

WPŁYW SUROWCA I SPOSOBU PROWADZENIA PROCESU NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE OTRZYMANEGO SUSZU

Dorota Nowak, Przemysław Krzywoszyński

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W pracy analizowano wpływ odmiany i sposobu prowadzenia suszenia na właściwości fizyczne uzyskanego suszu. Zastosowano trzy odmiany selera: Jabłkowy, Mentor i Cisko oraz trzy warianty procesu: konwekcyjne materiału nieblanszowanego i poprzedzone obróbką termiczną oraz suszenie promiennikowe surowca niepoddanego obróbce wstępnej. Dla otrzymanych suszy oznaczono gęstość rzeczywistą, gęstość pozorną, porowatość oraz wyznaczono izotermy sorpcji. Stwierdzono, że zarówno odmiana selera, jak i technologia suszenia różnicują susz pod względem badanych właściwości fizycznych, a stopień tych zmian zależy od właściwości surowca jak i parametrów procesu.

Słowa kluczowe: podczerveń, suszenie konwekcyjne, porowatość, gęstość pozorną, izotermy sorpcji, pojemność monowarstwy

Wprowadzenie

Jakość produktu zależy od dwóch grup czynników: pierwsza - związana jest z rodzajem i jakością surowca, drugą stanowią wszelkie aspekty procesu technologicznego. Jednak tych dwóch grup czynników nie należy rozpatrywać oddzielnie, gdyż następują między nimi interakcje: zmiany zachodzące w produkcie determinują przebieg procesu, a parametry procesu wpływają na stopień zmian zachodzących w produkcie.

Zmiany w materiale w trakcie procesu suszenia, mające jednocześnie wpływ na przebieg procesu technologicznego mają charakter zmian fizycznych, fizykochemicznych i biologicznych [Witrowa-Rajchert 1999]. Do zmian fizycznych zaliczyć należy kurczenie się materiału, zmiany porowatości i struktury wewnętrznej [Łapczyńska-Kordon 2000], zmiany fizykochemiczne, takie jak zagęszczanie składników suchej substancji, prowadzą do zmiany gęstości, lepkości, ciśnienia osmotycznego. Z kolei może następować uszkodzenie błon cytoplazmatycznych oraz zmiana ich właściwości. Każda taka zmiana prowadzi do modyfikacji warunków wymiany ciepła i masy (intensywności ich transportu), a w konsekwencji wpływa na jakość produktu.

Specyfiką surowca dla przemysłu spożywczego jest niejednorodność wynikająca z warunków agrotechnicznych upraw, zróżnicowania odmian, odmiennego stopnia dojrzałości, itp. Dlatego podjęto badania, aby określić, w jakim stopniu różnice odmianowe użytego surowca determinują jakość suszu. Do oceny właściwości otrzymanych suszy wybra-

no gęstość rzeczywistą, gęstość pozorną, porowatość, zdolność sorpcyjną suszu, jako cechy istotne z punktu widzenia przechowywania suszu i właściwości rekonstrykcyjnych, a jednocześnie ulegające zmianie w trakcie procesu suszenia [Nowak i in. 2001; Lozano i in. 1983].

Stąd celem pracy było zbadanie wpływu zróżnicowania właściwości fizycznych pomiędzy odmianami surowca użytego w procesie suszenia - na przykładzie selera - na właściwości fizyczne suszu otrzymanego przy zastosowaniu zmiennych warunków suszenia.

Metodyka badań

Materiał badawczy stanowiły 3 odmiany selera korzeniowego: Jabłkowy, Mentor i Cisko, wyhodowane w Zakładzie Hodowli i Nasiennictwa Ogrodniczego PlantiCo, Zielonki. Odmiany te używane były, obok 6 innych, we wcześniejszych badaniach dotyczących przydatności różnych odmian selera do suszenia, i charakteryzowały się najbardziej zróżnicowanym przebiegiem procesu suszenia [Nowak i in. 2005].

Surowiec rozdrabniany był do postaci kraczków o wysokości 6 mm i średnicy 3 cm. Do suszenia używano surowiec bez obróbki wstępnej lub blanszowany w 0,2% r-rze kwasu cytrynowego o temperaturze 80°C w ciągu 90 sekund. W materiale oznaczono: zawartość suchej substancji zgodnie z normą PN-90/A/75101/03, gęstość rzeczywistą za pomocą piknomtru helowego STEREOPYCNOMETER f-my Quantachrome Instruments, gęstość pozorną metodą toluenową. Na podstawie uzyskanych wyników obliczana została porowatość.

Zastosowano trzy warianty suszenia: suszenie konwekcyjne materiału nieblanszowanego (KON-NBL) oraz blanszowanego (KON-BL). Parametry suszenia konwekcyjnego to: temperatura powietrza wlotowego 70°C i prędkości przepływu powietrza 1,5 m·s⁻¹. Trzeci wariant suszenia stanowiło suszenie bliską podczerwienią (IR-NBL) w parametrach zapewniających temperaturę materiału porównywalną z końcową temperaturą materiału podczas suszenia konwekcyjnego.

W wysuszonym selerze oznaczono zawartość suchej substancji, gęstość rzeczywistą, gęstość pozorną i porowatość, analogicznie do oznaczeń dokonanych na surowcu.

Dla otrzymanych suszy wyznaczone zostały izotermy sorpcji metodą statyczno-eksykatorową w temperaturze 25°C, w środowiskach: całkowicie suchym oraz o aktywności wody zawierającej się w przedziale 0,11 - 0,90. Po 3-miesięcznym okresie przetrzymywania, dla każdego punktu doświadczalnego wyznaczono równowagową zawartość wody przy danej aktywności wody. Na podstawie uzyskanych wyników wykreślono izotermy sorpcji i, wykorzystując program Table Curve 2D (Jandel Scientific), podjęto próbę opisanie ich równaniem GAB [Lewicki 1997]:

$$u = \frac{u_m \cdot k \cdot c \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot [1 + (c - 1) \cdot k \cdot a_w]}$$

gdzie:

- u – zawartość wody, g·g_{s.s.}⁻¹,
- u_m – pojemność monowarstwy, g·g_{s.s.}⁻¹,
- a_w – aktywność wody,
- k, c – stałe w równaniu GAB.

Uzyskane wyniki poddane zostały analizie statystycznej przy użyciu programu STAT-GRAPHICS 4.1 Plus. Zastosowano analizę wariancji jednoczynnikową przy poziomie istotności 0,05.

Wyniki i ich omówienie

Odmiany selera użyte w badaniach cechowały się istotnymi różnicami pod względem początkowej zawartości suchej substancji (tab. 1), wynoszącymi nawet 50%. W obrębie każdej odmiany zaobserwowano dość duży rozrzut wyników (wartość odchylenia standardowego), zwłaszcza w przypadku odmiany Mentor, co świadczy o dużym zróżnicowaniu materiału. W efekcie, odmiana Mentor i Cisko stanowiły statystycznie grupę jednorodną, natomiast zawartość s.s. w bulwach odmiany Jabłkowy była statystycznie różna od pozostałych odmian.

Tabela 1. Wpływ odmiany selera na właściwości fizyczne surowca
Table 1. Effect of celery variety on physical properties of raw product

Odmiana selera korzeniowego	Zawartość s.s. w materiale surowym [%]	Zawartość s.s. w materiale blanszowanym [%]	Gęstość rzeczywista surowca [g·cm ⁻³]	Gęstość pozorna surowca [g·cm ⁻³]	Porowatość surowca [%]
Mentor	12,91±1,54	10,94±0,493	1,032±0,0121	0,850±0,0325	17,9±4,40
Jabłkowy	15,16±0,40	13,64±0,553	1,036±0,0142	0,848±0,0484	18,2±1,40
Cisko	10,28±1,01	9,69±1,101	1,025±0,0223	0,865±0,0265	15,6±1,83

Proces blanszowania spowodował obniżenie zawartości s.s. (jako efekt wpływu rozpuszczalnych składników suchej substancji oraz chłonięcia wody), jednak nie spowodował zmiany stopnia zróżnicowania zawartości suchej substancji w materiale. Z kolei gęstość rzeczywista tkanki selera nie wykazywała zróżnicowania w zależności od odmiany, podobnie jak gęstość pozorna. Dlatego też wyliczone na podstawie tych wielkości wartości porowatości również nie różniły się statystycznie pomiędzy sobą (tab. 1).

Jako miernik przebiegu procesu suszenia przyjęto czas niezbędny do uzyskania materiału o wilgotności 15%. Uzyskane wyniki przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Czas potrzebny do uzyskania suszu o wilgotności 15%, minuty
Table 2. Time needed to obtain dried material with a humidity of 15%, minutes

	IR-NBL	KON-NBL	KON-BL
Mentor	185	205	225
Jabłkowy	195	215	280
Cisko	190	200	210

Oceniając przebieg procesu suszenia na podstawie tego parametru obserwowano odwrotną zależność pomiędzy czasem trwania suszenia a początkową zawartością suchej substancji. Seler odmiany Jabłkowy, mimo najmniejszej zawartości wody, suszył się

najwolniej, niezależnie od stosowanej metody, natomiast pozostałe odmiany wymagały dłuższego czasu suszenia. W przypadku suszenia materiału nieblanszowanego czas suszenia różnicował się w niewielkim stopniu, natomiast w przypadku suszenia selera blanszowanego wpływ odmiany na czas suszenia był istotny. Seler odmiany Jabłkowy wymagał o ponad 30% dłuższego czasu w porównaniu do odmiany Cisko. Proces blanszowania spowodował istotne pogłębienie zależności obserwowanych w przypadku suszenia materiału nieblanszowanego.

Oceniając wpływ metody suszenia na czas jego trwania należy stwierdzić, że, niezależnie od odmiany użytego surowca, najkorzystniejsze warunki odparowania zapewniało suszenie podczerwienią, a proces blanszowania powodował wydłużenie czasu suszenia. Odmianą najbardziej wrażliwą na technologię suszenia była odmiana Jabłkowy – obserwowano prawie 50% wydłużenie czasu suszenia wskutek blanszowania.

Charakterystyka suszy. Gęstość rzeczywista otrzymanych suszy, mierzona za pomocą piknometru helowego, przyjmowała wartości około 50% wyższe w porównaniu do surowca (tab. 3). Gęstość jest wypadkową masowego udziału wody i składników suchej substancji, stąd w przypadku surowca wartość ta jest zbliżona do gęstości wody jako składnika dominującego. Gęstość suszy jest zbliżona do gęstości wypadkowej składników suchej substancji. Stąd uzyskano wartości wyższe dla suszy. Jednocześnie wyznaczone wartości różniły się między sobą w zależności od odmiany użytego surowca, jak i metody suszenia. Mógł to być efekt różnego składu chemicznego suchej substancji, jak również stopnia przestrzennego upakowania cząsteczek biopolimerów, a co za tym idzie – precyzji wyznaczenia zajmowanej przez nie objętości.

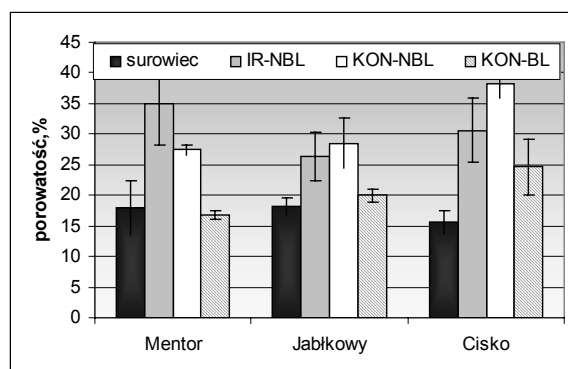
Tabela 3. Wpływ odmiany selera i technologii suszenia na właściwości fizyczne otrzymanego suszu
Table 3. Effect of celery variety and drying technology on physical properties of obtained dried material

Odmiana	Parametr fizyczny	Metoda suszenia		
		IR-NBL	KON-NBL	KON-BL
Mentor	Gęstość, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1,604±0,0620	1,482±0,0036	1,539±0,0147
	Gęstość pozorna, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	0,857±0,0622	0,959±0,0196	1,109±0,0627
	Porowatość, %	35,0±6,86	27,4±0,89	16,8±0,74
Jabłkowy	Gęstość, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1,591±0,0609	1,491±0,0126	1,513±0,0023
	Gęstość pozorna, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1,036±0,0172	1,016±0,0058	1,094±0,014
	Porowatość, %	26,3±3,93	28,5±4,08	20,0±1,06
Cisko	Gęstość, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1,491±0,0120	1,469±0,0139	1,543±0,0167
	Gęstość pozorna, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	0,952±0,0666	0,831±0,0487	1,010±0,0619
	Porowatość, %	30,6±5,21	38,3±2,45	24,6±4,57

Wartość gęstości pozornej była zależna zarówno od odmiany surowca, jak i od metody suszenia (tab. 3). W przypadku suszenia podczerwienią najwyższą gęstością pozorną charakteryzował się susz z selera odmiany Jabłkowy, podobnie jak w przypadku suszenia konwekcyjnego materiału nieblanszowanego. Pozostałe dwie odmiany dawały susz nieróżniący się istotnie statystycznie między sobą, zarówno w przypadku suszenia podczerwienią,

jak i konwekcyjnego materiału nieblanszowanego. Zabieg blanszowania spowodował, że otrzymane susze charakteryzowały się wyższą gęstością pozorną w porównaniu do suszy otrzymanych dwiema pozostałymi metodami suszenia. W przypadku tego suszenia susz z odmian Mentor i Jabłkowy cechował się wyższą gęstością pozorną w porównaniu z suszem z odmiany Cisko.

Kolejną właściwością fizyczną, która posłużyła do porównania otrzymanych suszy była porowatość (tab. 3). Porowatość suszy otrzymanych podczas suszenia podczerwienią i konwekcyjnego materiału nieblanszowanego nie różniła się istotnie między sobą, chociaż należy podkreślić, że materiał otrzymany w suszeniu podczerwienią był bardzo niejednorodny, o czym świadczy wysokie, prawie 20-procentowe odchylenie standardowe. Z kolei, w wyniku suszenia konwekcyjnego materiału nieblanszowanego, porowatość suszy z odmiany Mentor i Jabłkowy statystycznie nie różniła się, natomiast z odmiany Cisko cechowała się najwyższą wartością, wynoszącą prawie 40%. Niezależnie od odmiany, susz uzyskany z materiału blanszowanego wykazywał niższą porowatość. Porównując porowatość uzyskanych suszy z materiałem wyjściowym (rys. 2) należy stwierdzić, że suszenie materiału nieblanszowanego powodowało istotny, nawet 2-krotny wzrost porowatości, przy czym wzrost ten był najmniejszy w przypadku odmiany Jabłkowy. Suszenie materiału blanszowanego nie powodowało zmian porowatości w przypadku odmian Mentor i Jabłkowy, wzrastała natomiast porowatość materiału odmiany Cisko.



Rys. 1. Wpływ odmiany selera na zmiany porowatości suszu otrzymanego różnymi metodami
 Fig. 1. Effect of celery variety on changes of porosity of dried material obtained using different methods

Dla uzyskanych suszy wyznaczono izotermy sorpcji, których przebieg został opisany równaniem GAB. Izoterma sorpcji jako zależność pomiędzy zawartością wody i aktywnością wody przy stałej temperaturze, obrazuje stopień powiązania wody z materiałem, które może mieć charakter zarówno fizyczny jak i fizykochemiczny. Stąd jej przebieg jest zależny od składu chemicznego i konfiguracji przestrzennej składników o charakterze biopolimerów (w zakresie mono i wielowarstwy) oraz od struktury wewnętrznej materiału (w zakresie kondensacji kapilarnej).

Uzyskane wyniki wskazują, że pojemność monowarstwy (wartość u_m) była zależna zarówno od odmiany selera, jak i od sposobu suszenia (tab. 4). Biorąc pod uwagę ten parametr, najbardziej jednorodny był susz uzyskany podczas suszenia konwekcyjnego (zróżnicowanie pojemności monowarstwy rzędu 10%), natomiast susz otrzymany w pozostałych wariantach suszenia – maksymalnie 15%. W obrębie każdej z odmian blanszowanie powodowało zmniejszenie pojemności monowarstwy o około 10-15%. Wydaje się, że działanie wysokiej temperatury przy wysokiej zawartości wody prowadziło do denaturacji substancji białkowych zawartych w ścianach, błonach czy organellach komórek, przez co ulegała zmniejszeniu dostępność aktywnych miejsc cząsteczek zdolnych do przyłączania wody.

Tabela 4. Parametry równania GAB opisującego izotermy sorpcji badanych suszy
Table 4. Parameters of GAB equation describing sorption isotherms of tested dried materials

		MENTOR	JABŁKOWY	CISKO
IR-NBL	u_m	0,0703	0,0676	0,0785
	c	19,13	74,3126	39,3565
	k	0,9999	0,9993	1
	R^2	0,963	0,9983	0,9978
KON-NBL	u_m	0,0707	0,0758	0,0743
	c	25,1443	70,1006	43,6745
	k	1	0,9852	1
	R^2	0,9803	0,998	0,9988
KON-BL	u_m	0,0686	0,0591	0,0651
	c	5,677	6,903	5,68
	k	0,9967	0,9993	0,9996
	R^2	0,9947	0,9994	0,9965

Wartości współczynników k (tab. 4), niezależnie od rodzaju suszu przyjmowały wartości zbliżone do jedynki. Współczynnik ten zależy jest od energii potrzebnej do zaadsorbowania jednego mola wody w postaci ciekłej na istniejącej już warstwie hydratacyjnej. Brak istotnych różnic pomiędzy wartościami tego współczynnika dla poszczególnych suszy oznacza, że energia adsorpcji wody w wielowarstwie jest dla każdego z suszy na zbliżonym poziomie.

Wśród parametrów równania GAB najbardziej różnicuje odmiany współczynnik c , którego wartość jest odpowiedzialna za przebieg izotermy przy $a_w < 0,3$, a więc dotyczy adsorpcji w monowarstwie. Wskazywać to więc może na fakt zróżnicowanej zdolności wiązania wody. Najsilniej woda wiązana jest w przypadku selera odmiany Jabłkowy. Proces blanszowania zdecydowanie siłą tę obniżał.

Wnioski

1. Użyty surowiec był mocno zróżnicowany pod względem początkowej zawartości suchej substancji: od 10,2 do ponad 15%, natomiast nie różnił się istotnie porównując gęstość rzeczywistą, pozorną i porowatość.
2. Susz, w zależności od odmiany i metody suszenia, różnił się pod względem gęstości rzeczywistej, pozornej, porowatości i właściwości sorpcyjnych, przy czym wzajemne zależności w przypadku suszu nie korelowały ze zróżnicowaną zawartością suchej substancji w surowcu, co świadczy o tym, że zmiany wywołane procesem suszenia oraz ich stopień zależy od innych cech odmianowych.
3. Susz z materiału nieblanszowanego cechował się znacznym, nawet dwukrotnym wzrostem porowatości, natomiast blanszowanie wzrost ten istotnie ograniczało lub likwidowało. Blanszowanie powodowało również zmniejszenie pojemności monowarstwy.
4. Zróżnicowanie odmianowe materiału przeznaczonego do suszenia może prowadzić do uzyskania produktu o niejednorodnych właściwościach fizycznych.

Bibliografia

- Lewicki P.P.** 1997. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. *J. Food Sci. Technol.*, 32. s. 553-557.
- Lozano J.E., Urbican M.J., Rotstein E.** 1983. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture content. *Journal of Food Science*. 48. s. 1497-1502.
- Łapczyńska-Kordon B.** 2000. Zmiany gęstości i struktury wewnętrznej selera podczas suszenia, *Inżynieria Rolnicza*, 7. s. 91-98.
- Nowak D., Pomarańska-Łazuka W., Lewicki P.P.** 2005. Wpływ odmiany selera korzeniowego na przebieg procesu suszenia. *Inżynieria Rolnicza*. 9(69). s. 233-240.
- Nowak D., Witrowa-Rajchert D., Lewicki P.P.** 2001. Wpływ struktury materiału na zdolność do rehydracji suszonej tkanki roślinnej. *Inżynieria Chemiczna i Procesowa*. T.22, zeszyt 3D. s. 1020-1024.
- Witrowa-Rajchert, D.** 1999. Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Rozprawa habilitacyjna. Fundacja "Rozwój SGGW". Warszawa. ISBN 83-87660-95-7

THE INFLUENCE OF RAW PRODUCT AND METHOD OF CONDUCTING THE PROCESS ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE OBTAINED DRIED MATERIAL

Summary. The work includes an analysis of the effect of variety and method of conducting the drying process on physical properties of the obtained dried material. Three celery varieties were used: Apple type, Mentor and Cisco, and three variants of the process: convection type of non-blanched material and preceded by thermal treatment and radiant-heat drying of raw product not put to pre-treatment. For the obtained dried materials actual density, apparent density and porosity were determined and sorption isotherms were set. It was proved that both celery varieties and the drying technology differentiated the material in terms of tested physical properties, and the extent of these changes was dependent from raw product properties and process parameters.

Key words: infrared radiation, convection drying, porosity, apparent density, sorption isotherms, monolayer capacity

Adres do korespondencji:

Dorota Nowak; e-mail: dorota_nowak@sggw.pl
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159c
02-776 Warszawa