

ANNA IGNACZAK, EWELINA MASIARZ, MARTYNA MAKOWSKA,
HANNA KOWALSKA

**KSZTAŁTOWANIE WŁAŚCIWOŚCI PRZEKĄSKI Z TOPINAMBURU
HELIANTHUS TUBEROSUS L. WYTWARZANEJ METODAMI
OSMOTYCZNEGO ODWADNIANIA I SUSZENIA**

Streszczenie

Wprowadzenie. Wzrastająca świadomość konsumentów odnośnie do spożywanej żywności i oczekiwania związane z jej jakością i prozdrowotnością w codziennej diecie, w tym dla osób mających różne problemy zdrowotne, wskazują na potrzebę poszukiwania nowych kierunków w produkcji żywności, jak suszone przekąski z topinamburu. Celem pracy było zbadanie wpływu odwadniania osmotycznego i metod suszenia na wybrane właściwości suszy z topinamburu. Materiał do badań stanowiły bulwy topinamburu. Topinambur świeży i poddany wstępnemu odwadnianiu osmotycznemu w 60-procentowym roztworze sacharozy w temperaturze 50 °C przez 1 h suszono konwekcyjnie, mikrofalowo-konwekcyjnie, mikrofalowo-próżniowo i liofilizacyjnie.

Wyniki i wnioski. Susze liofilizowane, z zastosowaniem obróbki wstępnej oraz bez niej, osiągnęły najniższe wartości aktywności wody. Jednocześnie charakteryzowały się najwyższą zawartością suchej substancji. W porównaniu do surowca odwadnianie i suszenie topinamburu wpłynęło na obniżenie zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej. Wysokie wartości obu wskaźników ($176 \div 183$ mg EKG/100 g s.s. / $EC_{50} = 4,4 \div 4,6$ mg s.s./cm³), nieznacznie niższe niż w surowcu, stwierdzono w suszach konwekcyjnych i mikrofalowo-próżniowych. Zastosowanie odwadniania osmotycznego i dobór metody suszenia topinamburu pozwala kształtować właściwości otrzymanych suszy jako przekąski o właściwościach prozdrowotnych. Szczególnie przydatne okazało się suszenie mikrofalowo-próżniowe, głównie z uwagi na krótki czas procesu oraz zachowanie związków polifenolowych i wysokiej aktywności przeciwutleniającej w porównaniu z liofilizatami uznawanymi za wzorcowe.

Słowa kluczowe: suszenie, obróbka osmotyczna, polifenole, aktywność antyoksydacyjna, topinambur

*Mgr inż. A. Ignaczak ORCID: 0000-0001-8333-9293; mgr inż. E. Masiarz ORCID: 0000-0003-0279-2577; mgr inż. M. Makowska; dr hab. inż., prof. SGGW H. Kowalska ORCID: 0000-0002-6732-4590; Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Instytut Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa;
Kontakt: anna_ignaczak@sggw.edu.pl*

Wprowadzenie

Topinambur to roślina z rodziny *Asteraceae*, nazywana także słonecznikiem bulwiastym. Obecnie uprawiany jest powszechnie w wielu krajach [22]. Bulwy topinamburu są najczęściej spożywaną częścią tej rośliny. Topinambur jest łatwy w uprawie ze względu na odporność na szkodniki i choroby oraz wysoką tolerancję na mróz, suszę i mało żyzną glebę [7]. Topinambur wykazuje właściwości prozdrowotne. Bulwy tej rośliny zawierają około 20 % suchej substancji, w tym 3 % białka i 15 ÷ 16 % węglowodanów, spośród których wyróżnia się inulinę (8 ÷ 21 % świeżej masy). Inulina nie jest trawiona w przewodzie pokarmowym – pełni funkcje prebiotyku, pobudzając namnażanie się korzystnej mikroflory jelitowej. Ponadto bulwy topinamburu są bogate w witaminę B1 i żelazo, jak również magnez, miedź i potas. Są źródłem aminokwasów egzogennych, jak treonina i tryptofan [7, 16]. Bulwy topinamburu znalazły szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym. Topinambur stosuje się m.in. w produkcji przetworów mleczarskich, do wzbogacania np. jogurtów. Stosowany jest także do wyrobu pieczywa pszennego lub żytnio-pszennego o niskim indeksie glikemicznym [3, 21]. Ermosh i wsp. [3] udowodnili, że dodatek proszku z topinamburu na etapie produkcji pieczywa aktywuje proces fermentacji ciasta, tworzy optymalną kwasowość oraz spowalnia czerstwienie pieczywa. Jest także cennym dodatkiem w przemyśle mięsnym, gdzie pozwala na zmniejszenie zawartości tłuszczu oraz polepszenie trwałości wyrobów mięsnych [25].

Rosnąca świadomość wśród konsumentów, a tym samym zrozumienie potrzeby spożywania diety bogatej w owoce i warzywa, będących bogatym źródłem składników mineralnych i witamin w codziennej diecie człowieka, sprawia, że producenci żywności opracowują nowe technologie umożliwiające otrzymywanie pełnowartościowej żywności z ich wykorzystaniem, jak suszone przekąski w formie chrupiących chipsów z owoców i warzyw. Obecność naturalnie występujących w tych surowcach składników bioaktywnych sprawia, że przekąski takie można zaliczyć do żywności funkcjonalnej, mającej udowodniony naukowo korzystny wpływ na funkcjonowanie organizmu człowieka [8, 13, 23]. Suszenie to najprostsza metoda wytwarzania wartościowych przekąsek z owoców i warzyw.

Suszenie konwekcyjne jest jedną z najbardziej znanych technik suszenia stosowanych w przemyśle spożywczym. Proces ten nie wymaga skomplikowanej aparatury i dużych nakładów finansowych. Jest jednak długotrwały. Zależnie od wielu czynników, zwłaszcza rodzaju surowca, temperatury i czasu suszenia, uzyskane susze mogą wykazywać niepożądane właściwości, jak skurcz, zmiany struktury (duża twardość) i barwy oraz utrata wielu składników. Suszenie wspomagane mikrofalami wpływa na skrócenie czasu i poprawę jakości suszy [11, 20], ponieważ działanie mikrofal powoduje szybkie ogrzewanie całości suszonego materiału i równomierne odparowanie wilgoci bez twardnienia powierzchni materiału, które często występuje przy suszeniu

konwekcyjnym [11]. Suszenie mikrofalowo-próżniowe to stosunkowo nowa technika suszenia, w której suszenie mikrofalowe intensyfikowane jest obniżonym ciśnieniem, wywołując efekt nadmuchania (puffing). Ze względu na brak dostępu powietrza i krótki czas suszenia, zatem i krótszy czas działania wysokiej temperatury, suszone produkty odznaczają się wysoką jakością, zachowują wiele naturalnych składników i wyróżniają się chrupką strukturą [11]. Dlatego w ostatnim czasie ta metoda suszenia staje się alternatywą do suszenia liofilizacyjnego, które pod względem jakości suszy uznawane jest za wzorcowe, ale ze względu na długotrwałość procesu uchodzi za bardzo nieekonomiczne.

Celem pracy było zbadanie wpływu odwadniania osmotycznego i metod suszenia, takich jak suszenie konwekcyjne, mikrofalowo-konwekcyjne, mikrofalowo-próżniowe i liofilizacyjne, na właściwości fizykochemiczne suszy z topinamburu w aspekcie otrzymania przekąski warzywnej.

Material i metody badań

Przygotowanie materiału roślinnego i warunki wstępnego odwadniania osmotycznego

Materiał do badań stanowiły bulwy topinamburu zakupione w sklepie sieci Carrefour na terenie Warszawy. Surowiec (S) obierano ze skórki, myto, krojono w plastry o grubości 3 mm za pomocą krawalnicy do owoców i warzyw Robot Coupe CL 50 (Francja), a następnie moczone do 15 min w 0,5-procentowym roztworze kwasu cytrynowego celem zminimalizowania zmian barwy. Próbkę materiału poddawano wstępnemu odwadnianiu osmotycznemu (OD) w 60-procentowym roztworze sacharozy w temperaturze 50 °C przez 1 h. Następnie topinambur suszono czterema metodami, tj. konwekcyjnie, mikrofalowo-konwekcyjnie, mikrofalowo-próżniowo i liofilizacyjnie. Próby kontrolne stanowiły susze uzyskane bez wstępnego odwadniania osmotycznego.

Warunki suszenia przekąsek z topinamburu w suszarkach laboratoryjnych

Suszenie konwekcyjne (CD) prowadzono ze współprądowym przepływem powietrza 2 m/s o temperaturze 60 °C w laboratoryjnej suszarce konwekcyjnej dostępnej w Instytucie Nauk o Żywności SGGW w Warszawie. Suszenie mikrofalowo-konwekcyjne (MW-CD) prowadzono w suszarce konwekcyjnej wspomaganą mikrofalami firmy PROMIS- μ LAB, stosując moc mikrofal 220 W i maksymalną temperaturę 60 °C. Przepływ powietrza był prostopadły do warstwy materiału, a jego prędkość wynosiła około 3,5 m/s. Próbkę suszono również w suszarce mikrofalowo-próżniowej (VM) firmy PROMIS- μ LAB (FPP Promis, Polska), stosując cztery cykle suszenia i obniżone ciśnienie 5,0 kPa. Czas trwania każdego cyklu suszenia próbek odwadnianych w roztworze sacharozy wynosił 240 s, moc mikrofal była równa 240 W, z kolei czas suszenia próbek nieodwadnianych wynosił 300 s, a moc mikrofal – 300 W. Su-

szenie liofilizacyjne (FD) prowadzono po zamrożeniu próbek w zamrażarce szokowej z nawiewem powietrza o temperaturze $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ przez min 2 h. Zamrożone próbki suszono w liofilizatorze Alpha 1-4 LSC (Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Niemcy) przez 24 h przy temperaturze półek grzejnych $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ciśnieniu wewnątrz komory 63 Pa i ciśnieniu bezpieczeństwa 103 Pa.

Właściwości fizykochemiczne suszy

Oznaczenie zawartości suchej substancji

Oznaczenie zawartości suchej substancji próbek wykonano metodą suszarkową zgodnie z PN-90/A-75101/03 w temperaturze $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ do uzyskania stałej masy, w 2 powtórzeniach.

Oznaczenie aktywności wody

Aktywność wody zmierzono za pomocą AquaLab Series 3 (Meter, USA) w temperaturze pokojowej ($25\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$), w 2 powtórzeniach.

*Oznaczenie parametrów barwy $L^*a^*b^*$*

Dla każdego z analizowanych wariantów próbek wykonano pomiary barwy w 5 powtórzeniach metodą odbiciową w systemie CIE $L^*a^*b^*$ z wykorzystaniem kolorymetru firmy Konica-Minolta (typ CR 300, Japonia). Bezwzględną różnicę barwy ΔE suszy obliczono w odniesieniu do barwy surowca.

Oznaczenie zawartości polifenoli ogółem

Zawartość związków polifenolowych ogółem oznaczono metodą spektrofotometryczną z odczynnikiem Folina-Ciocalteu'a [12], polegającą na barwnej reakcji związków polifenolowych z tym odczynnikiem w środowisku zasadowym. Ekstrakcję związków fenolowych z surowca oraz prób suszonych wykonano za pomocą 80-procentowego etanolu. Obliczenia zawartości dokonano w oparciu o wzorzec kwasu galusowego (EKG).

Oznaczenie właściwości przeciwutleniających DPPH'

Właściwości przeciwutleniające jako stopień wygaszania wolnych rodników DPPH' przez zawarte w próbkach przeciwutleniacze określono za pomocą pomiaru absorbancji przy długości fali 515 nm. Objętość ekstraktu powodującą 50-procentową redukcję rodników DPPH' przeliczono względem zawartości suchej substancji. Efektywność wygaszania wolnych rodników przez badane susze wyrażono w formie współczynnika EC_{50} , określającego ilość suszu / świeżego topinamburu potrzebnego do 50-procentowej redukcji początkowego stężenia wolnych rodników DPPH'.

Analiza statystyczna

Wszystkie oznaczenia wykonano minimum w 2 lub 3 powtórzeniach. Wpływ obróbki osmotycznej i metody suszenia na właściwości suszy z topinamburu oceniono na podstawie jedno- i dwuczynnikowej analizy wariancji ANOVA oraz testu Tukeya przy poziomie istotności 0,05 w programie Statistica 13.3.

Wyniki i dyskusja

Aktywność wody, zawartość suchej substancji i ubytek masy

Aktywność wody wskazuje na możliwość rozwoju drobnoustrojów w żywności, które mogą wpływać negatywnie na jej jakość i bezpieczeństwo. Aktywność wody poniżej 0,60 zapewnia stabilność mikrobiologiczną żywności [19]. Wartości tego wskaźnika w próbkach topinamburu były zróżnicowane: od 0,982 w surowcu do $0,068 \div 0,487$ w suszach (tab. 1).

Aktywność wody wszystkich suszy była na poziomie poniżej 0,5, dlatego próbki te wykazywały bezpieczny poziom aktywności wody, tj. poniżej wartości progowej 0,6, przy której nie rozwija się większość drobnoustrojów [19]. Analiza statystyczna wykazała brak istotnego wpływu obróbki osmotycznej oraz istotny wpływ metody suszenia na aktywność wody otrzymanych suszy. Stwierdzono, że w porównaniu do wariantów tylko suszonych, w próbkach wstępnie odwadnianych aktywność wody była nieznacznie wyższa, z wyjątkiem próbki suszonej konwekcyjnie oraz odwadnianej osmotycznie a następnie suszonej konwekcyjnie (CD i CD-OD). Zmiany struktury zewnętrznej warstwy odwadnianego materiału wywołane plazmolizą komórek i nasywanie substancją osmotyczną stanowią istotną barierę dla usuwanej wody, a także mają istotny wpływ na aktywność wody podczas suszenia. Najniższymi wartościami charakteryzowały się próbki poddane liofilizacji, zarówno z obróbką osmotyczną, jak i bez, odpowiednio około 0,09 i 0,07. Ponadto nie stwierdzono różnic w aktywności wody topinamburu suszy konwekcyjnych (0,38) i mikrofalowo-próżniowych ($0,35 \div 0,40$). Istotnie wyższą aktywnością wody charakteryzowały się susze otrzymane metodą mikrofalowo-konwekcyjną ($0,46 \div 0,49$). Podobnie w badaniach Ciurzyńskiej i wsp. [1] – spośród użytych różnych metod suszenia najniższymi wartościami odznaczały się liofilizaty suszu z dyni. Marzec i wsp. [15] wykazali, że również liofilizaty wiśni cechowały się najniższą aktywnością wody w porównaniu do innych metod suszenia.

Analiza statystyczna nie wykazała istotnego wpływu wstępnej obróbki osmotycznej i metody suszenia na zawartość suchej substancji w suszach z topinamburu (tab. 1). W świeżych bulwach zawartość suchej substancji wynosiła około 12,4 %. W porównaniu do danych literaturowych [7] wartość ta była znacznie niższa. Różnica ta może być

Tabela 1. Zestawienie aktywności wody, zawartości suchej substancji i ubytku masy w surowcu i suszach z topinamburu.

Table 1. The list of water activity, dry matter content and mass loss in raw material and dried Jerusalem artichoke samples.

Kod/objaśnienie Code / explanation	Aktywność wody / Water activity [-]	Zawartość suchej substancji / Dry matter content [%]	Ubytek masy Mass loss [%]
S – surowiec /raw material	0,982 ± 0,001	12,43 ± 0,09	-
CD - suszenie konwekcyjne / convection drying,	0,381 ^B ± 0,005	86,68 ± 0,03	75,80 ± 0,08
CD_OD - suszenie konwekcyjne po odwadnianiu osmotycznym / convection drying after osmotic dehydration	0,377 ^B ± 0,003	92,48 ± 0,00	73,61 ± 0,02
VM - suszenie mikofalowo- próżniowe / microwave-vacuum drying	0,347 ^B ± 0,002	98,10 ± 0,00	80,40 ± 0,02
VM_OD - suszenie mikofalowo- próżniowe po odwadnianiu osmotycznym / microwave-vacuum drying after osmotic dehydration	0,396 ^B ± 0,001	92,23 ± 0,03	77,15 ± 0,03
MW-CD suszenie mikofalowo- konwekcyjne / microwave-convection drying	0,463 ^C ± 0,001	87,98 ± 0,06	80,95 ± 0,02
MW-CD_OD - suszenie mikofalowo-konwekcyjne po odwadnianiu osmotycznym / microwave-convection drying after osmotic dehydration	0,487 ^C ± 0,001	89,47 ± 0,03	81,16 ± 0,03
FD suszenie liofilizacyjne / freeze- drying	0,068 ^A ± 0,001	98,95 ± 0,01	82,98 ± 0,02
FD_OD- suszenie liofilizacyjne po odwadnianiu osmotycznym/ freeze- drying after osmotic dehydration	0,091 ^A ± 0,001	98,26 ± 0,00	77,82 ± 0,10

Objaśnienia:/ Explanatory notes:

Oznaczenia w kolumnach a, b (wpływ obróbki wstępnej) i A, B (wpływ metody suszenia) dotyczą grup homogenicznych przy poziomie istotności 0,05. Gdy wszystkie dane znalazły się tylko w jednej grupie homogenicznej a lub A, pominięto oznaczenia literowe.

The notations in columns a, b (the effect of pre-treatment) and A, B (the effect of a drying method) apply to homogeneous groups at a significance level of 0.05. When all the data was in only one homogeneous group a or A, letters have been omitted.

efektem zróżnicowanego stopnia dojrzałości surowca, odmiany i warunków uprawy [6]. W wyniku przeprowadzonej obróbki wstępnej oraz suszenia zaobserwowano wzrost zawartości suchej substancji. Susze liofilizowane, charakteryzowały się najwyższą zawartością suchej substancji w porównaniu do pozostałych suszy (98,3 ÷ 98,9 %). Najniższe wartości stwierdzono w topinamburze suszonym konwek-

cyjnie bez obróbki wstępnej, co mogło być spowodowane niedostatecznym dosuszeniem próbek. Podobnie Lentas i wsp. [14] otrzymali wyższą zawartość suchej substancji w liofilizowanych pieczarkach (95 ÷ 96 %) niż w suszach mikrofalowo-konwekcyjnych (85 ÷ 89 %). Porównując suszenie liofilizacyjne z innymi metodami suszenia warto podkreślić, że proces ten pozwala uzyskać produkty o wilgotności poniżej 1 % [5]. Wynika to ze specyfiki tego procesu. Tak skuteczne usuwanie wody prowadzone jest w warunkach obniżonego ciśnienia i opiera się na wykorzystaniu zjawiska sublimacji z uprzednio zamrożonego materiału z całej objętości próbki. Ponadto w kolejnym etapie dosuszania, zwanym desorpcyjnym, następuje usuwanie wody silnie związanej (chemicznie), która nie uległa zamrożeniu [9].

W wyniku odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozy oraz suszenia nastąpił ubytek masy w suszonych przekąskach z topinamburu (tab. 1). Analiza statystyczna wykazała brak istotnego wpływu obróbki wstępnej i metody suszenia na zmiany tego wskaźnika. Wartości mieściły się w zakresie od 73,61 dla próbek otrzymanych metodą osmotyczno-konwekcyjną do 82,98 % w próbkach poddanych suszeniu sublimacyjnemu bez wstępnej obróbki. W większości suszy, które przed suszeniem były poddane obróbce wstępnej, obserwowano nieznacznie mniejszy ubytek masy. Podobnie Dusza i Hara [2] wykazali, że większy ubytek masy w owocach kiwi był w przypadku tych, które nie poddano wstępnej obróbce osmotycznej.

Ocena barwy suszy

Jednym z ważniejszych parametrów określających barwę żywności jest jasność jej barwy (L^*). Wszystkie otrzymane susze, zarówno z zastosowaniem obróbki osmotycznej jak i bez niej, wykazywały jaśniejszą barwę w porównaniu do barwy świeżego topinamburu (tab. 2, rys. 1). Pomimo braku istotnego wpływu obróbki wstępnej i metody suszenia nieznacznie większą jasnością barwy charakteryzowały się susze liofilizowane, $L^* = 87,1$, w tym po obróbce osmotycznej, $L^* = 83,9$. Nieznacznie ciemniejszą barwą odznaczały się susze otrzymane metodą mikrofalowo-konwekcyjną po wstępnym odwadnianiu osmotycznym (około 69,5), osiągając tym samym wartość najbardziej zbliżoną do próby świeżej (około 67,2). Piotrowski i wsp. [20], badając wpływ odwadniania osmotycznego na barwę truskawek poddanych liofilizacji, stwierdzili że w większości przypadków obróbka ta wpłynęła na podniesienie jasności barwy otrzymanych suszy.

Parametr barwy a^* przyjmował mało zróżnicowane wartości (0,2 ÷ 1,3) w suszach z topinamburu (tab. 2) i w porównaniu z barwą surowca (około 1,1). Analiza statystyczna nie wykazała istotnego wpływu obróbki wstępnej i metody suszenia na parametr barwy a^* suszy. Wartości a^* wszystkich próbek były dodatnie, co oznacza udział barwy czerwonej. Nieznacznie wyższe wartości (około 1,3) obserwowano

w suszach poddanych liofilizacji po wstępnej obróbce osmotycznej, a niższe – w suszonych przy użyciu mikrofal bez obróbki wstępnej (około 0,2).

Tabela 2. Zestawienie parametrów barwy surowca i suszonego topinamburu.

Table 2. List of color parameters for raw material and dried Jerusalem artichoke.

Kod/objaśnienie Code / explanation	Parametry barwy L*, a*, b* i bezwzględna różnica barwy ΔE Color parameters L*, a*, b* and absolute color difference ΔE			
	L*	a*	b*	ΔE
S – surowiec /raw material	67,24 ± 4,07	1,05 ± 0,14	5,38 ± 0,84	-
CD - suszenie konwekcyjne / convection drying	73,65 ± 4,56	0,46 ± 0,43	11,40 ^{AB} ± 1,52	9,41 ^A
CD_OD - suszenie konwekcyjne po odwadnianiu osmotycznym / convection drying after osmotic dehydration	76,15 ± 1,14	0,92 ± 0,03	12,31 ^{AB} ± 0,13	12,23 ^A
VM - suszenie mikrofalowo-próżniowe / microwave-vacuum drying	71,28 ± 7,13	0,23 ± 0,22	12,84 ^B ± 2,97	9,04 ^A
VM_OD - suszenie mikrofalowo-próżniowe po odwadnianiu osmotycznym / microwave-vacuum drying after osmotic dehydration	74,38 ± 2,97	0,38 ± 0,80	14,79 ^B ± 1,53	12,57 ^A
MW-CD suszenie mikrofalowo-konwekcyjne / microwave-convection drying	70,18 ± 5,12	0,24 ± 0,47	15,44 ^B ± 4,32	11,86 ^A
MW-CD_OD - suszenie mikrofalowo-konwekcyjne po odwadnianiu osmotycznym / microwave-convection drying after osmotic dehydration	69,54 ± 4,32	0,69 ± 0,87	14,58 ^B ± 2,11	10,08 ^A
FD suszenie liofilizacyjne / freeze-drying	87,13 ± 2,51	0,63 ± 0,05	7,96 ^A ± 0,42	20,15 ^B
FD_OD- suszenie liofilizacyjne po odwadnianiu osmotycznym / freeze-drying after osmotic dehydration	83,94 ± 1,41	1,26 ± 0,16	8,15 ^A ± 0,34	17,12 ^B

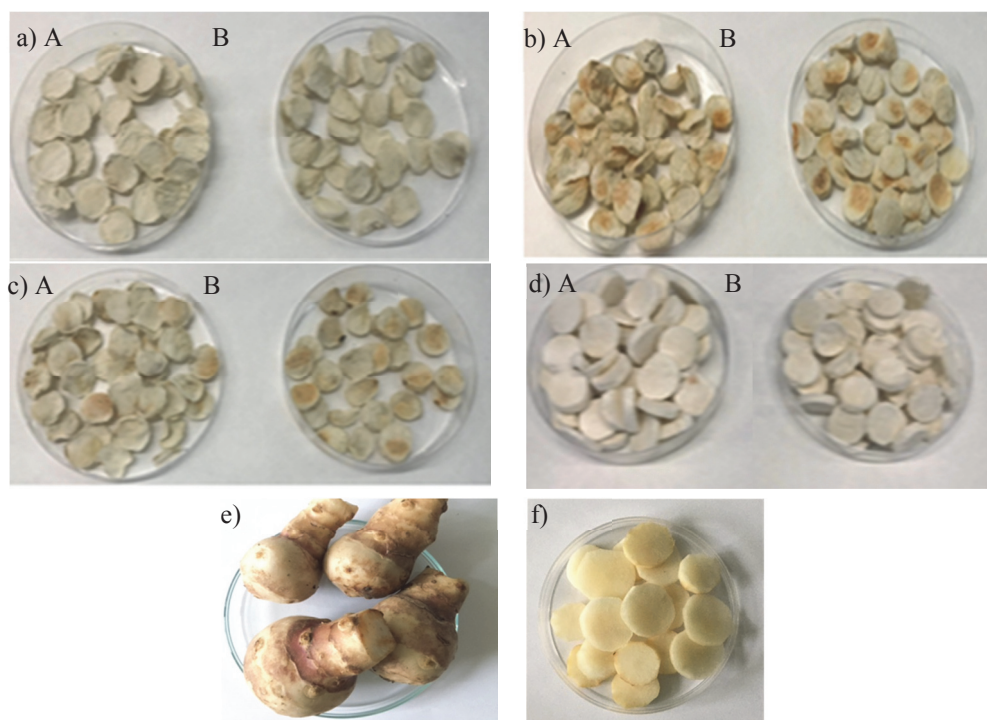
Objaśnienia:/ Explanatory notes:

Oznaczenia w kolumnach a, b (wpływ obróbki wstępnej) i A, B (wpływ metody suszenia) dotyczą grup homogenicznych przy poziomie istotności 0,05. Gdy wszystkie dane znalazły się tylko w jednej grupie homogenicznej a lub A, pominięto oznaczenia literowe.

The notations in columns a, b (the effect of pre-treatment) and A, B (the effect of a drying method) apply to homogeneous groups at a significance level of 0.05. When all the data was in only one homogeneous group a or A, letters have been omitted.

Wartości parametru barwy b* w surowcu i wszystkich suszach były dodatnie, co dotyczy udziału barwy żółtej (rys. 1). Analiza statystyczna wykazała brak wpływu obróbki osmotycznej, ale istotny wpływ metody suszenia na parametr barwy b*. Obserwowano niewielkie zwiększenie udziału barwy żółtej w większości suszy podda-

nych wstępnej obróbce osmotycznej. Podczas badania wpływu odwadniania osmotycznego na barwę suszonych truskawek Ciurzyńska i wsp. [1] wykazali, że wyższym udziałem barwy żółtej charakteryzowały się susze niepoddane wstępnej obróbce osmotycznej. Istotnie wyższe wartości parametru b^* zaobserwowano w suszach otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną. Wynosiły około 14,6 oraz 15,4, odpowiednio: w suszu z obróbką osmotyczną i bez niej. Nieznacznie niższe wartości (12,8 i 14,8) stwierdzono w suszach mikrofalowo-próżniowych. W porównaniu z innymi metodami suszenia, susze otrzymane metodą liofilizacji ze wstępnym odwadnianiem i bez niego odznaczały się najniższymi wartościami parametru barwy b^* ($8,0 \div 8,1$). Jednocześnie były to wartości najbardziej zbliżone do wartości tego parametru w surowcu.



Rys. 1. Susze z topinamburu otrzymane metodą: a) konwekcyjną, b) mikrofalowo-próżniową, c) mikrofalowo-konwekcyjną, d) liofilizacyjną. A i B – oznacza odpowiednio: susze bez obróbki osmotycznej i z nią; e), f) surowiec.

Fig. 1. Dried Jerusalem artichoke obtained by: a) convection, b) microwave-vacuum, c) microwave-convection, d) freeze-drying method. A and B – mean dried samples without and with osmotic treatment, respectively; e), f) raw material.

Wartości bezwzględnej różnicy barwy (ΔE), obliczone w odniesieniu do parametrów barwy świeżego topinamburu przedstawiono w tabeli 2. Wartość tego wskaźnika we wszystkich suszach była wysoka ($9,0 \div 20,2$), co wynika ze znacznej różnicy wartości parametrów barwy prób suszonych w odniesieniu do surowca (rys. 1). Analiza statystyczna wykazała brak wpływu obróbki osmotycznej, ale istotny wpływ metody suszenia na wartość ΔE . Najmniejsze różnice barwy (około 9,0) odnotowano dla suszu mikrofalowo-próżniowego bez obróbki osmotycznej (tab. 2). Istotnie wyższymi wartościami ΔE charakteryzowały się susze liofilizacyjne (około $17,1 \div 20,2$), ze wstępną obróbką osmotyczną i bez niej.

Bezwzględna różnica barwy pozostałych suszy nie różniła się istotnie, mieściła się w zakresie $9,05 \div 12,57$. Natomiast Zalewska i wsp. [24], badając barwę suszonych kiwi i bananów udowodnili, że barwa suszy liofilizowanych w mniejszym stopniu różni się od barwy świeżych owoców, a otrzymane przez nich wartości ΔE wynosiły odpowiednio 6,6 i 9,3 dla suszy liofilizowanych oraz 11,5 i 44,3 – dla suszonych konwekcyjnie.

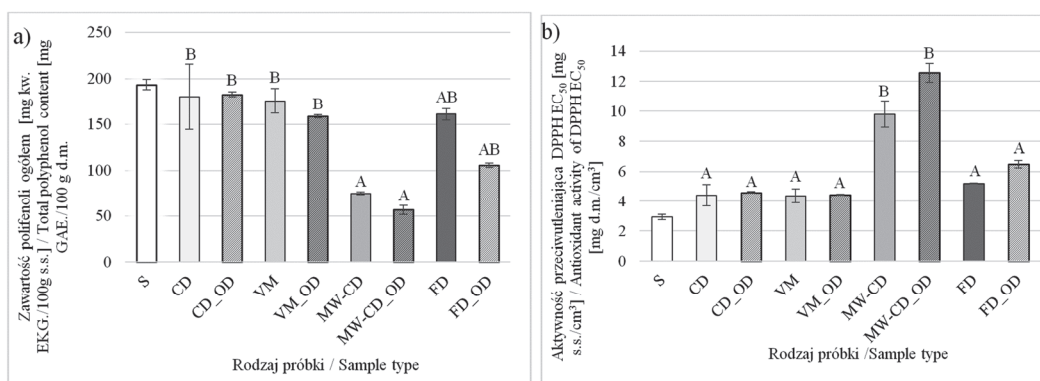
Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca suszy

Zawartość związków przeciwutleniających w surowcach roślinnych jest pożądana, a produkty je zawierające uznaje się za prozdrowotne. Zawartość tych związków jest różna, w zależności od rodzaju, odmiany i części rośliny, sposobu uprawy, a także metod przetwarzania [4]. Wysoka aktywność przeciwutleniająca produktów pochodzenia roślinnego po różnego rodzaju obróbkach jest trudna do zachowania [18].

Zawartość polifenoli ogółem w świeżym topinamburze wynosiła około 193,5 mg kw. EKG/100 g s.s. (rys. 2a). Należy podkreślić, że są one dość stabilne w tym surowcu. Mu i wsp. [16] wykazali ich dużą stabilność podczas przechowywania topinamburu w temperaturach od 0 do -18°C przez 60 dni. Ponadto stwierdzili, że w topinamburze przechowywanym w temperaturze -5 i -18°C całkowita zawartość polifenoli istotnie wzrosła. Zaobserwowano, że zastosowanie odwadniania osmotycznego jako obróbki wstępnej przed suszeniem spowodowało uzyskanie w suszach zróżnicowanych zawartości polifenoli ogółem, jakkolwiek nieistotnych statystycznie. W suszu konwekcyjnym ich zawartość była o około 2 % większa, a w pozostałych suszach – o $10 \div 34$ % niższa.

Obniżenie zawartości polifenoli wskutek wstępnego odwadniania osmotycznego w większości suszy może być spowodowane migracją tych związków do roztworu osmotycznego, ale też innymi czynnikami. W niektórych przypadkach działanie podwyższonej temperatury może powodować zwiększenie zawartości niektórych związków polifenolowych przy utracie innych, co udowodnili Kowalska i wsp. [12], badając zawartość polifenoli ogółem w naparach wodnych liści krzewu herbacianego i różnych rodzajów herbat, w zależności od parametrów zaparzania. Badaniem wpływu odwad-

niania osmotycznego jabłek w roztworze sacharozy na zawartość polifenoli zajmowali się Kowalska i wsp. [10]. Dowiedli oni, że osmotyczne odwadnianie powodowało obniżenie zawartości polifenoli w jabłkach – tym większe, im dłużej trwał ten proces. Odwadnianie jabłek w roztworze sacharozy przez 120 minut w temperaturze 30 i 45 °C prowadziło do zmniejszenia zawartości polifenoli odpowiednio o 25 i 30 %, a po 240 min – o 36 ÷ 37 %. Przypuszcza się, że było to spowodowane utratą związków polifenolowych, które przenikały z wodą do roztworu osmotycznego.



Rys. 2. Wpływ obróbki wstępnej i metody suszenia na: a) zawartość polifenoli ogółem i b) aktywność przeciwutleniającą DPPH surowca S i suszy z topinamburu. Oznaczenia a, b (wpływ obróbki osmotycznej) i A, B, C (wpływ metody suszenia) dotyczą grup homogenicznych przy poziomie istotności 0,05. Gdy wszystkie dane znalazły się tylko w jednej grupie homogenicznej a lub A, pominięto oznaczenia literowe.

Fig. 2. The effect of pre-treatment and a drying method on: a) the total polyphenol content, b) DPPH antioxidant activity of raw material S and dried Jerusalem artichoke. The notations a, b (the effect of osmotic treatment) and A, B, C (the effect of a drying method) refer to homogeneous groups at a significance level of 0.05. When all the data was in only one homogeneous group a or A, letters have been omitted.

Analiza statystyczna wykazała, że dobór metody suszenia miał istotny wpływ na zawartość polifenoli w suszach z topinamburu (rys. 2a). W porównaniu z topinamburem świeżym stwierdzono nieznacznie mniejszą, od około 7 % zawartość polifenoli w suszach odwadnianych osmotycznie i suszonych konwekcyjnie do ponad 3-krotnie niższych, jak w przypadku suszy wytworzonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną z obróbką osmotyczną. Najwyższą zawartością polifenoli odznaczały się susze konwekcyjne, zarówno poddane wstępnemu odwadnianiu osmotycznemu, jak i bez obróbki (180,1 ÷ 182,7 mg EKG/100 g s.s.). Nieznacznie niższą zawartością polifenoli (158,8 ÷ 175,6 mg EKG/100 g s.s.) charakteryzowały się susze otrzymane metodą mikrofalowo-próżniową. Zauważalnie niższą zawartością polifenoli w porównaniu do prób suszonych konwekcyjnie i mikrofalowo-próżniowo stanowiących jedną grupę

homogeniczną, odznaczały się próby suszone mikrofalowo-konwekcyjnie, zarówno odwadniane, jak i nieodwadniane osmotycznie, osiągając odpowiednio około 57,2 i 72,9 mg EKG/100 g s.s. Zawartość polifenoli w suszach uzyskanych metodą liofilizacji (105,9 ÷ 160,9 mg EKG/100 g s.s.) nie różniła się statystycznie istotnie od ilości w pozostałych suszach. Jednakże w porównaniu z próbkami wstępnie odwadnianymi osmotycznie, próbki nieodwadniane zachowały o 52 % więcej polifenoli. Powyższe wyniki, zwłaszcza odnośnie zachowania związków w suszach konwekcyjnych, nie są łatwe do wyjaśnienia, dlatego wymagają prowadzenia kolejnych badań. Prawdopodobnie podczas suszenia CD mogły tworzyć się produkty reakcji Maillarda, które mogły spowodować zawyżenie wyników zawartości związków fenolowych oznaczanych metodą Folina-Ciocalteu. Zrozumiałe są niższe zawartości polifenoli w suszach mikrofalowo-konwekcyjnych, które poddano działaniu mikrofal w znacznie dłuższym czasie niż w suszach mikrofalowo-próżniowych.

Świeży topinambur charakteryzował się wysoką aktywnością przeciwutleniającą (rys. 2b), a stężenie ekstraktu, przy którym następowało 50 % wygaszenia rodnika DPPH wynosiło około 2,95 mg s.s./cm³. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic między wartościami tego wskaźnika w suszach poddanych i niepoddanych wstępnej obróbce osmotycznej. Stwierdzono natomiast istotny wpływ metody suszenia na aktywność przeciwutleniającą suszonego topinamburu. Topinambur suszony metodą mikrofalowo-próżniową charakteryzował się najbardziej zbliżoną do surowca aktywnością przeciwutleniającą, około 4,37 mg s.s./cm³. Korzystne okazało się suszenie mikrofalowo-próżniowe i konwekcyjne. W suszach uzyskanych tymi metodami aktywność przeciwutleniająca, w tym w próbkach wstępnie odwadnianych, mieściła się odpowiednio w zakresie 4,37 ÷ 4,44 i 4,42 ÷ 4,60 mg s.s./cm³. Aktywność przeciwutleniająca suszy liofilizacyjnych bez obróbki wstępnej kształtowała się na poziomie 5,21 mg s.s./cm³ oraz 6,48 mg s.s./cm³ dla suszy wstępnie odwadnianych. Najmniej korzystne okazało się suszenie mikrofalowo-konwekcyjne, zwłaszcza przy zastosowaniu wstępnej obróbki osmotycznej; uzyskane wartości EC50 mieściły się w zakresie 9,81 ÷ 12,58 mg s.s./cm³. Ponadto w przypadku suszy otrzymanych metodą mikrofalowo-próżniową i konwekcyjną bez obróbki wartości tego wskaźnika były porównywalne ze wstępnie odwadnianymi, natomiast w przypadku liofilizatów i suszy mikrofalowo-konwekcyjnych obróbka osmotyczna wpłynęła na obniżenie aktywności przeciwutleniającej o 24 ÷ 28 %.

Nowacka i wsp. [18], badając wpływ procesów technologicznych na aktywność przeciwutleniającą jabłek, zastosowali suszenie konwekcyjne, promiennikowe, mikrofalowe i liofilizacyjne. Wykazali, że suszenie spowodowało spadek aktywności przeciwutleniającej odpowiednio o 51, 38, 33 oraz 7 %. Z ich obserwacji wynikało, że metoda konwekcyjna była najmniej korzystna, co mogło być spowodowane najdłuższym czasem trwania procesu.

Zaobserwowano, że siła aktywności przeciwutleniającej zależy od rodzaju ekstraktu, a także od części rośliny, z której pozyskuje się ekstrakt. Nizioł-Łukaszewska i wsp. [17] badali zdolność do wymiatania rodników DPPH w ekstraktach z bulw i liści topinamburu o różnych stężeniach. Wykazali, że aktywność przeciwutleniająca wzrastała w sposób zależny od stężenia ekstraktu. Ponadto zauważyli, że w każdym z analizowanych stężeń ekstraktów z liści występowało ponad 40-procentowe zahamowanie rodnika DPPH, a tylko najwyższe stężenie ekstraktu z bulw wykazywało podobną aktywność. Przyczyną istotnie mniejszej zdolności do wymiatania wolnych rodników z ekstraktu z bulw, w porównaniu do ekstraktu z liści, może być różnica w zawartości flawonoidów.

Wnioski

1. Wzrastająca świadomość konsumentów i oczekiwania związane z jakością i zdrowotnością żywności, w tym dla osób mających różne problemy zdrowotne, wskazują na potrzebę poszukiwania nowych kierunków w produkcji żywności, jak suszone przekąski z topinamburu.
2. Wstępna obróbka osmotyczna topinamburu w roztworze sacharozy przed suszeniem nie wykazała istotnego wpływu na badane właściwości fizykochemiczne suszonych przekąsek. Większe znaczenie miała metoda suszenia.
3. Wszystkie susze uzyskały wymaganą aktywność wody, poniżej 0,6. Najniższą aktywność wody osiągnięto przy zastosowaniu liofilizacji ($0,07 \div 0,09$). Barwa suszy uległa znaczącym zmianom w porównaniu do barwy surowca. Największe różnice barwy dotyczyły suszu liofilizowanego, które miały znacznie jaśniejszą barwę niż barwa surowca i pozostałe susze.
4. Wstępna obróbka osmotyczna przed suszeniem topinamburu powodowała zmniejszenie zawartości polifenoli ogółem. Próbki odwadniane osmotycznie i suszone mikrofalowo-konwekcyjne charakteryzowały się najmniejszą zawartością polifenoli (57 mg EKG/100 g s.s.), o około 24 % mniej w porównaniu do próbki suszonej mikrofalowo-konwekcyjnie bez wstępnego odwadniania oraz około 3,5-krotnie mniej niż w surowcu. Wysokie wartości ($176 \div 183$ mg EKG/100 g s.s.) stwierdzono w suszach konwekcyjnych i mikrofalowo-próżniowych.
5. Suszenie topinamburu metodą mikrofalowo-próżniową i konwekcyjną pozwoliło na otrzymanie produktu o zbliżonej aktywności przeciwutleniającej, które nie odbiegało znacząco od aktywności świeżego topinamburu.
6. Suszenie mikrofalowo-próżniowe, odznaczające się stosunkowo krótkim czasem suszenia i umożliwiające zachowanie związków polifenolowych i wysokiej aktywności przeciwutleniającej, można uznać za odpowiednie do wytwarzania przekąsek z topinamburu w skali laboratoryjnej.

Literatura

- [1] Ciurzyńska A., Lenart A.: Wpływ blanszowania i sposobu mrożenia na wybrane właściwości liofilizowanej dyni. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2013, 2(87), 150-161.
- [2] Dusza M., Hara P.: Ocena wybranych cech jakości suszonych owoców kiwi wstępnie odwadnianych osmotycznie. *J. Food Engin.*, 2018, 3(27), 20-26.
- [3] Ermosh L., Safronova T., Prisuina N.: Features of biotechnological processes of bread production enriched with inulin-containing raw materials. *Earth Environ. Sci.*, 2020, 421(1), 1-7.
- [4] Fabisiak A, Sheng L., Stawczyk J., Witrowa-Rajchert D.: Wpływ metody i temperatury suszenia jabłek na aktywność przeciwutleniającą otrzymanych z nich ekstraktów. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, 2(43), 318-327.
- [5] Gaidhani K. A., Harwalkar M., Bhambere D., Nirgude P. S.: Lyophilization/Freeze Drying- A review. *World J. Pharm. Res.*, 2015, 4(8), 516-543.
- [6] Hallmann E., Orpel E., Rembiałkowska E.: The content of biologically active compounds in some fruits from natural state. *J. Fruit Ornament. Plant Res.*, 2011, 75(1), 81-90.
- [7] Horochowska M., Kolaczek E., Zdrojewicz Z., Jagiełło J., Pawlus K.: Topinambour – nutritional and medical properties of the Jerusalem artichoke. *Pediatr. Endocrinol. Diabetes Metab.*, 2017, 23(1), 30-36.
- [8] Janowicz M., Kowalska H., Lenart A.: Przyszłość przekąsek owocowych i warzywnych. *Przem. Ferment Owoc.-Warz.*, 2012, 56(2), 9-11.
- [9] Kondratowicz J., Burczyk E.: Technologiczne aspekty procesu liofilizacji. *Chłodnictwo: Organ Naczelnej Organizacji Technicznej*, 2010, 4(45), 54-59.
- [10] Kowalska H., Czajkowska K., Cichowska J., Skarżyńska K.: Zastosowanie odwadniania osmotycznego w produkcji żywności mało przetworzonej. *Postępy Techniki Przet. Spoż.*, 2016, 1, 87-99.
- [11] Kowalska H., Marzec A., Kowalska J., Trych U., Masiarz E., Lenart A.: The use of a hybrid drying method with pre-osmotic treatment in strawberry bio-snack technology. *Int. J. Food Engin.*, 2020, 16(1-2), 80318-80319.
- [12] Kowalska J., Marzec A., Domian E., Galus S., Ciurzyńska A., Rita Brzezińska, Kowalska H.: Influence of tea brewing parameters on the antioxidant potential of infusions and extracts depending on the degree of processing of the leaves of *Camellia sinensis*. *Molecules*, 2021, 26(16), 4773.
- [13] Krygier K., Florowska A. Żywność funkcjonalna obecnie i w przyszłości. *Przem. Spoż.*, 2008, 62(5), 2-5.
- [14] Lentas K., Witrowa-Rajchert D., Hankus M.: Wpływ parametrów blanszowania oraz metody suszenia na właściwości mechaniczne suszonych pieczarek. *Acta Agrophys.*, 2014, 17(2), 359-368.
- [15] Marzec A., Kowalska H., Ołdak B.: Wpływ techniki suszenia wiśni na właściwości teksturalne suszu oceniane metodą akustyczną i mechaniczną. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2013, 4(89), 210-221.
- [16] Mu Y., Gao W., Lv S., Li F., Lu Y., Zhao C.: The antioxidant capacity and antioxidant system of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers in relation to inulin during storage at different low temperatures. *Ind. Crops Prod.*, 2021, 161, 113229.
- [17] Nizioł-Lukaszewska, Z., Furman-Toczek, D., Zagórska-Dziok, M., Bujak, T.: Wpływ metody ekstrakcji na właściwości ekstraktów bulw karczocha jerozolimskiego (*Helianthus tuberosus* L.). *Przem. Chem.*, 2018, 97 (11), 1873-1877.
- [18] Nowacka M., Witrowa-Rajchert D., Ruła J.: Wpływ procesów technologicznych na aktywność przeciwutleniającą i zawartość polifenoli w tkance jabłka. *Postępy Techniki Przet. Spoż.*, 2011, 2, 12-15.
- [19] Pałacha Z., Mazur P. 2019: Analiza aktywności wody w wybranych produktach owocowych. *Postępy Techniki Przet. Spoż.*, 2019, 1, 18-22.
- [20] Piotrowski D.: Wpływ ciśnienia i temperatury na przebieg suszenia próżniowego truskawek i ich wybrane właściwości. *Rozpr. naukowe i monografie. Wyd. SGGW*, 2009. Warszawa.

- [21] Shariati M., Khan M., Hleba L., Krebs de Souza C., Tokhtarov Z., Terentev S., Konovalov S., Arduvanova F., Batishcheva N., Shigapov I., Ekaterina S., Kantimerova M.: Topinambur (The Jerusalem Artichoke) - Nutritional value and its application in food products. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.*, 2021, 10(6), 1-8.
- [22] Szewczyk A., Zagaja M., Bryda J., Kosikowska U., Stępień-Pyśniak D., Winiarczyk S., Andres-Mach M.: New possibilities for use in a supplementation diet. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 2019, 26, 24-28.
- [23] Tarko T., Duda-Chodak A., Semik-Szczurak D.: The use of fruit extracts for production of apple chips with enhanced antioxidant activity. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 2017, 68(2), 161-165.
- [24] Zalewska M., Otręszko-Arski A., Zalewski M.: Wpływ suszenia konwekcyjnego i liofilizacji na barwę wybranych owoców. *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna*, 2016, 21(3), 141-145.
- [25] Zhu Y., Guo L., Tang W., Yang Q.: Beneficial effects of Jerusalem artichoke powder and olive oil as animal fat replacers and natural healthy compound sources in Harbin dry sausages. *Poult. Sci.*, 2020, 99(12), 7147-7158.

SHAPING PROPERTIES OF *HELLANTHUS TUBEROSUS* L. JERUSALEM ARTICHOKE TOPINAMBU SNACK PRODUCED BY OSMOTIC DEHYDRATION AND DRYING METHODS

S u m m a r y

Background. Growing consumer awareness of food consumption and expectations related to its quality and health of food in a daily diet, including for people with various health problems, point to the need to look for new directions in food production, such as dried Jerusalem artichoke snacks. The aim of the work was to examine the effect of osmotic dehydration and drying methods on the selected properties of dried Jerusalem artichoke. The research material comprised Jerusalem artichoke tubers. Fresh Jerusalem artichoke, initially dehydrated in an osmotic dehydration process in 60 % sucrose solution at 50 °C for 1 h, was dried by means of convection, microwave-convection, microwave-vacuum and freeze-drying.

Results and conclusion. Freeze-dried samples, both with and without pre-treatment, reached the lowest value of water activity. At the same time, they were characterized by the highest content of dry matter. Compared to the raw material, the dehydration and drying of Jerusalem artichoke reduced the total polyphenol content and antioxidant activity. High values of both indices ($176 \div 183$ mg GAE/100 g d.m./ $EC_{50} = 4.4 \div 4.6$ mg d.m./cm³), slightly lower than in the raw material, were found in convective and microwave-vacuum dried samples. Using osmotic dehydration and selecting a method of drying Jerusalem artichoke allows to shape the properties of the obtained dried snacks with health-promoting properties. Microwave-vacuum drying proved to be particularly useful, mainly due to the short time of the process and the preservation of polyphenolic compounds and high antioxidant activity compared to freeze-dried products, considered to be a standard.

Key words: drying, osmotic dehydration, polyphenols, antioxidant activity, Jerusalem artichoke ☒