

ANNA FABISIAK, DOROTA WITROWA-RAJCHERT, JOANNA GŁUSZKO

WPLYW TEMPERATURY NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI JABŁEK SUSZONYCH KONWEKCYJNIE I SUBLIMACYJNIE

Streszczenie

Celem podjętych badań było określenie wpływu temperatury odwadniania na przebieg rehydracji i właściwości higroskopijne jabłek suszonych sublimacyjnie i konwekcyjnie. Wpływ temperatury na przyrost masy oraz ubytek rozpuszczalnych składników suchej substancji podczas rehydracji suszu konwekcyjnego był nieznaczny. Jednak zaobserwowano tendencję, że wzrost temperatury powietrza suszącego spowodował mniejsze przyrosty masy suszonych jabłek. Wyraźniejszy wpływ temperatury, szczególnie w odniesieniu do przyrostów masy, stwierdzono w przypadku uwadniania suszy sublimacyjnych. Ich masa podczas rehydracji zwiększała się bardziej w materiale suszonym w wyższej temperaturze (w 40°C – ponad pięciokrotnie; w 10°C – ponad czterokrotnie), czyli odwrotnie niż w suszu jabłek suszonych konwekcyjnie. Wyniki te znalazły potwierdzenie w analizie kinetyki sorpcji, w której wykazano, że wzrost temperatury płyty grzejnej spowodował wzrost ilości wchłoniętej pary wodnej przez susz sublimacyjny od 0,33 (temp. 10°C) do 0,56 g/g s.s. (temp. 40°C). Wywołane wyższą temperaturą suszenia zmiany w biopolimerach były prawdopodobnie przyczyną obniżenia zdolności do wiązania wody suszu konwekcyjnego, który wchłonał od 0,03 (temp. 80°C) do 0,15 g/g s.s. (temp. 60°C) pary wodnej.

Słowa kluczowe: suszenie konwekcyjne, suszenie sublimacyjne, temperatura, rehydracja, właściwości sorpcyjne.

Wprowadzenie

Usuwanie wody z produktów spożywczych prowadzi najczęściej do znacznego zmniejszenia ich wartości odżywczej i pogorszenia cech sensorycznych. Jest to spowodowane reakcjami chemicznymi i biochemicznymi oraz zmianami fizycznymi.

W procesie suszenia sublimacyjnego, z powodu nieobecności wody w fazie ciekłej i niskiej temperatury procesu, większość niepożądanych reakcji nie przebiega i w efekcie otrzymuje się produkt o bardzo dobrej jakości oraz o zachowanej pierwot-

nej strukturze i kształcie. Liofilizacja jest uważana za najlepszą metodę suszenia w aspekcie jakości gotowego produktu [3, 4]. Straty witamin podczas liofilizacji kształtują się najczęściej na poziomie kilku procent, podczas gdy susze otrzymane metodą konwekcyjną tracą, w zależności od rodzaju surowca, od 20 do 80% witamin [5, 14]. Produkty suszone sublimacyjnie charakteryzują się zdolnością rehydracji 2–6 razy większą niż żywność suszona konwekcyjnie w podwyższonej temperaturze [7–9]. Ważnym wyznacznikiem jakości żywności jest barwa. Również z tego punktu widzenia suszenie sublimacyjne, powodując na ogół nieznaczną zmianę barwy, jest metodą lepszą od suszenia konwekcyjnego, w czasie którego straty barwników dochodzą nawet do 70% [5, 13].

Skurcz w czasie suszenia sublimacyjnego jest minimalny (od 5 do 15%), a podczas suszenia konwekcyjnego znaczący (dochodzący do 80%) [8–11]. Od zmian strukturalnych wewnątrz produktu uzależniona jest utrata aromatu, będącego istotnym wyznacznikiem jakości żywności suszonej. Powszechnie wiadomo, że liofilizacja umożliwia najlepszą retencję związków aromatycznych i zapachowych.

Mimo niewątpliwych zalet, liofilizacja jest najdroższą metodą wytwarzania suszonych produktów. Jej koszt zależy od rodzaju surowca, sposobu pakowania, wydajności urządzenia, czasu procesu itp. [10, 15]. W porównaniu z suszeniem konwekcyjnym koszty procesu liofilizacji są 4–8 razy wyższe [2]. Z tego między innymi powodu liofilizacja nie jest szeroko stosowana w przemyśle spożywczym. Wykorzystuje się tę metodę przede wszystkim do suszenia kawy, przypraw, mięsa (głównie na potrzeby wojska) oraz do otrzymywania różnych komponentów wchodzących w skład żywności typu „instant” [13].

Ze względu na wzrastające możliwości techniczne, konieczność zmniejszania zużycia energii, uwarunkowania dotyczące ochrony środowiska oraz coraz większe wymagania dotyczące jakości suszonych produktów spożywczych, istnieje potrzeba prowadzenia badań nad możliwością użycia nowych sposobów usuwania wody. Rozpoczęto badania nad zastosowaniem mieszanej techniki suszenia, polegającej na płytkim zamrażaniu ($\sim -10^{\circ}\text{C}$) i suszeniu produktu pod ciśnieniem atmosferycznym, a następnie po osiągnięciu przez produkt wilgotności krytycznej (odpowiadającej powstaniu sztywnego produktu, co ogranicza lub likwiduje jego skurcz), zwiększeniu temperatury procesu do kilku lub kilkunastu stopni Celsjusza powyżej zera i prowadzenie go aż do osiągnięcia żądanej wilgotności końcowej produktu. Wykorzystanie płytkiego zamrażania i suszenia pod normalnym ciśnieniem z zastosowaniem pompy ciepła pozwala drastycznie zmniejszyć energochłonność procesu przy zachowaniu zalet liofilizacji [1]. Stanowisko prototypowe do prowadzenia takich badań jest obecnie wykonywane na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej.

Zadaniem procesów utrwalania żywności jest przedłużenie trwałości produktów spożywczych, dlatego też nieodzownym elementem procesów suszenia jest poznanie

relacji między ilością usuwanej wody oraz jej wpływem na procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne. Jednym z ważniejszych parametrów charakteryzujących materiały suszone jest ich zdolność do rekonstytucji. Rehydracja jest procesem chłonięcia wody przez wysuszony produkt i jej przebieg świadczy o stopniu zniszczenia surowca w trakcie suszenia [16]. Właściwości higroskopijne suszonych produktów, oceniane na podstawie kinetyki adsorpcji pary wodnej, też mogą być wskaźnikiem zmian zachodzących w materiale roślinnym w czasie suszenia.

Celem badań było przeanalizowanie wpływu temperatury usuwania wody na przebieg rehydracji i właściwości higroskopijne jabłek suszonych metodą konwekcyjną i sublimacyjną.

Materiał i metody badań

Surowcem do badań były jabłka odmiany Idared. Materiał krojono w kostki o boku 1 cm i poddawano dwóm różnym metodom suszenia. Suszenie konwekcyjne prowadzono w suszarce laboratoryjnej, stosując temperaturę powietrza 80, 70 i 60°C i prędkość przepływu 2 m/s. Natomiast suszenie sublimacyjne wykonywano w suszarce Christ LOC-1m firmy ALPHA 1-4, w której kontaktowo ogrzewano próbki w temp. półki 10, 25 oraz 40°C (przed suszeniem materiał zamrożono konwekcyjnie przy użyciu powietrza o temp. -20°C przez 24 h). Suszenie prowadzono do stałej masy.

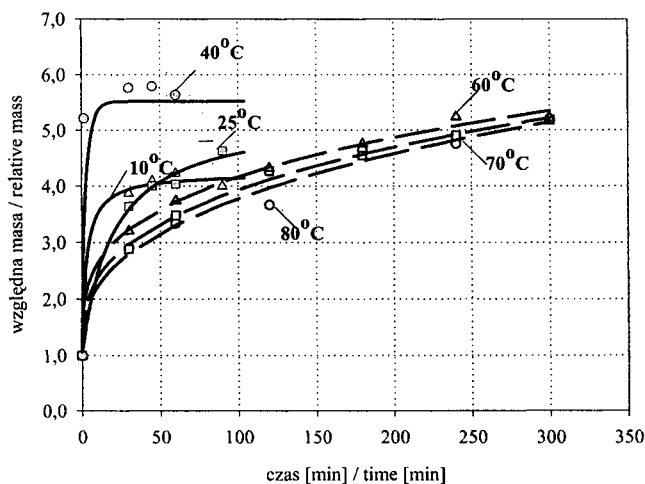
Produkty suszone konwekcyjnie poddawano rehydracji w wodzie destylowanej w temp. pokojowej ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) przez 0,5; 1; 2; 3; 4 i 5 h. Natomiast czas rehydracji jabłek po suszeniu sublimacyjnym wynosił odpowiednio 30, 45, 60 i 90 min. Po każdym czasie rehydracji oznaczano masę materiału i zawartość suchej substancji zgodnie z PN-90/A-75101/03 [12].

Kinetykę adsorpcji pary wodnej oznaczano korzystając ze stanowiska konstrukcji własnej, zapewniającego ciągły pomiar zmian masy próbek. Do badań użyto wagi przystosowanej do pracy ciągłej w warunkach stałej temperatury i wilgotności względnej powietrza. Kinetykę adsorpcji pary wodnej prowadzono przy aktywności wody środowiska równej 1, w temp. 25°C przez 24 h. Jako czynnik higrostatyczny stosowano wodę destylowaną. Próbkę do badań kinetycznych stanowiły 4 kostki jabłka suszonego konwekcyjnie lub sublimacyjnie, które przed każdym doświadczeniem dosuszano w suszarce próżniowej w temp. 70°C, pod ciśnieniem 0,27 kPa przez 9 h. Po umieszczeniu próbki w higroście zmianę jej masy rejestrowano za pomocą programu komputerowego POMIAR.

Wyniki i dyskusja

Z teoretycznego punktu widzenia rehydracja jest procesem odwrotnym do suszenia, ale nawet po nieskończenie długim czasie przebywania w wodzie materiał nie powraca do właściwości, jakimi charakteryzował się surowiec [16].

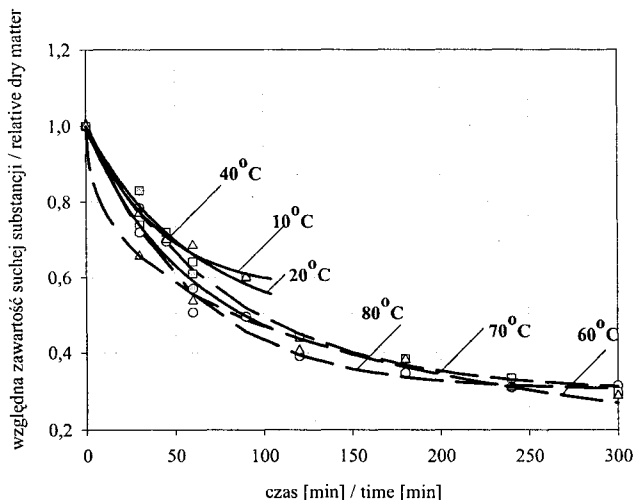
Na rys. 1 przedstawiono względny przyrost masy kostek suszonego jabłka w czasie rehydracji. Wnikanie wody do wnętrza materiału przebiega początkowo na zasadzie ssania kapilarnego, a następnie dyfuzji, co prowadzi do przyrostu masy. Analizując kinetykę zmian względnej masy jabłek suszonych konwekcyjnie można stwierdzić, że zwiększyła się ona po 5 h rehydracji ponad 5-krotnie. Jednak materiał nie osiągnął masy sprzed procesu suszenia, co jest wynikiem uszkodzenia struktury i spadku możliwości wiązania wody. Różnice w przebiegu rehydracji jabłek suszonych konwekcyjnie w różnej temperaturze są nieznaczne. Można jednak zaobserwować tendencję, że wyższa temperatura podczas suszenia spowodowała mniejsze przyrosty masy podczas uwadniania. Bardziej zróżnicowany wpływ temperatury usuwania wody na przebieg wchłaniania wody zauważono w próbach suszonych sublimacyjnie. Z uwagi na specyficzną właściwość suszu sublimacyjnego, a mianowicie jego dużą porowatość, proces przyrostu masy przebiegał szybciej niż w suszu konwekcyjnym. Po 30 min rehydracji masa jabłek suszonych konwekcyjnie zwiększyła się około 3-krotnie, zaś suszonych sublimacyjnie ponad 4-krotnie, gdy temp. półki wynosiła 10 i 25°C i ponad 5-krotnie, stosując temp. 40°C.



Rys. 1. Przyrost masy jabłek suszonych konwekcyjnie (linie przerywane) i sublimacyjnie (linie ciągłe) w czasie rehydracji.

Fig. 1. The increase in a mass apples that have been convective-dried (dashed lines) and freeze-dried (continuous lines) during the re-hydration.

Tak więc materiał otrzymany w wyższej temperaturze półek chłonie więcej wody, czyli odwrotnie niż w przypadku suszu konwekcyjnego, a wpływ temperatury suszenia na przyrost masy w czasie rehydracji jest bardziej wyraźny niż w jabłkach otrzymanych metodą konwekcyjną.



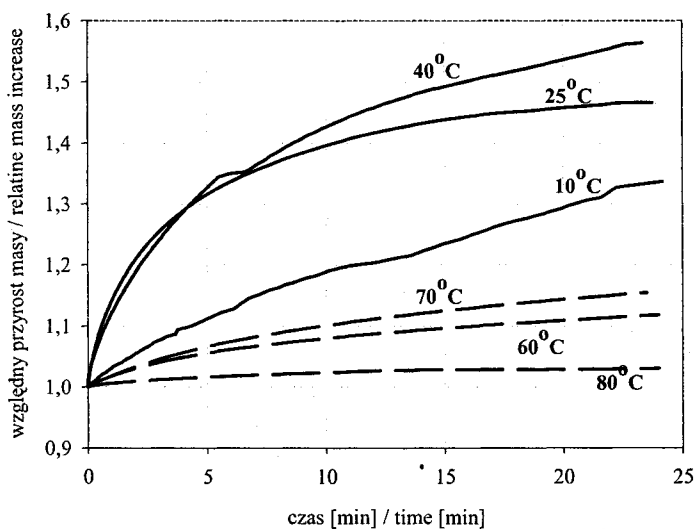
Rys. 2. Względna zawartość suchej substancji w jabłkach suszonych konwekcyjnie (linie przerywane) i sublimacyjnie (linie ciągłe) w czasie rehydracji.

Fig. 2. A relative dry matter content in apples that have been convective-dried (dashed lines) and freeze-dried (continuous lines) during the re-hydration.

Ze zmianami masy materiału w czasie związane jest zjawisko ruchu substancji rozpuszczalnych w wodzie (rys. 2). Substancje zawarte w materiale dyfundują na zewnątrz. Zmiana temperatury suszenia konwekcyjnego nie wpłynęła na ilość rozpuszczalnych składników suchej substancji dyfundujących do otaczającego środowiska. Po 5 h przebywania w wodzie, w jabłku, niezależnie od temperatury suszenia, pozostawało około 30% suchej substancji. Podobnie nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w ilości dyfundującej suchej substancji z suszy sublimacyjnych, stosując temp. płyty 10 i 25°C, w których po 90 min uwadniania pozostało około 60% początkowej suchej substancji. Jednak, gdy temp. płyty grzejnej wynosiła 40°C, ilość wypływającej z materiału suchej substancji zwiększyła się i w jabłku pozostało jej około 50%. Odpowiednia wartość w przypadku suszu konwekcyjnego wynosiła około 45%. Mniejsze ubytki rozpuszczalnych składników suchej substancji z suszu sublimacyjnego świadczą o tym, że taki sposób suszenia, szczególnie prowadzony w niskiej temperaturze, w większym stopniu zachowuje półprzepuszczalny charakter błon, ograniczając możliwość migracji składników soku komórkowego, mimo że penetracja wody wewnątrz tkanki jest ułatwiona z uwagi na znaczącą porowatość takiego materiału.

Właściwości higroskopijne suszu zależały od zastosowanej metody usuwania wody i temperatury procesu (rys. 3). Utrata wody i przemieszczanie się związków rozpuszczalnych w wodzie podczas suszenia konwekcyjnego są przyczyną usztywnienia ścian komórkowych [16]. Wytworzenie zewnętrznej warstwy powoduje, że susz jest mniej podatny na chłonięcie pary wodnej. W wyniku suszenia tkanki mięksiszowej metodą tradycyjną usunięta zostaje głównie woda z wakuoli. Niewielkie zmiany występują w cytoplazmie i ścianach komórkowych. Dlatego też duża ich elastyczność przyczynia się do skurczu materiału [11].

Niewielki, ok. 4% skurcz suszu sublimacyjnego, w porównaniu z 77% skurczem konwekcyjnym, spowodował większą porowatość takiego suszu, co doprowadziło do szybszego chłonięcia pary wodnej. Podobnie jak w przypadku rehydracji, wyższa temperatura płyty grzejnej w czasie suszenia sublimacyjnego powodowała wzrost ilości wchłanianej przez materiał pary wodnej. I tak, w temp. 10, 25 i 40°C każdy 1 g suchej substancji absorbował w ciągu 24 h odpowiednio około 0,33; 0,47 i 0,56 g wody. Niższe wartości, a jednocześnie mniej znaczący wpływ temperatury procesu, uzyskano w przypadku suszu konwekcyjnego. Zmiana temp. z 60 do 70°C nie wpłynęła w istotny sposób na ilość wchłanianej wody i po 24 h każdy 1 g suchej substancji wchłonał odpowiednio około 0,12 i 0,15 g wody.



Rys. 3. Kinetyka adsorpcji pary wodnej jabłek suszonych konwekcyjnie (linie przerywane) i sublimacyjnie (linie ciągłe).

Fig. 3. The adsorption kinetics of water vapour in apples that have been convective-dried (dashed lines) and freeze-dried (continuous lines).

Prowadzenie procesu suszenia konwekcyjnego w temp. 80°C przyczynia się do zwiększenia sztywności materiału i obniżenia zdolności biopolimerów do wiązania wody. Następstwem tych procesów było zmniejszenie zdolności chłonięcia wody, które wyniosło po 24 h jedynie około 0,03 g/g s.s.

Przyrost masy wywołany zarówno wchłanianiem wody podczas rehydracji, jak i adsorpcją pary wodnej zależał od temperatury usuwania wody. Kierunek zmian spowodowanych różnicowaną temperaturą był identyczny w obydwu badanych procesach. Zwiększenie temperatury podczas suszenia konwekcyjnego i sublimacyjnego w odwrotny sposób wpływało na badane przyrosty masy. Wyjaśnienie tego zjawiska wymaga jednak dalszych badań, np.: określenia wpływu temperatury procesu na zmiany strukturalne w materiale, które w znacznym stopniu są odpowiedzialne za wchłanianie i wiązanie wody przez susz.

Prezentowane w niniejszym artykule wyniki są wybranymi badaniami jakościowymi, które w przyszłości posłużą do oceny porównawczej suszy otrzymanych metodą konwekcyjną, sublimacyjną i suszenia niskotemperaturowego z wykorzystaniem pompy ciepła.

Wnioski

1. Różnice w przebiegu rehydracji jabłek suszonych konwekcyjnie w trzech zakresach temperatury są nieznaczące. Można jednak zaobserwować tendencję, że wyższa temperatura powietrza spowodowała mniejsze przyrosty masy podczas uwadniania. Przyrost masy suszu sublimacyjnego przebiegał szybciej niż suszu konwekcyjnego. Materiał otrzymany w wyższych zakresach temperatury póltek chłoniął więcej wody, czyli odwrotnie niż w przypadku suszu konwekcyjnego, a wpływ temperatury suszenia na przyrost masy w czasie rehydracji był istotny.
2. Zmiana temperatury suszenia konwekcyjnego nie wpłynęła na ilość rozpuszczalnych składników suchej substancji, dyfundujących do otaczającego środowiska. Nie stwierdzono również istotnych różnic w ilości dyfundującej suchej substancji z suszy sublimacyjnych, w przypadku których zastosowano temperaturę płyty 10 i 25°C. Jednak gdy tę temperaturę podniesiono do 40°C, ilość wypływającej z materiału suchej substancji zwiększyła się. Jednocześnie susz sublimacyjny charakteryzował się mniejszymi ubytkami rozpuszczalnych składników niż jabłko suszone konwekcyjnie.
3. Susz sublimacyjny szybciej chłoniął parę wodną niż konwekcyjny. Podobnie jak w przypadku rehydracji, wyższa temperatura płyty grzejnej w czasie suszenia sublimacyjnego powodowała wzrost ilości wchłanianej przez materiał pary wodnej. Mniej znaczący wpływ temperatury procesu uzyskano w przypadku suszu konwekcyjnego, ale prowadzenie tego suszenia w wyższej temperaturze powodowało znaczne zmniejszenie zdolności chłonięcia wody.

Praca została wykonywana w ramach grantu 4T 09C 04823, finansowanego przez KBN.

Literatura

- [1] Alves-Filho O., Eikevik T., Strommen I., Kelleher S.D., Feng Y., Hultin H.O.: Heat pump drying of cod protein isolates. Proceedings of NDC'01 Trondheim, Norway, 2001, **6**, 27-29.
- [2] Flink J.M.: Energy analysis in dehydration processes. Food Technol. 1997, **31** (4), 77-79.
- [3] Genin N., René F.: Analyse du rôle de la transition vitreuse dans les procédés de conservation agro-alimentaires. J. Food Engng., 1995, **26**, 391-408.
- [4] Irzyniec Z., Klimczak J., Michałowski S.: Freeze-drying of black currant juice. Drying Technol., 1995, **13** (1,2), 417-424.
- [5] Jayaraman K.S., Das Gupta D.K.: Drying of fruits and vegetables. Handbook of industrial drying (ed. A.S. Mujumdar), Marcel Dekker Inc., New York 1995.
- [6] Karathaos V., Anglea S., Karel M.: Collapse of structure during drying of celery. Drying Technol., 1993, **11** (5), 417-424.
- [7] Le Loch-Banazzi C., Wolff E., Gibert H.: Quality of dehydrated cultivated mushrooms (*Agaricus bisporus*): Comparison between different drying and freeze-drying processes. Lebensm. Wiss. Technol., 1992, **25**, 334-339.
- [8] Lin T. M., Durance T. D.: Characterization of vacuum microwave, air, and freeze-drying carrot slices. Food Res. Int., 1998, **31** (2), 111-117.
- [9] Litvin S., Mannheim C. H., Miltz J.: Dehydration of carrots by a combination of freeze-drying microwave heating, air or vacuum drying. J. Food Engng., 1998, **36**, 103-111.
- [10] Lorentzen J.: Freeze-drying of foodstuffs, quality and economics of freeze-drying. Chem. Ind., 1979, **14**, 465-468.
- [11] Lozano J.E., Rotstein E., Urbicain M.J.: Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture content. J. Food Sci., 1983, **48**, 1367-1371.
- [12] PN-90/A-75101/03. Przetwory owocowe i warzywne. Oznaczanie zawartości suchej masy metodą wagową.
- [13] Ratti C.: Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. J. Food Engng., 2001, **49**, 311-319.
- [14] Shadle E.R., Burns E.E., Talley L.J.: Forced air drying of partially freeze-dried compressed carrot bars. J. Food Sci., 1983, **48**, 193-197.
- [15] Sunderland J.E.: An economic study of microwave freeze-drying. Food Technol., 1982, **36** (2), 52-54, 56.
- [16] Witrowa-Rajchert D.: Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Wydawnictwo Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa 1999.

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON SOME SELECTED PROPERTIES OF CONVECTIVE-DRIED AND FREEZE-DRIED APPLES

Summary

The objective of this work was to investigate the impact of temperature on the rehydration and sorption properties of the convective-dried and freeze-dried apples. The effect of temperature on mass increase and soluble leakage during the re-hydration of convective-dried fruits was insignificant. However, it was stated that the higher temperature of drying air caused the smaller increase in mass of apples being dried.

While analyzing the increase in the mass of apples being dried, it was stated that the impact of temperature was more apparent in a case when the freeze-dried material was watered. The apple mass increased stronger in the material being dried at higher temperatures (at 40°C – more than 5 times; at 10°C – more than 4 times), i.e. differently (inversely) than in case of convective-dried apples. The water vapor sorption analysis served as a confirmation of the results obtained: it proved that the freeze-dried apples absorbed a higher quantity of water vapor ranging from 0.33 (at a temperature of 10°C) to 0.56 g/g d.m. (at a temperature of 40°C) when the temperature of a heating plate increased. Changes generated in the bio-polimers by a higher temperature of the drying process could be a reason that the water bonding ability of convective-dried material became reduced. The material absorbed water vapor amounting from 0.03 (temperature of 80°C) up to 0.15 g/g d.m. (temperature of 60°C).

Key words: freeze-drying, convection drying, temperature, rehydration, sorption properties. ☒