

TERESA WITCZAK
ANNA STĘPIEŃ
MARIUSZ WITCZAK

Katedra Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Stabilność reologiczna żeli na bazie skrobi ziemniaczanej z dodatkiem pektyny i inuliny o różnym stopniu polimeryzacji

Rheological stability of gels based on potato starch with the addition of pectin and inulin with different degree of polymerization

Celem pracy była analiza właściwości żeli uzyskanych na bazie skrobi ziemniaczanej w obecności pektyny i inuliny o różnym (średnim) stopniu polimeryzacji, przechowywanych przez 24, 48 i 72 h. Charakterystykę reologiczną żeli wykonano z użyciem reometru rotacyjnego. Określono wpływ czasu przechowywania, dodatku pektyny oraz dodatku i średniego stopnia polimeryzacji (DP) inuliny na wartości i charakter zmienności modułu magazynowania i strat. Stwierdzono, że dodatek inuliny powoduje spadek wartości tych modułów dla badanych próbek żeli, pogłębiany ze wzrostem średniej wartości DP preparatu inuliny. Stosując wieloczynnikową analizę wariancji wykazano istotność wpływu wzajemnych oddziaływań inuliny i pektyny na właściwości przechowywanych żeli skrobiowych, których charakter uzależniony był od średniej wartości DP stosowanego preparatu inuliny. Uzyskane wyniki pokazały, że dodatek inuliny i pektyny powoduje przesuwanie właściwości przechowywanych żeli w kierunku bardziej lepkich, a proces ten jest tym silniejszy, im wyższa jest średnia wartość DP inuliny. W przypadku pektyny wykazano, że wzrost jej stężenia powoduje silną stabilizację właściwości żeli w trakcie przechowywania.

Słowa kluczowe: inulina, pektyna, reologia, żel, skrobia ziemniaczana, stabilność

The aim of this work was to analyze the properties of the gels obtained on the basis of potato starch in the presence of pectin and inulin with different average degree of polymerization, stored for 24, 48 and 72 hours. The gels were characterized using a rotational rheometer. The impact of storage time, the addition of pectin and the additive of inulin with different degree of polymerization on the values and character of variation of the storage modulus and loss modulus were determined. It was found that the addition of inulin results in a decrease of the values of the modules of analyzed samples magnified with the increase in the average value of the DP of the inulin. Using multifactor analysis of variance, it was showed that the interaction of inulin and pectin had a significant impact of on the properties of stored starch gels, the nature of which was dependent on a average value of DP of the inulin. The obtained

results showed that the additives of inulin and pectins make the stored gels more viscous, and this process is getting stronger with the increase of the average DP value of inulin. In the case of pectin it has been shown that an increase in the concentration causes a strong stabilization of the rheological properties of gels during storage.

Key words: inulin, pectin, rheology, gel, potato starch, stability

WSTĘP

Inulina jest węglowodanem występującym w wielu roślinach uprawnych (Praznik i in., 2002). Jej łańcuchy zbudowane są z jednostek fruktopirazonowych połączonych wiązaniami β -(2 \rightarrow 1)-glikozydowymi, zakończonymi cząsteczkami glukozy. Jako polimer wykazuje wiele interesujących właściwości technologicznych i prozdrowotnych (Meyer i in., 2011). Jej struktura chemiczna powoduje, że nie jest ona trawiona w przewodzie pokarmowym, przez co wyroby z jej udziałem charakteryzują się obniżoną wartością energetyczną. Wykazuje ona także właściwości prebiotyczne (Praznik i in., 2002). Komercyjne preparaty inuliny posiadają różne wartości średniego stopnia polimeryzacji (DP) oraz zawierają różną ilość węglowodanów niskocząsteczkowych. Prozdrowotnym cechem inuliny towarzyszy jednocześnie wiele cech funkcjonalnych, co sprawia, że inulina ma szerokie zastosowanie w procesach projektowania i wytwarzania nowoczesnych produktów żywnościowych (Meyer i in., 2011). Stosowana jest w roli zamiennika tłuszczu, substancji wypełniającej i strukturotwórczej oraz jako składnik poprawiający charakterystykę reologiczną produktów i uwypuklający ich smakowość (Praznik i in., 2002; Tárrega i Costell, 2006; Meyer i in., 2011). Wykorzystywana jest również do stabilizacji pian, emulsji i do kontroli retencji wody.

Suplementacja żywności w błonnik pokarmowy ma dla konsumentów istotne znaczenie fizjologiczne (Diowkszy i in., 2009). Wynika to z jego pozytywnego oddziaływania na organizm człowieka, jak również z negatywnych skutków jego niedoboru (Thebaudin i in., 1997; Diowkszy i in., 2009). Błonnik pokarmowy, a szczególnie jego składniki rozpuszczalne w wodzie, przyczyniają się do obniżenia stężenia cholesterolu w surowicy krwi. W efekcie błonnik działając hipocholesterolemicznie, odgrywa ważną rolę w zapobieganiu i leczeniu miażdżycy oraz powstających na jej tle chorób układu krążenia (Jenkins i in., 1998; Brown i in., 1999; Grajeta, 2004). Błonnikami wzbogaca się całe spektrum produktów spożywczych, takich jak produkty piekarskie i zbożowe, konserwy owocowe, warzywne i mięsne, wędliny, napoje owocowe i mleczne, desery i przekąski.

Inulina wykorzystywana jest zarówno ze względu na jej działanie prozdrowotne, jak i właściwości strukturotwórcze w produktach mlecznych, zbożowych, cukierniczych i piekarskich (Brennan i in., 2004; Tárrega i Costell, 2006; Brennan i in., 2008; Gonzalez-Tomás i in., 2008; Peressini i Sensidoni, 2009; Mayer i in., 2011). Na szczególną uwagę zasługuje możliwość jej wykorzystania jako czynnika teksturotwórczego i jednocześnie wzbogacającego w błonnik pieczywo bezglutenowe, posiadające obniżoną wartość odżywczą w stosunku do pieczywa tradycyjnego (Korus i in., 2006; Juszczak i in., 2012; Ziobro i in., 2013).

Pomimo szerokiego wykorzystania preparatów inuliny w różnych układach spożywczych (Brennan i in., 2004; Tárrega i Costell, 2006; Brennan i in., 2008; Gonzalez-Tomás i in., 2008; Peressini i Sensidoni, 2009; Mayer i in., 2011) ilość prac dotycząca interakcji inuliny z innymi składnikami żywności jest stosunkowo ograniczona. Szersza analiza dotyczy głównie interakcji inuliny ze skrobią kukurydzianą (Zimeri i Kokini, 2003a; Zimeri i Kokini, 2003 b). Brak informacji dotyczy szczególnie oddziaływań inuliny ze skrobią ziemniaczaną i hydrokoloidami nieskrobiowymi. Wydaje się zatem, że podjęcie pracy mającej na celu wyjaśnienie roli inuliny oraz stopnia jej polimeryzacji we wzajemnych oddziaływaniach skrobia-inulina-hydrokoloidy nieskrobiowe jest w pełni uzasadnione.

Celem badań było określenie wpływu średniego stopnia polimeryzacji (DP) komercyjnych preparatów inuliny na właściwości żeli uzyskanych na bazie skrobi i inuliny. Dodatkowo analizie poddano interakcje skrobi i inuliny z obecną w układzie pektyną. Wyniki charakteryzujące kleiki i żele bezpośrednio po przygotowaniu przedstawiono w pracy Witczak i in. (2014). W niniejszej pracy dyskusji poddano zmianę właściwości lepkosprężystych żeli w trakcie przechowywania.

MATERIAŁY I METODY

W badaniach wykorzystano skrobię ziemniaczaną (Trzemeszno S.A., Polska), pektynę (Hortimex, Polska) oraz inulinę (BENEO-Orafti, Belgia) o różnej średniej wartości DP: wysokorozpuszczalną inulinę HSI (DP<10), granulowaną inulinę GR (DP≥10) i wysoko wydajną inulinę HPX (DP>23). Zgodnie z deklaracją producenta preparat HPX zawierał 100% inuliny, natomiast preparaty GR i HSI odpowiednio — 92% i 86%. Pozostałe 8% (GR) i 14% (HSI) stanowiła mieszanina sacharozy, glukozy i fruktozy. Analizie poddano 5% żele. Mieszanki suchych składników uzyskiwano zastępując 0 do 12% skrobi ziemniaczanej pektyną (0, 1 i 2%) i badanymi preparatami inuliny (0, 5 i 10%). Jako próby kontrolne potraktowano układy nie zawierające inuliny. Próbki zawiesin analizowanych mieszanek w wodzie (5 g/100 g) kleikowano w temperaturze 95°C przez 30 minut, chłodzono do temperatury 25°C przez 2 godziny, a następnie umieszczano w warunkach chłodniczych (4±1°C) i przechowywano odpowiednio przez 24, 48 i 72 h.

Charakterystykę reologiczną wykonano z użyciem reometru MARS II (Thermo Haake, Niemcy) wyposażonego w układ stożek/płytką (średnica stożka: 35mm, kąt: 1°, szczelina: 0.105 mm).

Zakres liniowej lepkosprężystości określono wyznaczając zależność modułu magazynowania (G') i modułu strat (G'') od naprężenia w zakresie 0,1–100 Pa przy stałej częstotliwości 1 Hz (Pitera i in., 2006).

Spektra mechaniczne określono w zakresie liniowej lepkosprężystości przy stałej amplitudzie odkształcenia wynoszącej 5% w zakresie prędkości kątowej 0,1–100 rad·s⁻¹. Dane eksperymentalne opisano równaniami potęgowymi (Steffe, 1996; Pycia i in., 2012; Witczak i in., 2014):

$$G'(\omega) = K' \cdot \omega^n$$

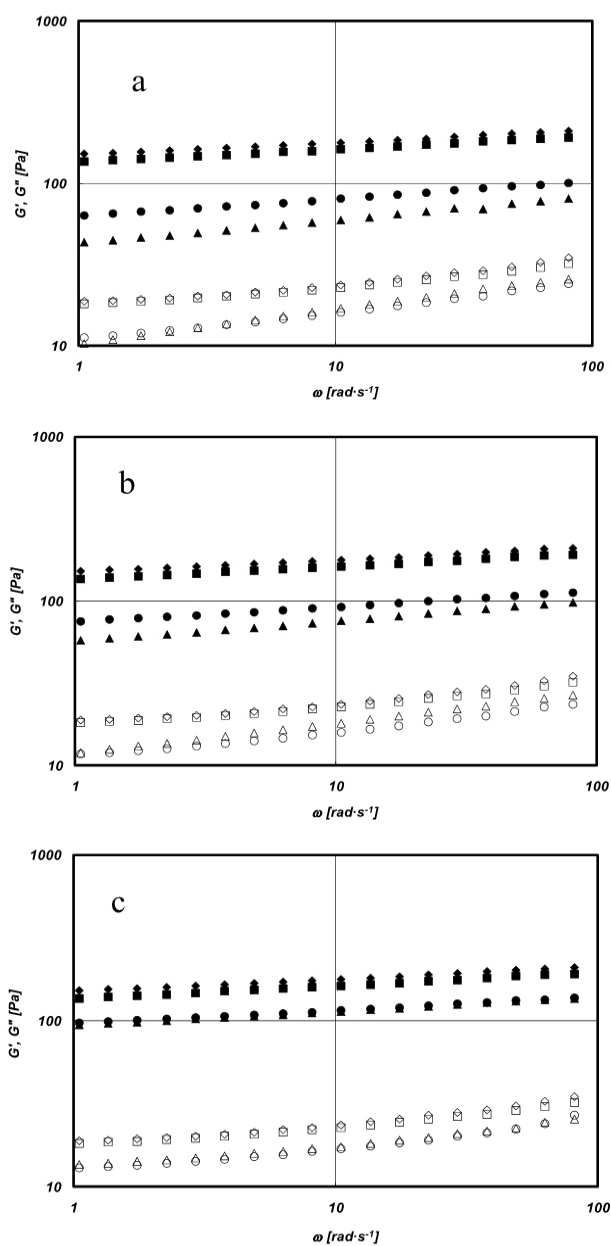
$$G''(\omega) = K'' \cdot \omega^{n''}$$

gdzie G' jest modułem magazynowania (Pa), G'' — modułem strat (Pa), ω — prędkością kątową ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$), a K' , K'' , n' , n'' — stałymi materiałowymi.

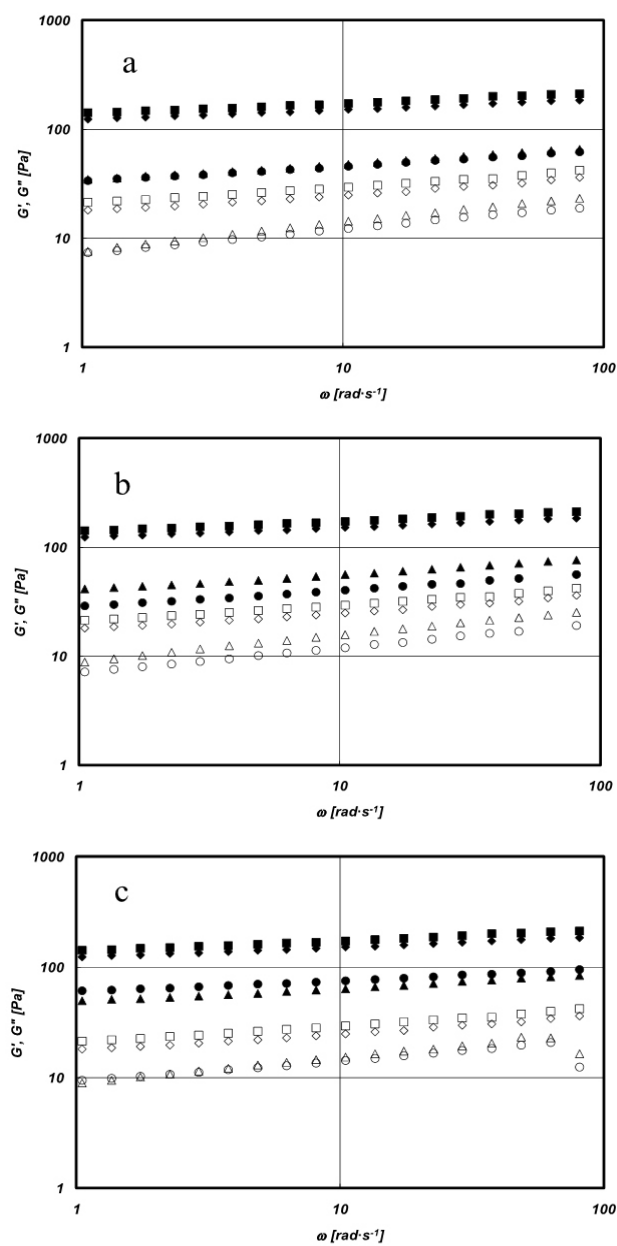
W celu oceny zmienności i różnic pomiędzy średnimi wykonano jednoczynnikową analizę wariancji i test Duncana na poziomie istotności 0,05. Wpływ poszczególnych czynników i ich interakcji oceniono z wykorzystaniem trzyczynnikowej analizy wariancji. Obliczenia wykonano z użyciem pakietu Statistica 9.0 (StatSoft Inc., USA).

WYNIKI I DYSKUSJA.

Chłodzenie koloidalnego roztworu, powstałego na skutek wypływu liniowej amylozy z wnętrza granул skrobiowych, prowadzi początkowo do powstania trójwymiarowej struktury. Struktura ta zatrzymuje wodę i jest złożona z łańcuchów amylozy i amylopektyny, połączonych wiązaniami wodorowymi (Singh i in., 2003; Bello-Perez i in., 2010). Dalsze chłodzenie powoduje powstawanie żelu (Pycia i in., 2012), którego właściwości reologiczne analizuje się często z użyciem badań oscylacyjnych, pozwalających określić zdolność materiału do rozpraszania i magazynowania energii. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wybrane spektra mechaniczne żeli przechowywanych przez 24 i 72 godziny, w obecności preparatów inuliny o różnej średniej wartości DP, a w tabelach 1–3 zestawiono parametry równań potęgowych zastosowanych do opisu zależności modułów od prędkości kątowej. Żele z dodatkiem inuliny, bez względu na wartość DP, charakteryzowały się niższymi od prób kontrolnych wartościami modułów oraz współczynników K' i K'' modelu potęgowego (tab. 1, 2 i 3), które reprezentują wartości modułów przy prędkości kątowej równej $1 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$. Ich wartość obniżała się ze wzrostem średniej długości łańcuchów inuliny. W przypadku próby kontrolnej, bez dodatków, po wzroście wartości modułu G' w początkowym okresie przechowywania (24 i 48 h — tab. 1 i 2) w stosunku do wartości początkowych (Witczak i in., 2014), po trzecim dniu nastąpiło jego obniżenie (tab. 3). Przy 5% dodatku inuliny podobnie zachowywały się żele z dodatkiem preparatu HPX, natomiast dodatek inuliny o średniej i najniższej wartości DP powodował wzrost wartości G' . Po zwiększeniu stężenia inuliny do 10%, w przypadku preparatu HPX i GR (najwyższa i średnia długość łańcuchów) wartości modułów obniżały się już po drugim dniu (tab. 2), a w przypadku preparatu HSI po trzecim dniu (tab. 3). Wskazuje to na obniżenie stabilności żeli, przy dalszym zwiększaniu stężenia inuliny, po jej początkowym wzroście, przy niskim stężeniu preparatów o średniej i krótkiej długości łańcuchów inuliny. Dodatek pektyny do analizowanych próbek powodował stopniowe obniżanie wartości modułu magazynowania. Obecność pektyny powodowała jednak, stopniową poprawę stabilności żeli. Przy dodatku 2% prawie wszystkie próbki wykazywały zwiększanie wartości modułu G' w całym okresie przechowywania.



Rys. 1. Wybrane spektra mechaniczne badanych próbek (G' — symbole pełne, G'' — symbole puste):
 (a) HPX, b) GR, c) HSI. \diamond Kontrolna po 24 h, \square Kontrolna po 72 h, \square 10% inuliny po 24 h, Δ 10%
 inuliny po 72 h. Dodatek pektyny: 0%. Stężenie: 5 g/100 g
 Fig. 1. Mechanical spectra of selected samples (G' — filled symbols, G'' — empty symbols): (a) HPX, b)
 GR, c) HSI. \diamond Control after 24 h, \square Control after 72 h, \square 10% inulin after 24 h, Δ 10% inulin after 72
 h. Pectin addition: 0%. Concentration: 5 g/100 g



Rys. 2. Wybrane spektra mechaniczne badanych próbek (G' — symbole pełne, G'' — symbole puste):
 (a) HPX, b) GR, c) HSI. \diamond Kontrolna po 24 h, \square Kontrolna po 72 h, \square 10% inuliny po 24 h, Δ 10%
 inuliny po 72 h. Dodatek pektyny: 2%. Stężenie: 5 g/100 g
 Fig. 2. Mechanical spectra of selected samples (G' — filled symbols, G'' — empty symbols): (a) HPX, b)
 GR, c) HSI. \diamond Control after 24 h, \square Control after 72 h, \square 10% inulin after 24 h, Δ 10% inulin after 72
 h. Pectin addition: 2%. Concentration: 5 g/100 g

Tabela 1

Parametry równań potęgowych zastosowanych do opisu zależności modułu strat i magazynowania od prędkości kątovej po 24 h przechowywania (średnia z trzech powtórzeń ± odchylenie standardowe)
Parameters of the power-law functions describing dependence of storage and loss module on angular frequency after 24 h of storage (mean values from three repetitions ± standard deviation)

Próbka Sample	Inulina Inulin %	Pektyna Pectin %	K' Pa·s ^{n'}	n'	r ²	K'' Pa·s ^{n''}	n''	r ²
Kontrola Control	0	0	149,9±7,04 ^l	0,076±0,001 ^a	0,996	17,6±0,93 ^k	0,141±0,002 ^a	0,971
	0	1	112,4±5,66 ^j	0,086±0,001 ^{abc}	0,998	15,3±0,49 ⁱ	0,147±0,001 ^{ab}	0,983
	0	2	122,8±2,19 ^k	0,093±0,008 ^{bcd}	0,998	17,4±2,26 ^k	0,158±0,003 ^{cd}	0,994
HSI	5	0	117,3±1,77 ^{jk}	0,082±0,007 ^{abc}	0,997	15,0±0,96 ⁱ	0,151±0,006 ^{abc}	0,978
	5	1	88,4±3,39 ^h	0,089±0,001 ^{abcd}	0,998	12,4±0,54 ^{hi}	0,162±0,005 ^{de}	0,986
	5	2	67,5±1,74 ^{fg}	0,102±0,005 ^{de}	0,997	10,5±0,33 ^{efg}	0,189±0,001 ^{gh}	0,995
	10	0	95,9±5,08 ⁱ	0,081±0,001 ^{ab}	0,998	12,1±0,36 ^{ghi}	0,157±0,009 ^{bcd}	0,964
	10	1	71,2±1,51 ^g	0,096±0,003 ^{cde}	0,998	10,8±0,05 ^{efgh}	0,170±0,001 ^{ef}	0,992
	10	2	59,8±2,21 ^c	0,103±0,005 ^{de}	0,996	9,2±0,09 ^{cde}	0,193±0,001 ^{hi}	0,997
GR	5	0	102,7±0,85 ⁱ	0,082±0,001 ^{ab}	0,997	13,4±0,32 ⁱ	0,147±0,001 ^{ab}	0,971
	5	1	82,1±3,07 ^h	0,090±0,001 ^{abcd}	0,998	11,6±0,42 ^{gh}	0,170±0,001 ^{ef}	0,987
	5	2	43,8±3,20 ^{cd}	0,134±0,010 ^{hi}	0,998	9,5±0,09 ^{cdef}	0,202±0,006 ^{ij}	0,997
	10	0	74,5±4,96 ^g	0,094±0,006 ^{bcd}	0,998	11,1±0,04 ^{fgh}	0,164±0,004 ^{de}	0,989
	10	1	50,8±1,54 ^d	0,118±0,001 ^{fg}	0,998	9,7±0,33 ^{def}	0,194±0,004 ^{hi}	0,999
	10	2	28,4±1,50 ^a	0,153±0,006 ^f	0,996	7,1±0,03 ^a	0,226±0,002 ^l	0,998
HPX	5	0	67,2±3,18 ^{fg}	0,103±0,014 ^{de}	0,997	11,0±0,92 ^{fgh}	0,179±0,004 ^{fg}	0,993
	5	1	39,3±2,61 ^{bc}	0,125±0,012 ^{sh}	0,996	7,8±1,47 ^{abc}	0,218±0,015 ^{kl}	0,991
	5	2	35,5±1,09 ^{ab}	0,152±0,005 ^f	0,998	8,8±0,11 ^{bcd}	0,212±0,001 ^{jk}	0,999
	10	0	62,8±5,46 ^{ef}	0,108±0,004 ^{ef}	0,998	10,8±0,43 ^{efgh}	0,177±0,001 ^f	0,996
	10	1	44,4±1,32 ^{cd}	0,127±0,004 ^{sh}	0,998	9,1±0,09 ^{cde}	0,197±0,003 ^{hi}	0,999
	10	2	33,2±0,27 ^{ab}	0,141±0,005 ^{ij}	0,997	7,3±0,19 ^{ab}	0,222±0,001 ^l	0,999

Stężenie: 5 g/100 g. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Sample concentration of 5 g/100 g. Differences between values marked with the same letters in particular columns are non-significant at 0.05 level of confidence

Wyjątek stanowiła próbka z najwyższym dodatkiem inuliny HSI i 2% pektyny, dla której odnotowano spadek wartości po trzecim dniu przechowywania (tab. 1, 2 i 3). Moduł G'', w próbie kontrolnej początkowo ulegał zwiększeniu, a po trzecim dniu odnotowano obniżenie jego wartości. Dodatek inuliny powodował obniżenie wartości tego modułu, jednocześnie powodując zmniejszanie jego zmienności w czasie. Przy niższym stężeniu, inulina o najwyższym DP powodowała obniżenie wartości G'' po trzecim dniu, natomiast dodatek pozostałych dwóch preparatów powodował zwiększenie tego modułu w całym okresie przechowywania. Wzrost stężenia do 10%, spowodował jego spadek we wszystkich przypadkach, przy czym największy wpływ odnotowano dla preparatu HSI. Dodatek pektyny powodował niewielkie obniżenie wartości G'' przy niższym stężeniu, a następnie jego zwiększenie. Przy czym, podobnie jak w przypadku G', w próbkach z dodatkiem pektyny, w całym okresie przechowywania następował wzrost wartości dla większości próbek. Wyjątek stanowiła ponownie próbka z dodatkiem 2% pektyny i 10% preparatu HSI, dla której odnotowano zmniejszenie wartości modułu po trzecim dniu przechowywania. Jak pokazały wcześniejsze badania, inulina obniża wartości modułów dla układów-inulina skrobia przy niskich stężeniach (Zimeri i Kokini, 2003; Witczak i in., 2014). Dopiero sumaryczne stężenie obu polimerów powyżej 30% daje efekt zwiększenia

ich wartości (Zimeri i Kokini, 2003). Zmienność wpływu inuliny, w zależności od stężenia skrobi, stwierdzili również Tárrega i Costell (2006), co według cytowanych autorów związane jest ze współzawodnictwem o dostęp do wody, pomiędzy badanymi polimerami. Dodatkowo wartości modułów magazynowania i strat obniżane są przez cukry niskocząsteczkowe (Chang i in., 2004) obecne w preparatach inuliny.

Tabela 2

Parametry równań potęgowych zastosowanych do opisu zależności modułu strat i magazynowania od prędkości kątowej po 48 h przechowywania (średnia z trzech powtórzeń ± odchylenie standardowe)
Parameters of the power-law functions describing dependence of storage and loss module on angular frequency after 48 h of storage (mean values from three repetitions ± standard deviation)

Próbka Sample	Inulina Inulin %	Pektyna Pectin %	K' Pa·s ^{n'}	n' -	r ² -	K'' Pa·s ^{n''}	n'' -	r ² -
Kontrola Control	0	0	171,5±5,80 ^j	0,076±0,004 ^{ab}	0,999	20,7±0,78 ^j	0,124±0,008 ^{ab}	0,982
	0	1	153,0±13,50 ^j	0,082±0,003 ^{abc}	0,999	20,2±1,04 ^j	0,132±0,002 ^{ab}	0,988
	0	2	104,6±11,14 ^h	0,096±0,004 ^{de}	0,997	15,4±0,98 ^h	0,165±0,001 ^{cd}	0,995
HSI	5	0	137,8±0,28 ⁱ	0,076±0,001 ^a	0,999	16,9±0,13 ⁱ	0,130±0,007 ^{ab}	0,980
	5	1	94,7±0,27 ^{sh}	0,093±0,001 ^{cd}	0,999	14,1±0,24 ^{gh}	0,156±0,001 ^c	0,991
	5	2	80,5±7,71 ^{fg}	0,103±0,003 ^{ef}	0,998	12,9±0,81 ^{efg}	0,177±0,004 ^{ef}	0,995
	10	0	154,0±7,28 ^j	0,072±0,004 ^a	0,998	17,7±0,21 ⁱ	0,125±0,001 ^a	0,971
	10	1	87,2±5,30 ^{fg}	0,089±0,001 ^{bcd}	0,998	12,4±0,18 ^{ef}	0,163±0,002 ^{cd}	0,990
	10	2	73,1±2,16 ^{ef}	0,101±0,001 ^{cf}	0,998	11,5±0,76 ^{cde}	0,184±0,003 ^f	0,997
GR	5	0	106,4±7,50 ^h	0,083±0,002 ^{abc}	0,998	14,2±0,62 ^{gh}	0,139±0,004 ^b	0,974
	5	1	82,0±0,56 ^{fg}	0,095±0,001 ^{de}	0,999	12,7±0,09 ^{efg}	0,161±0,001 ^{cd}	0,987
	5	2	41,2±4,00 ^{abc}	0,149±0,007 ^{ij}	0,999	10,1±0,55 ^{bc}	0,213±0,014 ^h	0,999
	10	0	62,5±1,50 ^{de}	0,115±0,001 ^{gh}	0,998	11,8±0,38 ^{de}	0,170±0,001 ^{de}	0,998
	10	1	50,5±2,25 ^{bcd}	0,126±0,006 ^h	0,998	10,4±0,18 ^{bcd}	0,201±0,006 ^e	0,996
	10	2	40,4±0,18 ^{ab}	0,142±0,001 ^{ij}	0,998	8,9±0,01 ^{ab}	0,215±0,001 ^h	0,999
HPX	5	0	107,4±8,06 ^h	0,082±0,001 ^{abc}	0,998	13,9±0,86 ^{fgh}	0,140±0,004 ^b	0,976
	5	1	60,3±3,58 ^{de}	0,110±0,018 ^{fg}	0,997	10,5±1,48 ^{bcd}	0,188±0,008 ^f	0,989
	5	2	34,3±0,58 ^a	0,162±0,001 ^k	0,998	9,1±0,07 ^{ab}	0,223±0,002 ^h	0,999
	10	0	56,0±6,06 ^{cd}	0,124±0,004 ^h	0,998	11,3±0,92 ^{cde}	0,184±0,011 ^f	0,997
	10	1	44,0±2,31 ^{abc}	0,138±0,004 ⁱ	0,998	9,9±0,28 ^{bc}	0,200±0,006 ^e	0,999
	10	2	33,4±0,35 ^a	0,150±0,001 ^j	0,997	7,8±0,14 ^a	0,238±0,001 ⁱ	0,999

Stężenie: 5 g/100 g. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Sample concentration of 5 g/100 g. Differences between values marked with the same letters in particular columns are non-significant at 0.05 level of confidence

W przypadku próby kontrolnej stwierdzono niewielką zmienność współczynnika n' (tab. 1, 2 i 3) w okresie 3 dni przechowywania. Dodatek preparatów inuliny powodował początkowe obniżanie, a następnie zwiększenie wartości wskaźnika. Największą niestabilność zaobserwowano przy dodatku inuliny o najwyższym średnim DP, a najmniejszą dla inuliny o najniższym DP. Dodatek pektyny podnosił wartości tego parametru, zmniejszając jednocześnie jego zmienność w czasie. Przy najwyższym dodatku pektyny (2%) wartość wskaźnika, przy niższym dodatku inuliny, charakteryzowała się zwiększeniem wartości w całym okresie przechowywania, przy czym najniższym dla inuliny o najniższym DP. Przy wyższym dodatku inuliny zmienność w czasie była niewielka w przypadku inuliny o dwóch wyższych wartościach DP, a preparat o najniższej wartości powodował wzrost wartości wskaźnika.

Tabela 3

Parametry równań potęgowych zastosowanych do opisu zależności modułu strat i magazynowania od prędkości kątowej po 72 h przechowywania (średnia z trzech powtórzeń ± odchylenie standardowe)
Parameters of the power-law functions describing dependence of storage and loss module on angular frequency after 72 h of storage (mean values from three repetitions ± standard deviation)

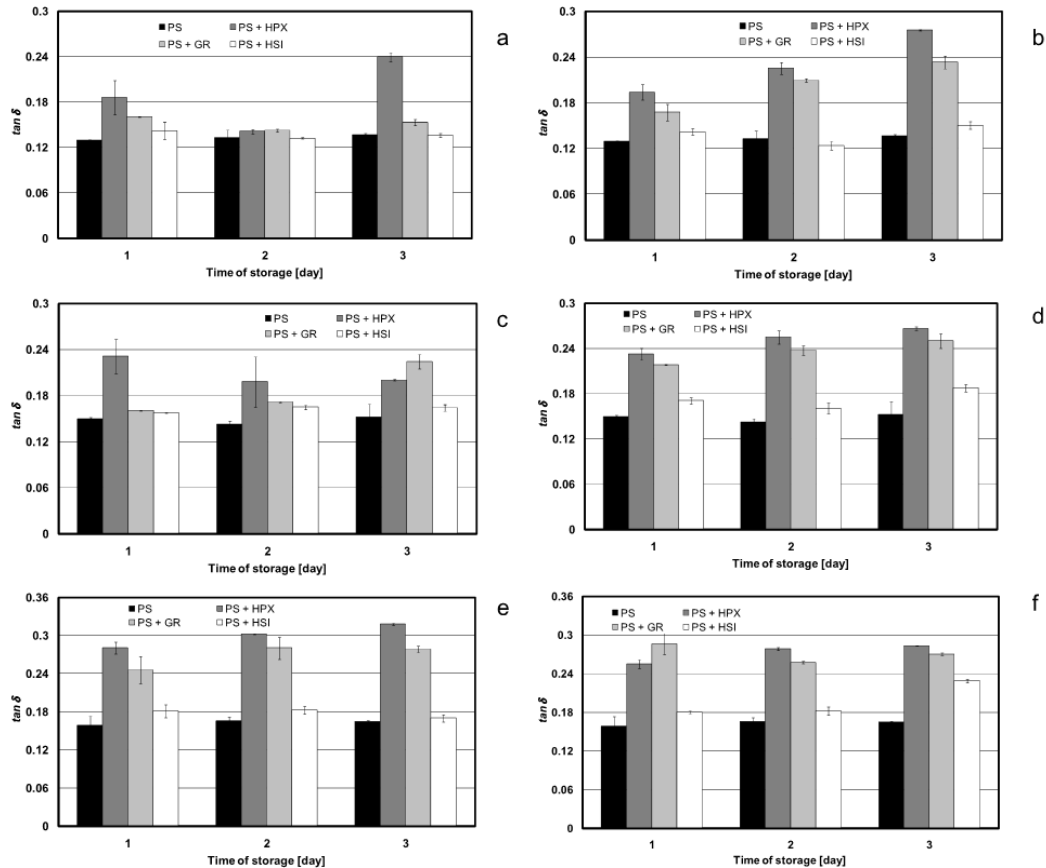
Próbka Sample	Inulina Inulin %	Pektyna Pectin %	K' Pa·s ^{n'}	n' -	r ² -	K'' Pa·s ^{n''}	n'' -	r ² -
Kontrola Control	0	0	135,5±0,21 ^j	0,079±0,001 ^a	0,998	17,3±0,15 ⁱ	0,129±0,001 ^a	0,979
	0	1	119,8±10,80 ⁱ	0,088±0,009 ^b	0,999	16,8±0,18 ^{hi}	0,138±0,011 ^{ab}	0,985
	0	2	139,1±1,06 ^j	0,097±0,001 ^{cd}	0,996	20,7±0,53 ^j	0,153±0,002 ^c	0,995
HSI	5	0	137,2±11,88 ^j	0,078±0,001 ^a	0,999	17,4±1,12 ⁱ	0,128±0,004 ^a	0,979
	5	1	115,2±9,19 ⁱ	0,092±0,001 ^{bc}	0,999	17,4±1,04 ⁱ	0,143±0,006 ^{bc}	0,990
	5	2	113,1±2,47 ⁱ	0,097±0,003 ^{cd}	0,997	16,9±0,33 ^{hi}	0,168±0,002 ^d	0,998
	10	0	93,5±3,73 ^h	0,085±0,003 ^{ab}	0,998	12,9±1,14 ^{fg}	0,144±0,007 ^{bc}	0,978
	10	1	81,6±5,19 ^g	0,104±0,004 ^{de}	0,998	13,6±0,87 ^g	0,172±0,011 ^d	0,997
	10	2	48,1±1,37 ^{cd}	0,125±0,004 ^f	0,997	8,9±0,05 ^{ab}	0,231±0,007 ^{hi}	0,997
GR	5	0	111,8±2,76 ⁱ	0,087±0,002 ^b	0,999	15,8±1,01 ^h	0,137±0,004 ^{ab}	0,988
	5	1	59,4±5,25 ^f	0,123±0,004 ^f	0,998	11,8±0,66 ^{ef}	0,188±0,007 ^{ef}	0,999
	5	2	47,1±1,44 ^{cd}	0,149±0,001 ^j	0,998	11,3±0,45 ^{de}	0,224±0,001 ^{gh}	0,996
	10	0	56,8±2,88 ^{def}	0,125±0,006 ^f	0,998	11,8±0,13 ^{cf}	0,186±0,004 ^c	0,999
	10	1	50,2±1,37 ^{def}	0,135±0,004 ^{gh}	0,996	10,6±0,21 ^{de}	0,217±0,001 ^g	0,999
	10	2	40,3±1,02 ^{abc}	0,144±0,002 ^{ij}	0,997	8,9±0,19 ^{abc}	0,241±0,004 ^{ij}	0,998
HPX	5	0	57,4±1,78 ^{ef}	0,129±0,006 ^{fg}	0,998	12,0±1,13 ^{ef}	0,199±0,010 ^f	0,999
	5	1	45,9±2,20 ^e	0,108±0,001 ^e	0,997	7,8±0,50 ^a	0,212±0,004 ^g	0,983
	5	2	33,2±0,84 ^a	0,166±0,001 ^k	0,997	8,8±0,20 ^{ab}	0,251±0,004 ^{jk}	0,999
	10	0	42,7±0,57 ^{abc}	0,144±0,005 ^{ij}	0,995	10,3±0,02 ^{cd}	0,212±0,005 ^g	0,999
	10	1	43,7±0,23 ^{bc}	0,141±0,004 ^{hi}	0,995	10,1±0,13 ^{bcd}	0,215±0,001 ^g	0,999
	10	2	33,8±0,03 ^{ab}	0,150±0,001 ^j	0,996	7,7±0,02 ^a	0,256±0,001 ^k	0,998

Stężenie: 5 g/100 g. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Sample concentration of 5 g/100 g. Differences between values marked with the same letters in particular columns are non-significant at 0.05 level of confidence.

Wskaźnik n'' dla próby kontrolnej podobnie jak n', wykazywał niewielkie zmiany w trakcie przechowywania (tab. 1, 2 i 3). Niższy dodatek preparatów inuliny o średnim i najniższym DP podnosił wartość n'', ale również powodował szybsze obniżenie wartości tego parametru w czasie. Dodatek inuliny o najwyższym DP, po początkowym spadku, dawał efekt wzrostu wartości wskaźnika n''. Wyższy dodatek (10%) inuliny w przypadku niższej i średniej wartości DP powodował zwiększenie wartości wskaźnika w całym okresie przechowywania, a inulina o niższym DP dawała efekt wzrostu dopiero po ostatnim dniu. Dodatek pektyny podniósł wartości n'', jednocześnie stabilizując próbki bez dodatku inuliny, co dało w efekcie bardzo niewielką ich zmienność. W przypadku żeli z dodatkiem 2% pektyny, przy niższym dodatku inuliny efekt przyrostu w całym okresie uzyskano dla dwóch wyższych wartości DP, a dla najniższej efekt spadku. Wyższy dodatek inuliny (10%), w obecności 2% pektyny dawał już efekt przyrostu współczynnika w całym okresie przechowywania dla wszystkich preparatów inuliny.

Rysunek 3 przedstawia wpływ czasu przechowywania badanych żeli na wartość tangensa kąta przesunięcia fazowego. Najniższe wartości tego parametru uzyskano dla próby kontrolnej (bez udziału pektyny i inuliny). Dodatek inuliny i pektyny zwiększał jego wartość, co wskazuje na wzrost udziału właściwości lepkich w próbkach. Najsilniejszy

spadek udziału właściwości sprężystych uzyskano przy dodatku inuliny o najwyższej średniej wartości DP, a najslabszy przy dodatku inuliny o najniższej wartości DP. Wzrost stężenia inuliny powodował dalszy wzrost wartości $\tan \delta$. Dodatek pektyny oddziaływał różnie, w zależności od rodzaju preparatu inuliny. Przy 5% udziale inuliny (rys. 3a,c,e) wzrosło zróżnicowanie pomiędzy próbkami z dodatkiem preparatów o różnej wartości DP inuliny, przy zachowaniu tendencji do zwiększania się wartości $\tan \delta$ ze wzrostem dodatku pektyny. Przy najwyższych dodatkach inuliny i pektyny uzyskano stosunkowo niewielką zmienność wartości $\tan \delta$ w trakcie przechowywania (rys. 3f).



Rys. 3. Wpływ czasu przechowywania na wartość $\tan \delta$: a) 5% inuliny, 0% pektyny, b) 10% inuliny, 0% pektyny, c) 5% inuliny, 1% pektyny, d) 10% inuliny, 1% pektyny, e) 5% inuliny, 2% pektyny, f) 10% inuliny, 2% pektyny. PS — skrobia ziemniaczana

Fig. 3. Effect of storage time on the value of $\tan \delta$: a) 5% inulin, 0% pectin, b) 10% inulin, 0% pectin, c) 5% inulin, 1% pectin, d) 10% inulin, 1% pectin, e) 5% inulin, 2% pectin, f) 10% inulin, 2% pectin. PS — potato starch

Wskazuje to, że obecność pektyny hamuje działanie inuliny i zwalnia szybkość wzrostu wartości kąta przesunięcia fazowego, ograniczając szybkość zmiany charakteru reologicznego próbek. Również Gennaro i in. (2000) stwierdzili silną zależność właściwości roztworów od średniej wartości DP inuliny. Natomiast Chiavaro i in. (2007) wykazali, że struktura chemiczna inuliny wpływa istotnie zarówno na zdolność do tworzenia żelu, jak i na charakterystykę termiczną i teksturalną żelu. Według tych autorów wzrost średniej wartości DP (zawartości molekuł o dużej masie cząsteczkowej) umożliwia tworzenie żelu, a jej spadek, do utworzenia żelu, wymaga pełnej hydratacji wszystkich cząstek i ograniczenia ich wzajemnych oddziaływań.

WNIOSKI

1. Dodatek inuliny powoduje obniżanie wartości modułów charakteryzujących przechowywane żele. Wartości te zmniejszają się ze wzrostem średniej wartości DP preparatu inuliny.
2. Analiza statystyczna wykazała istotność wpływu wzajemnych oddziaływań inuliny i pektyny na właściwości przechowywanych żeli skrobiowych, a ich charakter uzależniony był od średniej wartości DP stosowanego preparatu inuliny. Wskazuje to, że wprowadzenie inuliny do układów spożywczych wymaga uwzględnienia jej interakcji z innymi składnikami, w celu zniwelowania ewentualnych niekorzystnych zmian reologicznych produktów.
3. Dodatek inuliny i pektyny powodował zwiększenie udziału właściwości lepkich w badanych próbkach żeli. Proces ten był tym silniejszy im wyższa była średnia wartość DP inuliny. Wzrost stężenia pektyny prowadził do silnej stabilizacji właściwości żeli w trakcie przechowywania.

LITERATURA

- Bello-Perez L.A., Sanchez-Rivera M.A., Nunez-Santiago C., Rodriguez-Ambriz S.L., Roman-Gutierrez A.D. 2010. Effect of the pearled in the isolation and the morphological, physicochemical and rheological characteristics of barley starch. *Carbohydr. Polym.* 81: 63 – 69.
- Brennan C. S., Kuri V., and Tudorica C.M. 2004. Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. *Food Chem.* 86: 189 – 193.
- Brennan C. S., Kuri V., Tudorica C.M. 2008. Carbohydrate-based fat replacers in the modification of the rheological, textural and sensory quality of yoghurt: comparative study of the utilisation of barley beta-glucan, guar gum and inulin. *Int. J. Food Sci. Tech.* 43: 824 — 833.
- Brown L., Rosner B., Willet W.W., Sacks F.M. 1999. Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* 69: 30 — 42.
- Chang Y.H., Lim S.T., Yoo B. 2004 Dynamic rheology of corn starch-sugar composites. *J. Food Eng.* 64: 521 — 527.
- Chiavaro E., Vittadini E., Corradini C. 2007. Physicochemical characterization and stability of inulin gels. *Eur. Food Res. Technol.* 225: 85 — 94.
- Diowska A., Sucharzewska D., Ambroziak W. 2009. Rola błonnika pokarmowego w kształtowaniu cech funkcjonalnych ciasta i chleba bezglutenowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 63 (2): 83 — 93.
- Gennaro S., Birch G. G., Parke S. A., Stancher B. 2000. Studies on the physicochemical properties of inulin and inulin oligomers. *Food Chem.* 68: 179 — 183.

- Gonzalez-Tomás L., Coll-Marqués J., Costell E. 2008. Viscoelasticity of inulin-starch-based dairy systems. Influence of inulin average chain length. *Food Hydrocol.* 22: 372 — 380.
- Grajeta H. 2004. Żywność funkcjonalna w profilaktyce chorób układu krążenia. *Adv. Clin. Exp. Med.* 13(3): 503 — 510.
- Jenkins D.J.A., Kendall C.W.C., Raansom T.P.P. 1998. Dietary fiber, the evolution of the human diet and coronary heart disease. *Nutr. Res.* 18: 633 — 652.
- Juszczak L., Witczak T., Ziobro R., Korus J., Cieślik E., Witczak M. 2012. Effect of inulin on rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Carbohydr. Polym.* 90: 353 — 360.
- Korus J., Grzelak K., Achremowicz K., Sabat R. 2006. Influence of prebiotic additions on the quality of gluten-free bread and on the content of inulin and fructooligosaccharides. *Food Sci. Technol. Int.* 12(6): 489 — 495.
- Meyer D., Bayarri S., Tárrega A., Costell E. 2011. Inulin as a texture modifier in dairy products. *Food Hydrocol.* 25: 1881 — 1890.
- Peressini D., Sensidoni A. 2009. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *J. Cereal Sci.* 49: 190 — 201.
- Piteira M. F., Maia J. M., Raymundo A., Sousa I. 2006. Exstressal flow behaviour of natural fibre-filled dough and its relationship with structure and properties. *J. Non-Newton. Fluid.* 137: 72 — 80.
- Praznik W., Cieślik E., Filipiak-Florkiewicz A. 2002. Soluble dietary fibers in jerusalem artichoke powders: composition and application in bread. *Nahrung* 45: 151 — 157.
- Pycia K., Juszczak L., Gałkowska D., Witczak M. 2012. Physicochemical properties of starches obtained from Polish potato cultivars. *Starch-Starke* 64: 105 — 114.
- Singh N., Singh J., Kaur L., Singh Sodhi N., Singh Gill B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem.* 81: 219 — 231.
- Steffe J. F. 1996. *Rheological methods in food process engineering.* East Lansing, Michigan, USA: Freeman Press.
- Tárrega A., Costell E. 2006. Effect of inulin addition on rheological and sensory properties of fat-free starch-based dairy desserts. *Int. Dairy J.* 11: 1104 — 1112.
- Thebaudin J.Y., Lefebvre A.C., Harrington M., Bourgeois C.M. 1997. Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends Food Sci. Tech.* 8: 41 — 49.
- Witczak T., Witczak M., Ziobro R. 2014. Effect of inulin and pectin on rheological and thermal properties of potato starch paste and gel. *J. Food Eng.* 124: 72-79
- Zimeri J.E., Kokini J.L. 2003a. Rheological properties of inulin-waxy maize starch systems. *Carbohydr. Polym.* 52: 67 — 85.
- Zimeri, J.E., Kokini, J.L. 2003b. Morphological characterization of the phase behavior of inulin-waxy maize starch systems in high moisture environments. *Carbohydr. Polym.* 52: 225-236.
- Ziobro R., Korus J., Juszczak L., Witczak T. 2013. Influence of inulin on physical characteristics and staling rate of gluten-free bread. *J. Food Eng.* 116: 21 — 27.

PODZIĘKOWANIA

Autorka składa podziękowania dla JM Rektora Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie za finansowe wsparcie realizacji projektu oraz dla Biesterfeld Chemia Specjalna, Polska za udostępnienie próbek badanych preparatów inuliny.