry showed that the examined gels revealed thixotropic (Fig. 6) and shear thinning behaviour (Fig. 5). Rheological properties of inulin gels were influenced by the structure properties of inulin powders and the preparation temperature. An increase in temperature caused a significant ($p \leq 0.05$) drop in storage and loss moduli as well as a decrease in apparent viscosity values for the gels formed from inulin with amorphous structure. Inulin with crystalline structure was able to form stable gels only at high temperature.

Keywords: inulin, amorphous structure, crystalline structure, texture, rheological properties.

Inulina to występujący w świecie roślin węglowodan zapasowy. Z chemicznego punktu widzenia jest polifruktanem zawierającym od kilku do kilkudziesięciu reszt fruktozowych i jedną resztę glukozy, połączonych wiązaniami β -(2-1) [1]. Obecność tych wiązań sprawia, że inulina nie jest trawiona przez organizm ludzki i wobec tego pełni ona funkcję błonnika [2]. Ponadto, spożyta inulina stymuluje rozwój bakterii probiotycznych, korzystnie oddziałujących na zdrowie człowieka [3]. W układach o stężeniu inuliny 15–25 % tworzy ona stabilne żele, pod względem właściwości naśladujące tłuszcz [4], stąd też stosuje się ją w charakterze substytutu tłuszczu w wielu produktach spożywczych [5–8].

Głównym surowcem wykorzystywanym do wytwarzania inuliny jest cykorja. Natywna inulina otrzymywana z cykorii zawiera cząsteczki o szerokim spektrum

stopnia polimeryzacji (DP), tj. od 3 do ponad 60. Średni stopień polimeryzacji natywnej inuliny wynosi 10–12. Taka inulina charakteryzuje się lekko słodkim posmakiem wynikającym z dużej zawartości cukrów prostych [1]. Rozwój technologii produkcji proszków inulinowych pozwala obecnie na uzyskiwanie materiałów o różnych właściwościach funkcjonalnych. Na rynku dostępne są produkty zawierające inulinę natywną, inulinę o wysokim stopniu polimeryzacji ($DP \geq 23$), a także produkty z udziałem krótkołańcuchowej inuliny oraz dużej ilości cukrów prostych, wykorzystywane, m.in. jako substancje słodzące. Wysoki stopień polimeryzacji inuliny umożliwia otrzymanie stabilnych żeli [9].

^{*)} Autor do korespondencji; e-mail: pawel.glibowski@up.lublin.pl

Inulina w roztworach wodnych w temperaturze pokojowej tworzy zawiesiny. Wraz ze wzrostem temperatury inulina się rozpuszcza, w temp. ok. 70 °C 20-proc. roztwór inuliny staje się klarowny [10]. W tej temperaturze w roztworze pozostają prawdopodobnie drobne cząstki inuliny pełniące funkcję zarodków krystalizacyjnych, umożliwiających po obniżeniu temperatury zestalenie próbki [11]. Pod względem reologicznym mamy do czynienia z żelem [10], niektórzy autorzy jednak określają przekształcenie roztworu/zawiesiny inuliny w żel mianem krystalizacji [11]. Podnoszenie temperatury roztworu inuliny powyżej 70 °C prowadzi stopniowo do całkowitej utraty zdolności żelowania na skutek zupełnego rozpuszczenia w roztworze ziaren krystalizacyjnych [11, 12].

Rozpuszczanie inuliny w wodzie nastęrcza wielu problemów. Wsypywana do wody szybko tworzy w niej trudno rozpuszczalne grudki. Ronkart i współpr. [13] oceniali wpływ wilgotności względnej na zjawisko sklejanie się sproszkowanej inuliny. Stosując szerokokątową dyfraktoometrię rentgenowską (WAXS) zbadali oni przekształcanie inuliny z postaci amorficznej w krystaliczną, w środowisku o wilgotności względnej powyżej 75 %. Amorficzna inulina w kontakcie z wodą przekształcała się w postać krystaliczną utrudniającą proces rozpuszczania.

W innych badaniach Ronkart i współpr. [14] udowodnili, że krystalograficzna struktura proszku inulinowego zależy zarówno od temperatury przygotowania roztworu inuliny, jak i od temperatury, w której roztwór jest suszony rozpyłowo. Wyniki tych doświadczeń wykorzystano w procesie produkcji inuliny krystalicznej, stosowanej w technologii żywności.

Większość przeprowadzonych dotychczas prac badawczych dotyczy analizy właściwości reologicznych żeli sporządzonych z inuliny o strukturze amorficznej, brak natomiast badań przedstawiających analizę żeli otrzymanych z inuliny o strukturze krystalicznej. Celem naszej pracy było przeprowadzenie wszechstronnej analizy właściwości reologicznych żeli sporządzonych z trzech komercyjnych preparatów wysokoprzetworzonej inuliny, w tym dwóch o strukturze amorficznej i jednego o strukturze krystalicznej, a także ocena wpływu temperatury ogrzewania na właściwości reologiczne otrzymanych żeli.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiały

Do badań wykorzystano, otrzymaną z korzeni cykorii, inulinę: Frutafit TEX! (Sensus, Holandia), Beneo™ HP oraz Beneo™ HPX (Orafti, Belgia) o $DP \geq 23$ (dane producentów).

Przygotowanie próbek do badań

Zawiesinę o stężeniu 20 % mas. sporządzano mieszając inulinę z wodą destylowaną o temp. 20 °C za pomocą

mieszadła magnetycznego z funkcją kontroli temperatury, MS 11HS (Wigo, Piastów, Polska). Próbkę mieszano w ciągu 5 min, a następnie ogrzewano do 50, 70 lub 100 °C. Tak uzyskane roztwory/zawiesiny chłodzono do temp. 20 °C, rozlewano do pojemników o objętości 50 cm³ i średnicy 35 mm, które zamykano wieczkiem i przechowywano w temp. 20 °C przez 24 h. Próbkami odniesienia były zawiesiny nieogrzewane. W celu obserwacji przebiegu zmian reologicznych w czasie, zawiesiny sporządzone w 20 °C wlewano do naczynia pomiarowego reometru, a po zanurzeniu w nich elementu pomiarowego wylewano na powierzchnię próbki 7 cm³ oleju, aby zapobiec utracie wody.

Metody badań

— Badania tekstury obejmowały profilową analizę tekstury (TPA) przeprowadzoną wg modyfikacji Bonczar i współpr. [15] za pomocą TA-XT2i Texture Analyser (Stable Microsystems, Goaldming, Wielka Brytania). W jej wyniku uzyskano wartości twardości, kohezyności i adhezyjności. Wykonywano dwa sekwencyjne zanurzenia w próbkę walca o średnicy 1 cm na głębokość 15 mm z prędkością 1 mm/s, przedzielone fazą relaksacyjną trwającą 30 s. Twardość definiowano jako siłę niezbędną do pierwszego zanurzenia walca w żel, adhezyjność wyrażano jako iloczyn siły niezbędnej do wyciągnięcia walca z żelu i czasu tego wyciągania, zaś kohezynność wyznaczano jako stosunek pola powierzchni powstałej między krzywą rozkładu sił odnotowanych podczas drugiego zanurzenia a osią czasu, do pola powierzchni powstałej podczas pierwszego zanurzenia walca w żel.

— Badania reologiczne prowadzono w układzie współosiowym płytka-płytką za pomocą reometru RS 300 (Haake, Karlsruhe, Niemcy). Szerokość szczeliny między ząbkowanymi płytkami o średnicy 35 mm wynosiła 1 mm. Wszystkie pomiary wykonywano w temp. 20 °C, utrzymywanej dzięki cyrkulacyjnej łaźni wodnej Haake DC30 (Haake, Karlsruhe, Niemcy). Wyniki rejestrowano komputerowo wykorzystując program RheoWin Pro 2.91 (Haake, Karlsruhe, Niemcy).

— Lepkość pozorną oznaczano stosując szybkość ścinania 10 s⁻¹ w ciągu 120 s. Do celów analitycznych wyliczano średnią wartość lepkości w 90., 105. i 120. sekundzie pomiaru, co odpowiada parametrom stosowanym w analizie produktów przeznaczonych do smarowania pieczywa [16]. Krzywe płynięcia wyznaczano zmieniając co 5 s w ciągu 1 min szybkość ścinania w zakresie 1–200 s⁻¹. Po osiągnięciu wartości maksymalnej, przez 30 s utrzymywano ją na stałym poziomie, po czym zmniejszono z 200 do 1 s⁻¹, w ciągu 1 minuty.

— W reologicznych badaniach oscylacyjnych określano wartości modułu zachowawczego i modułu stratności, w funkcji częstotliwości drgań, w zakresie od 0,1 do 100 Hz, przy odkształceniu 0,001 (0,1 %), po wcześniejszej analizie krzywych odkształcenia. Do celów anali-

tycznych użyto wartości modułów uzyskane w warunkach częstotliwości 1 Hz.

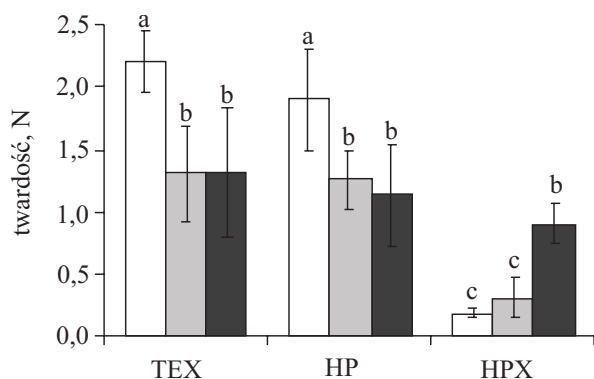
W przypadku obserwacji długookresowych, wartości modułów rejestrowano w ciągu 15 h przy częstotliwości 1 Hz i odkształceniu 0,001 (0,1 %). Elementem pomiarowym w tym badaniu było wrzeciono łopatkowe (vane rotor FL20, Haake, Karlsruhe, Niemcy) o średnicy 22 mm, średnica zaś naczynia pomiarowego wynosiła 43 mm.

Obliczenia wartości średnich, odchylenia standardowego oraz istotności różnic między średnimi dokonano stosując procedurę ANOVA z wykorzystaniem testu rozstrępu Studenta-Newmana-Keuls. Analizy prowadzono wykorzystując program SAS Enterprise Guide 3.0.3.414.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

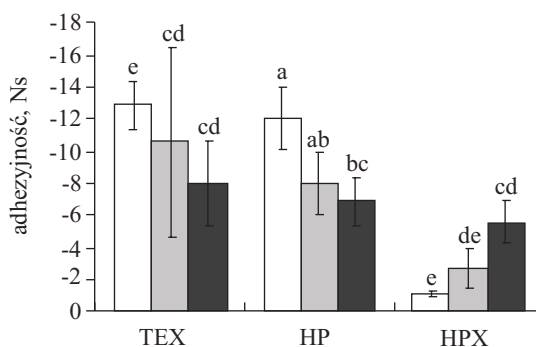
W wyniku wstępnie przeprowadzonej analizy z wykorzystaniem szerokokątowej dyfraktometrii rentgenowskiej (WAXS) ustalono, że preparaty HP i TEX wykazywały strukturę amorficzną, zaś preparat HPX, krystaliczną (dane niezamieszczone). Tworzeniu się struktury amorficznej sprzyjają wysoka temperatura w procesie rozpuszczania inuliny (powyżej 90 °C) oraz wysoka temperatura w wieżach suszarniczych (powyżej 180 °C). Rozpuszczanie inuliny w temp. ok. 40 °C oraz suszenie w temp. ok. 120 °C pozwala na uzyskanie inuliny o budowie krystalicznej [14].

Rysunek 1 przedstawia twardość żeli inulinowych otrzymanych w wyniku ogrzewania zawiesin w różnej temperaturze. Twardość żeli inulinowych uzyskanych z preparatów o strukturze amorficznej (TEX i HP) malała wraz ze wzrostem temperatury, w przypadku zaś preparatu o strukturze krystalicznej (HPX) rosła. Roztwory inuliny ogrzewane do temp. 100 °C ulegały rozwarstwieniu uniemożliwiającemu analizę tekstury.



Rys. 1. Twardość 20-proc. żeli inulinowych otrzymanych w temp. 20, 50 i 70 °C (odpowiednio, białe, szare i czarne kolumny). Literami a, b, c oznaczono średnie różniące się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$)

Fig. 1. Hardness of 20 % inulin gels obtained at 20, 50 and 70 °C (white, grey and black columns respectively). Letters a, b and c designate the means with significant statistical differences ($p \leq 0.05$).

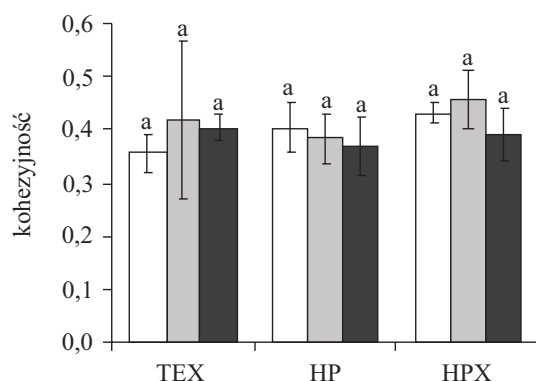


Rys. 2. Adhezyjność 20-proc. żeli inulinowych otrzymanych w temp. 20, 50 i 70 °C (odpowiednio, białe, szare i czarne kolumny). Literami a, b, c oznaczono średnie różniące się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$)

Fig. 2. Adhesiveness of 20 % inulin gels obtained at 20, 50 and 70 °C (white, grey and black columns respectively). Letters a, b and c designate the means with significant statistical differences ($p \leq 0.05$)

Analogiczne zależności występują także w przypadku adhezyjności (rys. 2). Wzrost temperatury mieszania próbek powodował spadek adhezyjności żeli sporządzonych z inuliny TEX i HP i wzrost adhezyjności żeli otrzymanych z inuliny HPX. Im bardziej zwięzła jest struktura próbki, tym większe siły adhezyjne oddziałują na wysuwany z próbki trzpień. Luźna struktura żeli uzyskanych z preparatów TEX i HP w temp. 70 °C oraz z preparatu HPX w temp. 20 °C sprawiła, że układy te wykazały najmniejszą adhezyjność. W przypadku wglębnej analizy profilowej tekstury taka mała adhezyjność (bliska zera) cechuje ciecze [17]. Zwięzłej, zbitej strukturze odpowiada duża adhezyjność i znaczna wartość twardości.

Oznaczone wartości spójności zawierają się w przedziale 0–1, gdzie we wglębnej analizie TPA „0” oznacza,

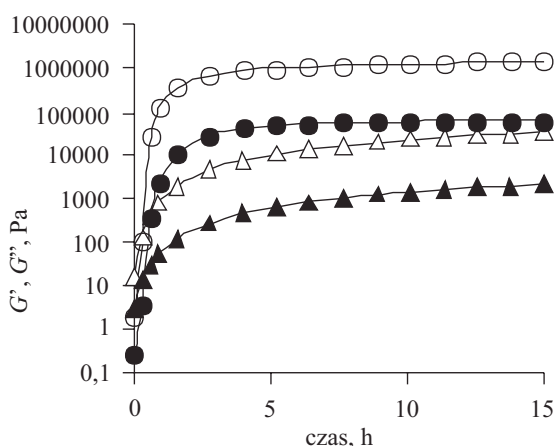


Rys. 3. Kohezyjność 20-proc. żeli inulinowych otrzymanych w temp. 20, 50 i 70 °C (odpowiednio, białe, szare i czarne kolumny). Literami a, b, c oznaczono średnie różniące się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$)

Fig. 3. Cohesiveness of 20 % inulin gels obtained at 20, 50 and 70 °C (white, grey and black columns respectively). Letters a, b and c designate the means with significant statistical differences ($p \leq 0.05$).

że próbka po odkształceniu nie powraca do swojego pierwotnego kształtu, „1” zaś — że następuje całkowita odbudowa struktury próbki tak, jak to ma miejsce w cieczach [17].

W przypadku analizowanych żeli, bez względu na zastosowaną temperaturę przygotowania próbki, nie stwierdzono istotnych ($p \leq 0,05$) różnic wartości kohezji (rys. 3). Uzyskane wyniki uzasadniają użycie inuliny w produkcji margaryn [18], ponieważ odpowiadają wartościom spójności margaryn pełnotłuszczowych [16].



Rys. 4. Zmiany modułu stratności (G'' , \blacktriangle , \bullet) i modułu zachowawczego (G' , \triangle , \circ) otrzymanych w temp. 20 °C żelach zawierających 20 % inuliny HPX (\triangle , \blacktriangle) lub inuliny TEX (\circ , \bullet)
Fig. 4. Changes in loss (G'' , \blacktriangle , \bullet) and storage modulus (G' , \triangle , \circ) for the gels obtained at 20 °C, containing 20 % HPX (\triangle , \blacktriangle) and/or TEX inulin (\circ , \bullet)

Zmianę modułów zachowawczego (G') i stratności (G'') podczas tworzenia struktury żelu inulinowego przedstawia rys. 4, natomiast w tabeli 1 zestawiono cechy lepkości badanych próbek. Uzyskane wartości jednoznacznie świadczą o tym, że dominującą cechą żeli inulinowych jest sprężystość ($G' > G''$). Bez względu bowiem na rodzaj preparatu lub temperaturę przygotowania próbki, wartości modułu stratności (G'') były mniejsze niż wartości modułu zachowawczego (G'). Największe wartości modułów odnosiły się do żeli sporządzonych z preparatów amorficznych, w niewysokiej temperaturze. Wzrost temperatury przygotowania próbek powodował spadek wartości G' i G'' . Odwrotne zależności stwierdzano w przypadku żeli otrzymanych z inuliny o strukturze krystalicznej.

Cechy lepkości oraz lepkość pozorną badano również w przypadku próbek, które nie wytworzyły jednolitej struktury żelu w całej objętości naczynka, tj. roztworów sporządzonych z inuliny HPX i TEX, ogrzewanych do temp. 100 °C (analizie poddawano dolną warstwę żelu, po wcześniejszym usunięciu nadmiaru cieczy niezwiązanej). Największe wartości modułu zachowawczego G' , a jednocześnie najmniejszą lepkość pozorną

zaobserwowano w odniesieniu do żelu otrzymanego z inuliny HPX, w przypadku żelu sporządzonego z inuliny TEX, uzyskane wartości modułów były mniejsze.

Lepkość pozorną preparatów sporządzonych z inuliny amorficznej TEX maleje wraz ze wzrostem temperatury przygotowania próbki, w przypadku zaś preparatu HPX do temp. 70 °C wartość lepkości rośnie, po czym zmniejsza się istotnie ($p \leq 0,05$) po ogrzaniu próbki do temp. 100 °C. Żelowanie preparatów o budowie amorficznej dobrze opisano już wcześniej [4, 10, 12]. Inulina o wysokim stopniu polimeryzacji jest praktycznie biorąc nierozpuszczalna w wodzie w temperaturze pokojowej. W takich warunkach inulina amorficzna dąży do przekształcenia w korzystniejszą energetycznie postać krystaliczną [13]. Ziarna inulinowe chłoną wodę i pęcznieją tworząc trójwymiarową sieć żelu. Pod wpływem rosnącej temperatury inulina się rozpuszcza, w temp. ok. 70 °C 20-proc. zawiesina przekształca się w klarowny roztwór. Żelowanie inuliny zależy od liczby ziaren krystalizacyjnych. W wysokiej temperaturze liczba ziaren krystalizacyjnych maleje (co pociąga za sobą spadek twardości powstającego żelu), aż do całkowitego ich zaniku w temp. 100 °C [11].

T a b e l a 1. Właściwości lepkości 20-proc. żeli inulinowych otrzymanych w różnej temperaturze

T a b l e 1. Viscoelastic properties of 20 % inulin gels obtained at different temperature

Temperatura °C	Moduły	HP, kPa	HPX, kPa	TEX, kPa
20	G'	60,34 ^a ± 18,25	1,61 ^b ± 0,45	62,69 ^a ± 23,26
	G''	10,43 ^a ± 3,92	0,18 ^b ± 0,05	12,51 ^a ± 7,04
50	G'	28,02 ^b ± 4,81	4,04 ^b ± 0,48	15,03 ^b ± 5,52
	G''	4,14 ^b ± 0,86	0,51 ^b ± 0,11	1,88 ^b ± 0,73
70	G'	22,49 ^b ± 5,56	18,68 ^a ± 4,51	25,30 ^b ± 16,29
	G''	3,13 ^b ± 0,84	2,84 ^a ± 0,92	3,71 ^b ± 2,79
100	G'	—	26,49 ^a ± 11,87	9,26 ^b ± 7,92
	G''	—	2,49 ^a ± 0,50	0,75 ^b ± 0,65

a), b) — Średnie (\pm odchylenie standardowe) oznaczone różnymi literami w tej samej kolumnie, dla poszczególnych modułów różnią się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$).

W preparacie o strukturze krystalicznej tworzenie żelu prawdopodobnie przebiega według innego mechanizmu. Mianowicie, częściowo rozpuszczone w temperaturze pokojowej kryształy inuliny tworzą sieć słabych powiązań. Pod wpływem rosnącej temperatury wzrasta rozpuszczalność inuliny, a zatem możliwość ponownego przekształcenia rozpuszczonych kryształów pozwalającego na wytworzenie wspólnej siatki żelu z kryształami nierozpuszczonymi. Stąd obserwowany wzrost twardości żeli wraz ze wzrostem temperatury ich przygotowania. Jednak, w temperaturze powyżej 80 °C kryształy

w 20-proc. roztworze inuliny ulegają praktycznie biorąc całkowitemu rozpuszczeniu, co powoduje, że takie próbki nie żelują w całości, bądź, po dłuższym przetrzymaniu w temperaturze wrzenia, nie żelują wcale (dane nie zamieszczone).

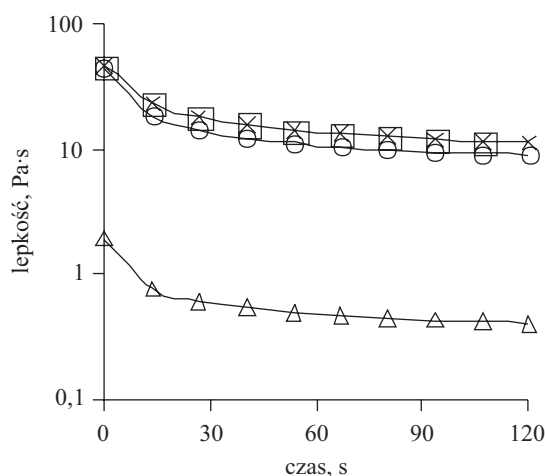
T a b e l a 2. Lepkość pozorna (Pa·s) 20-proc. żeli inulinowych otrzymanych w różnej temperaturze

T a b l e 2. Apparent viscosity (Pa·s) of 20 % inulin gels obtained at different temperature

Temperatura, °C	HP	HPX	TEX
20	9,52 ^{a)} ± 0,68	0,78 ^{g)} ± 0,31	8,70 ^{b)} ± 1,03
50	4,45 ^{c)} ± 0,80	2,11 ^{f)} ± 1,54	3,64 ^{d)} ± 0,94
70	4,07 ^{c),d)} ± 0,52	3,34 ^{e)} ± 0,61	3,28 ^{e)} ± 0,63
100	—	0,83 ^{g)} ± 0,33	0,76 ^{g)} ± 0,73

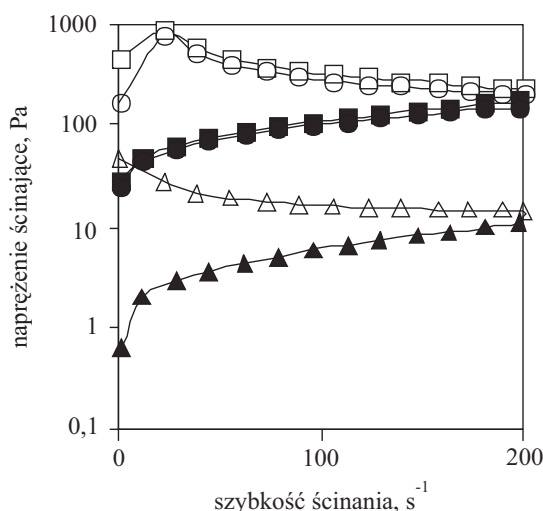
a)–e) — Średnie (± odchylenie standardowe) oznaczone różnymi literami różnią się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$).

Na uwagę zasługuje, widoczne zarówno w badaniach tekstury (rys. 1–3), jak i reologicznych (tabela 1 i 2), duże odchylenie standardowe sięgające nawet kilkudziesięciu procent pomimo trzech niezależnych serii i analiz w trzech powtórzeniach każdej z serii oraz szczególnej staranności w przygotowywaniu próbek. Zjawisko takie opisano także w innych pracach [10, 12, 19]. Powodem takiego odchylenia standardowego może być mechanizm powstawania żelu inulinowego na drodze krystalizacji inuliny i tworzenia trójwymiarowej siatki pomiędzy kryształami. Kontrola bowiem tworzenia zarodków krystalizacyjnych i samego procesu krystalizacji jest bardzo trudna [20]. W zależności od wzajemnego ułożenia się kryształów powstają żele o różnych właściwościach zarówno reologicznych, jak i teksturalnych.



Rys. 5. Lepkość pozorna 20-proc. żeli inulinowych otrzymanych w temp. 20 °C: Δ — HPX, o — TEX, × — HP

Fig. 5. Apparent viscosity of 20 % inulin gels obtained at 20 °C: Δ — HPX, o — TEX, × — HP



Rys. 6. Krzywe płynięcia 20-proc. żeli inulinowych otrzymanych w temp. 20 °C. Otwarte symbole odpowiadają krzywym uzyskanym przy wzroście szybkości ścinania, zamknięte — przy spadku szybkości ścinania, Δ▲ — HPX, ● — TEX, □■ — HP

Fig. 6. Flow curves of 20 % inulin gels obtained at 20 °C. Open symbols represent the curves obtained at increasing shear rates, closed symbols — at decreasing shear rates, Δ▲ — HPX, ● — TEX, □■ — HP

Przeprowadzone analizy reometryczną metodą rotacyjną wykazały, że badane żele to układy rozrzedzane ścinaniem (rys. 5), o właściwościach tiksotropowych (rys. 6). Działające siły ścinające powodują zniszczenie delikatnej siatki żelu, powstającej najprawdopodobniej w wyniku tworzenia się wiązań wodorowych [21]. O słabości wiązań stabilizujących strukturę żelu inulinowego świadczy też wartość odkształcenia zastosowana w badaniach właściwości lepkością. Przeprowadzona analiza krzywych odkształcenia (*strain sweeps*) wskazywała na niszczenie struktury żeli inulinowych przy odkształceniu powyżej 0,001 (0,1 %). Podobne odkształcenia stosuje się w analizie masel [22].

PODSUMOWANIE

Właściwości reologiczne żeli inulinowych zależały od struktury proszków inulinowych oraz od temperatury przygotowania z nich żeli. Wzrost temperatury powodował istotny ($p \leq 0,05$) spadek twardości, lepkości pozornej, modułu stratności (G') oraz zachowawczego (G'') żeli powstałych z preparatów o amorficznej budowie cząstek. Inulina o budowie krystalicznej tworzyła stabilne żele dopiero w wysokiej temperaturze. Wszystkie wytworzone żele to układy rozrzedzane ścinaniem, wykazujące tiksotropowe właściwości.

LITERATURA

1. Niness K. R.: *J. Nutr.* 1999, **129** (7S), 1402S.
2. Schneeman B. O.: *J. Nutr.* 1999, **129**, 1424S.

3. Roberfroid M. B., van Loo J. A. E., Gibson G. R.: *J. Nutr.* 1998, **128**, 11.
4. Kim Y., Faqih M. N., Wang S. S.: *Carbohydr. Polym.* 2001, **46**, 135.
5. Moscatto J. A., Borsato D., Bona E., de Oliveira A. S., de Oliveira Haully M. C.: *Int. J. Food Sci. Technol.* 2006, **41**, 181.
6. Brennan C. S., Kuri V., Tudorica C. M.: *Food Chem.* 2004, **86**, 189.
7. El-Nagar G., Clowes G., Tudoric C. M., Kuri V., Brennan C. S.: *Int. J. Dairy Technol.* 2002, **55**, 89.
8. Brennan C. S., Tudorica C. M.: *Int. J. Food Sci. Technol.* 2008, **43**, 824.
9. Chiavaro E., Vittadini E., Corradini C.: *Eur. Food Res. Technol.* 2007, **225**, 85.
10. Glibowski P.: *J. Food Eng.* 2010, **99**, 106.
11. Bot A., Erle U., Vreeker R., Agterof W.: *Food Hydrocolloid.* 2004, **18**, 547.
12. Glibowski P., Wasko A.: *Int. J. Food Sci. Tech.* 2008, **43**, 2075.
13. Ronkart S. N., Paquot M., Blecker C. S., Fougnyes C., Doran L., Lambrechts J. C., Norberg B., Deroanne C.: *Food Biophys.* 2009, **4**, 49.
14. Ronkart S. N., Deroanne C., Paquot M., Fougnyes C., Lambrechts J. C., Blecker C. S.: *Food Biophys.* 2007, **2**, 83.
15. Bonczar G., Wszolek M., Siuta A.: *Food Chem.* 2002, **79**, 85.
16. Glibowski P., Zarzycki P., Krzepakowska M.: *Int. J. Food Prop.* 2008, **11**, 678.
17. Glibowski P.: *Acta Agrophys.* 2007, **9** (3), 603.
18. Rooyackers M., Gruehn E., Vianen G.: *Dtsch. Milchwirtsch.* 1994, **45**, 1079.
19. Stasiak D. M., Dolatowski Z. J.: *Pol. J. Nat. Sci.* 2008, **23** (2), 521.
20. Toneli J. T. C. L., Park K. J., Murr F. E. X., Martinelli P.: *J. Tex. Stud.* 2008, **39**, 369.
21. Andre I., Mazeau K., Tvaroska I., Putaux J. L., Winter W. T., Taravel F. R., Chanzy H.: *Macromolecules* 1996, **29**, 4626.
22. Rohm H., Weidinger K. H.: *J. Tex. Stud.* 1993, **24**, 157.

Otrzymano 17 VI 2011 r.