

Dr hab. inż. Zbigniew PAŁACHA, prof. SGGW
 Inż. Patrycja MAZUR
 Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
 Wydział Nauk o Żywności, SGGW w Warszawie

ANALIZA AKTYWNOŚCI WODY W WYBRANYCH PRODUKTACH OWOCOWYCH®

Analysis of water activity in selected fruit products®

Słowa kluczowe: świeże owoce, produkty owocowe, aktywność wody, zawartość wody.

W artykule zamieszczono wyznaczone wartości aktywności wody i zawartości wody wybranych świeżych owoców i produktów owocowych, a także dokonano analizy tych wartości. Stwierdzono, iż aktywność wody badanych świeżych owoców i produktów owocowych zawierała się w przedziale od 0,304 do 0,983. Najwyższą aktywność wody posiadało świeże awokado $0,983 \pm 0,003$ ($W = 80,03\%$), a najniższą aktywność wody stwierdzono w suszu porzeczki czerwonej $0,304 \pm 0,007$ ($W = 3,76\%$). Zaproponowano proste równania matematyczne do opisu zależności aktywności wody od zawartości wody dla świeżych i przetworzonych owoców.

Key words: fresh fruit, fruit products, water activity, water content.

The article presents the determined values of water activity and water content of selected fresh fruits and fruit products, as well as an analysis of these values. It was found that the water activity of the tested fresh fruits and fruit products was in the range from 0,304 to 0,983. The highest water activity was possessed by fresh avocados $0,983 \pm 0,003$ ($W = 80,03\%$), and the lowest water activity was found in dried red currant $0,304 \pm 0,007$ ($W = 3,76\%$). Simple mathematical equations have been proposed to describe the dependence of water activity on water content for fresh and processed fruit.

WSTĘP

Woda jest podstawowym składnikiem świeżych owoców, a jej zawartość wynosi od 74 do 92% [3]. W przetworzonych produktach owocowych zawartość wody generalnie jest mniejsza, w wyniku jej odparowania (koncentraty owocowe, susze owocowe) lub dodatku substancji osmotycznych (dżemy, galaretki, marmolady, powidła). Ogólnie, zawartość wody w świeżych owocach i produktach owocowych nie jest najlepszym wskaźnikiem odzwierciedlającym ich trwałość i stabilność biologiczną, chemiczną i fizyczną. Dopiero wprowadzenie pojęcia aktywności wody umożliwiło powiązanie stanu termodynamicznego wody w materiale z jego właściwościami, jakością i trwałością [4,5,11,12].

Aktywność wody jest określana jako stosunek ciśnienia pary wodnej nad powierzchnią żywności (p) do ciśnienia pary wodnej nad powierzchnią czystej wody (p_o) w tej samej temperaturze i przy tym samym ciśnieniu całkowitym [13, 14]:

$$a_w = \left[\frac{p}{p_o} \right]_{p,T} \quad (1)$$

Przedstawiona powyżej definicja aktywności wody zakłada, że żywność jest w stanie równowagi wilgotnościowej z otaczającą atmosferą. W przypadku, gdy przestrzeń wokół próbki żywności jest niewielka i ustalą się warunki równowagi wilgotnościowej, można napisać równanie:

$$a_w = \frac{p}{p_o} = \frac{\varphi}{100} \quad (2)$$

w którym φ jest wilgotnością względną atmosfery w otoczeniu badanego materiału, wyrażoną w procentach.

Aktywność wody przyjmuje wartości od 1 – dla czystej wody, do 0 – dla materiału w którym nie ma wody lub cząsteczki wody nie mają zdolności do wykonywania pracy (np. woda strukturalna). Ogólnie, aktywność wody żywności wilgotnej jest na poziomie 1,00 – 0,90, żywności o średniej zawartości wody od 0,90 do 0,55, a żywności o niskiej zawartości wody w przedziale 0,55 – 0,00 [6, 8].

Aktywność wody świeżych owoców jest bliska jedności, natomiast w przetworzonych produktach owocowych przyjmuje wartości od bliskich 1,00 (np. galaretki owocowe) do wartości ok. 0,15 (np. chipsy owocowe, owoce liofilizowane) [8].

Literatura podaje wartości aktywności wody szerokiej grupy surowców i produktów spożywczych pochodzenia roślinnego i zwierzęcego [8, 9, 10]. Tym niemniej, cytowane wartości aktywności wody żywności nie zawsze są poparte zawartością wody w tych materiałach, jak również brak jest podanej wartości temperatury, w której wykonano pomiar a_w . Ponieważ pełne dane o aktywności i zawartości wody w świeżych i przetworzonych produktach owocowych są bardzo skromne, szczególnie w literaturze polskiej, stąd poniższy materiał będzie stanowił uzupełnienie wiedzy na ten temat.

Celem artykułu jest prezentacja i analiza wyznaczonej aktywności i zawartości wody dla wybranych świeżych owoców i produktów owocowych dostępnych na polskim rynku.

METODYKA BADAŃ

1. Materiał badawczy

Materiał badawczy stanowiły produkty owocowe: świeże, suszone i słodzone dostępne na rynku polskim. Przebadano 10 produktów świeżych (jabłka, gruszki, banany, kiwi, cytryny, pomarańcze, avocado, winogrona białe, śliwki, klementynki), 10 suszy owocowych (morele, rodzynki, żurawina, jabłka, śliwki, porzeczki czerwone, gruszki, banany, figi, daktyle) oraz 5 produktów słodzonych (dżem truskawkowy niskosłodzony, dżem truskawkowy wysokosłodzony, galaretka o smaku truskawkowym, marmolada wieloowocowa, powidła śliwkowe).

2. Metody analityczne

2.1. Oznaczenie zawartości wody

Zawartość wody w badanych produktach owocowych oznaczano metodą suszenia pod obniżonym ciśnieniem w suszarce próżniowej Memmert VO500. Próbki rozdrobnionego materiału o masie ok. 4 – 5 g suszono w temperaturze $70 \pm 1^\circ\text{C}$, pod ciśnieniem 1 kPa, przez 24 godziny [1]. Oznaczenie zawartości wody w produktach owocowych wykonano w trzech powtórzeniach.

2.2. Oznaczenie aktywności wody

Aktywność wody badanych produktów owocowych zmierzono za pomocą miernika aktywności wody AquaLab firmy Decagon w temperaturze $25,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Pomiar przeprowadzono w 3 równoległych powtórzeniach.

3. Metody obliczeniowe

3.1. Obliczenie zawartości wody w materiale

Zawartość wody w świeżych owocach i produktach owocowych obliczono ze wzoru [9]:

$$W = \frac{m_b - m_c}{m_b - m_a} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie: W – zawartość wody, %,
 m_a – masa pustego naczynka, g,
 m_b – masa pustego naczynka z próbką przed suszeniem, g,
 m_c – masa pustego naczynka z próbką po suszeniu, g.

3.2. Metody statystyczne

Korzystając z programów komputerowych Excel 2010 (Microsoft) i Table Curve 2D v.3 (Jandel Scientific) obliczono odchylenie standardowe dla wartości aktywności wody i zawartości wody badanych owoców oraz podjęto próbę opisaną równaniami matematycznymi zależności aktywności wody od zawartości wody. Obliczony współczynnik determinacji R^2 pozwolił określić dokładność dopasowania wybranych równań do danych doświadczalnych.

OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

W tabelach 1 – 3 zestawiono wyniki pomiarów zawartości wody i aktywności wody w badanych świeżych owocach i produktach owocowych (susze i produkty słodzone). Średnia aktywność wody świeżych owoców, kształtowała się

Tabela 1. Aktywność wody i zawartość wody świeżych owoców

Table 1. Water activity and water content of fresh fruits

| Lp. | Rodzaj owoców | Aktywność wody [-] | Zawartość wody [%] |
|-----|-----------------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Jabłka (odmiana Rubin) | 0,976 ± 0,002 | 85,38 ± 0,43 |
| 2 | Gruszki (odmiana Lukasówka) | 0,974 ± 0,003 | 85,02 ± 0,22 |
| 3 | Banany | 0,966 ± 0,002 | 73,40 ± 0,34 |
| 4 | Kiwi | 0,967 ± 0,004 | 83,38 ± 0,18 |
| 5 | Cytryny | 0,979 ± 0,002 | 89,38 ± 0,22 |
| 6 | Pomarańcze | 0,967 ± 0,001 | 89,54 ± 0,23 |
| 7 | Avocado | 0,983 ± 0,003 | 80,03 ± 0,12 |
| 8 | Winogrona białe | 0,966 ± 0,002 | 81,03 ± 0,05 |
| 9 | Śliwki | 0,972 ± 0,003 | 85,52 ± 0,70 |
| 10 | Klementynki | 0,975 ± 0,002 | 86,98 ± 0,31 |

Źródło: Badania własne

Source: The own study

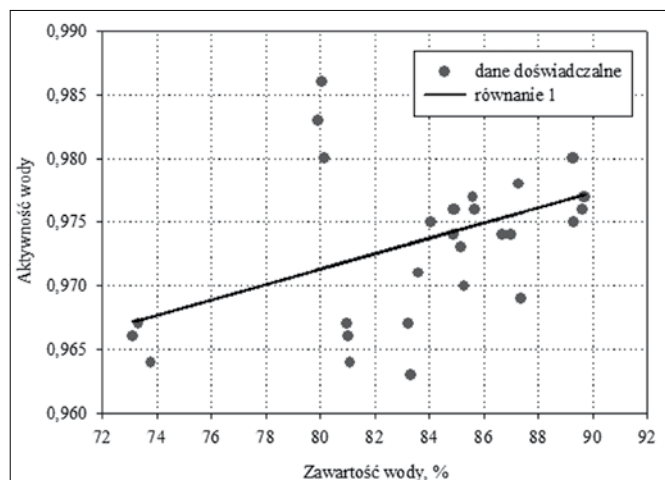
w przedziale od 0,966 do 0,983 (tab. 1). Najniższą wartość aktywności wody posiadały banany $0,966 \pm 0,002$ i winogrona $0,966 \pm 0,002$, a najwyższą wartość awokado $0,983 \pm 0,003$. Niska aktywność wody bananów i winogron dobrze korelowała z najniższą zawartością wody pośród owoców, wynoszącą odpowiednio dla bananów $73,40 \pm 0,34\%$ i winogron $81,03 \pm 0,05\%$. Natomiast, nie stwierdzono korelacji między aktywnością wody, a zawartością wody dla awokado. Średnia zawartość wody w tych owocach była stosunkowo mała ($80,03\%$), a aktywność wody największa. Prawdopodobnie przyczyną wysokiej aktywności wody awokado, był jego skład chemiczny, a przede wszystkim wysoka zawartość tłuszczu ogółem ($14,66\%$) [2]. Substancje hydrofobowe, a takimi są tłuszcze, nie wiążą cząsteczek wody tylko je strukturalizują. Woda przy ich powierzchni zachowuje się praktycznie jak woda wolna i stąd wysoka wartość aktywności wody awokado. Określony poziom aktywności wody w badanych świeżych owocach klasyfikował je w grupie żywności wilgotnej (przedział aktywności wody 1,00 – 0,90) [6].

Zbliżone wartości aktywności wody dla jablek ($0,975 - 0,988$) i śliwek ($0,969 - 0,982$) podali Pałacha i i Lenart [8]. Z kolei badania Pałachy i Jakubicz [9] wykazały, że świeże warzywa (brokuły, brukselki, burak ćwikłowy, cebula, dynia, kalafior, kapusta głowiasta biała i czerwona, marchew, ogórki, papryka czerwona, korzeń pietruszki, pomidory koktajlowe, pory, rzodkiewka, selery i ziemniaki) posiadały bardzo zbliżoną wartość aktywności wody mieszczącą się w zakresie od 0,963 do 0,981, a średnia zawartość wody wyniosła od 77,86% do 94,84%.

Wartości aktywności wody wszystkich badanych owoców wynosiły powyżej 0,96, tym samym możliwy był praktycznie rozwój wszystkich grup drobnoustrojów, a aktywność wody na tym poziomie nie gwarantowała stabilności mikrobiologicznej owoców [7].

Ogólnie nie stwierdzono silnej zależności między zawartością wody, a jej aktywnością dla badanych świeżych owoców. Na rysunku 1 pokazano zależność aktywności wody (a_w) od zawartości wody (W) dla świeżych owoców. Zauważono pewną tendencję wzrostu aktywności wody świeżych

owoców wraz ze wzrostem zawartości wody. Podjęto próbę opisaną zależności aktywności wody od zawartości wody prostym dwuparametrowym równaniem matematycznym (rys. 1), a postać równania linii prostej przedstawiono w tabeli 4. Wartość współczynnika determinacji $R^2 = 0,2269$ potwierdza słabą zależność między aktywnością wody i zawartością wody dla badanych świeżych owoców.



Rys. 1. Zależność aktywności wody od zawartości wody dla świeżych owoców (opisana równaniem 1).

Fig. 1. The dependence of water activity on water content for fresh fruits (described in equation 1).

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Tabela 2. Aktywność wody i zawartość wody suszy owocowych

Table 2. Water activity and water content of dried fruits

| Lp. | Rodzaj suszy owocowych | Aktywność wody [-] | Zawartość wody [%] |
|-----|------------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | Morele | 0,614 ± 0,016 | 19,40 ± 0,52 |
| 2 | Rodzynki | 0,496 ± 0,005 | 11,99 ± 0,73 |
| 3 | Żurawina | 0,488 ± 0,009 | 11,93 ± 0,07 |
| 4 | Jabłka | 0,624 ± 0,007 | 19,07 ± 0,34 |
| 5 | Śliwki | 0,751 ± 0,010 | 27,91 ± 1,46 |
| 6 | Porzeczki czerwone | 0,304 ± 0,007 | 3,76 ± 0,08 |
| 7 | Gruszki | 0,543 ± 0,015 | 14,09 ± 0,57 |
| 8 | Banany | 0,500 ± 0,018 | 13,17 ± 0,21 |
| 9 | Figi | 0,620 ± 0,009 | 18,91 ± 0,30 |
| 10 | Daktyle | 0,623 ± 0,005 | 16,93 ± 0,59 |

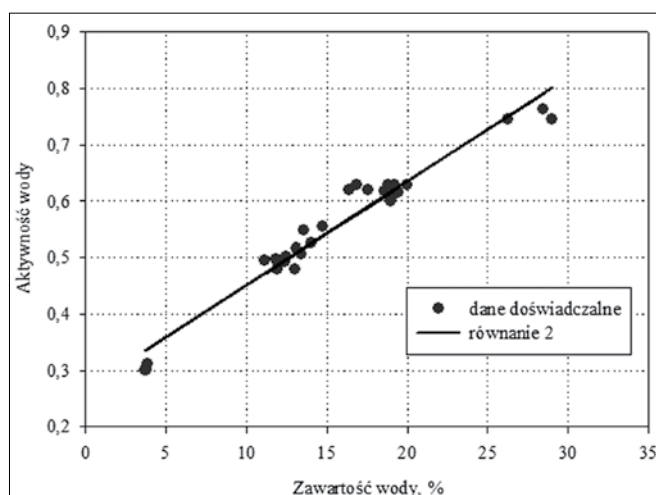
Źródło: Badania własne

Source: The own study

W tabeli 2 zaprezentowano średnie wartości aktywności wody i zawartości wody dla suszy owocowych. Średnia aktywność wody suszy owocowych kształtowała się w przedziale od 0,304 do 0,751. Najniższą wartość aktywności wody posiadał susz porzeczki czerwonej $0,304 \pm 0,007$, a najwyższą wartość suszone śliwki $0,751 \pm 0,010$. Niska aktywność wody suszu porzeczki czerwonej i wysoka aktywność wody suszu śliwkowego, bardzo dobrze korelowały z poziomem ich zawartości wody. Najniższą średnią zawartość wody, wynoszącą 3,76%, posiadał susz porzeczki czerwonej, a najwyższą

średnią zawartość wody, wynoszącą 27,91%, susz śliwkowy. Suszone rodzynki, żurawina, porzeczki czerwone, gruszki i banany w zależności od poziomu ich aktywności wody należy zaliczyć do grupy żywności o niskiej zawartości wody (przedział aktywności wody 0,55 – 0,00) [6]. Suszone morele, jabłka, śliwki, figi i daktyle należy natomiast zaliczyć do grupy żywności o średniej zawartości wody (przedział aktywności wody 0,90 – 0,55) [6].

Wartości aktywności wody badanych suszy owocowych poniżej 0,60 świadczą o pełnej stabilności mikrobiologicznej suszy (produkty trwałe). Natomiast aktywność suszy w przedziale 0,614 – 0,624 (morele, jabłka, figi i daktyle) nieznacznie odbiegała od wartości krytycznej, tym niemniej można je również zaliczyć do żywności trwałej. Wyższa aktywność wody suszu śliwkowego (0,751) gwarantuje brak rozwoju bakterii chorobotwórczych i pleśni produkujących mykotoksyny, tym samym susz ten jest również bezpieczny. W dłuższym przedziale czasu może wystąpić rozwój pleśni kserofilnych i drożdży osmofilnych [7].



Rys. 2. Zależność aktywności wody od zawartości wody dla suszy owocowych (opisana równaniem 2).

Fig. 2. Dependence of water activity on the water content for dried fruits (described in equation 2).

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Na rysunku 2 przedstawiono zależność aktywności wody (a_w) od zawartości wody (W) dla suszy owocowych. Stwierdzono tendencję wzrostu aktywności wody wraz ze wzrostem zawartości wody dla suszy owocowych. Opisano tę zależność równaniem linii prostej (tab. 4). Wartość współczynnika determinacji $R^2 = 0,9600$ potwierdza silną zależność prostoliniową między aktywnością wody i zawartością wody dla suszy owocowych.

Średnie wartości aktywności wody i zawartości dla słodzonych produktów owocowych przedstawiono w tabeli 3. Średnia aktywność wody słodzonych produktów owocowych kształtowała się w przedziale od 0,857 do 0,979. Najniższą wartość aktywności wody posiadał dżem truskawkowy wysokosłodzony $0,857 \pm 0,002$, a najwyższą wartość galaretki o smaku truskawkowym $0,979 \pm 0,002$. Niska aktywność wody dżemu truskawkowego wysokosłodzonego i wysoka aktywność wody galaretki, dobrze korelowały z poziomem ich zawartości wody. Średnia zawartość wody w dżemie

truskawkowym wysokosłodzonym wyniosła 37,55%, a w galaretkę 86,60%. Zbliżone wartości aktywności wody jak dla dżemu truskawkowego wysokosłodzonego stwierdzono dla marmolady wieloowocowej (0,863) i powideł śliwkowych (0,859).

Tabela 3. Aktywność wody i zawartość wody słodzonych produktów owocowych

Table 3. Water activity and water content of sweetened fruit products

| Lp | Słodzone produkty owocowe | Aktywność wody [-] | Zawartość wody [%] |
|----|---------------------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | Dżem truskawkowy niskosłodzony | 0,947 ± 0,001 | 63,33 ± 0,12 |
| 2 | Dżem truskawkowy wysokosłodzony | 0,857 ± 0,002 | 37,55 ± 0,12 |
| 3 | Galaretka o smaku truskawkowym | 0,979 ± 0,002 | 86,60 ± 1,48 |
| 4 | Marmolada wieloowocowa | 0,863 ± 0,002 | 35,63 ± 0,11 |
| 5 | Powidła śliwkowe | 0,859 ± 0,002 | 40,49 ± 0,22 |

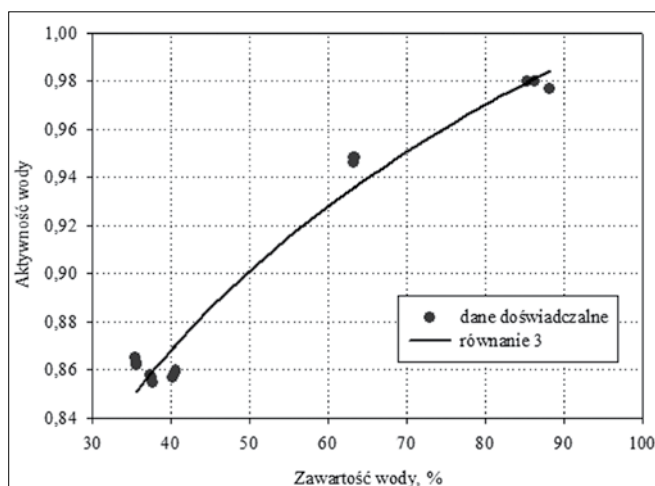
Źródło: Badania własne
Source: The own study

Podobne wartości aktywności wody dla dżemu truskawkowego wysokosłodzonego ($a_w = 0,812 \pm 0,001$), dla marmolady wieloowocowej ($a_w = 0,829 \pm 0,001$) i powideł śliwkowych ($a_w = 0,888 \pm 0,001$) otrzymali Pałacha i Makarewicz [10].

Wyznaczony poziom aktywności wody w słodzonych produktach owocowych klasyfikował je w grupie żywności wilgotnej (przedział aktywności wody 1,00 – 0,90) – galaretka o smaku truskawkowym i dżem truskawkowy niskosłodzony oraz w grupie żywności o średniej zawartości wody (przedział aktywności wody 0,90 – 0,55) – dżem truskawkowy wysokosłodzony, marmolada wieloowocowa i powidła śliwkowe [6]. Ten poziom aktywności wody nie gwarantował stabilności mikrobiologicznej słodzonych produktów owocowych. Zastosowana w procesie technologicznym obróbka termiczna (pasteryzacja) zdecydowanie przedłużała trwałość tych produktów.

Na rysunku 3 przedstawiono zależność aktywności wody (a_w) od zawartości wody (W) dla słodzonych produktów owocowych. Stwierdzono tendencję wzrostu aktywności wody wraz ze wzrostem zawartości wody dla słodzonych produktów owocowych. Opisano tę zależność prostym modelem krzywoliniowym (tab. 4). Wartość współczynnika determinacji $R^2 = 0,9690$ potwierdza zależność krzywoliniową między aktywnością wody i zawartością wody dla słodzonych produktów owocowych.

Na rysunku 4 przedstawiono zależność aktywności wody (a_w) od zawartości wody (W) dla wszystkich produktów owocowych. Stwierdzono krzywoliniową tendencję wzrostu aktywności wody wraz ze wzrostem zawartości wody dla wszystkich produktów owocowych. Opisano tę zależność prostym modelem krzywoliniowym (tab. 4). Wartość współczynnika determinacji $R^2 = 0,9758$ potwierdza silną zależność krzywoliniową między aktywnością wody i zawartością wody dla wszystkich produktów owocowych. Model ten może być przydany do orientacyjnego określenia aktywności wody produktów owocowych, jeżeli jest znana ich zawartość wody.



Rys. 3. Zależność aktywności wody od zawartości wody dla słodzonych produktów owocowych (opisana równaniem 3).

Fig. 3. The dependence of water activity on water content for sweetened fruit products (described in equation 3).

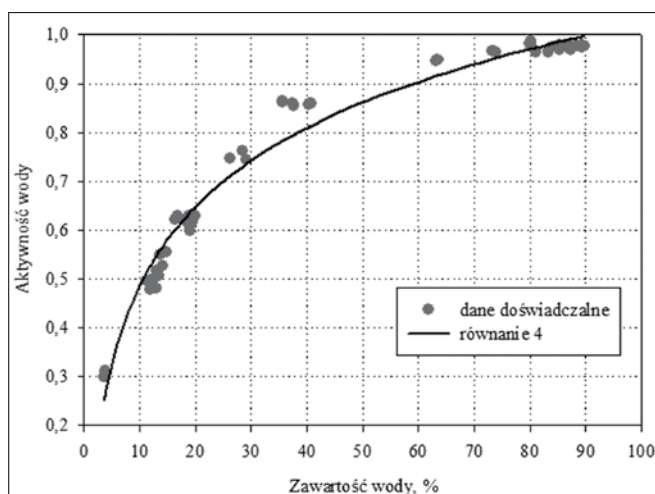
Źródło: Badania własne
Source: The own study

Tabela 4. Równania wykorzystane do opisu zależności aktywności wody od zawartości wody

Table 4. Equation used to describe the relationship between water activity and water content

| Produkty owocowe | Równanie matematyczne | R ² |
|------------------|-------------------------------------|----------------|
| Świeże | $aw = 0,000604 \cdot W + 0,923$ (1) | 0,2269 |
| Suszone | $aw = 0,018458 \cdot W + 0,266$ (2) | 0,9600 |
| Słodzone | $aw = 0,326 + 0,147 \ln W$ (3) | 0,9690 |
| Wszystkie | $aw = - 0,050 + 0,233 \ln W$ (4) | 0,9758 |

Źródło: Badania własne
Source: The own study



Rys. 4. Zależność aktywności wody od zawartości wody dla wszystkich produktów owocowych (opisana równaniem 4).

Fig. 4. The dependence of water activity on water content for all fruit products (described in equation 4).

Źródło: Badania własne
Source: The own study

WNIOSKI

1. Badane świeże owoce i produkty owocowe (susze i słodzone) charakteryzowały się zróżnicowaną wartością aktywności wody. Owoce świeże przekraczały poziom aw 0,96; słodzone produkty owocowe przekraczały poziom aw 0,85; suszone owoce uzyskiwały najniższe wartości aktywności wody, poniżej 0,76.
2. Średnia aktywność wody świeżych owoców mieściła się w zakresie od 0,966 do 0,983, a średnia zawartość wody wynosiła od 73,40% do 89,54%. Słodzone produkty owocowe posiadały średnie aktywności wody w zakresie od 0,857 do 0,979 zaś średnia zawartość wody wyniosła od 35,63% do 86,60%. Susze owocowe stanowiły natomiast grupę o najszerszym zakresie aw mieszczącym się w przedziale od 0,304 do 0,751, a średnia zawartość wody wyniosła od 3,76% do 27,91%.
3. Najwyższą aktywność wody posiadało świeże awokado $0,983 \pm 0,003$ ($W = 80,03\%$), a najniższą aktywność wody stwierdzono w suszu porzeczek czerwonej $0,304 \pm 0,007$ ($W = 3,76\%$).
4. Badane susze owocowe możemy zaliczyć do żywności określonej mianem bezpiecznej z punktu widzenia stabilności mikrobiologicznej, ponieważ ich aktywność wody nie przekraczała wartości 0,76.
5. Zaproponowano prosty model matematyczny do opisu zależności aktywności wody od zawartości wody dla wszystkich badanych produktów owocowych, a obliczona wartość współczynnika determinacji ($R^2 = 0,9758$) świadczyła o silnej zależności aw od W.

LITERATURA

- [1] **AOAC 1996.** „Official methods of analysis”. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.
- [2] **INTERNET 2018.** www.odzywianie.info.pl/przydatne-informacje/artykuly/art,awokado-kalorie-wartosci-odzywcze-i-ciekawostki.html
- [3] **KUNACHOWICZ H., I. NADOLNA, B. PRZYGODA, K. IWANOW 2005.** „Tabele składu i wartości odżywczej żywności”. Warszawa: PZWL.
- [4] **LABUZA T.P. 1975.** „Sorption phenomena in foods. Theoretical and practical aspects”. In: Theory, Determination and Control of Physical Properties of Food Materials (ed. C-K. Rha), D. Reidel Pub. Co., Boston: 197-2019.
- [5] **LEWICKI P.P. 2004.** „Water as the determinant of food engineering properties. A review”. Journal of Food Engineering 61(4): 483-495.
- [6] **PAŁACHA Z. 2010.** „Właściwości sorpcyjne”. W: Właściwości fizyczne żywności (red. Z. Pałacha, I. Sitkiewicz), Warszawa: WNT: 143-169.
- [7] **PAŁACHA Z. 2008.** „Aktywność wody ważny parametr trwałości żywności”. Przemysł Spożywczy 62(4): 22-26.
- [8] **PAŁACHA Z., A. LENART 2018.** „Rola wody w żywności”. W: Chemia żywności. Główne składniki żywności (red. Z.E. Sikorski, H. Staroszczyk), Warszawa: PWN: 35-66.
- [9] **PAŁACHA Z., K. JAKUBICZ 2018.** „Analiza aktywności wody w wybranych świeżych warzywach”. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego 28/53(2): 29-32.
- [10] **PAŁACHA Z., M. MAKAREWICZ 2011.** „Aktywność wody wybranych grup produktów spożywczych”. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego 21/39(2): 24-29.
- [11] **RAHMAN M.S. 2010.** „Food stability determination by macro-micro region concept in the state diagram and by defining critical temperature”. Journal of Food Engineering 99: 402-416.
- [12] **RAHMAN M.S., T.P. LABUZA 1999.** „Water activity and food preservation”. In: Handbook of Food Preservation (ed. M.S. Rahman), Marcel Dekker, New York: 339-382.
- [13] **SCOTT W.J. 1953.** „Water relations of *Staphylococcus aureus* at 30°C”. Australian Journal of Biology Sciences 6: 549-564.
- [14] **SCOTT W.J. 1957.** „Water relations of food spoilage microorganisms”. Advances in Food Research 7: 83-124.