

WŁAŚCIWOŚCI SORPCYJNE WYBRANYCH GATUNKÓW RYŻU

Zbigniew Pałacha, Aleksandra Sas

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

Streszczenie. W pracy wyznaczono izotermy adsorpcji i desorpcji wody dla wybranych gatunków ryżu metodą statyczno-eksykatorową w temperaturze 25°C, w zakresie aktywności wody od 0,113 do 0,932 (adsorpcja) i od 0,810 do 0,113 (desorpcja). Do badań użyto ryż długoziarnisty biały, brązowy, czerwony, czarny i biały parzony. Stwierdzono, że izotermy adsorpcji i desorpcji wody badanych gatunków ryżu miały kształt sigmoidalny i zgodnie z klasyfikacją Brunauera i in. odpowiadały II typowi izoterm. Do opisu izoterm adsorpcji i desorpcji wody zastosowano modele Oswina, GAB, Lewickiego i Pelega. Modele GAB, Lewickiego i Pelega bardzo dobrze opisywały otrzymane izotermy adsorpcji i desorpcji wody. Obliczony średni błąd kwadratowy (RMS) nie przekroczył 6,5 %. Wszystkie izotermy wykazały pętlę histerezy, przy czym największą pętlą histerezy charakteryzował się ryż biały parzony, a najmniejszą ryż czarny. Zawartość wody w monowarstwie wyznaczona w modelu GAB była większa w procesie desorpcji niż w procesie adsorpcji wody dla wszystkich badanych gatunków ryżu. Ryż biały posiadał największą zawartość wody w monowarstwie w obu procesach (7,182 g wody·100 g⁻¹ s.m. – adsorpcja; 11,162 g wody·100 g⁻¹ s.m. – desorpcja). Największą powierzchnię właściwą posiadał ryż biały (254,7 m²·g⁻¹ s.m.), a najmniejszą ryż biały parzony – 158,0 m²·g⁻¹ s.m.

Słowa kluczowe: ryż, izotermy adsorpcji i desorpcji wody, histereza sorpcyjna

WSTĘP

Ryż jest jednym z najcenniejszych zbóż na świecie, ważnym składnikiem pokarmowym milionów ludzi na świecie zamieszkujących kraje podzwrotnikowe i zwrotnikowe, głównie Azję i Afrykę. Zajmuje trzecie miejsce na świecie pod względem produkcji zbóż oraz drugie pod względem spożycia przez ludzi. Ze względu na ekologiczne i konsumpcyjne wymagania rozróżnia się ryż: twardy i miękki oraz krótko-, średnio- i długoziarnisty. Wśród odmian ryżu długoziarnistego wyróżnia się ryż: basmati i carolina (hinduski), surinami (z Surinamu), domsza

(irański), jasmine (z Tajlandii) i panta (amerykański). Do ryżu średnioziarnistego zalicza się, pochodzące z Włoch, odmiany vialone i arborio. Ryż krótkoziarnisty również pochodzi z Włoch. Ponadto, wyróżnia się ryż biały, brązowy, czerwony i czarny oraz ryż poddany obróbce termicznej: parzony (parboiled), gotowany (pre-cooked) i błyskawiczny (Borowy i Kubiak 2014, Ziarno i Zaręba 2008).

Ryż posiada wysokie walory odżywcze, jest bogatym źródłem skrobi, białka, soli mineralnych, witamin i błonnika pokarmowego (Kunachowicz i in. 2005, Zhou i in. 2002). Z uwagi na swoje właściwości strukturotwórcze ryż coraz częściej znajduje zastosowanie w technologii żywności. Całe ziarna ryżu wykorzystuje się do produkcji mąki ryżowej, makaronu, płatków ryżowych, mleka ryżowego, wafli ryżowych, produktów fermentowanych, papieru ryżowego oraz produktów zaliczanych do grupy bezglutenowych (Borowy i Kubiak 2014).

Właściwości sorpcyjne ryżu odgrywają ważną rolę w procesie jego przetwarzania i przechowywania. Wyznaczone izotermy adsorpcji i desorpcji wody są najlepszym narzędziem do określenia tych właściwości (Pałacha 2010). Znajomość przebiegu izoterm adsorpcji i desorpcji wody pozwala na określenie zawartości wody w monowarstwie, uznawanej za optymalną do zachowania stabilności materiału. Ponadto, izotermy adsorpcji i desorpcji wody mogą być wykorzystane do modelowania procesu suszenia, projektowania i optymalizacji suszarek, prognozowania okresu przechowywania oraz wyboru odpowiedniego opakowania (Pałacha 2010, Gal 1983).

Przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody większości produktów spożywczych charakteryzuje się pętlą histerezy (Pałacha i Szcześniak 2014, Pałacha i Chrzanowski 2013, Pałacha i Malczewska 2010, Peng i in. 2007, Al-Muhtaseb i in. 2004). Wielkość pętli histerezy, jej kształt, punkt początkowy i końcowy pętli mogą znacznie się różnić w zależności od rodzaju produktu, temperatury, szybkości i stopnia odwodnienia (Cybulska 2002). W dostępnej literaturze jest bardzo niewiele informacji na temat izoterm desorpcji wody i występowania zjawiska histerezy w ryżu. Poniższy materiał stanowi uzupełnienie wiedzy na ten temat.

Celem pracy było określenie właściwości sorpcyjnych wybranych gatunków ryżu na podstawie wyznaczonych izoterm adsorpcji i desorpcji wody w temperaturze 25°C oraz ich analizy.

MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto pięć gatunków ryżu długoziarnistego: biały, brązowy, czerwony i czarny wyprodukowane przez firmę BIO Planet oraz biały parzony (parboiled) wyprodukowany przez firmę BIO Company.

Początkową zawartość wody w ryżu oznaczono metodą suszenia pod obniżonym ciśnieniem w suszarce Nemmert firmy Donsert. Próbkę ryżu suszono w temperaturze $70 \pm 1^\circ\text{C}$, pod ciśnieniem 1 kPa, przez 24 godziny (AOAC 1996).

Początkową aktywność wody w ryżu zmierzono przy użyciu aparatu AquaLab w temperaturze $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Pomiar przeprowadzono w 3 równoległych powtórzeniach.

Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wyznaczono metodą statyczno-eksykatorową (Spiess i Wolf 1983), stosując nasycone roztwory soli jako czynniki higrostatyczne: LiCl, CH_3COOK , MgCl_2 , K_2CO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, NaNO_2 , NaCl, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i $(\text{NH}_4)_2\text{K}_2\text{PO}_4$ (Greenspan 1977, Rockland 1960, Labuza i in. 1985). W ekscyktorach z roztworami o większej aktywności wody (NaCl, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i $(\text{NH}_4)_2\text{K}_2\text{PO}_4$) umieszczono naczynka z tymolem, w celu ochrony przed rozwojem mikroflory w materiale. Przed procesem adsorpcji próbki ryżu wysuszono w suszarce próżniowej w temperaturze 70°C , przy ciśnieniu 1 kPa, w czasie 24 godzin. Natomiast, przed procesem desorpcji, próbki ryżu nawilżano przez 21 dni w temperaturze 25°C w ekscyktorze z wodą destylowaną ($a_w = 1,0$) do osiągnięcia a_w materiału bliskiej 0,9. Tak przygotowane próbki ryżu przeniesiono do ekscyktorów z roztworami soli o a_w od 0,113 do 0,932 (proces adsorpcji) i o a_w od 0,810 do 0,113 (proces desorpcji). Czas przetrzymywania próbek wyniósł 3 miesiące. Badania wykonano w temperaturze $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ w 3 powtórzeniach.

Równowagową zawartość wody w ryżu po procesie adsorpcji obliczono ze wzoru (Lewicki 1997a):

$$u = \left[\frac{\frac{d}{b} - 1}{c \frac{b}{a}} \right] \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie: u – równowagowa zawartość wody, ($\text{g wody} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$); a – początkowa masa próbki z ekscyktora z CaCl_2 , (g); b – końcowa masa próbki, po trzymiesięcznym przetrzymywaniu w ekscyktorze z CaCl_2 (po suszeniu w temperaturze 70°C , pod obniżonym ciśnieniem, przez 24 h), (g); c – początkowa masa próbki z ekscyktora z określonym roztworem, (g); d – końcowa masa próbki, po trzymiesięcznym przetrzymywaniu, z ekscyktora z określonym roztworem, (g).

Równowagową zawartość wody w ryżu po procesie desorpcji obliczono ze wzoru:

$$u = \left[\frac{d - d'}{d'} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

gdzie: d' – końcowa masa próbki, po trzymiesięcznym przetrzymywaniu, z ekscyktora z określonym roztworem (po suszeniu w temperaturze 70°C , pod obniżonym ciśnieniem, przez 24 h), (g).

Do opisu izoterm adsorpcji i desorpcji wody ryżu zastosowano 4 modele. Model Oswina (1946):

$$u = h \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^z \quad (3)$$

Model GAB (Boquet i in. 1979):

$$u = \frac{u_m C k a_w}{(1 - k a_w) [1 + (C - 1) k a_w]} \quad (4)$$

Model Lewickiego (1998):

$$u = \frac{F}{(1 - a_w)^G} - \frac{F}{1 + a_w^H} \quad (5)$$

Model Pelega (1993):

$$u = A a_w^B + D a_w^E \quad (6)$$

gdzie: a_w – aktywność wody; u – równowagowa zawartość wody, (g wody·100 g⁻¹ s.m.); u_m – zawartość wody w monowarstwie, (g wody·100 g⁻¹ s.m.); $h, k, z, A, B, C, D, E, F, G, H$ – stałe.

Aproksymację izoterm przeprowadzono na bazie wszystkich punktów pomiarowych (3 powtórzenia). Programu Table Curve 2D (Jandel Scientific) użyto do dopasowania testowanych modeli do danych doświadczalnych.

Powierzchnię właściwą ryżu obliczono ze wzoru (Labuza 1968):

$$S = \frac{u_m \cdot N_o \cdot \sigma_o}{M} \quad (7)$$

gdzie: S – powierzchnia właściwa adsorbentu, (m²·g⁻¹ s.m.); u_m – zawartość wody w monowarstwie GAB, (g wody·100 g⁻¹ s.m.); N_o – liczba Avogadra (6,023·10²³ cząsteczek·mol⁻¹); σ_o – powierzchnia siadania cząsteczki wody, (10,6·10⁻²⁰ m²·cząsteczka⁻¹); M – masa molowa wody (18 g·mol⁻¹).

Przydatność modeli do opisu danych doświadczalnych adsorpcji i desorpcji wody oceniono na podstawie średniego błędu kwadratowego (RMS) wyrażonego w % (Lewicki 1998):

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{u_e - u_p}{u_e} \right)^2}{N}} \cdot 100 \quad (7)$$

gdzie: u_e – doświadczalna równowagowa zawartość wody, (g wody·100 g⁻¹ s.m.); u_p – prognozowana równowagowa zawartość wody, (g wody·100 g⁻¹ s.m.); N – liczba danych.

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 przedstawiono średnią początkową zawartość i aktywność wody w badanym ryżu. Stwierdzono, że największą początkową zawartością i aktywnością wody charakteryzował się ryż czerwony (12,48%; 0,684). Natomiast, najmniejszą początkową zawartość wody posiadał ryż biały parzony (9,74%), a najmniejszą aktywność wody ryż biały (0,565).

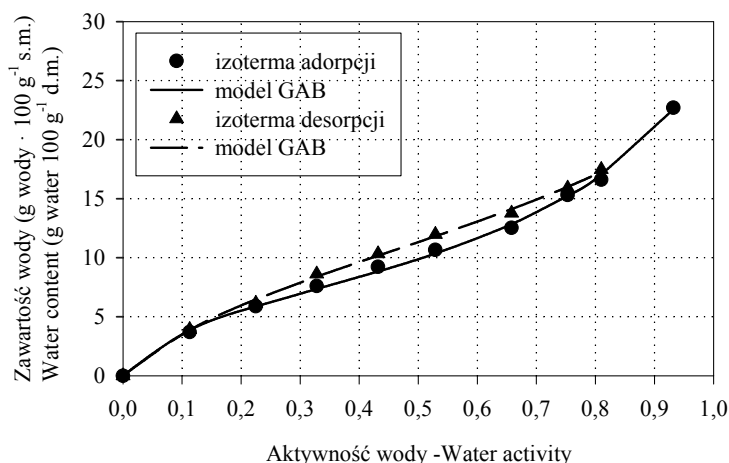
Tabela 1. Początkowa zawartość wody i aktywność wody w badanym ryżu

Table 1. Initial water content and water activity in tested rice

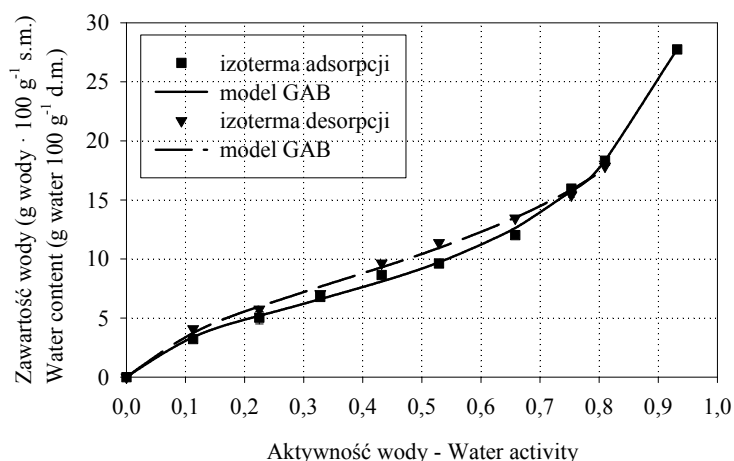
Gatunek ryżu Rice species	Początkowa zawartość wody, % Initial water content, %	Początkowa aktywność wody Initial water activity
Biały White	11,89 ±0,84	0,565 ±0,006
Brązowy Brown	10,31 ±1,13	0,606 ±0,002
Czerwony Red	12,48 ±1,05	0,684 ±0,002
Czarny Black	10,20 ±1,14	0,594 ±0,002
Biały parzony Parboiled	9,74 ±1,38	0,671 ±0,004

Na rysunkach 1-5 pokazano przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody dla badanego ryżu. Punkty zaznaczone na izotermach są wielkościami średnimi, a współczynniki zmienności mieściły się w zakresie od 0,01 do 1,35% dla ryżu białego, od 0,01 do 10,54% dla ryżu brązowego, od 0,01 do 10,76% dla ryżu czerwonego, od 0,01 do 4,41% dla ryżu czarnego i od 0,01 do 8,61% dla ryżu białego parzonego. Uzyskane izotermy adsorpcji i desorpcji wody, bez względu na gatunek badanego ryżu, posiadały typowy kształt sigmoidalny, charakterystyczny dla izoterm typu II, zgodnie z klasyfikacją Brunauera i innych (1940). Izotermy II typu są charakterystyczne dla produktów skrobiowych i białkowych.

Przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody wykazał występowanie pętli histerezy we wszystkich badanych gatunkach ryżu, przy czym jej kształt i wielkość były zróżnicowane. Największą pętlę histerezy stwierdzono dla ryżu białego parzonego (rys. 5). Nieco mniejsze pętli histerezy, lecz o zbliżonej wielkości i kształcie, stwierdzono dla ryżu białego (rys. 1), brązowego (rys. 2) i czerwonego (rys. 3). Natomiast najmniejszą pętlą histerezy charakteryzował się ryż czarny (rys. 4).



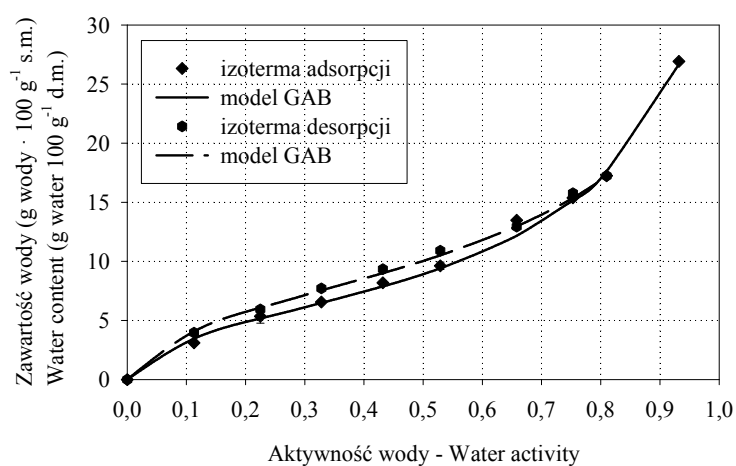
Rys. 1. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody ryżu białego
Fig. 1. Water adsorption and desorption isotherms of white rice



Rys. 2. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody ryżu brązowego
Fig. 2. Water adsorption and desorption isotherms of brown rice

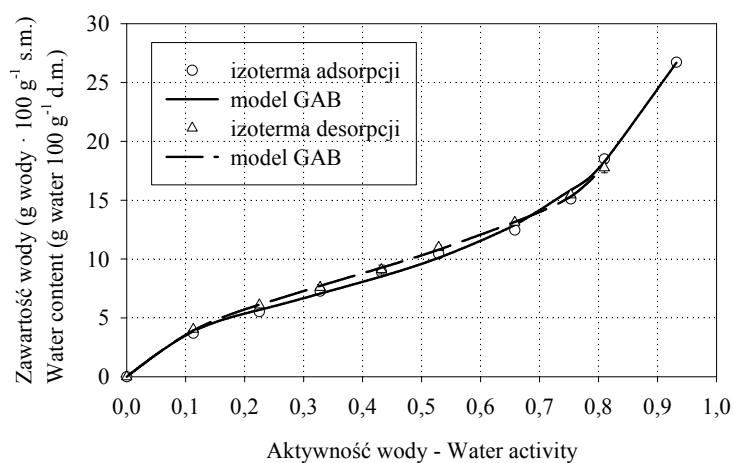
Wielkość pętli histerezy wynikała z różnicy pomiędzy równowagową zawartością wody w procesach adsorpcji i desorpcji. Im była ona większa, tym pętla histerezy była bardziej wyraźna. Dla wszystkich gatunków ryżu początek pętli histerezy stwierdzono przy niskich wartościach liczbowych aktywności wody ok. 0,1, natomiast zamknięcie pętli histerezy stwierdzono przy aktywności wody ok. 0,8 dla ryżu białego, brązowego, czerwonego i białego parzonego oraz przy aktywności wody ok. 0,7 dla ryżu czarnego. Różnice w wielkości pętli histerezy badanych gatunków ryżu

prawdopodobnie wynikały z budowy anatomicznej ziaren ryżu, zróżnicowanego ich składu chemicznego i struktury oraz przeprowadzonej obróbki termicznej (ryż biały parzony) (Al-Muhtaseb i in. 2004, Benado i Rizvi 1985). Pałacha i Chrzanowski (2013) otrzymali również zamknięte pętle histerezy przy aktywności wody ok. 0,8 dla modyfikowanych skrobi: kukurydzianej, z kukurydzy woskowej i z tapioki.



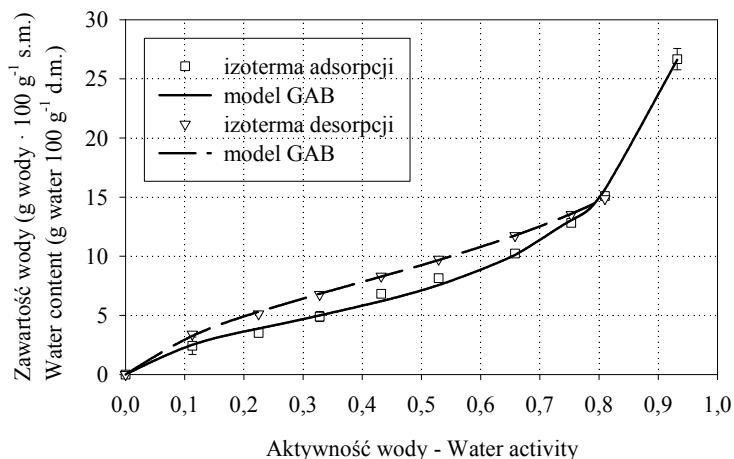
Rys. 3. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody ryżu czerwonego

Fig. 3. Water adsorption and desorption isotherms of red rice



Rys. 4. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody ryżu czarnego

Fig. 4. Water adsorption and desorption isotherms of black rice



Rys. 5. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody ryżu białego parzonego
Fig. 5. Water adsorption and desorption isotherms of parboiled rice

Do opisu izoterm adsorpcji i desorpcji wody badanych gatunków ryżu wykorzystano 4 modele: 1 model dwuparametrowy (Oswina), 2 modele trójparametrowe (GAB i Lewickiego) oraz model czteroparametrowy (Pelega). W tabelach 2 i 3 przedstawiono obliczone parametry odnoszące się do 5 gatunków ryżu w zastosowanych modelach izoterm adsorpcji i desorpcji oraz pokazano jakość dopasowania modeli wyrażoną przez współczynnik determinacji (R^2), jak również średni błąd kwadratowy (RMS). Zakładając, że wielkość średniego błędu kwadratowego na poziomie niższym niż 10% jest dobrą zgodnością dopasowania modelu do danych sorpcyjnych w całym badanym zakresie aktywności wody, stwierdzono, że modele GAB, Lewickiego i Pelega bardzo dobrze opisywały dane eksperymentalne ryżu w procesach adsorpcji i desorpcji wody. Model Oswina, również spełniał to kryterium, z wyjątkiem ryżu białego (RMS: 13,06 i 11,30%). Oznacza to, że każdy model mógłby być zastosowany do opisu danych sorpcyjnych badanych gatunków ryżu. Jednakże, z uwagi na dobre podstawy teoretyczne modelu GAB (Bizot 1983) oraz zalecenia Europejskiego Projektu Cost 90 do jego szerokiego stosowania przy modelowaniu danych sorpcyjnych (Wolf i in. 1984), wykorzystano go do graficznego opisu izoterm adsorpcji i desorpcji wody badanych gatunków ryżu (rys. 1-5). Wartości liczbowe błędu RMS dla modelu GAB kształtowały się na poziomie od 0,01% dla ryżu czarnego do 6,09% dla ryżu białego parzonego (proces adsorpcji) i od 2,05% dla ryżu czarnego do 5,53% dla ryżu czerwonego (proces desorpcji).

Tabela 2. Obliczone parametry dla modeli izoterm adsorpcji wody badanego ryżu
Table 2. Calculated parameters for the models of water adsorption isotherms of tested rice

Model (parametry) Model (parameters)	Gatunki ryżu Rice species				
	Biały White	Brązowy Brown	Czerwony Red	Czarny Black	Biały parzony Parboiled
Oswin					
h	9,834	9,356	9,144	9,776	7,356
z	0,332	0,427	0,422	0,392	0,493
R ²	0,9888	0,9936	0,9954	0,9950	0,9978
RMS, %	13,06	8,44	9,15	0,15	6,78
GAB					
u _m	7,182	6,064	5,775	6,291	4,459
C	10,598	9,650	11,214	12,156	9,070
k	0,745	0,845	0,846	0,826	0,897
R ²	0,9986	0,9979	0,9976	0,9983	0,9971
RMS, %	2,92	3,52	5,26	0,01	6,09
Lewicki					
F	20,217	15,422	14,961	16,760	10,501
G	0,184	0,315	0,313	0,279	0,415
H	0,762	0,746	0,713	0,700	0,750
R ²	0,9991	0,9968	0,9978	0,9964	0,9983
RMS, %	1,43	3,46	3,76	0,02	4,77
Peleg					
A	11,984	14,396	14,457	14,932	14,643
B	6,516	6,174	6,842	6,397	10,033
D	15,857	21,742	21,207	19,631	26,256
E	0,663	0,683	0,691	0,648	0,937
R ²	0,9994	0,9986	0,9983	0,9991	0,9985
RMS, %	1,22	2,58	3,49	0,12	6,50

Model GAB pozwala wyznaczyć zawartość wody w monowarstwie i jest uznawany za najbardziej przydatny do przewidywania optymalnych warunków przechowywania oraz stabilności przechowalniczej żywności o małej i średniej zawartości wody (Pałacha 2010). Wielkości stałych (tab. 1-2), uzyskane w modelu GAB dla badanych gatunków ryżu, tj. zawartość wody w monowarstwie (u_m), oraz C i k związane z energią oddziaływań między pierwszą i dalszymi adsorbowanymi cząsteczkami wody przez indywidualne centra adsorpcji matrycy, poprawnie opisują sigmoidalny kształt izoterm. Lewicki (1997b) wykazał, że kiedy wartość liczbowa stałej k mieści się w zakresie $0,24 < k \leq 1$, to utrzymanie błędu obliczenia zawartości wody w monowarstwie na poziomie $\pm 15,5\%$ wymaga wartości liczbowej stałej C większej niż 5,5. Ogólnie, dla wszystkich badanych gatunków ryżu, większe wartości u_m uzyskano w procesie desorpcji wody (tab. 1-2). Podobną tendencję stwierdzili Lomauro i in. (1985) dla ryżu białego,

Al-Muhtaseb i in. (2004) dla skrobi ziemniaczanej, Oyelade i in. (2008) dla mąki kukurydzianej, Pałacha i Malczewska (2010) dla kardamonu i kurkumy, Pałacha i Chrzanowski dla modyfikowanych skrobi: kukurydzianej, z kukurydzy woskowej i z tapioki oraz Pałacha i Szcześniak (2014) dla makaronu.

Tabela 3. Obliczone parametry dla modeli izoterm desorpcji wody badanego ryżu
Table 3. Calculated parameters for the models of water desorption isotherms of tested rice

Model (parametry) Model (parameters)	Gatunki ryżu Rice species				
	Biały White	Brązowy Brown	Czerwony Red	Czarny Black	Biały parzony Parboiled
Oswin					
h	10,678	10,113	9,915	10,010	8,844
z	0,362	0,399	0,389	0,377	0,380
R ²	0,9866	0,9930	0,9880	0,9950	0,9922
RMS, %	11,30	5,75	6,48	5,45	8,84
GAB					
u _m	11,162	8,273	7,222	8,156	7,979
C	7,254	8,259	11,714	9,553	7,813
k	0,552	0,703	0,743	0,684	0,642
R ²	0,9984	0,9956	0,9885	0,9986	0,9995
RMS, %	2,70	4,76	5,53	2,05	2,40
Lewicki					
F	25,368	19,020	16,937	19,347	18,619
G	0,123	0,231	0,264	0,208	0,177
H	0,842	0,729	0,610	0,702	0,782
R ²	0,9990	0,9962	0,989	0,9983	0,9995
RMS, %	2,50	4,58	5,04	2,16	4,15
Peleg					
A	18,827	18,025	15,530	13,642	13,981
B	0,722	0,754	0,628	0,557	0,659
D	26,441	39,229	20,421	8,889	6,109
E	14,228	13,152	7,941	3,079	3,935
R ²	0,9992	0,9962	0,9903	0,9988	0,9996
RMS, %	2,43	6,10	2,226	1,72	4,03

Największą zawartość wody w monowarstwie w procesie adsorpcji stwierdzono dla ryżu białego (7,182 g wody·100 g⁻¹ s.m.), a najmniejszą dla ryżu białego parzonego (4,459 g wody·100 g⁻¹ s.m.). Podobne wartości liczbowe u_m dla ryżu białego, wynoszące odpowiednio 7,21 i 11,00 g wody·100 g⁻¹ s.m. otrzymali Lomauro i in. (1985) oraz Lewicki (2008). Mniejsza o 38% zawartość wody w monowarstwie dla ryżu białego parzonego wynika prawdopodobnie z naruszenia struktury ziaren ryżu podczas przeprowadzonej obróbki termicznej (działanie pary wodnej pod zwiększonym ciśnieniem) i w konsekwencji ograniczenie liczby centrów

aktywnych matrycy zdolnych do adsorpcji wody. Natomiast największą zawartość wody w monowarstwie w procesie desorpcji ponownie stwierdzono dla ryżu białego (11,162 g wody·100 g⁻¹ s.m.), a najmniejszą dla ryżu czerwonego (7,222 g wody·100 g⁻¹ s.m.). Ogólnie, zawartość wody w monowarstwie w procesie desorpcji była o ponad 55% większa niż w procesie adsorpcji dla ryżu białego, o ponad 36% większa dla ryżu brązowego, o 25 % większa dla ryżu czerwonego, o prawie 30% większa dla ryżu czarnego i o 79% większa w ryżu białym parzonym.

W tabeli 4 podano wielkości powierzchni właściwej badanych gatunków ryżu obliczone na podstawie pojemności monowarstwy GAB wyznaczonej w procesie adsorpcji. Największą powierzchnię właściwą, wynoszącą 254,7 m²·g⁻¹ s.m., posiadał ryż biały, a najmniejszą – wynoszącą 158,0 m²·g⁻¹ s.m. ryż biały parzony. Pozostałe badane gatunki ryżu charakteryzowały się zbliżonymi wielkościami powierzchni właściwej adsorbentu. Ryż biały posiadał największą, spośród badanych gatunków ryżu, zdolność do wiązania wody w procesie adsorpcji, był więc materiałem najbardziej higroskopijnym. Natomiast najmniej higroskopijnym był ryż biały parzony. Podobne wielkości powierzchni właściwej otrzymali Włodarczyk-Stasiak i Jamroz (2008) dla ekstraktów skrobiowo-białkowych (od 209 do 298 m²·g⁻¹ s.m.), Ruskowska (2012) dla mąk przeznaczonych do wypieku chleba w warunkach domowych (od 227 do 306 m²·g⁻¹ s.m.) oraz Pałacha i Szcześniak (2014) dla różnych gatunków makaronu (od 179,3 do 229,3 m²·g⁻¹ s.m.).

Tabela 4. Powierzchnia właściwa adsorbentu (matrycy) badanych gatunków ryżu

Table 4. Specific surface area of adsorbent (matrix) of tested rice species

Gatunki ryżu Rice species	Powierzchnia właściwa (S), m ² ·g ⁻¹ s.m. Specific surface area (S), m ² g ⁻¹ d.m.
Biały / White	254,7
Brązowy / Brown	215,1
Czerwony / Red	204,8
Czarny / Black	223,1
Biały parzony / Parboiled	158,0

WNIOSKI

1. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wszystkich badanych gatunków ryżu należały do II typu izoterm, zgodnie z klasyfikacją Brunauera i innych.

2. Zjawisko histerezy sorpcji było widoczne dla każdego gatunku ryżu, przy czym największą pętlą histerezy charakteryzował się ryż biały parzony, a najmniejszą pętlę histerezy wykazał ryż czarny.

3. Modele GAB, Lewickiego i Pelega bardzo dobrze opisywały dane sorpcyjne badanych gatunków ryżu. Obliczony średni błąd kwadratowy nie przekroczył wartości 6,5%.

4. Zawartość wody w monowarstwie wyznaczona w modelu GAB była wyższa w procesie desorpcji niż w procesie adsorpcji wody dla wszystkich badanych gatunków ryżu. Ryż biały posiadał największą wartość u_m w obu procesach, natomiast najmniejszą ryż biały parzony (proces adsorpcji) i ryż czerwony (proces desorpcji).

5. Największą powierzchnię właściwą posiadał ryż biały i w konsekwencji materiał ten pochłoniął najwięcej wody w procesie adsorpcji, a najmniejszą powierzchnię właściwą stwierdzono dla ryżu białego parzonego.

PIŚMIENNICTWO

- Al-Muhtaseb A.H., McMinn W.A.M., Magee T.R.A., 2004. Water sorption isotherms of starch powders. Part I. Mathematical description of experimental data. *J. Food Eng.*, 61, 297-307.
- AOAC, 1996. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Arlington. VA.
- Benado A. L., Rizvi S.S.H., 1985. Thermodynamic properties of water on rice as calculated from reversible and irreversible isotherms. *Journal of Food Science*, 50(1), 101-105.
- Bizot H., 1983. Using the "G.A.B." model to construct sorption isotherms. In: *Physical Properties of Foods* (Eds R. Jowitt, F. Escher, B. Hällström, H.F.T. Meffert, W.E.L. Spiess, G. Vos). Applied Science Publishers, New York, 43-54.
- Boquet R., Chirife J., Iglesias H.A., 1979. Equations for fitting water sorption isotherms of foods. Part III. Evaluation of various three-parameter models. *Journal of Food Technology*, 14(5), 527-534.
- Borowy T., Kubiak M., 2014. Wartość technologiczna i żywieniowa ryżu. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 3, 9-11.
- Brunauer S., Deming L.S., Deming W.E., Tellur E., 1940. On a theory of the van der Waals adsorption of gases. *J. Am. Chem. Soc.*, 62, 1723-1732.
- Cybulska E.B., 2002. Skład, przemiany i właściwości żywności. W: *Chemia żywności* (Red. Z.E. Sikorski). Wyd. IV, WNT, Warszawa, 53-83.
- Gal S., 1983. The need for, and practical applications of sorption data. In: *Physical Properties of Foods* (Eds R. Jowitt, F. Escher, B. Hällström, H.F.T. Meffert, W.E.L. Spiess, G. Vos). Applied Science Publishers, New York, 13-25.
- Greenspan L., 1977. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of Research of the National Bureau of Standards – A. Physics and Chemistry*, 81 A, 89-96.
- Kunachowicz H., Nadolna I., Przygoda B., Iwanow K., 2005. Tabele składu i wartości odżywczej żywności. PZWL, Warszawa, 186-187.
- Labuza T.P., 1968. Sorption phenomena in food. *Food Tech.*, 22, 263-272.
- Labuza T.P., Kaanane A., Chen J.Y., 1985. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. *J. Food Sci.*, 50(2), 385-391.
- Lewicki P.P., 1997a. Water sorption isotherms and their estimation in food model mechanical mixtures. *J. Food Eng.*, 32(1), 47-68.
- Lewicki P.P., 1997b. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. *International J. Food Sci. Tech.*, 32(6), 553-557.
- Lewicki P.P., 1998. A tree parameter equation for food moisture sorption isotherms. *J. Food Proc. Eng.*, 21(2), 127-144.
- Lewicki P.P., 2008. Data and models of water activity. II. Solid Foods. In: *Food Properties Handbook* (Ed. M.S. Rahman). Marcel Dekker Inc., New York, 67-151.

- Lomauro G.J., Bakshi A.S., Labuza T.P., 1985. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part II. Milk, coffee, tea, nuts, oilseeds, spices and starchy foods. *Lebensmittel – Wissenschaft und –Technologie*, 18(2), 118-124.
- Oswin C.R., 1946. The kinetics of package life. III. The isotherm. *J. Chem. Ind. (London)*, 65, 419-423.
- Oyelade O.J., Tunde-Akintunde T.Y., Igbeka J.C., Oke M.O., Raji O.Y., 2008. Modelling moisture sorption isotherms for maize flour. *Journal of Stored Products Research*, 44, 179-185.
- Pałacha Z., 2010. Właściwości sorpcyjne. W: *Właściwości fizyczne żywności* (Red. Z. Pałacha, I. Sitkiewicz). WNT, Warszawa, 143-169.
- Pałacha Z., Chrzanowski P., 2013. Badanie procesu adsorpcji i desorpcji wody wybranych skrobi. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 23/42(1), 58-63.
- Pałacha Z., Malczewska A., 2010. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wybranych przypraw. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 20/36(1), 12-18.
- Pałacha Z., Szcześniak Ł., 2014. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wybranych makaronów. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 24/44(1), 22-28.
- Peleg M., 1993. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. *J. Food Proc. Eng.*, 16(1), 21-37.
- Peng G., Chen X., Wu W., Jiang X., 2007. Modeling of water sorption isotherm for corn starch. *J. Food Eng.*, 80, 562-567.
- Rockland L.B., 1960. Saturated salt solution for static control of relative humidity between 5 and 40°C. *Analytical Chemistry*, 32, 1375-1376.
- Ruszkowska M., 2012. Właściwości sorpcyjne mąk przeznaczonych do wypieku chleba w warunkach domowych. *Acta Agrophysica*, 19(1), 111-121.
- Włodarczyk-Stasiak M., Jamroz J., 2008. Analysis of sorption properties of starch-protein extrudates with the use of water vapour. *Journal of Food Engineering*, 85, 580-589.
- Wolf W.R., Spiess W.E.L., Jung G., Weisser H., Bizot H., Duckworth R.B., 1984. The water vapour sorption isotherms of microcrystalline cellulose (MCC) and of purified potato starch: results of a collaborative study. *J. Food Eng.*, 3(1), 51-72.
- Zhou Z., Robards K., Helliwell S., Blanchard C., 2002. Composition and functional properties of rice. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 37, 849-868.
- Ziarno M., Zaręba D., 2008. Ryż – ważny składnik żywności. *Przemysł Spożywczy*, 62(5), 22-26.

SORPTION PROPERTIES OF SELECTED SPECIES OF RICE

Zbigniew Pałacha, Aleksandra Sas

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

Abstract. In the study presented in the paper water adsorption and desorption isotherms were determined for selected species of rice at 25°C over a range of water activity from 0.113 to 0.932 (adsorption) and from 0.810 to 0.113 (desorption) by static gravimetric method. The study used long-grain white rice, brown, red, black and parboiled. The water adsorption and desorption isotherms of the tested species of rice had a course compatible with type II of isotherms according to

the Brunauer classification. For the description of the water adsorption and desorption isotherms the Oswin, GAB, Lewicki and Peleg models were used. The GAB, Lewicki and Peleg models gave very good fit to the experimental sorption data. The calculated root mean square error (RMS) did not exceed 6.5%. All isotherms show hysteresis loop, while the highest hysteresis loop characterised parboiled rice and the smallest – black rice. The water content in the monolayer determined in the GAB model was higher than the desorption process in adsorption for all species of rice. White rice had the highest water content in the monolayer in both processes (7.182 g water 100 g⁻¹ d.m. – adsorption; 11.162 g water 100 g⁻¹ d.m. – desorption). The largest specific surface area was noted for the white rice (254.7 m² g⁻¹ d.m.) while parboiled rice had the smallest value of that parameter (158.0 m² g⁻¹ d.m.).

Key words: rice, adsorption and desorption isotherms, sorption hysteresis