

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE PROSZKÓW OTRZYMANÝCH METODĄ
SUSZENIA ROZPYŁOWEGO MODELOWYCH ROZTWORÓW GLUKOZY,
FRUKTOZY I ICH MIESZANIN

Aleksandra Jedlińska, Katarzyna Samborska, Dorota Witrowa-Rajchert

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności, SGGW
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa
e-mail: aleksandra_jedlinska@sggw.pl

Streszczenie. Celem pracy było wysuszenie roztworów modelowych glukozy, fruktozy i ich mieszanin oraz zbadanie właściwości fizycznych otrzymanych proszków. Roztwory suszono metodą rozpyłową z dodatkiem maltodekstryny (stężenie roztworów 20, 30 i 40% s.s.). W otrzymanych proszkach określono: zawartość wody, aktywność wody, gęstość nasypową luźną i utręszoną, gęstość pozorną, sypkość oraz zwilżalność. W celu określenia wielkości cząstek proszków wykonano zdjęcia mikroskopowe. Stwierdzono, że wśród zastosowanych roztworów modelowych najgorszymi właściwościami suszarniczymi charakteryzuje się fruktoza. Prawidłowe suszenie jej roztworu możliwe było tylko przy stężeniu 20%. Zawartość wody i aktywność wody w otrzymanych proszkach zależała od stężenia roztworu, wykazując większe wartości przy większych stężeniach. Największą gęstością nasypową charakteryzowały się proszki otrzymane z roztworów 40%-owych. Otrzymane proszki charakteryzowały się dobrą i średnią sypkością oraz błyskawiczną rozpuszczalnością

Słowa kluczowe: suszenie rozpyłowe, glukoza, fruktoza, maltodekstryna, właściwości fizyczne

WSTĘP

Szybkie tempo życia konsumentów przyczyniło się do zwiększenia zapotrzebowania na żywność wygodną, o przedłużonej przydatności. Proszki spożywcze, uzyskane m.in. przez suszenie rozpyłowe, mogą wchodzić w skład koncentratów spożywczych, produktów uzupełniających dietę, czy stanowić półprodukt w produkcji przemysłowej. Zalety produktów w postaci sproszkowanej to m.in. wygoda dozowania, transportu, wydłużenie okresu przydatności do spożycia, zmniejszenie powierzchni przechowywania (Zheng-Wei i in. 2008, Janiszewska i in. 2008). Niestety, wysuszenie wielu produktów, takich jak soki owocowe czy miód

jest utrudnione, ze względu na wysoką zawartość cukrów prostych, charakteryzujących się niską temperaturą przemiany szklistej. Szybkie odparowanie wody podczas suszenia rozpyłowego prowadzi do powstania proszków o postaci amorficznej. W przypadku produktów o wysokiej zawartości cukrów prostych temperatura materiału w czasie suszenia jest wyższa, niż temperatura przemiany szklistej. W efekcie materiał występuje w formie struktury gumiastej, o dużych siłach kohezji między cząsteczkami i dużych siłach adhezji między cząstkami, a ścianami suszarki. Produkt przykleja się do ścian suszarki i przypala się, w wyniku działania podwyższonej temperatury (Truong i in. 2005, Wang i Langrish 2009). A zatem, wysuszenie metodą rozpyłową produktów bogatych w cukry o małej masie cząsteczkowej, wykazujących niską temperaturę przemiany szklistej, jest w zasadzie niemożliwe. Problem można rozwiązać obniżając temperaturę suszenia lub stosując dodatek substancji o wysokiej temperaturze przemiany szklistej, np. maltodekstryny (Pałacha i Sitkiewicz 2008).

Badania prowadzone w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji SGGW w Warszawie, dotyczące otrzymania proszku metodą suszenia rozpyłowego, zawierającego w swym składzie jak największą zawartość naturalnego miodu, skłoniły autorów do podjęcia badań modelowych, w których poddano suszeniu roztwory glukozy, fruktozy, jako głównych cukrów prostych, wchodzących w skład miodu i maltodekstryny, jako substancji nośnikowej. Celem pracy było zbadanie warunków suszenia rozpyłowego roztworów glukozy, fruktozy i maltodekstryny oraz właściwości uzyskanych proszków.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach wykorzystano maltodekstrynę niskoscukrzoną, wyprodukowaną przez Krochmalnię Łomża. Zawartość grup redukujących odpowiadała zawartości 9% glukozy (DE 9). Do sporządzania roztworów stosowano fruktozę firmy Hortimex z Konina oraz glukozę wyprodukowaną przez Amylum Bulgaria Ead.

Suszeniu poddawano roztwory o 20, 30 i 40%-owej zawartości suchej substancji, w których stosunek cukrów prostych (glukozy, fruktozy lub ich mieszaniny) do maltodekstryny wynosił 1:2. Suszeniu poddawano próby o masie 600 g. W tabeli 1 przedstawiono skład roztworów poddawanych suszeniu oraz temperatury powietrza wylotowego.

Suszenie przeprowadzano w suszarce laboratoryjnej Anhydro (Dania), przy prędkości dysku rozpylającego $39000 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$, temperaturze powietrza wlotowego 180°C i strumieniu podawania surowca $0,9 \text{ cm}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Badania wykazały, że podczas suszenia 30 i 40%-owych roztworów zawierających fruktozę (30F i 40F) uzyskano plastyczne proszki, które oklejały ściany suszarki, więc nie przedstawiono wyników uzyskanych w przypadku tych próbek.

Tabela 1. Skład roztworów poddanych suszeniu i temperatury powietrza wylotowego. Oznaczenia: 20, 30 – stężenia suszonych roztworów; G – glukoza, F – fruktoza, GF – glukoza i fruktoza

Table 1. Composition of solutions dried and outlet air temperatures. Symbols: 20, 30 – concentrations of dried solutions; G – glucose, F – fructose, GF – glucose and fructose

Rodzaj roztworu Type of solution	Woda Water (g)	Maltodekstryna Maltodextrin (g)	Glukoza Glucose (g)	Fruktoza Fructose (g)	Temp. powietrza wylotowego Outlet air temperature (°C)
20G	480	80	40	0	82
20F	480	80	0	40	84
20GF	480	80	20	20	86
30G	420	120	60	0	82
30F	420	120	0	60	–
30GF	420	120	30	30	83
40G	360	160	80	0	79
40F	360	160	0	80	–
40GF	360	160	40	40	78

W otrzymanych proszkach oznaczono: zawartość wody metodą suszarkową, aktywność wody (ROTRONIC HYGROSKOP DT, Szwajcaria), gęstość nasypową luźną i utręzioną (objętościomierz wstrząsowy STAV 2003/Engelsmann AG, Niemcy), gęstość pozorną (piknometr helowy Stereopycnometer/Quantachrome Instruments, USA), zwilżalność (jako czas w sekundach, potrzebny do zwilżenia wszystkich cząstek proszku w wodzie o temperaturze pokojowej).

Na podstawie gęstości nasypowej luźnej i utręzionej obliczono współczynniki Hausnera (I_H) i Carra (I_C) wg wzorów:

$$\text{---} \quad (1)$$

$$\text{---} \quad (2)$$

ρ_T – gęstość nasypowa utręzioną, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,

ρ_L – gęstość nasypowa luźną, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Analizę struktury prowadzono w oparciu o zdjęcia mikroskopowe proszków, wykonane za pomocą mikroskopu optycznego Studar Lab.(Polska), z wykorzystaniem okularu o powiększeniu 10X i programu komputerowego Multi Scan. Wyniki opracowano statystycznie stosując jednoczynnikową analizę wariancji,

przy użyciu programu Statgraphics oraz procedury Tukey HSD, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. W przypadku niespełnienia założeń analizy wariancji związanych z jej niejednorodnością między porównywanymi grupami, wykluczono niektóre grupy, a następnie porównano je z pozostałymi z użyciem testu t-Studenta (przy założeniu zróżnicowania wariancji).

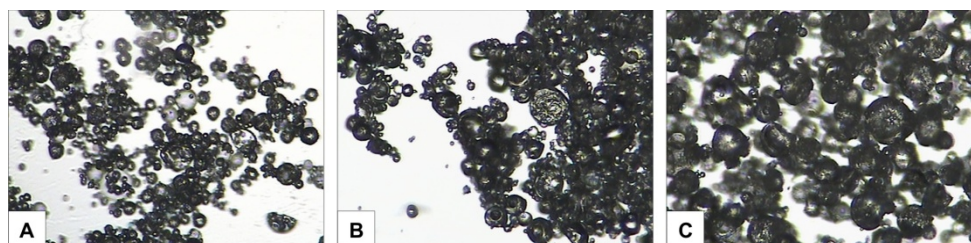
WYNIKI I DYSKUSJA

Przebieg suszenia

Suszeniu zamierzano poddać 20, 30 i 40%-owe roztwory modelowe glukozy, fruktozy i ich mieszaniny z maltodekstryną. W trakcie badań zrezygnowano z suszenia 30 i 40%-owych roztworów modelowych fruktozy (30F, 40F). Już podczas suszenia roztworów o niższym stężeniu (czyli 20F), zaczęły się pojawiać trudności w przeprowadzeniu procesu – proszek przyklejał się do ścian suszarki i przypalał się. Mogło to być związane z dużą procentową zawartością fruktozy, o niskiej temperaturze przejścia szklistego. Goula i Adamopoulos (2010) podczas suszenia koncentratu z soku pomarańczowego metodą rozpyłową zauważyli zależność pomiędzy temperaturą przejścia szklistego proszku, a jego przyklejaniem się do ścian suszarki. Im mniejszy był dodatek maltodekstryny o wysokiej temperaturze przejścia szklistego, tym więcej proszku zostawało na ścianach suszarki. Przy stosunku koncentratu soku pomarańczowego do maltodekstryny równym 0,25, straty proszku wynosiły około 7,5%, natomiast przy stosunku wynoszącym 4 wzrosły do około 13,5%.

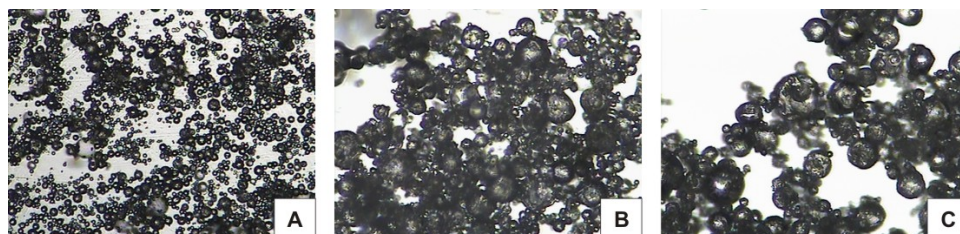
Morfologia cząstek

Na fotografiach 1 i 2 przedstawiono zdjęcia mikroskopowe cząstek proszków otrzymanych odpowiednio z glukozy oraz mieszanin glukozy i fruktozy o różnym stężeniu. Widoczny jest wzrost wielkości cząstek proszku wraz ze wzrostem stężenia roztworu wyjściowego. Podobne obserwacje przedstawili Cano-Chauca i in. (2005), którzy susząc sok z mango z dodatkiem gumy arabskiej i celulozy zauważyli, że wraz ze wzrostem zawartości celulozy cząsteczki proszków były większe i bardziej kuliste. Wzrost ten tłumaczono rosnącą lepkością roztworów przy zwiększających się stężeniach. Także według Masters'a (1991), im większa jest lepkość roztworu wyjściowego, tym większe są krople po rozpyleniu i tym większe rozmiary osiągają cząstki proszku. Podobne zależności uzyskali Jinapong i in. (2008) w przypadku suszonego rozpyłowo mleka sojowego, Keogh i in. (2003), susząc rozpyłowo pełne mleko krowie oraz Domian i Bialik (2006) susząc rozpyłowo sok jabłkowy w nośniku maltodekstrynowym.



Fot. 1. Zdjęcia mikroskopowe proszków otrzymanych rozpyłowo z roztworów glukozy o różnych stężeniach: (A) 20G; (B) 30G; (C) 40G (okular o powiększeniu 10x). Oznaczenia jak w tabeli 1

Photo. 1. Photomicrographs of powders obtained from spray solutions with different glucose concentrations: (A), 20 G(B) 30G, (C), 40G (ocular zoom 10x). Indications as in Table 1



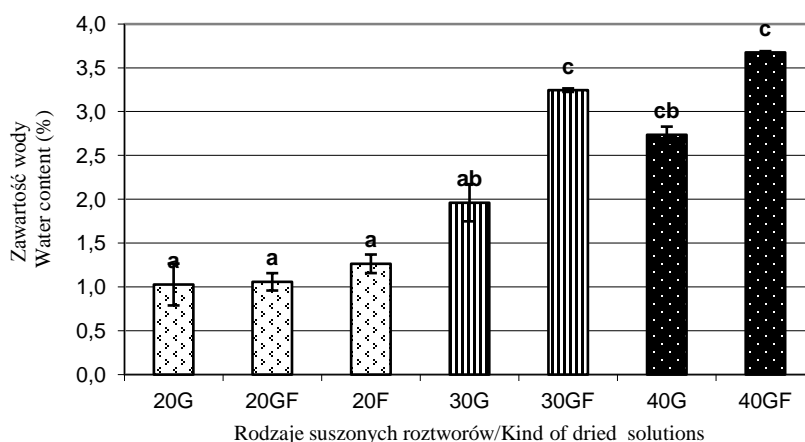
Fot. 2. Zdjęcia mikroskopowe proszków otrzymanych rozpyłowo z mieszanin glukozy i fruktozy o różnych stężeniach: (A) 20 GF; (B) 30GF; (C) 40 GF (okular o powiększeniu 10x). Oznaczenia jak w tabeli 1

Photo. 2. Photomicrographs of powders obtained from spray mixtures of glucose and fructose at different concentrations: (A) 20GF (B) 30GF; (C) 40GF (ocular zoom 10x). Indications as in Table 1

Zawartość wody

Zawartość wody w proszkach otrzymanych po suszeniu roztworów modelowych wahała się w przedziale od $1,0 \pm 0,2$ do $3,7 \pm 0,0\%$. Pomiary wykonano co najmniej w dwóch powtórzeniach. Otrzymane wartości przedstawiono na rysunku 1 oraz w tabeli 2 i są one typowe dla materiałów suszonych rozpyłowo. Przykładowo, zawartość wody w proszkach otrzymanych po suszeniu soku jabłkowego z dodatkiem maltodekstryny była na podobnym poziomie i wynosiła od 1,3 do 3,1% (Domian i Bialik 2006). Chegini i Ghobadion (2005), susząc sok pomarańczowy przy różnych poziomach strumienia surowca, stwierdzili zwiększanie się zawartości wody w proszku wraz z jego wzrostem. Stosunkowo niewielkie zawartości wody w otrzymanych proszkach wiązały się z bardzo wolnym podawaniem roztworów wyjściowych ($0,9 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Analizując uzyskane wartości, obserwuje się istotny statystycznie wzrost zawartości wody w proszkach wraz ze wzrostem stężenia roz-

tworu wyjściowego. Przykładowo, zawartość wody w proszkach otrzymanych po suszeniu roztworów mieszaniny glukozy i fruktozy o stężeniach 20, 30 i 40% wzrosła odpowiednio z 1,1 do 3,2 i 3,7%. Wzrost zawartości wody wraz ze wzrostem stężenia był związany z przedstawionymi wcześniej różnicami w wielkości cząstek proszku, związanymi z wielkościami kropeł w czasie suszenia. Według Goula i Adamopoulos (2005) wielkość kropli suszonego roztworu decyduje o odległości, jaką muszą pokonać cząsteczki wody przemieszczające się z centrum cząstki na zewnątrz, a zatem im mniejsze krople są poddawane suszeniu, tym mniejszą zawartość wody mają otrzymane proszki. Wyniki badań Rodriguez-Hernandez i in. (2005), otrzymane podczas suszenia rozpyłowego soku z kaktusa gruszkowego, wskazują, że dodatek do roztworu wyjściowego fruktozy o niskiej temperaturze przejścia szklistego istotnie pogarsza warunki wymiany ciepła i masy, a zatem zwiększa zawartość wody w proszku. Również w analizowanych obecnie badaniach dodatek fruktozy do 30 i 40%-owych roztworów miał istotny statystycznie wpływ na wzrost zawartości wody w proszkach. Zawartość wody w proszku otrzymanym z 30%-owego roztworu glukozy (30G) wynosiła 2,0%, a w proszku z dodatkiem fruktozy (30GF) 3,2%. Zawartość wody w proszkach otrzymanych z 40%-owych roztworów wzrosła odpowiednio z 2,7% do 3,7%.



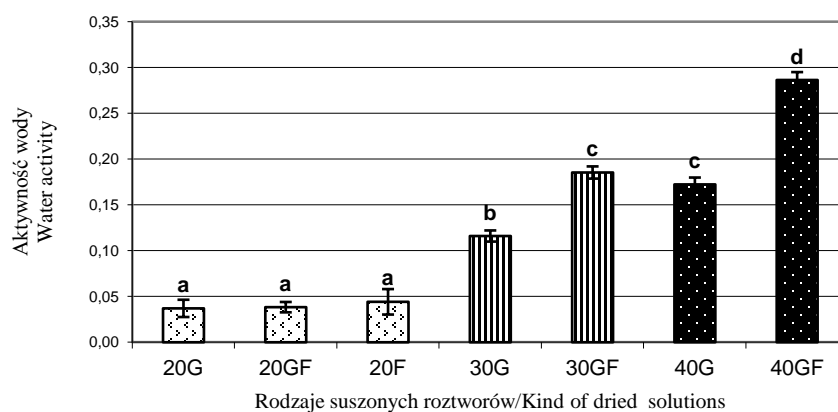
Rys. 1. Średnia zawartość wody w proszkach otrzymanych po suszeniu rozpyłowym roztworów modelowych glukozy, fruktozy i ich mieszanin. Nadłożone na słupkach odcinki to odchylenia standardowe. Oznaczenia: 20, 30 – stężenia suszonych roztworów; G – glukoza, F – fruktoza, GF – glukoza i fruktoza; a, b, c- grupy statystyczne, poszczególne litery oznaczają grupy homogeniczne średnich wydzielone procedurą Tukeya

Fig. 1. Average water content of powders obtained after spray drying of model solutions of glucose, fructose and their blends. Sections set aside on the columns are standard deviations. Symbols: 20, 30 – concentrations of dried solutions; G – glucose, F – fructose, GF – glucose and fructose; a, b, c – statistic groups, different letters indicate homogenous groups distinguished using Tukey's procedure

Aktywność wody

Aktywność wody w proszkach otrzymanych po suszeniu roztworów modelowych wynosiła od $0,027 \pm 0,005$ do $0,286 \pm 0,009$ (rys. 2 i tab. 2). Pomiary wykonano w co najmniej trzech powtórzeniach. Zauważalny był istotny statystycznie wzrost aktywności wody wraz ze wzrostem stężenia suszonych roztworów. Przykładowo, aktywność wody proszków otrzymanych z 20%-owego roztworu zawierającego glukozę (20G) wynosiła $0,037 \pm 0,009$ i wzrosła w przypadku 30 i 40%-owego odpowiednio do $0,116 \pm 0,006$ i $0,172 \pm 0,008$. Domian i Bialik (2006), susząc rozpyłowo sok jabłkowy z maltodekstryną, również zanotowały wzrost aktywności wody z 0,106 do 0,146 po podwyższeniu zawartości suchej substancji w surówce z 50 do 60%. Porównując proszki otrzymane z roztworów o tym samym stężeniu stwierdzono, że w przypadku roztworów 30 i 40%-owych następował istotny statystycznie wzrost aktywności wody, gdy zawierały one fruktozę. W proszkach otrzymanych po suszeniu roztworów 20%-owych nie zauważono statystycznie istotnych różnic po dodaniu fruktozy.

Porównując między sobą zawartość wody i aktywność wody w otrzymanych proszkach można zauważyć, że parametry te są ze sobą skorelowane. Zależność aktywności wody od zawartości wody w proszkach otrzymanych z roztworów modelowych przedstawiono na rysunku 3. Liniową zależność pomiędzy aktywnością i zawartością wody zauważyli również Zamora i in. (2006), badając roztwory modelowe glukozy i fruktozy.



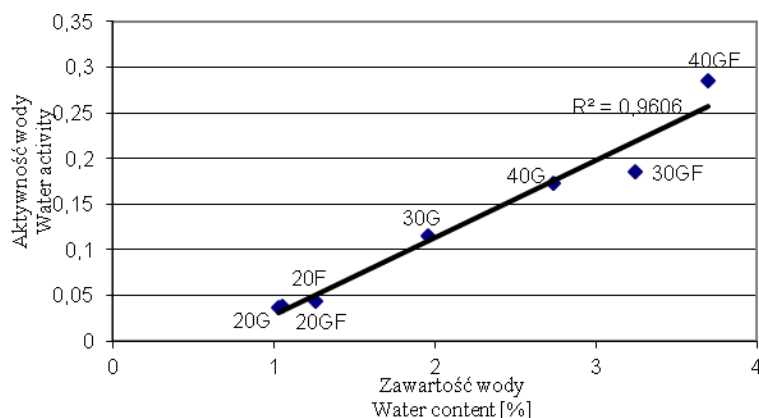
Rys. 2. Średnia aktywność wody w proszkach otrzymanych po suszeniu rozpyłowym roztworów modelowych glukozy, fruktozy i ich mieszanin. Nadłożone na słupkach odcinki to odchylenia standardowe. Oznaczenia jak na rysunku 1

Fig. 2. Average water activity of powders obtained after spray drying of model solutions of glucose, fructose and their blends. Sections set aside on the columns are standard deviations. Indications as in Figure 1

Tabela 2. Właściwości fizyczne proszków otrzymanych w wyniku suszenia rozpyłowego roztworów glukozy, fruktozy i ich mieszanin. Oznaczenia jak w tabeli 1

Table 2. Physical properties of powders obtained by spray drying of solutions of glucose, fructose and their blends. Indications as in Table 1

Rodzaj roztworu Type of solution	Zawartość wody Water content (%)	Aktywność wody Water activity	Gęstość nasykowa luźna Bulk density ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Gęstość nasykowa utrząsiona Tapped density ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Gęstość pozorna Particle density ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Współczynnik Carra Carr Index	Współczynnik Hausnera Hausner Ratio	Zwilżalność Wettability (s)
20G	1,0±0,2	0,037±0,009	487,4±42,61	636,9±14,13	1261±4,1	23,52±4,99	1,31±0,09	5,3±0,0
20GF	1,1±0,1	0,038±0,006	489,3±24,84	623,1±25,98	1294±31,9	21,47±0,73	1,27±0,01	3,8±0,9
20F	1,3±0,1	0,044±0,014	445,1±12,75	546,8±26,87	1284± 30,5	18,58±1,71	1,23±0,03	4,1±2,0
30G	2,0±0,2	0,116±0,006	469,1±12,84	592,8±10,60	1468± 2,4	20,87±0,82	1,26±0,01	4,3±0,3
30GF	3,2±0,0	0,105±0,114	484,4±10,13	599,3±10,86	1415± 74,6	19,14±3,16	1,24±0,05	5,6±1,1
40G	2,7±0,1	0,172±0,008	530,8±28,71	623,6±29,91	1466± 5,8	14,89±0,95	1,18±0,01	5,7±1,2
40GF	3,7±0,0	0,286±0,009	558,7±15,04	705,3±9,10	1454±2,3	20,80±1,13	1,26±0,02	10,3±4,2



Rys. 3. Zależność aktywności wody od zawartości wody w proszkach otrzymanych po suszeniu rozpyłowym roztworów modelowych glukozy, fruktozy i ich mieszanin. Oznaczenia jak na rysunku 1

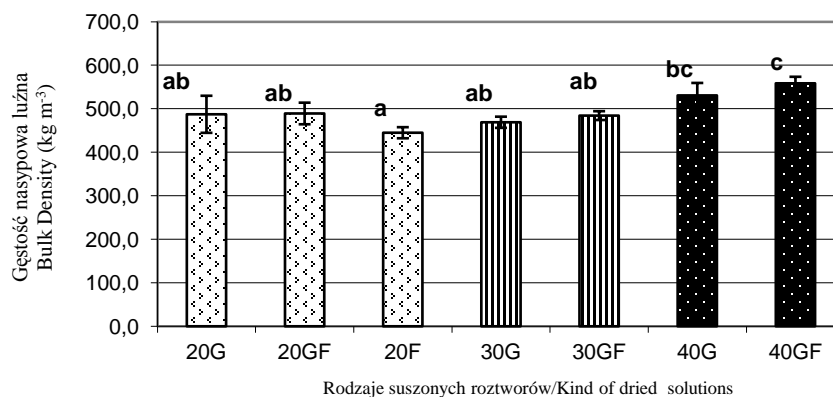
Fig. 3. Dependence of water activity on water content in powders obtained after spray drying of model solutions of glucose, fructose and their blends. Indications as in Figure 1

Gęstość nasypowa

Gęstość nasypowa luźna i utrząsiona proszków otrzymanych w wyniku suszenia rozpyłowego roztworów glukozy, fruktozy i ich mieszanin wynosiła odpowiednio od $445,1 \pm 12,8$ do $558,7 \pm 15,0$ oraz od $546,8 \pm 26,9$ do $705,3 \pm 9,1$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (rys. 4, tab. 2). Pomiary wykonano w co najmniej trzech powtórzeniach. Gęstości te są zbliżone do gęstości nasypowych proszków maltodekstryny, glukozy, cukru kryształu i cukru pudru, podawanych w literaturze (Domian 2007).

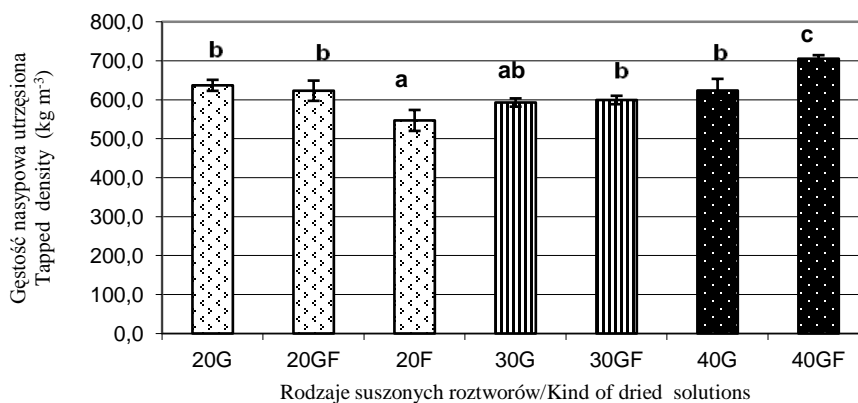
Gęstość nasypowa proszków zależy m.in. od wielkości cząstek oraz zawartości wody. Im większe rozmiary cząstek, tym obserwuje się więcej pustych przestrzeni pomiędzy nimi, co wpływa na spadek gęstości nasypowej. Duże zróżnicowanie wielkości cząstek decyduje o zmniejszeniu ilości pustych przestrzeni i wzroście gęstości nasypowej (Janiszewska i in. 2008). Wzrost stężenia roztworu wyjściowego soku jabłkowego z 50 do 60%, co skutkowało zwiększeniem średniej średnicy cząstek od 130 do 154 μm , spowodował zmniejszenie gęstości nasypowej luźnej z 0,686 do 0,525 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (Domian i Bialik 2006). Kolejnym czynnikiem wpływającym na gęstość nasypową proszków jest zawartość wody. Wzrost wilgotności powoduje łączenie się proszku w większe skupiska, powstawanie wolnych przestrzeni i zmniejszanie gęstości nasypowej luźnej (Janiszewska i in. 2008). Spodziewano się więc, że wraz ze wzrostem stężenia roztworu wyjściowego, a tym samym wzrostem wielkości cząstek proszku i zawartości wody, gęstość nasypowa proszków, otrzymanych po suszeniu rozpyłowym roztworów glukozy, fruktozy i ich mieszanin, będzie się zmniejszać. Jednakże nie stwierdzo-

no takich zależności. Największą gęstością nasypową charakteryzowały się proszki otrzymane z roztworów 40%-owych, które jednocześnie zawierały najwięcej wody i miały największe cząstki. Należy przypuszczać, że duże zróżnicowanie wielkości cząstek było przyczyną wysokich wartości gęstości.



Rys. 4. Średnia gęstość nasypowa luźna proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym roztworów modelowych glukozy, fruktozy i ich mieszanin. Nadłożone na słupkach odcinki to odchylenia standardowe. Oznaczenia jak na rysunku 1

Fig. 4. Average bulk density of loose powders obtained after spray drying of model solutions of glucose, fructose and their blends. Sections set aside on the columns are standard deviations. Indications as in Figure 1

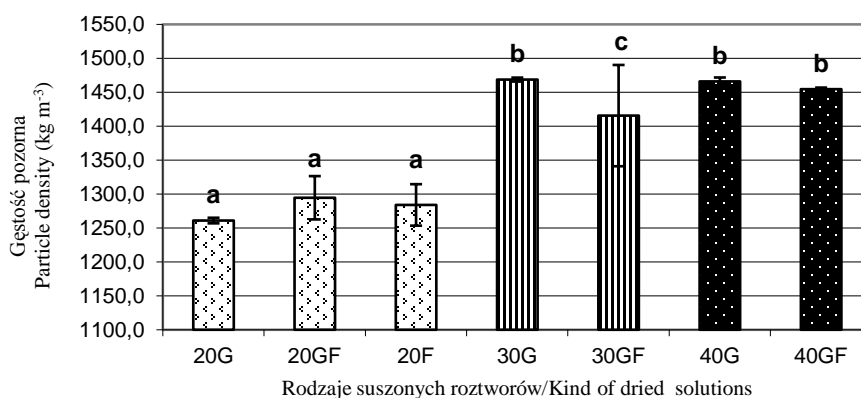


Rys. 5. Średnia gęstość nasypowa utrząsiona proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym roztworów modelowych glukozy, fruktozy i ich mieszanin. Nadłożone na słupkach odcinki to odchylenia standardowe. Oznaczenia jak na rysunku 1

Fig. 5. Average tapped density of powders obtained after spray drying of model solutions of glucose, fructose and their blends. Sections set aside on the columns are standard deviations. Indications as in Figure 1

Gęstość pozorna

Gęstość pozorna proszków otrzymanych przez suszenie rozpyłowe roztworów modelowych wynosiła od $1260,8 \pm 4,1$ do $1468,4 \pm 2,9$ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (rys. 5 i tab. 2). Pomiary wykonano w co najmniej trzech powtórzeniach. Proszki otrzymane z 20%-owych roztworów charakteryzowały się istotnie statystycznie mniejszą gęstością pozorną w porównaniu z proszkami otrzymanymi z roztworów 30 i 40%-owych. Według Janiszewskiej i in. (2008), wraz ze wzrostem stężenia roztworu wyjściowego cząstki stają się bardziej zbite, wykazują mniejszą porowatość wewnętrzną, co skutkuje większymi wartościami gęstości pozornej. Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu rodzaju substancji modelowej na gęstość pozorną proszków.

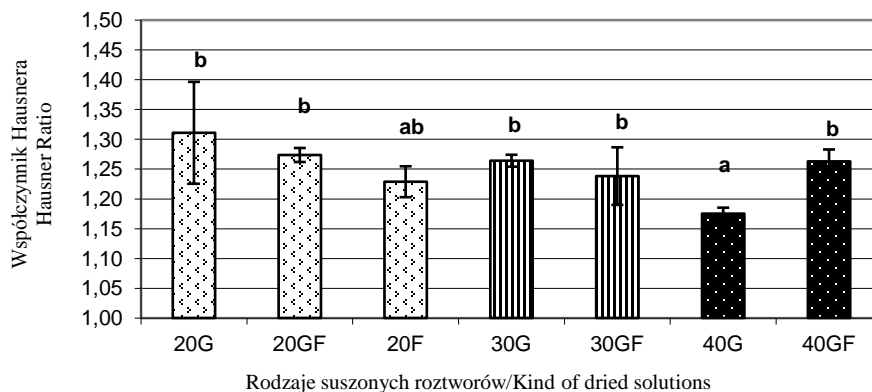


Rys. 6. Średnia gęstość pozorna proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym roztworów modelowych glukozy, fruktozy i ich mieszanin. Nadłożone na słupkach odcinki to odchylenia standardowe. Oznaczenia jak na rysunku 1

Fig. 6. Average particle density of powders obtained after spray drying of model solutions of glucose, fructose and their blends. Sections set aside on the columns are standard deviations. Indications as in Figure 1

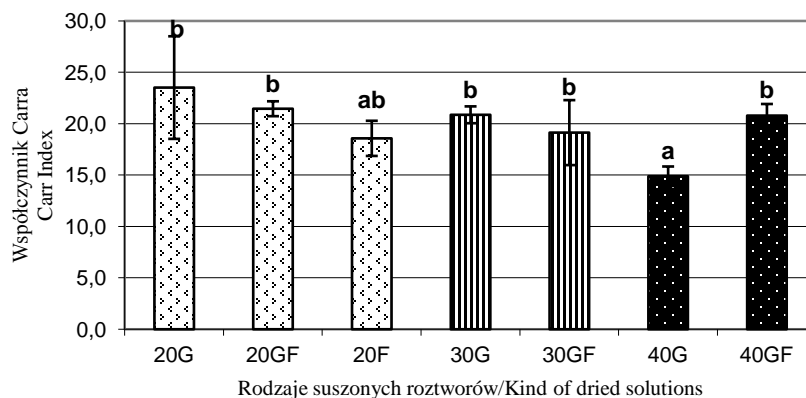
Współczynnik Hausnera i Carra

Współczynnik Hausnera proszków otrzymanych z roztworów modelowych wynosił od $1,18 \pm 0,01$ do $1,31 \pm 0,09$, a współczynnik Carra od $14,9 \pm 1,0$ do $23,5 \pm 5,0$ (rys. 6 i 7, tab. 2). Pomiary wykonano w co najmniej trzech powtórzeniach. Wartość współczynnika Hausnera informuje o spójności proszku związanej z siłami kohezji. Jeśli współczynnik jest większy od 1,4, to cząstki proszku charakteryzują się dużą kohezją i tworzą spójną strukturę. Proszki o współczynniku Carra mniejszym od 1,2 mają dobrą sypkość, a ich cząstki wykazują małą kohezję (Jinapong i in. 2008, Hausner 1967).



Rys. 7. Współczynnik Hausnera proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym roztworów modelowych glukozy, fruktozy i ich mieszanin. Nadłożone na słupkach odcinki to odchylenia standardowe. Oznaczenia jak na rysunku 1

Fig. 7. Hausner coefficient of powders obtained after spray drying of model solutions of glucose, fructose and their blends. Sections set aside on the columns are standard deviations. Indications as in Figure 1



Rys. 8. Współczynnik Carra proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym roztworów modelowych glukozy, fruktozy i ich mieszanin. Nadłożone na słupkach odcinki to odchylenia standardowe. Oznaczenia jak na rysunku 1

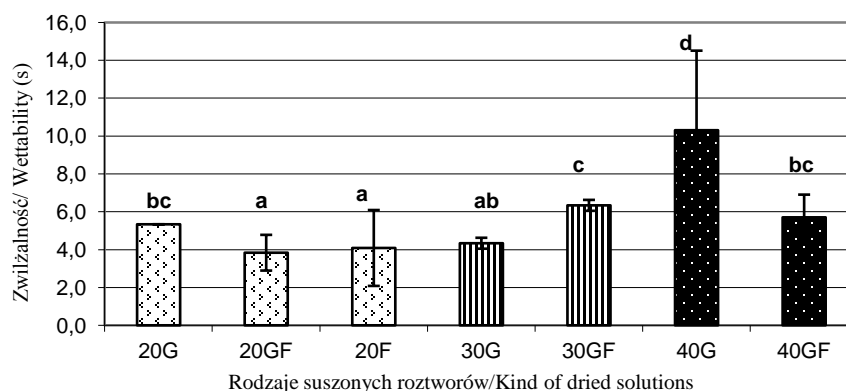
Fig. 8. Carr coefficient of powders obtained after spray drying of model solutions of glucose, fructose and their blends. Sections set aside on the columns are standard deviations. Indications as in Figure 1

Współczynniki Hausnera w badanych proszkach wyniosły poniżej 1,4, a zatem można stwierdzić, że nie były to proszki spójne i większość z nich (o współczynniku większym od 1,2) charakteryzowała się średnią kohezjnością i spójnością. Domian i Bialik (2006) w wyniku suszenia rozpyłowego soku jabłkowego otrzymały proszki o podobnej, umiarkowanej i dobrej sypkości (współczynnik Hausnera <1,4).

Wartości współczynnika Carra świadczą o sypkości proszków. Proszki o wartościach współczynnika Carra <15 charakteryzują się bardzo dobrą sypkością, znajdujące się w przedziale 15-20 – dobrą, 20-30 – średnią, 35-45 – złą, >45 – bardzo złą (Jinapong i in. 2008, Carr 1965). Współczynnik Carra w badanych proszkach wynosił od $14,9 \pm 1,0$ do $23,5 \pm 5,0$. Na podstawie otrzymanych wielkości współczynnika Carra stwierdzono, że proszki charakteryzowały się średnią lub dobrą sypkością. Najlepszą sypkością charakteryzowały się proszki otrzymane z 40%-owego roztworu glukozy (o współczynniku Hausnera i Carra odpowiednio $1,18 \pm 0,01$, $14,89 \pm 0,95$), najgorszą proszki otrzymane z 20%-owego roztworu glukozy (o współczynniku Hausnera i Carra odpowiednio $1,31 \pm 0,09$, $23,52 \pm 4,99$). W przypadku proszków otrzymanych z roztworów glukozy zauważono istotny statystycznie wzrost sypkości wraz ze wzrostem stężenia. W proszkach otrzymanych z roztworów mieszanin glukozy i fruktozy o 30 i 40%-owym stężeniu nie stwierdzono istotnej statystycznie różnicy w sypkości. Analizując proszki otrzymane z roztworów 20%-owych, stwierdzono istotny statystycznie wpływ dodatku fruktozy na ich sypkość – wraz ze wzrostem dodatku fruktozy sypkość rosła.

Zwilżalność

Zwilżalność otrzymanych proszków wynosiła od $4,1 \pm 2,0$ do $10,3 \pm 4,2$ s. Pomiaru wykonano w co najmniej trzech powtórzeniach. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 2 i na rysunku 9.



Rys. 9. Zwilżalność proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym roztworów modelowych glukozy, fruktozy i ich mieszanin. Nadłożone na słupkach odcinki to odchylenia standardowe. Oznaczenia jak na rysunku 1

Fig. 9. Wettability of powders obtained after spray drying of model solutions of glucose, fructose and their blends. Sections set aside on the columns are standard deviations. Indications as in Figure 1

Najdłuższy czas zwilżania proszków wyniósł 10,3 s. Według Haugaard Sørensen i in. (1978) proszki mleczne wykazują właściwości instant gdy czas zwilżania nie przekracza 15 s. Proszkami instant określa się takie, które łatwo i szybko rozpuszczają się w wodzie (Lewicki 2008). Stwierdzono istotny wpływ rodzaju roztworu modelowego na zwilżalność proszków, jednak nie zauważono jednoznacznych zależności. Można jednak wnioskować, że obecność glukozy w roztworze zwiększa zwilżalność proszków, czyli ogranicza ich właściwości typu „instant”.

WNIOSKI

1. Zwiększanie stężenia roztworów poddawanych suszeniu oraz dodatku fruktozy o niskiej temperaturze przemiany szklistej pogarsza warunki wymiany ciepła i masy w czasie suszenia – co przekłada się na wzrost zawartości wody i wielkości cząstek w otrzymanych proszkach.

2. Duże zróżnicowanie wielkości cząstek proszków przełożyło się na wysokie wartości gęstości nasypowej.

3. W wyniku suszenia rozpyłowego roztworów glukozy, fruktozy i ich mieszanin można otrzymać proszki o dobrej i średniej sypkości oraz błyskawicznej rozpuszczalności w wodzie.

PIŚMIENNICTWO

- Cano-Chauca M., Stringheta P. C., Ramos A., M., Cal-Vital J., 2005. Effect of the carriers on the mikrostructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 420-482.
- Carr R. L., 1965. Evaluating flow properties of solids. *Chemical Engineering*, 72, 163-168.
- Chegini R. G., Ghobadian B., 2005. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23, 657-668.
- Domian E., 2007. Gęstość i sypkość wybranych produktów spożywczych w proszku. W: Właściwości geometryczne, mechaniczne i strukturalne surowców i produktów spożywczych (red. Dobrzański D., Mieszkalski L). Wyd. Naukowa Fundacja Rozwoju Nauk Agrofizycznych, Komitet Agrofizyki PAN, Lublin, 96-108.
- Domian E., Bialik E., 2006. Wybrane właściwości fizyczne soku jabłkowego w proszku. *Acta Agrophysica*, 8 (4), 803-814.
- Goula A.M., Adamopoulos K.G., 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 66, 35-42.
- Cano-Chauca M., Stringheta P. C., Ramos A., M., Cal-Vital J. (2005): Effect of the carriers on the mikrostructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 420-482
- Goula A.M., Adamopoulos K.G., 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 342-351.
- Haugaard Sørensen I., Krag J., Piseckey J., Westergaard V., 1978. Analytical Methods for Dry Milk Products. A/S Niro Atomizer. Copenhagen. Denmark, 27.

- Hausner H.H., 1967. Friction conditions in mass of metal powder. *International Journal of Powder Metallurgy*, 3, 7-13.
- Jinapong N., Suphantharika M., Jamnong P., 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84, 194-205.
- Janiszewska E., Cupiał D., Witrowa-Rajchert D., 2008. Wpływ parametrów suszenia rozpyłowego na jakość hydrolizatu białkowego. *Żywność, nauka, technologia, jakość*, 5 (60), 206-216.
- Keogh M. K., Murray C., A., O'Kennedy B. T., 2003. Effects of ultrafiltration of whole milk on some properties of spray-dried milk powders. *International Dairy Journal*, 13, 995-1002.
- Lewicki P.P., 2008. *Leksykon nauk o żywności i żywieniu człowieka oraz polsko-angielski słownik terminów. Hasło: instancja. Wydawnictwo SGGW. Wyd. I, 169.*
- Masters K., 1991. *Spray Drying Handbook*, fifth ed. Lodman Scientific and Technical, London.
- Pałacha Z., Sitkiewicz I., 2008. Temperatura przemiany szklistej- parametr stabilności żywności. *Przemysł Spożywczy*, 62 (9), 32-37.
- Rodriguez-Hernández G.R., González-García R., Grajales-Lagunes A., Ruiz-Cabrera M.A., 2005. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): Effect on physicochemical properties of powder reconstituted product. *Drying Technology*, 23, 955-973.
- Truong V., Bhandari B.R., Howes T., 2005. Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I-Moisture and glass transition temperature profile during drying. *Journal of Food Engineering*, 71, 55-65.
- Wang S., Langrish T., 2009. A review of process simulations and the use additives in spray drying. *Food Research International*, 42, 13-25.
- Zamora M.C., Chirife J., Roldán D., 2006. On the nature of the relationship between water activity and moisture in honey. *Food Control*, 17, 642-647.
- Zheng-Wei C., Li-Juan S., Wei Ch., Da-Wen S., 2008. Preparation of dry honey by microwave-vacuum drying. *Journal of Food Engineering*, 84, 582-590.

PROPERTIES OF POWDERS RECEIVED BY SPRAY-DRYING MODEL SOLUTIONS OF GLUCOSE, FRUCTOSE AND THEIR MIXTURES

Aleksandra Jedlińska, Katarzyna Samborska, Dorota Witrowa-Rajchert

Department of Food Engineering and Process Management, Faculty of Food Sciences,
Warsaw University of Life Sciences
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa
e-mail: aleksandra_jedlinska@sggw.pl

Abstract. The aim of this work was to dry solutions of glucose, fructose and their blends and to examine the physical properties of the resultant powders. Solutions were spray dried with an addition of maltodextrin (the concentration of the solutions was 20, 30, 40%). Obtained powders were examined in terms of water content, water activity, bulk and tapped density, particle density, wettability, flowability. Micrographs were taken to define the size of the powder particles. As a result of the experiments it was concluded that fructose had the worst drying properties, the proper drying was possible only if the initial solution was 20%. Water concentration and water activity of the powders depended on the concentration of the solution, showing higher values for higher concentrations. Powders obtained from 40% solutions were characterised by the highest values of bulk density. Obtained powders were characterised by good and medium flowability and excellent wettability.

Keywords: spray drying, glucose, fructose, maltodextrin, physical properties