

EWA DOMIAN, ANDRZEJ LENART

ADSORPCJA PARY WODNEJ PRZEZ ŻYWNOŚĆ W PROSZKU

Streszczenie

W pracy omówiono podstawowe zagadnienia związane z adsorpcją pary wodnej przez żywność w proszku. Przedstawiono znaczenie żywności w proszku w technologii żywności oraz scharakteryzowano izotermę adsorpcji pary wodnej przez żywność w proszku. Szczególną uwagę zwrócono na kinetykę adsorpcji pary wodnej przedstawiając kilka modeli matematycznych opisujących kinetykę adsorpcji pary wodnej.

Znaczenie żywności w proszku w technologii żywności

Koncentraty spożywcze stanowią specyficzną żywność, o dużym stopniu przetworzenia i długiej trwałości, przystosowaną do szybkiego przygotowania lub nawet gotową do bezpośredniego spożycia. Ogólnie można przyjąć, że są to artykuły występujące w postaci suchych mieszanek surowców roślinnych, zwierzęcych i innych dodatków smakowo-zapachowych, które po odtworzeniu w cieczy (wodzie, mleku) dają produkty gotowe do spożycia. Znane są koncentraty obiadowe w proszku (zupy, sosy), desery w proszku (budynie, kisiele, galaretki, pianki, kremy i lody), koncentraty ciast i napojów w proszku oraz koncentraty specjalnego przeznaczenia, jak odżywki dla dzieci i niemowląt lub odżywki dla sportowców i diabetyków. Skład recepturowy koncentratów w proszku jest bardzo zróżnicowany.

Formę proszku można uzyskać podczas rozdrabniania produktów spożywczych zawierających mało wody (np. mąka, kakao). Gotowe produkty suszenia walcowego, rozpyłowego, liofilizacyjnego czy pianowego, również uzyskują formę proszków. Do uzyskania drobnoziarnistych proszków, bez potrzeby zastosowania procesu mielenia, z wyjściowego produktu w postaci płynnej lub półpłynnej najczęściej stosuje się suszenie rozpyłowe. Krótki czas suszenia rozpyłowego wyklucza szkodliwy wpływ wysokich temperatur na wrażliwe składniki suszonych produktów.

Sypka forma żywności w proszku otrzymanej różnymi metodami i wszystkie cechy związane z tym stanem, a więc wielkość cząstek, gęstość nasypowa, sypkość, higroskopijność, właściwości rekonstrykcyjne stanowią jedno z podstawowych zainteresowań technologii żywności. Właściwości fizyczne proszków bardzo często decydują o jakości gotowego produktu. Droбноziarniste proszki są niejednokrotnie uciążliwe w stosowaniu. Ich zwilżalność jest niewielka, gęstość nasypowa mniejsza od gęstości wody, co powoduje, że porcja proszku utrzymuje się na powierzchni cieczy, a oddziaływanie między cząstkami utrudniają proces dyspergowania. Materiały takie ulegają powolnemu dyspergowaniu dopiero w trakcie intensywnego mieszania. W technologii żywności bardzo często stosowana jest aglomeracja proszków. Proces ten umożliwia nadawanie określonego kształtu i wielkości cząstkom materiałów drobnoziarnistych oraz zmienia właściwości fizyczne proszków w takim stopniu, że ich rozpuszczanie przebiega szybko i samorzutnie. Poza tym proszki aglomerowane trudniej ulegają zbrylaniu i zachowują sypkość w procesie magazynowania [6].

Bardzo ważną cechą żywności w proszku jest zawartość wody oraz higroskopijność tych produktów. Ogólnie można przyjąć, że produkty o porowatej strukturze, o wysokim stopniu rozdrobnienia oraz wszelkie susze są silnie higroskopijne. Żywność w proszku może być silnie higroskopijna już przy niskiej i średniej wilgotności względnej powietrza. Zawartość wody w żywności w proszku odgrywa istotną rolę w trwałości tych produktów [12].

Sorpcja pary wodnej przez żywność w proszku

Sorpcja pary wodnej przez produkty spożywcze jest zjawiskiem o dużym znaczeniu w technologii żywności. Charakter higroskopijny żywności wiąże się ze zdolnością do pochłaniania wody w środowisku wilgotnym lub oddawania wody w środowisku suchym, co powoduje zmianę zawartości wody w produkcie. Zdolności adsorpcji i desorpcji pary wodnej są cechami charakterystycznymi danego materiału i zależą od jego składu chemicznego i budowy.

Każdy produkt ma specyficzną dla swej budowy i składu chemicznego tak zwaną krytyczną zawartość wody. Ta zawartość wody stanowi granicę, przekroczenie której pod wpływem zmian wilgotności otoczenia powoduje niekorzystne zmiany cech jakościowych. Zmniejszenie zawartości wody poniżej wartości krytycznej powoduje ubytki masy, stwardnienie produktu, straty aromatu, a także sprzyja utlenianiu tłuszczów. Znacznie szerszy zakres zmian ma miejsce w przypadku przyrostu zawartości wody powyżej wartości krytycznej. Zmiany te mogą mieć charakter fizyczny, chemiczny, enzymatyczny i mikrobiologiczny. Tym samym wilgotność produktu spożywczego, lub ściślej mówiąc jego aktywność wody, decyduje o jego cechach fizycznych, wpływa na przebieg reakcji chemicznych oraz na aktywność kompleksu enzymatycznego i stabilność mikrobiologiczną [11].

Izotermy sorpcji pary wodnej

Każdej zawartości wody w materiale, w stanie równowagi międzyfazowej w układzie para wodna – ciało stałe, odpowiada określona prężność pary wodnej to jest wilgotność względna otoczenia. W stanie równowagi, wilgotności względnej otaczającej atmosfery odpowiada aktywność wody materiału. Parametr ten określa dostępność wody w żywności dla przebiegu reakcji fizykochemicznych, enzymatycznych oraz dla rozwoju drobnoustrojów.

Zależność między aktywnością wody i zawartością wody w żywności, w stałej temperaturze i przy stałym ciśnieniu całkowitym, jest określona izotermą sorpcji. Kształt izotermy sorpcji odzwierciedla mechanizm wiązania wody w materiale. Wrażliwość produktów suszonych na wilgoć oraz ich zdolność chłonięcia wody mogą być określone na podstawie kształtu izoterm.

Izotermy sorpcji znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach technologii żywności. Określono główne kierunki wykorzystania izoterm sorpcji wody. W aspekcie teoretycznym umożliwiają one badanie właściwości termodynamicznych sorpcji wody, jak określenie entalpii i stopnia związania wody. Znajomość izoterm sorpcji umożliwia również badanie struktury materiału poprzez określenie powierzchni właściwej sorpcji, porowatości czy „krystaliczności” materiału. Praktyczne zastosowanie izoterm sorpcji w przetwórstwie żywności obejmuje suszenie, nawilżanie, mieszanie składników, pakowanie i przechowywanie [8].

Znajomość izoterm sorpcji pary wodnej przez żywność w proszku jest niezbędna w celu zapewnienia optymalnych warunków przechowywania żywności suszonej pakowanej w opakowania niehermetyczne. W literaturze proponowanych jest wiele metod i modeli matematycznych opartych na wykorzystaniu izoterm sorpcji, umożliwiających prognozowanie trwałości przechowalniczej żywności suszonej jako funkcji właściwości materiałów opakowaniowych oraz niekorzystnych reakcji obniżających jakość produktu [14].

Substancje rozpuszczalne zawarte w żywności podlegają przemianom fazowym, których wystąpienie i szybkość zmian są uzależnione od obecności wody. Do opisu zachodzących przemian wymagana jest znajomość kinetyki, jak i stanu równowagi sorpcyjnej. Przykładowo sacharoza zachowuje się różnie podczas adsorpcji wody w zależności od jej stanu fizycznego. Przy aktywności wody poniżej 0,8 sacharoza krystaliczna adsorbuje bardzo mało wody, a następnie przy wyższych aktywnościach wody zaczyna się rozpuszczać. Sacharoza w stanie bezpostaciowym pochłania parę wodną i osiąga zawartość wody znacznie wyższą niż w stanie krystalicznym. Adsorpcja wody prowadzi do rozerwania części wiązań wodorowych i zwiększenia ruchliwości cząsteczek sacharozy, a to z kolei ewentualnie umożliwia przejście cukru z meta-stabilnego stanu bezpostaciowego w stan stabilny krystaliczny. W procesie tym cukier

traci wodę. Rekrytalizacja, która przebiega wolno przy niskich wilgotnościach środowiska, ulega przyspieszeniu z przejściowym chłonięciem wody przy wyższych wilgotnościach względnych powietrza [26].

Rozpuszczalne substancje będące w metastabilnym stanie amorficznym, mogą występować w wielu produktach spożywczych. Stan amorficzny jest zwykle wynikiem szybkiego usuwania wody poprzez suszenie. Produkty spożywcze suszone metodą liofilizacji charakteryzują się amorficznym stanem zawartych w nich substancji rozpuszczalnych, co ma wpływ na chemiczne i fizyczne zmiany w czasie przetwarzania żywności i jej składowania. Krystalizacja cukrów w wyniku sorpcji wody w produktach spożywczych w postaci proszku, takich jak koncentraty ciast, napojów, wiąże się z problemem zbrylania i zlepiania proszków [10]. Szybkość krystalizacji cukrów w suszonej żywności zależy również od obecności innych substancji. Zaobserwowano spowolnienie krystalizacji sacharozy w obecności skrobi i celulozy podczas adsorpcji pary wodnej w środowiskach o różnej wilgotności [5].

Wysuszone produkty mleczarskie, a w szczególności odtłuszczone mleko w proszku są często przedmiotem badań, w celu wyjaśnienia przemian fizycznych, jak i reakcji chemicznych zależnych od składu, aktywności wody i temperatury środowiska oraz od innych parametrów. Szczególną uwagę zwrócono na badania efektu krystalizacji laktozy w powiązaniu z sorpcją pary wodnej. Amorficzna laktoza w wysuszonym rozpyłowo odtłuszczonym mleku w proszku krystalizuje i uwalnia wodę przy wilgotności względnej powietrza od 0,42 do 0,52 w temperaturze 25°C, co jest równoważne wilgotności proszku od 7 do 9,5% [10]. Zalecana minimalna zawartość wody w celu zabezpieczenia proszku mlecznego przed krystalizacją w temperaturze pokojowej wynosi 6%. Zaobserwowano również przerwanie w izotermach adsorpcji pary wodnej w przypadku serwatki w proszku w zakresie wilgotności względnej powietrza 0,33–0,44 [27]. Różne typy kryształów laktozy mogą pojawić się zależnie od temperatury i wilgotności środowiska, zawartości wody i początkowego stosunku form β i α w amorficznym stanie laktozy [1, 2].

Kinetyka adsorpcji pary wodnej

Pochłanianie pary wodnej przez żywność w środowisku o wyższej wilgotności powoduje, że wzrastająca masa i zawartość wody w produkcie są funkcją czasu. Zależność przyrostu zawartości wody w produkcie od czasu nosi nazwę krzywej kinetycznej adsorpcji i stanowi podstawę do interpretacji kinetyki tego procesu.

Według Ościcka [22] krzywa kinetyczna adsorpcji jest funkcją logarytmiczną czasu:

$$M = M_r (1 - e^{-kt}) \quad (1)$$

a krzywa szybkości adsorpcji funkcją wykładniczą:

$$\frac{dM}{dt} = kM_r e^{-kt} \quad (2)$$

gdzie:

M – ilość zaadsorbowanej substancji z fazy gazowej w czasie,

M_r – równowagowa ilość substancji zaadsorbowanej po czasie $\rightarrow \infty$,

t – czas,

k – stała szybkości adsorpcji zależna od rodzaju adsorbentu i powierzchni adsorbentu oraz temperatury i ciśnienia gazu.

Próbowano stosować równanie kinetyczne dla reakcji pierwszego rzędu do opisu szybkości adsorpcji gazu na adsorbentach porowatych [22]:

$$\frac{dM}{dt} = k(M_r - M) \quad (3)$$

Stała k zależy w tym przypadku także od współczynnika dyfuzji gazu w porach adsorbentu. Dyfuzja w porach jest etapem procesu o znacznie niższej szybkości w porównaniu z właściwym procesem adsorpcji. Wielkość efektywnego współczynnika dyfuzji zależy od charakteru porowatości adsorbentu oraz właściwości powierzchni i zmienia się w szerokim zakresie. Trudno jest znaleźć równanie matematyczne na szybkość adsorpcji, które uwzględniałoby wszystkie parametry związane z przebiegiem tego procesu (np. zmiana szybkości dyfuzji przy zmianie wielkości gradientu stężenia adsorbentu). Z podanych względów dotychczas najbardziej prawidłowym opracowaniem danych eksperymentalnych kinetyki adsorpcji są wykresy obrazujące przebieg zależności zmiany ilości substancji zaadsorbowanej od czasu trwania procesu.

Wielu autorów do opisu danych sorpcyjnych proponuje skomplikowane modele matematyczne mające swoje źródła w teorii dyfuzji Ficka'a i oparte na równaniu Cranka. Modele te stosowano do opisu sorpcji wody przez nasiona soi [21], skrobi [25] oraz kukurydzy [20].

Peleg [23] krzywe kinetyczne adsorpcji wody opisał za pomocą prostego modelu matematycznego uzyskując równanie na szybkość adsorpcji o następującej postaci:

$$\frac{dM}{dt} = k_1 / (k_1 + k_2 t)^2 \quad (4)$$

gdzie:

M – zawartość wody,

k_1, k_2 – stałe.

Przedstawiony model Peleg zastosował do opisu danych eksperymentalnych kinetyki adsorpcji pary wodnej przez mleko w proszku i ryż oraz kinetyki absorpcji wody w procesie moczenia ryżu. Model Pelega może być stosowany do przewidywania, lub co najmniej do szacowania zawartości wody po długim czasie procesu adsorpcji na podstawie danych eksperymentalnych z testów o krótkim czasie doświadczenia. Zaletą tego modelu jest prosty i wygodny sposób stosowania. Stwierdzono dużą zgodność modelu z danymi doświadczalnymi przy opisie absorpcji wody w czasie procesu namaczania nasion roślin strączkowych [30] oraz orzechów laskowych [15].

Szybkość chłonięcia wody przez produkty spożywcze w proszku, zawierające białka roślinne i zwierzęce oraz skrobie, określano korzystając z następującego równania empirycznego [24]:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{t_{1/2} M_r} (M_r - M)^2 \quad (5)$$

gdzie:

$(M_r - M)$ – wskaźnik nienasyceńca,

$(t_{1/2} M_r)^{-1}$ – stała szybkości,

$t_{1/2}$ – czas potrzebny do osiągnięcia $M_r / 2$.

Krzywe kinetyczne adsorpcji wody przez proszki soków cytrusowych opisane zaproponowanym równaniem uzyskały dość dużą zgodność z danymi eksperymentalnymi, zwłaszcza w niższych wilgotnościach środowiska [17].

W wielu badaniach z powodzeniem wykorzystano równanie Page'a do matematycznego opisu szybkości nawilżania ziaren zbóż, nasion roślin oleistych, rzepaku [29], ryżu [3] oraz soi [21].

$$MR = \frac{M - M_r}{M_0 - M_r} = \exp\left(- (kt)^n\right) \quad (6)$$

gdzie:

MR – stopień nawilżenia,

M_0 – początkowa zawartość wody,

n – stała procesu nawilżania.

Kinetyka adsorpcji wody, bez opisu matematycznego krzywych, przez produkty wysuszone jest udokumentowana w literaturze w odniesieniu do: sacharozy i glukozy [18]; żelów (skrobia, żelatyna), ziemniaków, brzoskwiń, wołowiny [28]; wołowiny [9]; soków cytrusowych [16]; mięsa [19]; puree bananowego [4]; aglomerowanego mleka

w proszku [6]; suszonego osmotycznie jabłka, dyni i marchwi [7], mleka w proszku [13].

Szybkość adsorpcji pary wodnej zależna jest od wilgotności względnej i temperatury środowiska oraz od porowatości produktu i wielkości porów [4]. Duży wpływ na adsorpcję pary wodnej przez żywność w proszku ma skład chemiczny i stan fizyczny poszczególnych składników. Lai i Schmidt [13] badali krystalizację laktozy w odtłuszczonym mleku w proszku w funkcji wilgotności środowiska (w przedziale $0,01 \div 0,94$), czasu (przez dwa tygodnie), w stałej temperaturze (20°C) podczas adsorpcji pary wodnej. Przebieg w krzywej kinetycznej związane z krystalizacją laktozy zaobserwowano przy wilgotności względnej powietrza 0,54.

Podsumowanie

Żywność w proszku jest przykładem skoncentrowanej żywności określanej mianem „szybkiej” w przygotowaniu, wygodnej, niejednokrotnie gotowej do spożycia, o stosunkowo dużej trwałości. Żywność w proszku stanowi formę produktów trwałych, wygodnych i łatwych w dalszych operacjach technologicznych oraz w obrocie i transporcie.

Produkty sypkie, zarówno pod postacią proszków, jak i aglomeratów cechuje duża wrażliwość na wilgoć wyrażaną jako zdolność adsorpcji pary wodnej z otoczenia (higroskopijność). Do oceny właściwości sorpcyjnych produktu niezbędne jest uzyskanie danych opisujących kinetykę i izotermę adsorpcji pary wodnej. Ponieważ para wodna jest adsorbowana z różną szybkością przez różne substancje, jak też przez te same substancje, ale przy różnych zawartościach wody i przy różnych wilgotnościach względnych powietrza, niezbędne jest charakteryzowanie całego procesu adsorpcji w warunkach dynamicznych.

Zależność przyrostu zawartości wody w żywności w proszku od czasu procesu stanowi podstawę do interpretacji kinetyki adsorpcji. Kształt krzywej kinetycznej adsorpcji wynika ze składu i struktury żywności w proszku oraz zależy od temperatury i wilgotności środowiska. Trudno jest znaleźć równanie matematyczne na szybkość adsorpcji, które uwzględniłoby wszystkie parametry związane z przebiegiem tego procesu. Dlatego interesującym jest badanie możliwości przewidywania przebiegu kinetyki i izoterm adsorpcji pary wodnej przez żywność w proszku na podstawie jej składu i właściwości sorpcyjnych poszczególnych komponentów.

Znajomość kinetyki i izoterm adsorpcji pary wodnej przez żywność w proszku jest niezbędna w celu przewidywania optymalnych warunków przechowywania mieszanin żywności suszonej w opakowaniach hermetycznych. W literaturze proponowanych jest wiele metod i modeli matematycznych opartych na wykorzystaniu kinetyki i izoterm adsorpcji pary wodnej umożliwiających prognozowanie trwałości przechowywanej żywności w proszku.

LITERATURA

- [1] Aquilar C.A., Ziegler G.R.: Physical and microscopic characterisation of dry whole milk with altered lactose content. 1. Effect of lactose concentration. *Journal of Dairy Science*, **77**, 1994a, 1189.
- [2] Aquilar C.A., Ziegler G.R.: Physical and microscopic characterisation of dry whole milk with altered lactose content. 1. Effect of lactose crystallization. *Journal of Dairy Science*, **77**, 1994b, 1198.
- [3] Banaszek H.M., Siebenmorgen T.J.: Adsorption equilibrium moisture contents of long-grain rough rice. *Transactions of ASAE*, **33**, (1), 1990, 247.
- [4] Borges S. V., Cal-Vidal J.: Kinetics of water vapour sorption by drum-dried banana. *International Journal of Food Science and Technology*, **29**, 1994, 83.
- [5] Chinachoti P., Steinberg M.P.: Crystallinity of sucrose by X-ray diffraction as influenced by absorption versus desorption, waxy maize starch content and water activity. *Journal of Food Science*, **51**, (2), 1986, 456.
- [6] Domian E., Lenart A.: Effect of the agglomeration on adsorption properties of milk powder. *Drying'96 - Proceedings of the 10th International Drying Symposium, Kraków, Poland, vol. B, 1996*, 763.
- [7] Domian E., Lenart A., Lewicki P.P.: Wpływ wstępnego odwadniania osmotycznego jabłek na kinetykę adsorpcji pary wodnej przez susz otrzymany konwekcyjnie. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, **430**, 1996 a, 227.
- [8] Gal S.: The need for, and practical applications of, sorption data. *Physical properties of foods*, edited by Jowitt R., Escher F., Hallström B., Meffert H.F., Spiess W., Vos G., Applied Science Publishers, London, 1983, 13.
- [9] Iglesias H.A., Chirife J., Viollaz P.: Evaluation of some factors useful for mathematical prediction of moisture gain by packaged dried beef. *Journal of Food Technology*, **12**, (5), 1977, 505.
- [10] Joupila K., Ross Y.H.: Glass transitions and crystallization in milk powders. *Journal of Dairy Science*, **77**, 1994, 2907.
- [11] Kim H.K., Song Y., Yam K.L.: Water sorption characteristics of dried red peppers. *International Journal of Food Science and Technology*, **26**, 1991, 339.
- [12] Lagoudaki M., Demertzis P.G., Kontominas M. G.: Moisture adsorption behaviour of pasta products. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, **26**, 1993, 512.
- [13] Lai H.M., Schmidt S.J.: Lactose crystallization in skim milk powder observed by hydrodynamic equilibria, scanning electron microscopy and ^2H nuclear magnetic resonance. *Journal of Food Science*, **55**, (4), 1990, 994.
- [14] Lisińska-Kuśnierz M.: Czynniki kształtujące trwałość zapakowanego produktu higroskopijnego. *Przem. Spoż.*, **46**, (3), 1992, 60.
- [15] Lopez M., Pique M.T., Clop M., Tasiaş J., Romero A., Boatella J., Garcia J.: The hygroscopic behaviour of the hazelnut. *Journal of Food Engineering*, **25**, 1995, 197.
- [16] Maia M.C.A.: Influencia da gelatina e do ácido cítrico na higroscopicidade de pós liofilizados de sucos cítricos. M. Sc. thesis, ESAL, Lavras, Brasil, 1988.
- [17] Maia M.C., Cal-Vidal J.: Kinetics of water uptake by citrus juices in powder form. *International Journal of Food Science and Technology*, **29**, 1994, 137.
- [18] Makower B., Dye W.B.: Equilibrium moisture content and crystallization of amorphous sucrose and glucose. *Agricultural and Food Chemistry*, **4**, 1956, 72.
- [19] Motarjemi Y.: A study of some physical properties of water in foodstuffs - water activity, water binding and water diffusivity in minced meat products. *Praca doktorska, Lund University, Division of Food Engineering Chemical Centre, Lund, Sweden*, **63-65**, 1988, 87.

- [20] Muthukumarappan K., Gunasekaran S.: Moisture diffusivity of corn kernel components during adsorption part II Pericap. Transactions of the ASAE, **37**, (4), 1994, 1269.
- [21] Osborn G.S., White G.M., Walton L.R.: Thin-layer moisture adsorption equation for soybeans. Transactions of the ASAE, **34**, (1), 1991, 201.
- [22] Ościk J.: Adsorpcja. PWN Warszawa, 1983.
- [23] Peleg M.: An empirical model for the description of moisture sorption curves. Journal of Food Science, **53**, (4), 1988, 1216.
- [24] Pilisof A.M.R., Boquet R, Bartholomai G.B.: Kinetics of water uptake by powders. Journal of Food Science, **50**, 1985, 278.
- [25] Pollio H.L., Kitic D., Resnik S.L.: Comparative study of the rate of water vapor sorption by Argentine maize hybrids and varieties. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, **23**, 1990, 158.
- [26] Ross Y.: Glass transition - Related physicochemical changes in foods. Food Technology, **49**, (10), 1995, 97-102.
- [27] Saltmarch G., Labuza T.P.: Influence of relative humidity on the physicochemical state of lactose in spray-dried sweet whey powders. Journal of Food Science, **47**, 1982, 1231.
- [28] Saravacos G.D., Stinchfield R.M.: Effect of temperature and pressure on the sorption of water vapour for freeze dried food materials. Journal of Food Science, **30**, (5), 1965, 779.
- [29] Shatadal P., Jayas D.S., White N.D.G.: Thin-layer rewetting characteristics of Canola. Transactions of the ASAE, **33**, (3), 1990, 871.
- [30] Sopade P.A., Obekpa J.A.: Modelling water absorption in soybean, cowpea i peanuts at three temperatures using Peleg's equation. Journal of Food Science, **55**, (4), 1990, 1084.

WATER VAPOUR ADSORPTION OF FOOD POWDERS

S u m m a r y

In the paper main issues related to water vapour adsorption of food powders were discussed. The role of food powders in food technology was presented and water vapour adsorption isotherms of food powders were characterised. The special attention was paid on water adsorption kinetics and the mathematical models describing water adsorption kinetic were presented. ❖

