ŻYWNOŚĆ. NAUKA. TECHNOLOGIA. JAKOŚĆ, 2025, 32, 4 (145), 74 – 91

DOI: 10.15193/zntj/2025/145/558

ŁUKASZ DOMINIAK, WIKTOR BŁOŃSKI, MICHAŁ BRODAWKA,
RADOSŁAW BOGUSZ, AGATA MARZEC

WPŁYW RODZAJU SUBSTANCJI SŁODZĄCEJ I SKŁADNIKA PŁYNNEGO NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE ORAZ SENSORYCZNE MUFFIN

S t r e s z c z e n i e

Wprowadzenie. Muffiny to popularne wyroby ciastkarskie, chętnie wybierane jako słodki dodatek do kawy lub przekąska, jednak rosnąca świadomość zdrowotna konsumentów skutkuje poszukiwaniem zdrowszych wersji tych wypieków, m.in. z obniżoną zawartością cukrów i roślinnymi zamiennikami mleka krowiego. Celem pracy była ocena wpływu zastąpienia sacharozy Tagatesse lub trehalozą oraz mleka krowiego napojem owsianym na wybrane właściwości muffin. Wypieczono sześć wariantów muffin i analizowano ubytek masy podczas pieczenia, zawartość i aktywność wody, barwę skórki i miękiszu, parametry tekstury oraz przeprowadzono ocenę semikonsumencką.

Wyniki i wnioski. Rodzaj substancji słodzącej i składnika płynnego istotnie wpłynął na właściwości muffin. Trehaloza i napój owsiany obniżyły zawartość wody, a aktywność wody kształtowana była głównie przez interakcję tych czynników. Barwa skórki i miękiszu zależała głównie od rodzaju składnika płynnego i jego interakcji z substancją słodzącą, przy czym największe różnice w barwie względem wariantu kontrolnego (muffiny z mlekiem krowim i z sacharozą) odnotowano w próbce z napojem owsianym i trehalozą ($\Delta E > 4$). Tekstura muffin była silnie zróżnicowana. Wariant kontrolny miał najmniejszą twardość, z kolei Tagatesse i trehaloza zwiększyły twardość, żujność i spowodowały nierównomierną porowatość. Wyniki oceny semikonsumenckiej wykazały, że Tagatesse może być akceptowalnym zamiennikiem sacharozy w recepturze muffin, a napój owsiany stanowi alternatywę dla mleka krowiego, ale tylko w połączeniu z sacharozą. Zastosowanie Tagatesse lub trehalozy w próbkach z napojem owsianym wpłynęło negatywnie na cechy sensoryczne muffin.

Słowa kluczowe: muffiny, Tagatesse, trehaloza, tekstura, ocena konsumencka

Ł. Dominiak; W. Błoński; M. Brodawka, Koło Naukowe Technologów Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159c, 02-776, Warszawa; mgr inż. R. Bogusz ORCID: 0000-0003-2547-7561; prof. dr hab. A. Marzec ORCID: 0000-0003-2912-8748, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Instytut Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159c, 02-776, Warszawa.
Kontakt: e-mail: radoslaw_bogusz@sggw.edu.pl

Wprowadzenie

Muffiny to popularne wyroby ciastkarskie, chętnie wybierane jako słodki dodatek do kawy lub przekąska. Mimo że ich smak i tekstura są bardzo lubiane, tradycyjne muffiny cechują się wysoką wartością energetyczną spowodowaną obecnością sacharozy i tłuszczu, a także mogą powodować alergię ze względu na obecność mleka krowiego [9]. W związku z rosnącą świadomością zdrowotną konsumenci coraz częściej poszukują zdrowszych wersji tych wypieków, zwracając uwagę na obniżoną zawartość sacharozy oraz obecność składników odżywczych i prozdrowotnych [1, 14].

Sacharoza jest cukrem nieredukującym – disacharydem powszechnie stosowanym w wypiekach, ponieważ korzystnie wpływa na smak, barwę oraz strukturę i teksturę produktu. W wyrobach ciastkarskich sacharoza wpływa na lepkość ciasta oraz opóźnia proces żelowania skrobi, co sprzyja powstawaniu delikatnej struktury i tekstury miękiszu [15]. Jednak jej nadmiar w diecie może negatywnie wpływać na zdrowie, dlatego poszukuje się innych substancji słodzących. Coraz częściej rozważa się stosowanie m.in. D-tagatozy, która ma niższą wartość kaloryczną niż sacharoza i nie powoduje gwałtownego wzrostu poziomu glukozy we krwi [6, 21]. Udowodniono, że D-tagatoza reguluje metabolizm glukozy i wspomaga utrzymanie homeostazy glukozy u pacjentów z cukrzycą, a także poprawia odpowiedź insulinową, co w konsekwencji prowadzi do lepszej kontroli hiperglikemii [21]. D-tagatoza jest monosacharydem zaliczanym do tzw. rzadkich cukrów [6]. Naturalnie występuje w niewielkiej ilości w produktach mlecznych poddanych obróbce cieplnej (np. mleko UHT), a także w niektórych owocach, takich jak jabłka, ananasy czy pomarańcze. Wykazuje słodycz na poziomie około 90 ÷ 92 % względem sacharozy, przy czym dostarcza znacznie mniej energii (około 1,5 ÷ 3,0 kcal/g), a jej indeks glikemiczny jest bardzo niski (IG 3 ÷ 7), co czyni ją atrakcyjną alternatywą dla sacharozy [21, 23]. Szacuje się, że jedynie 20 ÷ 25 % spożytej tagatozy wchłania się w jelicie cienkim, a pozostała część ulega fermentacji w jelicie grubym, prowadząc do powstawania krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych. Z tego względu przypisuje się jej również właściwości prebiotyczne [18, 19]. Ze względu na ograniczone wchłanianie, u osób z nadwrażliwościami jelitowymi, w tym zespołem jelita drażliwego, może wywoływać uczucie pełności, dyskomfort lub łagodne objawy gastryczne przy nadmiernym spożyciu [3]. Substancją słodzącą zatwierdzoną w Unii Europejskiej w 2001 r. jako nowa żywność jest trehaloza. Jest to naturalny dwucukier zbudowany z dwóch cząsteczek glukozy, występujący m.in. w bakteriach, drożdżach, grzybach, niektórych roślinach oraz bezkręgowcach [23]. Spożycie trehalozy przed długotrwałym wysiłkiem aerobowym wpływa na utrzymanie poziomu glukozy we krwi tak skutecznie jak glukoza, jednocześnie powodując niższą odpowiedź insulinową w osoczu oraz łagodzi insulinooporność poprzez minimalizowanie reakcji zapalnej w organizmie [14, 21]. Nietolerancja trehalozy występuje rzadko i jest zwią-

zana z pierwotnym niedoborem enzymu trehalazy lub może stanowić konsekwencję chorób współistniejących, takich jak celiakia [4, 7]. Otrzymywana jest głównie enzymatycznie z maltozy. Trehaloza wykazuje około 45 ÷ 50 % słodyczy sacharozy, a jej wartość energetyczna wynosi około 4 kcal/g. Pomimo porównywalnej kaloryczności do sacharozy, jej metabolizm jest wolniejszy, co nie skutkuje tak gwałtownym wzrostem poziomu glukozy we krwi (IG ~ 70). Trehaloza nie ma właściwości redukujących, cechuje się także wyjątkową stabilnością termiczną, właściwościami ochronnymi wobec białek i lipidów oraz zdolnością redukcji aktywności wody, dzięki czemu znajduje zastosowanie jako składnik poprawiający strukturę, teksturę i trwałość produktów spożywczych [15]. Z uwagi na te cechy trehaloza jest ceniona jako zamiennik sacharozy w recepturach wyrobów ciastkarskich, w których istotna jest trwałość oraz zachowanie struktury [2, 16]. Użycie innych niż sacharoza substancji słodzących umożliwia wytworzenie zdrowszych wersji wypieków [5] przy zachowaniu ich typowych właściwości sensorycznych [8, 16].

W literaturze opisano wpływ wybranych substancji słodzących na jakość muffin, w tym zastosowania D-tagatozy jako zamiennika sacharozy [11, 18]. Jednak mimo rosnącej liczby prac dotyczących zastosowania tzw. rzadkich cukrów, nie ma badań łączących jednoczesną modyfikację rodzaju substancji słodzącej i analizujących wpływ zamiany mleka krowiego na napój roślinny. Dlatego też celem tej pracy była ocena wpływu zastąpienia sacharozy komercyjnym zamiennikiem Tagatesse lub trehalozą oraz mleka krowiego napojem owsianym na wybrane właściwości muffin.

Materiał i metody

Materiał

Materiał doświadczalny stanowiły muffiny wytworzone zgodnie z recepturą podaną w Tabeli 1. Zawartość wszystkich składników w recepturze muffin wyrażono w procentach, jako g /100 g mąki. Użyto mąkę pszenną typ 450 (Polskie Młyny, Polska), o zawartości wody 13,5 %. Zastosowano komercyjny preparat Tagatesse (Damhert Nutrition, Belgia), który zgodnie z deklaracją producenta zawierał: izomalt (39,9 %), tagatozę (20 %), błonnik spożywczy (oligosacharydy z polidekstrozy i inuliny; 20 %) i sukralozę (0,02 %). Jako składnik płynny zastosowano mleko krowie (3,2 % tłuszcz, 4,7 % węglowodany w tym 4,7 % cukry, 3,2 % białko) lub napój owsiany (1,5 % tłuszcz, 6,0 % węglowodany w tym 3,1 % cukry, 0,7 % błonnik, 0,8 % białko). W składzie napoju owsianego był olej rzepakowy i stabilizator (guma gellan).

Przygotowanie muffin

Do misy robota odważono składniki mokre, następnie przesiane przez metalowe sitko składniki sypkie i wytwarzano ciasto do uzyskania jednolitej masy przez 2 min przy użyciu robota planetarnego KitchenAid ARTISAN 5 (Greenville, OH, USA).

Następnie porcje ciasta (po około 50 g) nalewano do papierowych foremek umieszczonych w formie wielodołkowej dla muffin i pieczono 20 min. w temperaturze 190 ºC (góra) i 180 ºC (dół) w piecu elektrycznym PICCOLO I (Winkler Wachtel Polska Sp. z o.o., Wrocław, Polska). Upieczone muffiny pozostawiano do wystudzenia. Każdy rodzaj muffin wypiekano dwukrotnie.

Tabela 1. Receptura muffin.
Table 1. The recipe of muffins.

Składnik / Ingredient	Producent / Producer	Zawartość składnika / Content of ingredient [%]					
		M-SAC	M-TAG	M-TRE	NO-SAC	NO-TAG	NO-TRE
Mąka pszenna / Wheat flour	Polskie Młyny	100					
Mleko / Milk	Mlekovita	60,6			-	-	-
Napój owsiany / Oat beverage	Alpro	-	-	-	60,6		
Jajko (klasa M) / Egg (size M)	Moja Kurka	43,7					
Koncentrat pomarańczowy / Orange concentrate	PURENA	33,6					
Olej rzepakowy / Rapeseed oil	Kujawski	30,7					
Cukier / Sugar	Polski Cukier	23,3	-	-	23,3	-	-
Tagatesse	Damhert Nutrition	-	23,3	-	-	23,3	-
Trehaloza / Trehalose	TRAHA® Hayashibara Co.	-	-	23,3	-	-	23,3
Proszek do pieczenia / Baking powder	Gellwe	3,0					
Soda oczyszczona / Sodium bicarbonate	Agnex	2,0					

Metody badawcze

Ubytek masy podczas pieczenia muffin wyznaczono jako różnicę pomiędzy masą surowego ciasta przed pieczeniem a masą muffiny po upieczeniu w stosunku do masy surowego ciasta. Ważenie z dokładnością ± 0,01 g wykonano na wadze WTB 200 Radwag (Radom, Polska). Ważono 15 losowo wybranych muffin.

Zawartość wody w miękiszu muffin oznaczano metodą suszarkową, w suszarce z wymuszonym obiegiem powietrza SUP-65W (Wamed, Warszawa, Polska) w temperaturze 105°C przez 3 godziny. Na podstawie ubytku masy podczas suszenia obliczono wilgotność, którą wyrażono w procentach.

Aktywność wody oznaczono przy użyciu miernika AquaLab 4TE (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, USA) w temperaturze 24 ± 1 °C. Pomiar zawartości i aktywności wody miękiszu wykonano w 3 powtórzeniach.

Parametry barwy wyznaczono metodą odbiciową przy użyciu kolorymetru Minolta CR-400 (Konica Minolta, Japonia) w systemie CIE L*a*b*. Pomiaru dokonano przy następujących parametrach: źródło światła (iluminant) D65, obserwator/kąt pomiaru 8°, obserwator standardowy CIE 2°, średnica pomiarowa 8 mm. Barwę zmierzono na powierzchni muffin (skórka) oraz na przekroju poprzecznym (miękisz). Pomiar barwy przeprowadzono w 10 losowo wybranych muffinach z każdego wariantu.

Teksturę miękiszu muffin mierzono za pomocą teksturometru TA.HDplus (Stable Micro Systems Ltd., Wielka Brytania) z głowicą pomiarową 5 kg. Pomiaru dokonano w dniu wypieku. Odcinano górną część muffin, tak aby wysokość wynosiła 30 mm i umieszczano tę część centralnie pod sondą. Zastosowano sondę cylindryczną o średnicy 25 mm (SMS P/25). Do charakterystyki tekstury użyto test podwójnego ściskania (TPA). Pomiary wykonywano z szybkością 1 mm/s, próbkę odkształcano o 50 % wysokości, po czym była 5-sekundowa przerwa i próbkę ponownie ściskano. Na podstawie otrzymanych teksturogramów wyznaczano twardość, sprężystość, kohezyjność, żujność i adhezyjność miękiszu. Teksturę zmierzono w 10 losowo wybranych muffinach z każdego wariantu.

Oceny semikonsumenckiej dokonała grupa 30 konsumentów deklarujących spożywanie tego typu produktów. Do oceny zastosowano klasyczną 9-stopniową skalę hedoniczną z następującymi określeniami: 1 – bardzo nie lubię, 2 – nie lubię, 3 – raczej nie lubię, 4 – trochę nie lubię, 5 – ani lubię, ani nie lubię, 6 – trochę lubię, 7 – raczej lubię, 8 – lubię, 9 – bardzo lubię. Zadanie oceniającego polegało na wpisaniu kodu próbki w odpowiednim miejscu na karcie odpowiedzi, spróbowaniu muffiny i przyporządkowaniu jej jednego z dziewięciu określeń podanych na karcie, zgodnie z wywołanym wrażeniem sensorycznym. Oceniano cechy muffin, takie jak atrakcyjność wyglądu, zapach, teksturę, smak oraz ogólną pożądalność muffin. Ocena była przeprowadzana w dniu wypieku muffin po ich uprzednim wystudzeniu.

Analiza statystyczna

Wartości średnie oraz odchylenia standardowe obliczono z wykorzystaniem programu MS Excel. Analizę statystyczną wyników wykonano w programie Statistica 13.1, stosując jednoczynnikową i dwuczynnikową analizę wariancji ANOVA. Do porównania średnich post-hoc wykorzystano test Tukeya. Różnicę uznawano za statystycznie istotną przy $\alpha < 0{,}05$. W analizie dwuczynnikowej uwzględniono następujące czynniki zmienności składu receptury muffin: S – rodzaj substancji słodzącej (SAC – sacharoza, TAG – Tagatesse, TRE – trehaloza); P – składnik płynny (M – mleko, NO – napój owsiany). Wielkość efektów każdego czynnika oceniono na podstawie współ-

czynnika cząstkowego η^2. Przeprowadzono analizę składowych głównych zawartości wody, parametrów tekstury i oceny semikonsumenckiej muffin.

Wyniki i dyskusja

Ubytek masy podczas pieczenia stanowi stratę, którą należy minimalizować. W badanych muffinach ubytek masy wynosił od 9,70 do 10,40 % i nie różnił się istotnie (Tab. 2). W przypadku badań Hwang i wsp. [11] zastąpienie sacharozy tagatozą skutkowało mniejszym ubytkiem masy podczas pieczenia, co wyjaśniono większą higroskopijnością tagatozy niż sacharozy. W cytowanym badaniu stosowano tylko częściowe zastąpienie sacharozy, co mogło mieć kluczowe znaczenie dla interakcji między składnikami receptury i dla wpływu na zdolność wiązania wody.

Zawartość oraz aktywność wody decydują o trwałości oraz warunkach przechowywania danego produktu spożywczego. Dwuczynnikowa analiza wariancji wykazała, że zarówno rodzaj użytej substancji słodzącej, jak i rodzaj składnika płynnego wpłynęły na zawartość wody w badanych muffinach, ale nie stwierdzono interakcji między tymi czynnikami (Tab. 2). Zastosowanie trehalozy skutkowało istotnie mniejszą zawartością wody w porównaniu z próbką kontrolną, tzn. muffinami z mlekim krowim i sacharozą (M-SAC) oraz z Tagatesse (M-TAG). Trehaloza jest mniej podatna na wiązanie wody w porównaniu z sacharozą [10], co prawdopodobnie mogło mieć wpływ na zawartość wody. Zastosowanie napoju owsianego spowodowało mniejszą zawartość wody niż użycie mleka (Tab. 2). Zaobserwowane różnice prawdopodobnie wynikają z różnego składu chemicznego napoju owsianego i mleka. Aktywność wody w badanych muffinach zależała od rodzaju substancji słodzącej. Stwierdzono także występowanie interakcji pomiędzy substancją słodzącą a składnikiem płynnym (Tab. 2). Zastosowanie napoju owsianego w połączeniu z substancjami słodzącymi spowodowało niższą aktywność wody niż w wypadku użycia mleka krowiego. Stwierdzona wysoka aktywność wody (od 0,927 do 0,946), przekraczająca znacznie wartość krytyczną (a_w > 0,6), wskazuje na niską stabilność mikrobiologiczną oraz krótki termin przydatności do spożycia [16,17]. Najniższa aktywność wody w wariancie kontrolnym mogła być spowodowana lepszą rozpuszczalnością sacharozy niż pozostałych substancji słodzących, dzięki czemu w produkcie nie dochodziło po upieczeniu do rekrystalizacji i uwalniania wody [24]. Takie spostrzeżenie odnotowało również w przypadku ciastek kruchych, w których sacharozę zastąpiono tagatozą [19].

Jednym z ważnych aspektów oceny jakości muffin jest ich barwa, która wpływa na wybór produktu przez konsumentów. Modyfikacja receptury wpłynęła na barwę skórki i miękiszu wytworzonych muffin. Rodzaj substancji słodzącej nie wpłynął na jasność skórki (parametr L*), ale na udział barwy czerwonej (a*) i barwy żółtej (b*). Z kolei zastosowany składnik płynny, jak i interakcja między badanymi czynnikami zróżnicowały barwę skórki muffin (Tab. 3). W wariantach z mlekiem krowim zasto-

sowanie trehalozy (M-TRE) skutkowało jaśniejszą barwą (parametr barwy L*) oraz mniejszym udziałem barwy czerwonej (parametr barwy a*) w skórce muffin (Tab. 3). Zamiana mleka na napój owsiany w wariancie z trehalozą (NO-TRE) spowodowała ciemniejszą barwę skórki muffin i skutkowała mniejszym udziałem barwy żółtej (parametr b*) (Tab. 3).

Tabela 2. Charakterystyka muffin.
Table 2. The characteristics of muffins.

Próbka / Sample		Ubytek masy / Weight loss [%]	Zawartość wody / Water content [%]	Aktywność wody / Water activity [-]
M-SAC		$10{,}01^{a} \pm 0{,}95$	$65{,}12^{bc} \pm 0{,}17$	$0{,}927^{a} \pm 0{,}002$
M-TAG		$10{,}01^{a} \pm 0{,}89$	$65{,}61^{c} \pm 0{,}85$	$0{,}946^{b} \pm 0{,}006$
M-TRE		$9{,}70^{a} \pm 0{,}94$	$64{,}38^{abc} \pm 0{,}45$	$0{,}946^{b} \pm 0{,}008$
NO-SAC		$10{,}03^{a} \pm 1{,}06$	$63{,}80^{ab} \pm 0{,}57$	$0{,}943^{b} \pm 0{,}003$
NO-TAG		$10{,}40^{a} \pm 0{,}81$	$64{,}72^{abc} \pm 0{,}53$	$0{,}942^{b} \pm 0{,}007$
NO-TRE		$10{,}23^{a} \pm 0{,}74$	$63{,}66^{a} \pm 0{,}17$	$0{,}940^{b} \pm 0{,}006$
Czynnik / Factor ANOVA dwuczynnikowa / Two-way ANOVA				
S	p	0,256	0,007*	0,009*
	η^2	0,073	0,559	0,410
P	p	0,423	0,002*	0,334
	η^2	0,018	0,574	0,052
S x P	p	0,566	0,596	0,001*
	η^2	0,031	0,082	0,518

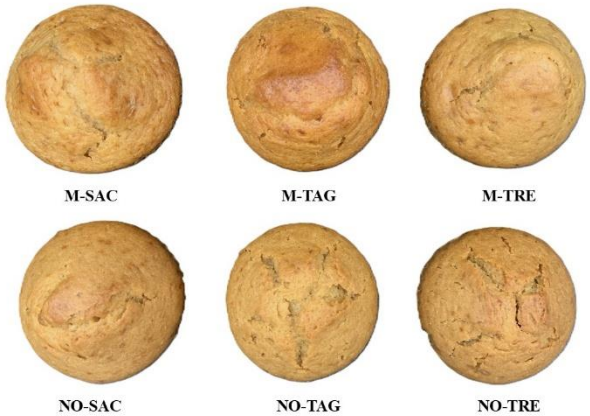
Objaśnienia / Explanatory notes: M – mleko / milk, NO – napój owsiany / oat beverage, SAC – sacharoza / saccharose, TAG – Tagatesse, TRE – trehaloza / trehalose. a, b, c – wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $p < 0{,}05$ / mean values marked with the same letter in the columns do not differ significantly at significance level of $p < 0.05$. S – substancja słodząca / sweetener, P – składnik płynny / liquid ingredient, S x P – zależności pomiędzy substancją słodzącą a użytym składnikiem płynnym/ interactions between sweetener and liquid ingredient used. * – istotny wpływ / significant impact.

Bezwzględna różnica barwy (ΔE) pozwala ocenić, w jakim stopniu zmiana barwy jest postrzegana przez człowieka. Przyjmuje się, że wartości poniżej 2 są nierozpoznawalne przez zmysł wzroku, od 2 do 3,5 rozpoznawalne przez niedoświadczonego obserwatora, a powyżej 3,5 obserwuje się już wyraźne różnice w barwie. Na podstawie otrzymanych składowych barwy wyznaczono całkowitą różnicę barwy (ΔE). Różnice barwy skórki badanych muffin, wyrażone jako ΔE, mieściły się w przedziale od 2,17 do 4,13 (Tab. 3). Uzyskane wartości potwierdzają, że modyfikacja receptury muffin wpływa na postrzeganie barwy, a jej różnice są zauważalne dla niewyszkolonego w ocenie produktów konsumenta (ΔE w zakresie od 2 do 3,5). Analiza wizualna zdjęć skórki muffin (Ryc. 1) potwierdziła obserwacje wynikające z pomiarów instrumentalnych. Największą różnicę barwy (ΔE = 4,13) względem próbki kontrolnej (M-SAC) wykazywała próbka z napojem owsianym i z trehalozą (NO-TRE).

Tabela 3. Parametry barwy skórki muffin.
Table 3. Parameters of the color of the muffin crust.

Próbka / Sample		L* [-]	a* [-]	b* [-]	ΔE [-]
M-SAC		$52{,}49^{ab} \pm 2{,}78$	$14{,}03^{ab} \pm 1{,}47$	$32{,}28^{b} \pm 1{,}96$	-
M-TAG		$52{,}01^{ab} \pm 3{,}41$	$14{,}51^{b} \pm 1{,}41$	$31{,}98^{b} \pm 3{,}13$	$3{,}68 \pm 3{,}13$
M-TRE		$54{,}02^{b} \pm 3{,}08$	$12{,}98^{a} \pm 1{,}37$	$31{,}97^{b} \pm 2{,}59$	$3{,}61 \pm 2{,}84$
NO-SAC		$52{,}82^{ab} \pm 2{,}09$	$13{,}01^{a} \pm 1{,}05$	$31{,}72^{b} \pm 1{,}25$	$2{,}65 \pm 1{,}10$
NO-TAG		$51{,}85^{ab} \pm 1{,}71$	$13{,}97^{ab} \pm 0{,}96$	$32{,}09^{b} \pm 1{,}51$	$2{,}17 \pm 1{,}28$
NO-TRE		$50{,}81^{a} \pm 1{,}64$	$14{,}03^{ab} \pm 0{,}71$	$28{,}67^{a} \pm 1{,}48$	$4{,}13 \pm 2{,}02$
Czynnik / Factor		ANOVA dwuczynnikowa / Two-way ANOVA			
S	p	0,473	0,009*	< 0,001*	-
	η^2	0,014	0,079	0,132	-
P	p	0,031*	0,432	0,001*	-
	η^2	0,040	0,005	0,085	-
S x P	p	0,004*	< 0,001*	0,001*	-
	η^2	0,091	0,127	0,115	-

Objaśnienia jak pod Tab. 2 / Explanatory notes as in Tab. 2



Rycina. 1. Zdjęcie skórki muffin.
Figure. 1. Photo showing the crust of muffins.

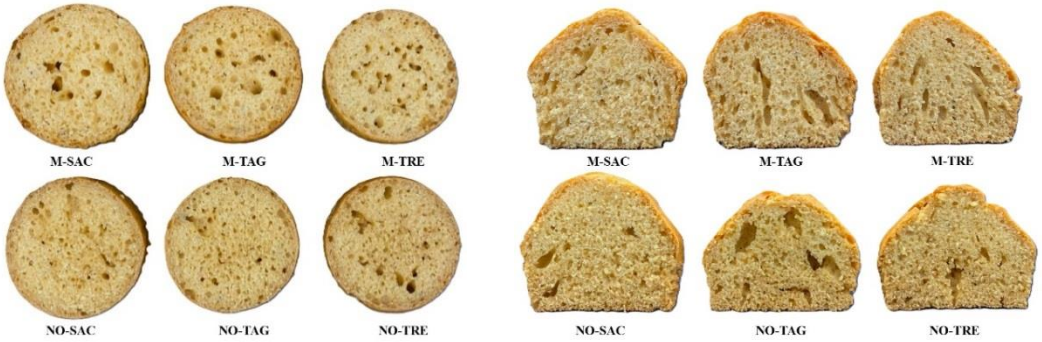
Substancja słodząca i składnik płynny wpłynęły istotnie na jasność (L*) i udział barwy czerwonej (a*) miękiszu muffin, ale nie stwierdzono interakcji między badanymi czynnikami (Tab. 4). Użyte w recepturze muffin substancje słodzące (sacharoza i Tagatesse) z mlekiem krowim spowodowały uzyskanie jaśniejszego miękiszu o najmniejszym udziale barwy czerwonej (a*) (Tab. 4). Zastosowanie napoju owsianego, niezależnie od rodzaju substancji słodzącej, spowodowało istotną zmianę barwy miękiszu. Wystąpiło zmniejszenie wartości parametru L*, co oznacza ciemniejszą barwę oraz istotny wzrost udziału barwy czerwonej (a*).

Tabela 4. Parametry barwy miękiszu muffin.
Table 4. Parameters of the color of the muffin crumb.

Próbka / Sample		L*	a*	b*	ΔE
M-SAC		$55{,}46^{c} \pm 1{,}81$	$6{,}17^{a} \pm 0{,}51$	$28{,}55^{a} \pm 1{,}04$	-
M-TAG		$55{,}21^{c} \pm 2{,}60$	$6{,}85^{b} \pm 0{,}53$	$28{,}81^{ab} \pm 1{,}14$	$2{,}54 \pm 1{,}47$
M-TRE		$53{,}38^{b} \pm 1{,}36$	$7{,}34^{b} \pm 0{,}81$	$29{,}03^{ab} \pm 0{,}56$	$2{,}63 \pm 1{,}33$
NO-SAC		$54{,}17^{bc} \pm 1{,}80$	$7{,}37^{b} \pm 0{,}67$	$29{,}30^{ab} \pm 0{,}73$	$2{,}51 \pm 1{,}21$
NO-TAG		$53{,}12^{ab} \pm 1{,}63$	$8{,}23^{c} \pm 0{,}51$	$29{,}50^{b} \pm 0{,}86$	$3{,}54 \pm 1{,}26$
NO-TRE		$51{,}57^{a} \pm 1{,}95$	$8{,}71^{c} \pm 0{,}91$	$28{,}49^{a} \pm 1{,}05$	$4{,}82 \pm 1{,}98$
Czynnik / Factor		ANOVA dwuczynnikowa / Two-way ANOVA			
S	p	< 0,001*	< 0,001*	0,166	-
	η^2	0,221	0,382	0,031	-
P	p	< 0,001*	< 0,001*	0,077	-
	η^2	0,179	0,501	0,027	-
S x P	p	0,641	0,802	0,003*	-
	η^2	0,008	0,004	0,100	-

Objaśnienia jak pod tab. 2 / Explanatory notes as in Tab. 2

Różnice w barwie pomiędzy próbką kontrolną (M-SAC) a próbkami M-TAG, M-TRE i NO-SAC były zauważalne przez niewyszkolonego w ocenie produktów konsumenta (ΔE w zakresie od 2 do 3,5) (Tab. 4). Z kolei dla wariantów muffin NO-TAG i NO-TRE stwierdzono wyraźną różnicę barw (ΔE > 3,5). Największą różnicę w barwie wyznaczono dla muffin z napojem owsianym i z trehalozą (ΔE = 4,82). Analiza wizualna zdjęć miękiszu muffin (Ryc. 2) potwierdziła obserwacje wynikające z pomiarów instrumentalnych.



Rycina 2. Zdjęcia przekroju poprzecznego i podłużnego muffin.
Figure 2. Photos showing the cross-section and the longitudinal section of muffins.

Prawdopodobnie właściwości chemiczne zastosowanych substancji słodzących mogły mieć decydujący wpływ na różnice w barwie muffin. Mimo braku zdolności redukujących sacharoza w czasie wypieku ulega hydrolizie do glukozy i fruktozy.

Szczególnie fruktoza rozkłada się szybko, wchodząc w reakcje Maillarda, co wpływa na ciemniejszą barwę wypieków [17]. Z kolei trehaloza nie jest cukrem redukującym, nie uczestniczy w reakcji brunatnienia Maillarda ani nie ulega karmelizacji [16,23]. Różnice w barwie muffin związane były prawdopodobnie z różnym składem chemicznym składników płynnych oraz samą ich barwą. Mleko krowie zawierało mniej węglowodanów (4,7 g w tym w tym 4,7 g cukry) niż napój owsiany (6,0 g, w tym 3,1 g cukrów) a więcej białka (3,2 g) od napoju owsianego (0,8 g). Ponadto, wysoka temperatura podczas pieczenia przyczynia się do występowania reakcji karmelizacji, co także wpływa na barwę wypieków [12] i determinuje różnice w barwie pomiędzy skórką a miękiszem muffin.

Podobne zmiany barwy w muffinach z tagatozą obserwowali Hwang i wsp. [11] oraz Moss i wsp. [18], którzy stosowali tagatozę, odpowiednio: jako częściowy lub całkowity substytut sacharozy w recepturze. Zmiany te spowodowane były tym, że tagatoza ma właściwości redukujące i wchodzi w reakcje Maillarda [19], skutkując ciemniejszą barwą wypieków.

Tekstura odgrywa ważną rolę przy ocenie świeżości i jakości produktu spożywczego. Muffiny powinny charakteryzować się miękkim, delikatnym i wilgotnym miękiszem, małą twardością i żujnością przy wysokim poziomie sprężystości [20]. Parametry tekstury muffin przedstawiono w tabeli 5. Dwuczynnikowa analiza wariancji wykazała, że na twardość muffin miały wpływ: rodzaj użytej substancji słodzącej, rodzaj składnika płynnego oraz interakcja między tymi czynnikami. Najmiększa była próbka kontrolna M-SAC (3,74 ± 0,36 N). Zastosowanie Tagatesse lub trehalozy w połączeniu z mlekiem krowim spowodowało istotne zwiększenie twardości, odpowiednio do 4,59 i 7,66 N. Niezależnie od użytej substancji słodzącej zastosowanie napoju owsianego spowodowało istotne zwiększenie twardości muffin (Tab. 5). Pożądaną cechą muffin jest ich duża sprężystość. Najmniejszą sprężystością (0,91 ± 0,06) charakteryzował się wariant kontrolny (M-SAC). Zmiana zarówno substancji słodzącej, jak i składnika płynnego spowodowała zwiększenie sprężystości względem próbki M-SAC. Kohezyjność przyjmowała wartości od 0,45 do 0,52 i stwierdzono istotne różnice pomiędzy badanymi wariantami. Na parametr ten miał wpływ rodzaj substancji słodzącej i składnika płynnego oraz stwierdzono interakcje między tymi czynnikami. Kohezyjność muffun z mlekiem krowim z sacharozą (M-SAC) i z Tagatesse (M-TAG) nie różniły się istotnie, a wariant z trehalozą (M-TRE) charakteryzował się istotnie wyższą kohezyjnością i jednocześnie najwyższą spośród wszystkich badanych wariantów (Tab. 5). Zastosowanie napoju owsianego (NO-SAC, NO-TAG, NO-TRE) do wypieku muffin spowodowało zwiększenie i ujednolicenie kohezyjności miękiszu w porównaniu z wyrobem kontrolnym (M-SAC). Żujność to parametr związany z łatwością lub trudnością przeżuwania żywności oraz formowania kęsa przed połknięciem. Produkty o małej żujności wymagają małego nakładu pracy, w tym pracy mięśni, oraz

krótszego czasu przeżuwania, co ułatwia uformowanie kęsa przed połknięciem [9]. Stwierdzono, że rodzaj substancji słodzącej, składnik płynny oraz interakcja tych czynników decydowały o zwiększeniu żujności (Tab. 5). Najniższą żujnością (1,56 N) charakteryzował się wariant kontrolny (M-SAC). Żujność muffin przygotowanych z innymi substancjami słodzącymi, jak i w przypadku użycia napoju owsianego (NO) zamiast mleka krowiego, znacząco wzrosła (3,56 ÷ 3,78 N). Adhezyjność, tj. łatwiejsze odrywanie się cząstek muffin od powierzchni, zależała od rodzaju składnika płynnego. Użycie napoju owsianego w recepturze skutkowało zmniejszeniem adhezyjności w porównaniu z wariantami z mlekiem krowim (Tab. 5). Najkorzystniejszą adhezyjnością i powtarzalnością wyników (-0,08 ± 0,01) cechował się wariant z napojem owsianym i trehalozą (NO-TRE). We wcześniejszych badaniach, w których sacharozę częściowo zastępowano tagatozą, również odnotowano wzrost twardości, kohezyjności i gumiastości. Zjawisko to wyjaśniono niższą rozpuszczalnością tagatozy i większą obecnością kryształów w trakcie wyrabiania ciasta [11]. W innych badaniach również zaobserwowano zwiększenie twardości, kohezyjności i sprężystości biszkoptów, w których sacharozę całkowicie zastąpiono trehalozą. Co więcej, taka modyfikacja w recepturze spowodowała istotne pogorszenie adhezyjności [16].

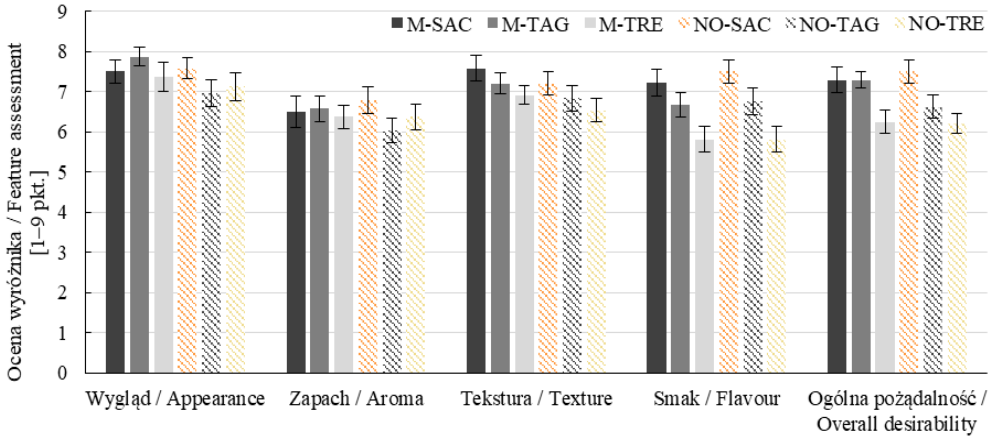
Właściwości teksturalne wyrobów ciastkarskich bardzo często zależą od zawartości wody w produkcie [24]. W naszych badaniach muffiny z napojem owsianym miały mniejszą zawartość wody niż z mlekiem (Tab. 2), co mogło być powodem mniejszej adhezyjności oraz większej żujności i twardości. Ponadto różny skład chemiczny użytych składników, m.in. wyższa zawartość węglowodanów i błonnika w napoju owsianym, prawdopodobnie mogły mieć wpływ na kohezyjność i adhezyjność. Innym ważnym czynnikiem mogącym mieć wpływ na teksturę jest struktura produktu. Zawarte w mleku krowim białka wspomagają tworzenie stabilnej struktury ciasta, m.in. poprzez ograniczanie koalescencji pęcherzyków powietrza. Dodatkowo mleko, dzięki zawartości soli mineralnych, stabilizuje działanie środków spulchniających i wspiera proces spulchniania ciasta [22]. Szczególnie na przekroju poprzecznym muffin wyraźnie widoczna była różna liczba porów i ich nieregularny, wydłużony kształt (Ryc. 3). Próbka kontrolna z mlekiem krowim i sacharozą charakteryzowała się drobnymi porami, o dość regularnym, okrągłym kształcie, podczas gdy muffiny, zarówno te z mlekiem, jak i napojem owsianym, z Tagatesse i trehalozą, miały różnej wielkości pory o wydłużonym kształcie. Zastosowanie Tagatesse i trehalozy mogło spowodować zwiększenie aktywności spulchniającej sody oczyszczonej oraz proszku do pieczenia, co skutkowało nierównomierną porowatością. Wzrost twardości i sprężystości miękiszu prawdopodobnie można przypisać zmianom strukturalnym.

Tabela 5. Parametry tekstury muffin.
Table 5. Parameters of the texture of muffins.

Próbka / Sample		Twardość / Hardness [N]	Sprężystość / Springiness [-]	Kohezyjność / Cohesiveness [-]	Żujność / Chewiness [N]	Adhezyjność / Adhesiveness [N·s]
M-SAC		$3{,}74^{a} \pm 0{,}36$	$0{,}91^{a} \pm 0{,}06$	$0{,}45^{a} \pm 0{,}02$	$1{,}56^{a} \pm 0{,}23$	$-0{,}22^{b} \pm 0{,}14$
M-TAG		$4{,}59^{b} \pm 0{,}33$	$0{,}96^{ab} \pm 0{,}02$	$0{,}44^{a} \pm 0{,}01$	$1{,}95^{b} \pm 0{,}16$	$-0{,}16^{ab} \pm 0{,}07$
M-TRE		$7{,}66^{c} \pm 0{,}42$	$0{,}97^{b} \pm 0{,}02$	$0{,}52^{b} \pm 0{,}01$	$3{,}86^{c} \pm 0{,}16$	$-0{,}14^{ab} \pm 0{,}05$
NO-SAC		$7{,}96^{c} \pm 0{,}44$	$0{,}96^{ab} \pm 0{,}01$	$0{,}50^{b} \pm 0{,}01$	$3{,}78^{c} \pm 0{,}13$	$-0{,}11^{ab} \pm 0{,}05$
NO-TAG		$7{,}29^{c} \pm 0{,}56$	$0{,}98^{b} \pm 0{,}02$	$0{,}50^{b} \pm 0{,}01$	$3{,}56^{c} \pm 0{,}25$	$-0{,}15^{ab} \pm 0{,}05$
NO-TRE		$7{,}40^{c} \pm 0{,}40$	$0{,}98^{b} \pm 0{,}01$	$0{,}50^{b} \pm 0{,}02$	$3{,}74^{c} \pm 0{,}16$	$-0{,}08^{a} \pm 0{,}01$
Czynnik / Factor ANOVA dwuczynnikowa / Two-way ANOVA						
S	p	< 0,001*	0,004*	< 0,001*	< 0,001*	0,215
	η^2	0,796	0,297	0,716	0,896	0,095
P	p	< 0,001*	0,016*	< 0,001*	< 0,001*	0,028*
	η^2	0,891	0,173	0,601	0,926	0,146
S x P	p	< 0,001*	0,245	< 0,001*	< 0,001*	0,340
	η^2	0,851	0,087	0,494	0,891	0,067

Objaśnienia jak pod tab. 2 / Explanatory notes as in Tab. 2.

Sensoryczna ocena konsumencka jest istotnym elementem badań przy modyfikacji receptury produktów spożywczych, gdyż w dobie wysokiej podaży wyrobów na rynku to konsument decyduje, który produkt zostanie wybrany wśród bogatej oferty innych dostępnych. Wyniki oceny semikonsumenckiej muffin o zróżnicowanej recepturze wskazują, że wszystkie badane warianty charakteryzowały się akceptowalną pożądalnością sensoryczną (średnio w zakresie od 5,8 do 7,9 w zastosowanej skali 1 ÷ 9 (Ryc. 4).



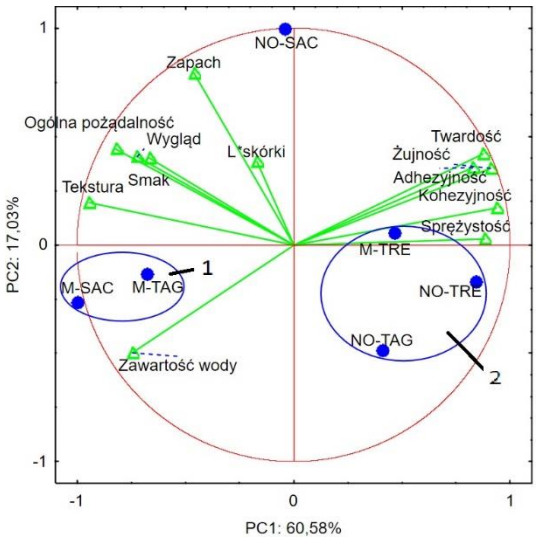
Rycina 4. Wyniki oceny semikonsumenckiej muffin (n = 30).
Figure 4. Results of semi-consumer evaluation of muffins (n = 30).
Objaśnienia / Explanatory notes: M – mleko / milk, NO – napój owsiany / oat beverage, SAC – sacharoza / saccharose, TAG – Tagatesse, TRE – trehaloza / trehalose.

Wygląd zewnętrzny i barwa wyrobu finalnego warunkują jego wstępną akceptację w ocenie konsumenckiej, zachęcają do nabycia produktu lub do jego spożycia. Najwyższe oceny za wygląd otrzymały muffiny z mlekiem krowim i z Tagatesse (M-TAG). Wysokie noty uzyskały także warianty z sacharozą, zarówno ten z mlekiem krowim, jak i napojem owsianym. Mogło to być związane z atrakcyjną barwą skórki muffin powstałą na skutek karmelizacji czy też pośrednio (w związku z hydrolizą sacharozy do glukozy i fruktozy) w wyniku reakcji Maillarda [17]. Tekstura muffin z sacharozą (M-SAC, NO-SAC) została oceniona najwyżej. Zastosowanie innych substancji słodzących wpłynęło na obniżenie ocen, podobnie jak zastąpienie mleka krowiego napojem owsianym (Ryc. 4). Warianty z napojem owsianym charakteryzowały się większą twardością i żujnością (Tab. 5), podczas gdy pożądanymi cechami tekstury muffin są mała twardość i żujność, a duża sprężystość [20]. Oceny za smak i ogólną akceptowalność wykazywały podobną tendencję – zarówno zastosowanie innej substancji słodzącej niż sacharoza, jak i użycie napoju owsianego, skutkowały obniżeniem ocen (Ryc. 4). Muffiny z Tagatesse i trehalozą, niezależnie od użytego składnika płynnego, otrzymały niższe noty za smak. Było to prawdopodobnie związane z niższą intensywnością słodyczy (około 90 ÷ 92 % słodyczy sacharozy dla tagatozy i około 45 ÷ 50 % dla trehalozy). Dodatkowo brak właściwości redukujących trehalozy [16] mogło skutkować mniej złożonym profilem smakowo-zapachowym, co wpłynęło niekorzystnie na ogólne postrzeganie produktu. Muffiny z napojem owsianym i z sacharozą cechowały się najbardziej akceptowalnym smakiem (NO-SAC), a następnie warianty na mleku krowim z sacharozą (M-SAC) i z Tagatesse (M-TAG). Można

więc stwierdzić, że zastosowanie Tagatesse jako zamiennika sacharozy w recepturze muffin z mlekiem krowim jest możliwe ze względu na kryterium sensoryczne i może być finalnie zaakceptowane przez konsumentów.

Zastąpienie sacharozy trehalozą w recepturze biszkoptów spowodowało obniżenie ocen za smak, teksturę i ogólną pożądalność, ale nie wykazano wpływu na zapach i barwę przygotowanych biszkoptów [16]. W innym badaniu częściowe zastąpienie sacharozy tagatozą (6 i 8 %) w recepturze muffin wpłynęło negatywnie na oceniane wyróżniki sensoryczne. Wariant z 4-procentową substytucją sacharozy uzyskał porównywalne noty, a wariant z 2-procentową substytucją – wyższe noty za wygląd, barwę, smak i ogólną pożądalność w porównaniu z wariantem z sacharozą [11]. Z kolei całkowita substytucja sacharozy tagatozą w recepturze ciastek kruchych skutkowała uzyskaniem wyższych ocen za barwę i teksturę, ale słodkość została niżej oceniona [24].

Wielowymiarowa analiza składowych głównych (PCA) została zastosowana do wyjaśnienia związków pomiędzy analizowanymi parametrami teksturalnymi wyznaczonymi instrumentalnie a oceną sensoryczną, zawartością wody i barwą skórki muffin. Zmniejszając liczbę analizowanych parametrów, PCA zidentyfikowała parametry decydujące o percepcji i umożliwiła interpretację tekstury próbek muffin różniących się rodzajem substancji słodzącej i składnika płynnego. Pierwsze dwa główne składniki (PC1 i PC2) wyjaśniały łącznie 77,6 % wariancji analizowanych parametrów (Ryc. 5). PC1 i PC2 stanowiły odpowiednio 60,6 % i 17,0 % wariancji. Parametry zapachu i barwy skórki związane były ze składową PC2, pozostałe analizowane parametry wiązały się natomiast ze składową PC1. Próbki muffin były położone w różnych częściach diagramu, co oznacza, że różniły się między sobą analizowanymi właściwościami. Do próbki kontrolnej M-SAC podobne były tylko muffiny M-TAG i tworzyły wspólnie grupę 1. Próbki te charakteryzowały się największą zawartością wody, uzyskały najwyższą ocenę sensoryczną oraz miały najsłabszą teksturę ocenianą instrumentalnie. Kolejną grupę, 2., stanowiły muffiny M-TRE, NO-TRE, NO-TAG, które miały mniejszą zawartość wody, były gorzej ocenione sensorycznie i charakteryzowały się najtwardszą teksturą ocenianą instrumentalnie. Próbki z grupy 1. i 2. miały podobny zapach i barwę skórki. Ponadto składowa PC2 (zapach i barwa skórki) muffin z napojem owsianym i z sacharozą (NO-SAC) różniła się istotnie od pozostałych dwóch grup wypieków, a ogólna pożądalność była niższa niż dla grupy 1. i wyższa niż w przypadku grupy 2 (Ryc. 5).



Rycina 5. Diagram PCA.
Rycina 5. The PCA diagram.
Objaśnienia / Explanatory notes: M – mleko / milk, NO – napój owsiany / oat beverage, SAC – sacharoza / saccharose, TAG – Tagatesse, TRE – trehaloza / trehalose.

Wnioski

1. Rzadkie cukry, takie jak D-tagatoza i trehaloza, stanowią potencjalne zamienniki sacharozy w recepturach muffin z uwagi na ich specyficzne właściwości technologiczne.
2. Muffiny wytworzone z napoju owsianego z trehalozą charakteryzowały się najmniejszą zawartością wody oraz obniżoną aktywnością wody.
3. Warianty muffin z mlekiem krowim były jaśniejsze od muffin z napojem owsianym, a zastosowanie Tagatesse lub trehalozy skutkowało większym udziałem barwy czerwonej. Muffiny przygotowane z napojem owsianym i trehalozą charakteryzowały się najciemniejszą skórką i miękiszem oraz najwyższą całkowitą różnicą barwy ($\Delta E > 4$).
4. Muffiny z mlekiem krowim i z sacharozą (wariant kontrolny) cechowały się najmniejszą twardością i żujnością. Zastosowanie Tagatesse oraz trehalozy prowadziło do zwiększenia twardości, żujności i powstawania mniej jednorodnej struktury miękiszu.
5. Muffiny kontrolne cechowały się najmniejszą twardością i akceptowalnym smakiem w ocenie konsumenckiej. Poziom akceptacji sensorycznej i tekstura muffin z mlekiem krowim i Tagatesse były najbardziej zbliżone do wariantu kontrolnego.

Ocena semikonsumencka potwierdziła, że Tagatesse w połączeniu z mlekiem krowim może stanowić substytut sacharozy w recepturze muffin.

6. Zastąpienie mleka krowiego napojem owsianym może być rozważane w recepturach muffin, jednak obserwowane zmiany wskazują na konieczność optymalizacji proporcji składników w zależności od użytej substancji słodzącej. Uzyskane wyniki potwierdzają, że zarówno rodzaj substancji słodzącej, jak i zastosowany składnik płynny miały wpływ na właściwości fizyczne i sensoryczne muffin, co należy uwzględnić przy projektowaniu receptur o obniżonej zawartości sacharozy.

"Badania zrealizowano ze środków otrzymanych w ramach Konkursu Głównego dla kół naukowych działających w SGGW na realizację projektów badawczych".

Literatura

[1] Belcar J., Gorzelany J.: Wpływ dodatku słodu pszenicznego i jęczmiennego na jakość i parametry profilu tekstury muffin zbożowych. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2021, 28, 4(129), 69-82.

[2] Benucci I., Lombardelli C., Esti M.: A comprehensive review on natural sweeteners: impact on sensory properties, food structure, and new frontiers for their application. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 2024, 65(24), 4615-4633.

[3] Buemann B., Toubro S., Astrup A.: Human gastrointestinal tolerance to D-tagatose. Regul. Toxicol. Pharmacol., 1999, 29(2), 71-77.

[4] Buts J.P., Stilmant C., Bernasconi P., Neirinck C., De Keyser N.: Characterization of α,α-trehalase released in the intestinal lumen by the probiotic *Saccharomyces boulardii*. Scand. J. Gastroenterol., 2008, 43(12), 1489-1496.

[5] Ding S., Yang J.: The effects of sugar alcohols on rheological properties, functionalities, and texture in baked products – a review. Trends Food Sci. Technol., 2021, 111, 670-679.

[6] Fan L., Chen J., Chen Y., Pečar D., Ding J., Ni D., Wanmeng Mu W.: Recent advances on biological production of a functional low-calorie sugar D-tagatose. J. Agri. Food Chem., 2025, 73(30), 18511-18524.

[7] Friedova N., Chrpova D., Tajtlova J., Kollerova M., Kohout P.: Combined lactase and trehalase deficiency as a cause of blood loss in young man. Czech J. Food Sci., 2025, 43(1), 71-74.

[8] Gałkowska D., Południak M., Juszczak L.: Wpływ zastąpienia sacharozy glikozydami stewiolowymi na charakterystykę reologiczną deserów na bazie skrobi. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2018, 25, 4(117), 111-126.

[9] Goswami D., Gupta R.K., Mridula D., Sharma M., Tyagi S.K.: Barnyard millet based muffins: Physical, textural and sensory properties. LWT – Food Sci. Technol., 2015, 64(1), 374-380.

[10] Higashiyama T., Richards A.B.: Trehalose In: Sweeteners and sugar alternatives in food technology. Second Edition Eds. O'Donnell K., Kearsley M.W. John Wiley & Sons, Ltd., 2012, 424-430.

[11] Hwang Y.K. , Lee H.T. , An H.L.: Quality characteristics of muffins with tagatose. J. East Asian Soc. Diet. Life, 2014, 24(6), 802-810.

[12] Kowalski S., Lukasiewicz M.: Wpływ warunków wypieku kruchych ciastek na powstawanie wybranych pochodnych furanowych oraz zmianę potencjału antyoksydacyjnego. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2014, 1(92), 187-199.

[13] Ktenioudaki A., Gallagher E.: Recent advances in the development of high-fibre baked products. Trends Food Sci. Technol., 2012, 28(1), 4-14.
[14] Kutyła-Kupidura, E.M., Sikora M., Dobosz A., Krystyjan M.: Wpływ zastąpienia sacharozy alternatywnymi substancjami słodzącymi na właściwości produktów ciastkarskich. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2016, 2(105), 19-33.
[15] Mamat H., Hill S.E., Structural and functional properties of major ingredients of biscuit. Int. Food Res. J., 2018, 25, 462–471.
[16] Marzec A., Kowalska J., Domian E., Galus S., Ciurzyńska A., Kowalska H.: Characteristics of dough rheology and the structural, mechanical, and sensory properties of sponge cakes with sweeteners. Molecules, 2021, 26(21), 6638.
[17] Marzec A., Stępień A., Goclik A., Kowalska H., Kowalska J., Salamon A.: Analysis of the Correlation of Microstructure, Instrumental Texture, and Consumer Acceptance of Shortbread Biscuits with Selected Sweeteners and Fibre. Appl. Sci., 2025, 15(3), 1137.
[18] Moss M.M., Caswell E.N., Yeargin A.W., Volz N.A., Woodland J.C., Guthrie L.C., Ahlborn G.J., Eggett D.L., Taylor B.J.: Optimization of flour-replacing ingredients for low-carbohydrate, gluten-free muffins via a mixture design with complete sucrose substitution by D-allulose or D-tagatose. LWT – Food Sci. Technol., 2022, 167, #113779.
[19] Rojo-Poveda O., Barbosa-Pereira L., Orden D., Stévigny C., Zeppa G., Bertolino M.: Physical properties and consumer evaluation of cocoa bean shell-functionalized biscuits adapted for diabetic consumers by the replacement of sucrose with tagatose. Foods, 2020, 9(6), #814.
[20] Sanz T., Salvador A., Baixauli R., Fiszman S. M.: Evaluation of four types of resistant starch in muffins. II. Effects in texture, colour and consumer response. Eur Food Res Technol., 2009, 229, 197-204.
[21] Sokołowska E., Sadowska A., Sawicka, D., Kotulska-Bąblińska I., Car H.: A head-to-head comparison review of biological and toxicological studies of isomaltulose, D-tagatose, and trehalose on glycemic control. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 2022, 62(21), 5679-5704.
[22] Swanson R.B., McKemie R.J., Sabrin M.D., Milly P.J.: Soy milks as a dairy milk substitute in prepared food products: effects on quality and acceptability. Fam Consum Sci Res J, 2012, 40, 255-266.
[23] Świąder K., Lipska A., Boyko N.: Novel sweeteners: isomaltulose, d-tagatose, trehalose and sucromalt – their description and properties. Technol. Progr. Food Proces., 2022, 1, 32/60, 186-194.
[24] Taylor T.P., Fasina O., Bell L.N.: Physical properties and consumer liking of cookies prepared by replacing sucrose with tagatose. J. Food Sci., 2008, 73(3), 145-151.

THE INFLUENCE OF THE TYPE OF SWEETENER AND LIQUID INGREDIENT ON THE SELECTED PHYSICAL AND SENSORY PROPERTIES OF MUFFINS

S u m m a r y

Background. Muffins are popular baked goods, often enjoyed with coffee or as a snack. Growing health awareness of consumers has increased the demand for healthier versions, including reduced-sugar options and plant-based milk alternatives. This study aimed to assess the effect of replacing sucrose with Tagatesse or trehalose, and cow's milk with an oat beverage, on the selected properties of muffins. Six muffin variants were prepared and analyzed for baking weight loss, moisture content, water activity, crust and crumb color, texture parameters, as well as a semi-consumer evaluation was carried out.

Results and conclusions. Both the type of the sweetener and the liquid ingredient significantly influenced muffin properties. Trehalose and the oat beverage contributed to a reduction in moisture content, while water activity was shaped by the interaction between these two factors. The color of the crust and crumb depended mainly on the type of liquid ingredient and its interaction with the sweetener. The greatest color difference compared to the control sample (containing cow's milk and sucrose) was observed for the variant with the oat beverage and trehalose ($\Delta E > 4$). The texture of the muffins varied greatly. The control sample exhibited the lowest hardness, whereas the use of Tagatesse and trehalose increased hardness and chewiness, causing irregular porosity. The results of the semi-consumer evaluation indicated that Tagatesse may be an acceptable sucrose substitute in the muffin recipe, and that oat beverages can serve as an alternative to cow's milk, but only when used in combination with sucrose. The use of Tagatesse or trehalose together with the oat beverage negatively affected the muffins' sensory attributes.

Key words: muffins, Tagatesse, trehalose, texture, semi-consumer evaluation