

Mgr inż. Anna MIESZKALSKA

Mgr inż. Wojciech PRAGA

Dr hab. inż. Dariusz PIOTROWSKI

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji

WPŁYW SUSZENIA MIKROFALOWO-KONWEKCYJNEGO TRUSKAWEK NA ICH BARWĘ MIERZONĄ INSTRUMENTALNIE®

The influence of microwave-convective drying on color of strawberries measured instrumentally®

Słowa kluczowe: truskawki, suszenie mikrofalowo-konwekcyjne, barwa, ocena instrumentalna.

W artykule przedstawiono ocenę wpływu parametrów procesu suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego na barwę truskawek. Suszenie mikrofalowo-konwekcyjne (poziom mocy: 50, 75 i 90 W, temperatura powietrza 30 i 40°C) zostało przeprowadzone w 6 kombinacjach eksperymentów. Oceny barwy truskawek dokonano metodą kolorymetryczną w systemie Hunter Lab oraz z zastosowaniem komputerowej analizy obrazu. Stwierdzono, że im wyższa temperatura i moc mikrofal, tym czas suszenia był krótszy. Wyniki względnych pomiarów parametrów barwy dla obu metod charakteryzują się wysokimi współczynnikami korelacji.

Key words: strawberries, microwave-convective drying, color, instrumental assessment.

In this work evaluation of microwave-convective drying parameters influence on strawberries color was presented. Microwave-convective drying (power levels of 50, 75 and 90 W as well air temperature of 30 and 40°C) were applied for drying processes which were performed within 6 combinations of experiments. Color of strawberries was measured using colorimetric measurement – Hunter Lab and computer vision method. It was affirmed that with higher temperature and with higher microwave power the time of drying was shorter. Results of relative measurements of color parameters for both methods were characterized by high correlation coefficients.

WSTĘP

Suszenie zabezpiecza owoce przed zepsuciem, redukuje wymiary, co wpływa na mniejsze koszty przechowywania i transportu. Długi czas ekspozycji owoców na podwyższoną temperaturę w długim czasie może jednak niekorzystnie wpływać na barwę produktu [20], a przez to obniżyć jakość uzyskanych suszy. Możliwość dostarczenia energii podczas suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego w porównaniu do klasycznego suszenia konwekcyjnego są większe i podnoszą szybkość suszenia [7]. Im mniejsza moc mikrofal dla suszenia mikrofalowego i temperatura powietrza suszącego dla suszenia konwekcyjnego, tym czas suszenia jest dłuższy [8, 13]. Według Sumnu i wsp. [18] wraz ze wzrostem stosowanej mocy mikrofal czas suszenia ulega skróceniu, dzięki czemu jasność produktu końcowego nie różni się znacznie od surowca świeżego. Piotrowski i Chodyn-Semczuk [14] dowodzą, że barwa suszu truskawkowego zmienia się wraz z upływem czasu suszenia i wzrostem temperatury procesu. Znane jest podejście do sterowania procesem próżniowo-mikrofalowego suszenia truskawek wykorzystujące regulację temperatury [4].

Stosując suszenie metodą konwekcyjną z wykorzystaniem mikrofal otrzymuje się susze o lepszej jakości niż w przypadku suszenia konwekcyjnego [21]. Uzyskane pierwszym sposobem susze charakteryzują się mniejszą różnicą parametrów barwy (L , a , b) w porównaniu do suszy klasycznych [7]. Badania dotyczące suszenia liści pokrzywy wskazują na to, że wraz ze wzrostem mocy mikrofal występują mniejsze zmiany w barwie [3]. Z innych badań wynika, że zmiana barwy suszonej okry jest większa dla wyższej mocy mikrofal [9]. Ciekawą alternatywą byłoby wykorzystanie do dynamicznie zmieniających się procesów metod komputerowej analizy obrazu [10, 11, 16]. Ze względu na szybkość realizacji pomiarów i procedury do ich interpretacji [12] występują przesłanki wykorzystania wskazanej grupy metod podczas procesu suszenia ułatwiającej jego automatyzację. Wybór systemu barw (Lab, XYZ, RGB, HSI) do analizy barwy suszy [10, 17] jest również przedmiotem ustaleń wstępnych w rozpatrywanych pracach. Przykładowo, badania kinetyki zmian barwy przeprowadzone w układzie HSI (ang. *Hue, Saturation Intensity*) sugerowały zdecydowanie szybsze niszczenie barwy korzenia żeń-szenia przy wyższej temperaturze suszenia [10].

Adres do korespondencji – Corresponding author: Dariusz Piotrowski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, ul. Nowoursynowska 159c; 02-776 Warszawa, e-mail: dariusz_piotrowski@sggw.pl

Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań dotyczących wpływu parametrów suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego tj. mocy mikrofal i temperatury powietrza na barwę suszy z truskawek mierzoną instrumentalnie.

Zakres pracy obejmował pomiar parametrów barwy truskawek wybranej odmiany przy wykorzystaniu dwóch instrumentalnych metod: kolorymetrycznej w układzie Hunter Lab i analizy barwnych fotografii przetwarzanych na stanowisku do komputerowej analizy obrazu (KAO).

MATERIAŁ I METODY

Material badawczy

Do badań zostały wykorzystane truskawki deserowej odmiany Camarosa o wielkości 31-36 mm, które uzyskano w drugiej połowie sezonu zbiorczego z plantacji znajdującej się na Mazowszu. Po umyciu i osuszeniu owoce pocięte na połówki pakowano w plastikowe woreczki i zamrażano. Do czasu badań truskawki były przechowywane w zamrażarce w stabilnej temperaturze na poziomie około $-18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, a ewentualnie losowe zakłócenia wynikały z typowych warunków eksploatacyjnych urządzenia.

Suszenie mikrofalowo-konwekcyjne

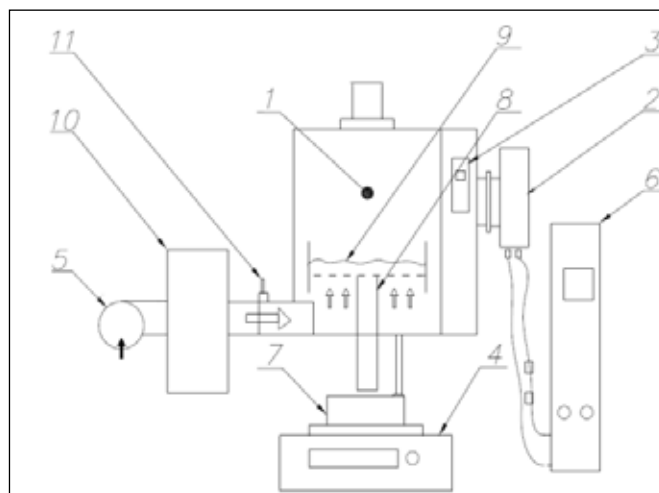
Suszeniu mikrofalowo-konwekcyjnemu w suszarce laboratoryjnej (Promis-Tech, Wrocław) [15] (Rys. 1) poddawano owoce zamrożone. Truskawki zamrożone (czas od wyjęcia z zamrażarki do rozpoczęcia procesu suszenia nie przekraczał 30 minut) wkładano do polipropylenowego pojemnika, który umieszczony był na obrotowej szalce (8) i podłączony do wagi (4). Skomputeryzowana jednostka sterująca (6) umożliwiała generowanie mikrofal na określonym poziomie. Suszone owoce ważono z częstotliwością 5 minut. Komputer (nie umieszczony na Rys. 1) z wyspecjalizowanym oprogramowaniem umożliwiał wybranie określonych opcji procesu np. suszone owoce ważono z częstotliwością 5 minut oraz rejestrowano wyniki pomiarów.

W doświadczeniu użyto 6 kombinacji parametrów suszenia w zakresie mocy mikrofal 50, 75 oraz 90 W, stosując dawkę mikrofal w przeliczeniu na 1 gram surowca odpowiednio: 0,3, 0,5 oraz 0,6 W/g surowca dla temperatury powietrza 30 oraz 40°C . Zastosowano stały przepływ powietrza na poziomie 2,5 m/s wymuszany przez wentylator (5). Do każdego z eksperymentu użyto naważek $140\pm 4\text{g}$, zważonych na wadze technicznej. Suszenie mikrofalowo-konwekcyjne prowadzono do uzyskania stanu równowagi potwierdzonego stabilnymi wskazaniem wagi (4), przy czym dla każdego wariantu suszenia wykonane były dwa powtórzenia.

Oznaczanie instrumentalne barwy

Pomiar barwy truskawek zarówno przed suszeniem (mrożonych) oraz po procesie suszenia wykonano na powierzchni zewnętrznej naturalnej skórki truskawek dla 10 połówek owoców (łącznie 10 pomiarów). Do interpretacji barwy wybrano jasność (L), współrzędne chromatyczności: czerwonosć (+a) i żółtosć (+b) oraz nasycenia barwy (C), które obliczono z równania:

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (1)$$



Rys. 1. Schemat laboratoryjnej suszarki mikrofalowo-konwekcyjnej opracowanej przez firmę Promis z Wrocławia (Polska).

1. Komora suszarki, 2. Generator mikrofal, 3. Czujnik mocy mikrofal, 4. Waga, 5. Wentylator, 6. Skomputeryzowana jednostka sterująca, 7. Napęd elektryczny, 8. Obrotowa szalka, 9. Suszony surowiec, 10. Nagrzewnica powietrza, 11. Termopara używana do temperatury powietrza wlotowego.

Fig. 1. Scheme of a laboratory microwave-convective dryer elaborated by Promis from Wrocław (Poland).

1. Drying chamber, 2. Microwave generator, 3. Microwave power sensor, 4. Scale, 5. Fan, 6. Computerised control unit, 7. Electric drive, 8. Rotary tray, 10. Dried raw material, 10. Air heater, 11. Thermocouple used for air inlet temperature.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [15] (producent suszarki indywidualnie dostosował instrukcję do zamówienia)

Source: Own study based on the [15] (the manufacturer of the dryer individually adapted instruction for the order)

gdzie: C – nasycenia barwy [-];

+a – czerwonosć [-];

+b – żółtosć [-].

Barwę truskawek oznaczano dwoma sposobami:

1. Pomiary kolorymetryczne zostały wykonane za pomocą fotokolorimetru Chroma-Meter CR-300 firmy Minolta metodą odbiciową w systemie barwy Hunter Lab wykorzystując źródło światła obojętnego C i kąt obserwacji 0° . Aparat wyskalowano według wzorca bieli, a każdy rejestrowany pomiar był uśredniany z 3 powtórzeń. Pomiary kolorymetryczne są wg przesłanek metodycznych precyzyjniejsze, jednak ich przetworzenie może być powolniejsze względem sposobu drugiego.
2. Barwę truskawek mierzono wykorzystując ich barwne fotografie interpretowane jako pliki graficzne stosując komputerową analizę obrazu (KAO). W skład stanowiska umożliwiającego wykonywanie owocom fotografii wchodziły: komora świetlna, dwie lampy na statywach, aparat cyfrowy (Z3040 firmy Olympus) ze statywem. Komora świetlna o wymiarach: wysokość 45 cm i szerokości 55 była oświetlana dwiema lampami halogenowymi o mocy

150 W każda. Aparat fotograficzny na statywie został umieszczony na stałej wysokości nad szalką z truskawkami. Fotografie jako pliki graficzne zapisano w formacie JPG o rozdzielczości 3648:2766 i przenoszono na stanowisko komputerowej analizy obrazu z programem Multiscan (firmy Computer Scanning System, Warszawa), który zawierał procedurę pomiaru parametrów barwy L , a , b .

Interpretacja wyników

Interpretację graficzną i analizę statystyczną wyników przeprowadzono przy użyciu arkusza kalkulacyjnego Excel (firmy Microsoft) oraz pakietu statystycznego IBM® SPSS® Statistics (firm SPSS i IBM) wchodzącego w skład poszerzonego środowiska PS IMAGO® (firmy Predictive Solutions). W pracy wykorzystywano analizę wartości średnich i statystyki podstawowe np. odchylenie standardowe. Przed przeprowadzeniem analizy wariancji ANOVA sprawdzano testem Levena jednorodność wariancji. Jako kryterium dopasowania równań liniowych do porównywanych dwóch metod oznaczania barwy wykorzystano współczynnik determinacji (R^2).

WYNIKI I DYSKUSJA

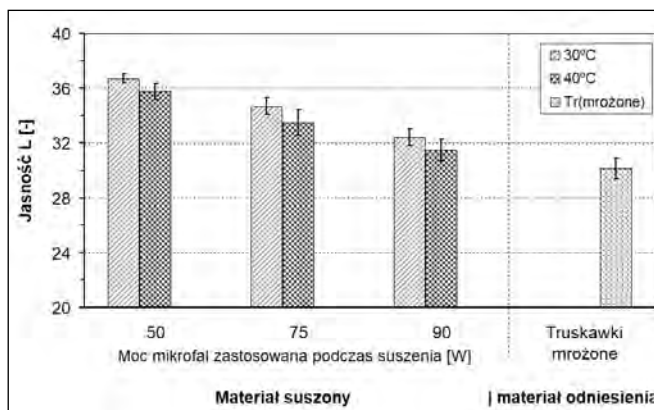
Zmiany jasności (L) suszu truskawkowego

Suszenie zamrożonych połówek truskawek dla wszystkich poziomów zastosowanej mocy mikrofal: 60, 75 i 90 W i temperatur powietrza: 30 i 40°C spowodowało wzrost jasności (L) względem zamrożonego surowca. Największe pojaśnienie truskawek suszonych w porównaniu z truskawkami mrożonymi wystąpiło przy najniższej mocy mikrofal 50 W i w niższej temperaturze 30°C, co potwierdziły zarówno pomiary kalorymetryczne jak i metoda komputerowej analizy obrazu (KAO) (Rys. 2 i 3). Natomiast najmniejsze pojaśnienie suszy truskawkowych wystąpiło dla najwyższej mocy mikrofal i najwyższej temperatury z rozpatrywanych zakresów. Pomiary jasności (L) metodą kolorymetryczną wykazały, że różnice pomiędzy suszem uzyskanym przy mocy 90 W dla temperatury suszenia 40°C a surowcem mrożonym wynosiły 1,4 jednostek, a dla temperatury 30°C – 2,3 jednostki (odpowiednio o 4,4 % lub o 7%). Dla dwóch metod pomiarowych i dla zastosowanych skrajnych wartości mocy mikrofal większe pojaśnienie truskawek wystąpiło dla niższej temperatury suszenia 30°C. Wartości jasności uzyskane z pomiaru metodą KAO były znacznie wyższe w stosunku do otrzymanych metodą kolorymetryczną (Rys. 2 i 3).

Otrzymane tendencje były zgodne z zależnościami twierdzi Alibas [2] na podstawie wyników badań przeprowadzonych na materiale podlegającym bardziej ekstremalnym warunkom suszenia (liściach pokrzywy suszonej w temperaturze 50 i 70°C i mocy mikrofal 500, 650, 750, 800 W).

Próby podnoszenia temperatury suszenia mikrofalowo – konwekcyjnego w zakresie od 50°C do 70°C dla pulpy z owoców granatu [19] lub wiśni [7], szczególnie dla mocy 150W okazały się niekorzystne w odniesieniu do jasności. İter i wsp. [8] po suszeniu mikrofalowym w wyższym zakresie mocy (180, 360 i 540 W) rozdrobnionego czosnku zauważyli, że wraz ze zwiększeniem mocy mikrofal różnica jasności suszu była większa w stosunku do surowca i w każdym przypadku wzrosła. Odwrotną zależność: niewielki wzrost jasności przy zmniejszaniu mocy mikrofal z 90 do 50W, czyli dla

dużo niższego zakresu mocy, zaobserwowano dla wariantów suszenia truskawek przedstawionych w pracy. Prezentowane badania nad jasnością truskawek przy podnoszeniu o 10°C temperatury powietrza suszącego bardzo nieznacznie obniżyły jasność suszy. Zielińska i Michalska [21] podczas suszenia mikrofalowo-próżniowego i kombinowanego przy temperaturze 60°C (suszenie konwekcyjne z mikrofalowo-próżniowym 1,3W/g owoców, 4-6 kPa) nie stwierdziły istotnie statystycznych zmian jasności i barwy rozmrożonych jagód.

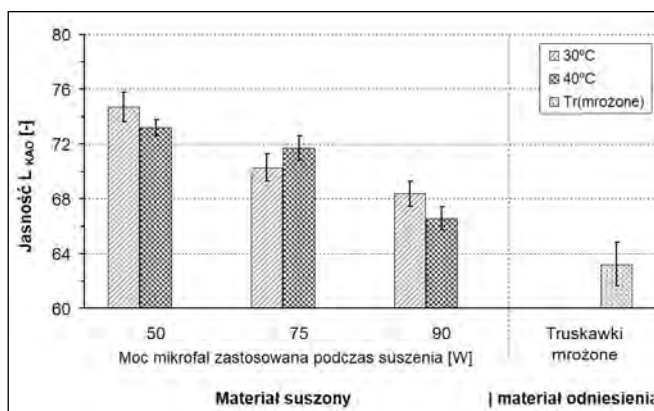


Rys. 2. Wpływ temperatury suszenia i mocy mikrofal na jasność L suszu truskawkowego mierzonego metodą kolorymetryczną.

Fig. 2. Effect of drying temperature and microwave power on lightness L of dried strawberries measured by colorimetric method.

Źródło: Badania własne

Source: The own study



Rys. 3. Wpływ temperatury suszenia i mocy mikrofal na jasność L_{KAO} suszu truskawkowego mierzonego metodą KAO.

Fig. 3. Effect of drying temperature and microwave power on lightness L_{KAO} (CV) of dried strawberries measured by computer vision CV method.

Źródło: Badania własne

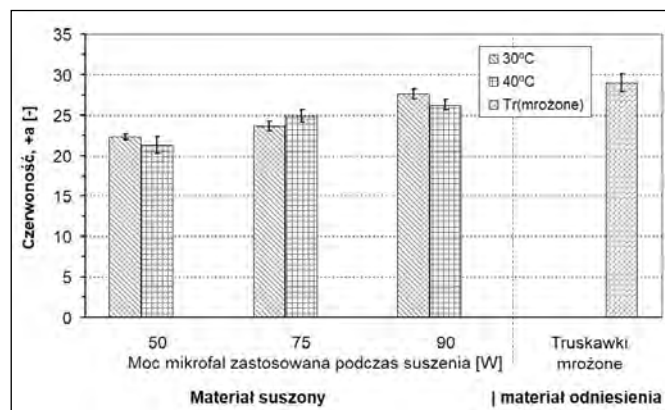
Source: The own study

Zmiany czerwoności dla suszu truskawkowego

Przyjęto, że pomiary naturalnie czerwonej powierzchni truskawek w systemach barwy obejmujących czerwoność (+a) dla owoców truskawek mają wymiar aplikacyjny. Wraz z obniżaniem mocy mikrofal wystąpiła stała tendencja obniżenia średnich wartości czerwoności (+a) mikrofalowo-konwekcyjnych suszy z truskawek w stosunku do czerwoności

owoców zamrożonych. Pomiarów dokonano metodą kolorymetryczną oraz za pomocą komputerowej analizy obrazu. Pomiar czerwoności (+a) suszy truskawkowych metodą kolorymetryczną w stosunku do truskawek mrożonych wykazał najmniejsze różnice w produkcie uzyskanym przy mocy 90 W i w temperaturze 30°C, a różnice wynosiły około 5%. Występujące zróżnicowanie temperatury suszenia przy tej samej mocy mikrofal wpływało w mniejszym stopniu na zróżnicowanie czerwoności suszy niż na zmiany jasności.

Największe obniżenie czerwoności truskawek suszonych wystąpiło przy najniższej mocy mikrofal 50 W. Przy pomiarach metodą kalorymetryczną w temperaturze 30 oraz 40°C zaobserwowano obniżenie czerwoności powierzchni wysuszonych owoców od 23 do 26,5% (Rys. 4). Wartości czerwoności uzyskane z pomiaru metodą KAO były wyższe w stosunku do otrzymanych metodą kolorymetryczną (Rys. 4 i 5). Najwyższe ubytki czerwoności (+a_{KAO}) stwierdzono dla suszy uzyskanego przy najniższej mocy mikrofal. Suszenie przy zadanej mocy 50 W i w temperaturze 30 oraz 40°C przyczyniło się do obniżenia czerwonej barwy dla wysuszonych owoców odpowiednio o 24% i o 28%.



Rys. 4. Wpływ temperatury suszenia i mocy mikrofal na czerwoność (+a) suszy truskawkowego mierzonego metodą kolorymetryczną.

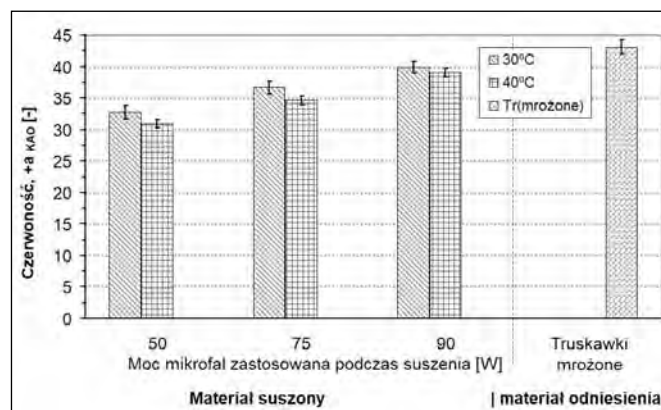
Fig. 4. Effect of drying temperature and microwave power on (+a) values (colorimetric measurements) of dried strawberries.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Wyniki pomiarów czerwoności suszy z wykorzystaniem komputerowej analizy obrazu (+a_{KAO}) są zbieżne co do tendencji zmian z otrzymanymi metodą kolorymetryczną (+a). Ponownie najmniejsze obniżenie czerwoności powierzchni truskawek uzyskano dla owoców poddanych suszeniu przy mocy 90 W (w temperaturze 30°C). Najwyższe ubytki czerwoności (+a_{KAO}) stwierdzono dla suszy uzyskanego przy najniższej mocy mikrofal. Suszenie przy mocy 50 W i w temperaturze 30 oraz 40°C przyczyniło się do obniżenia czerwonej barwy dla wysuszonych owoców od 24 do 28%, co należy interpretować jako zjawisko niekorzystne. Przypuszczalnie, przy najniższej dawce mikrofal 0,3W/g oraz niskich temperaturach wydłużał się czas suszenia i następował rozkład barwników. Pomimo, że w wysuszonych truskawkach występuje wzrost zawartości antocyjanów, to jednak zmniejsza się zawartość związków fenolowych ogółem względem ich zawartości w surowcu [1]. Do obserwacji niszczącego efektu warunków prowadzenia

suszenia wykorzystywać można badania kinetyki zmian barwy, ewentualnie wsparte metodami modelowania [14].



Rys. 5. Wpływ temperatury suszenia i mocy mikrofal na czerwoność (+a_{KAO}) suszy truskawkowego mierzonego metodą KAO.

Fig. 5. Effect of drying temperature and microwave power on redness +a_{KAO} (CV) of dried strawberries measured by computer vision CV method.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

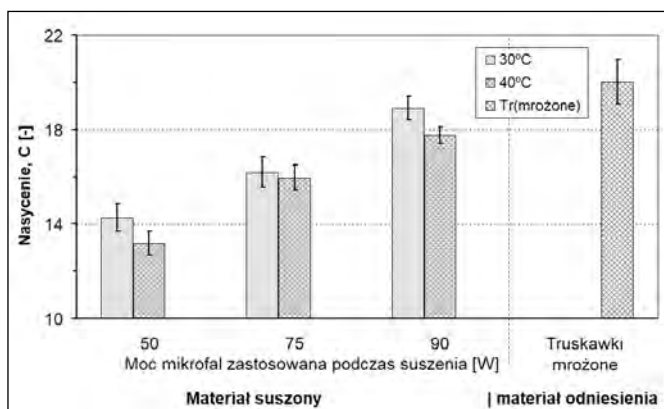
Zmiany żółtości były analogiczne jak dla nasycenia barwy i z tego względu ich dokładny opis pominięto w niniejszym artykule.

Zmiany nasycenia barwy dla suszy truskawkowego

Przeprowadzona analiza potwierdziła, że najmniejsze zmiany nasycenia barwy owoców poddanych suszeniu względem surowca mrożonego występowały przy mocy mikrofal 90 W i w temperaturze 30°C. Dla pomiaru kolorymetrycznego zmiana wynosiła 1,1 jednostek, czyli 5,5% (Rys. 6), a dla metody wykorzystującej komputerową analizę obrazu 5 jednostek, czyli 14,5% (Rys. 7).

Wartości nasycenia barwy C dla truskawek świeżych odmiany Camorosa uzyskane metodą kalorymetryczną przez Adak i wsp. [1] były bliższe wartościom, które w niniejszych badaniach uzyskano dla pomiarów wykorzystujących KAO. Tendencje dla pomiarów przeprowadzonych za pomocą komputerowej analizy obrazu (C_{KAO}) są zbieżne z wartościami otrzymanymi metodą kolorymetryczną. Wykorzystując niski poziom mocy mikrofal, wpływ zastosowania temperatury powietrza z zakresu 30 - 40°C na nasycenie barwy był nieistotny. Nasycenie barwy wyznaczone metodą kalorymetryczną, dla suszy o największym zróżnicowaniu barwy względem truskawek mrożonych, przy mocy mikrofal 50 W i temperaturę 30 oraz 40°C wyznaczone obniżenie wynosiło 28,7 i 34,1% (5,75 i 6,85 jednostek) (Rys. 6). Przy wykorzystanej konfiguracji stanowiska do pozyskiwania obrazów w przypadku pomiarów wykonywanych metodą KAO wpływ temperatury powietrza na nasycenie barwy był wyraźniejszy. Przykładowo stosując powyższe warunki suszenia mirofalowo-konwekcyjnego zaobserwowano obniżenie nasycenia barwy w stosunku do owoców mrożonych mierzonej metodą KAO na poziomie 30,5 i 37,2% (10,4 i 12,65 jednostek) (Rys. 7). Wobec zaistniałych różnic przy kontynuacji rozpatrywanej grupy badań należy uwzględnić przydatność przeprowadzania kalibracji stanowisk [12, 17] umożliwiających pozyskiwanie barwnych obrazów otrzymywanych suszy.

Contreras i wsp. [5] na podstawie porównania procesu suszenia truskawek metodą konwekcyjną oraz mikrofalowo-konwekcyjną twierdził, że suszenie wspomagane mikrofalami zdecydowanie powoduje mniejsze zmiany nasycenia w porównaniu z metodą konwekcyjną. W dyskutowanych badaniach różnice nasycenia barwy suszy truskawkowych uzyskanych porównywanymi metodami wynosiły 7 jednostek. Zestawienie pomiarów nasycenia dla suszenia mikrofalowo – konwekcyjnego z niniejszej pracy do określenia zmian barwy było równie korzystnie dobrane jak w suszeniu konwekcyjnym truskawek wspomaganym promieniowaniem podczerwonym Adak i wsp. [1]. Warto zauważyć, że kierunek zmian nasycenia barwy i całkowitej różnicy barw dla suszenia truskawek wspomaganego promieniowaniem podczerwonym [1] były co do tendencji zmian podobne.

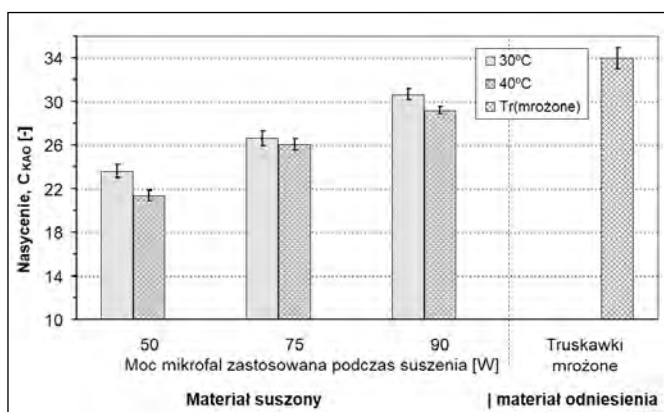


Rys. 6. Wpływ temperatury suszenia i mocy mikrofal na nasycenie C suszu truskawkowego mierzonego metodą kolorymetryczną.

Fig. 6. Effect of drying temperature and microwave power on chroma C of dried strawberries measured by colorimetric method.

Źródło: Badania własne

Source: The own study



Rys. 7. Wpływ temperatury suszenia i mocy mikrofal na nasycenie C_{KAO} suszu truskawkowego mierzonego metodą KAO.

Fig. 7. Effect of drying temperature and microwave power on chroma C_{KAO} (CV) of dried strawberries measured by computer vision CV method.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Analiza statystyczna i korelacyjna

Analiza rozpatrywanych wyróżników barwy wykazała, że wszystkie serie pomiarowe spełniały kryterium jednorodności wariancji (wartości testu Levena dla metody kalorymetrycznej mieściły się w zakresie 0,243-0,858, a dla metody KAO w zakresie 0,173-0,856). Analiza wariancji wykazała występowanie statystycznego zróżnicowania wśród wartości średnich dla każdego z parametrów barwy ze względu na wpływ temperatury suszenia i mocy mikrofal (wartości statystyki $F \leq 0,003$).

Wybór korelacji liniowej dla względnych pomiarów parametrów barwy porównywanych metod kolorymetryczną i KAO okazał się prawidłowy (Tab. 1). Dla opisanych porównań parametrów barwy w sposób prawidłowy skonfigurowano stanowisko umożliwiające wykonywanie owocom fotografii dla jasności. Potwierdza to najwyższy współczynnik kierunkowy prostej 0,9899, a zatem najbliższy kąt nachylenia prostej do 45°. Pomiar jasności okazały się najtrudniejsze ze wszystkich parametrów barwy, co potwierdza najniższy współczynnik determinacji: 0,8487 (Tab. 1). Fernandez i wsp. [6] analizowali zmianę jasności suszu jabłkowego (otrzymanego metodą konwekcyjną w temperaturze 60°C), metodą kolorymetryczną oraz komputerowej analizy obrazu. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów zauważyli obniżenie jasności w stosunku do surowca świeżego. Końcowe wartości jasności suszu jabłkowego zmierzonego obiema metodami różniły się od siebie. Autorzy zaobserwowali wysoką korelację pomiędzy wartościami uzyskanymi dwoma metodami, a obliczony współczynnik determinacji wynosił 0,91.

Pomiary parametrów barwy jasności i żółtości w systemie – Hunter Lab okazały się łatwiejsze do skorelowania z pomiarami metodą komputerowej analizy obrazu. Jednak to nasycenie barwy przewyższyło je zarówno ze względu na bliskość kąta nachylenia do 45° (współczynnik kierunkowy 0,9706) jak i osiągnięty współczynnik determinacji (0,9865). Wykorzystanie jasności i nasycenia barwy wydaje się być w pierwszej kolejności wskazane do instrumentalnych analiz barwy uzyskiwanych suszy. W odniesieniu do innych badań w rozpatrywanej dziedzinie [6, 10, 14, 16] osiągnięty poziom dokładności pomiarów instrumentalnych jest akceptowalny. Przykładowo, analiza korelacyjna wyników barwy uzyskanych metodą kolorymetryczną i metodą komputerowej analizy obrazu KAO dla suszonego żeń - szenia osiągnęła średnio poziom współczynnika determinacji $R^2=0,95$ [10].

WNIOSKI

1. Ze względu na ograniczenie pojaśnienia barwy suszenie mikrofalowo konwekcyjne truskawek w niskich temperaturach było najbardziej korzystne dla górnego zakresu mocy mikrofal (90 W, 40°C), a najmniej korzystne w dolnym zakresie mocy (50 W, 30°C).
2. Najmniejsze zmiany czerwonej barwy suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie truskawek, względem truskawek mrożonych, występowały przy mocy mikrofal 90 W i temperaturze 30°C.
3. Wykazano, że wśród obserwowanych istotnych statystycznie korelacji pomiędzy względnymi wartościami jasności, czerwoności, żółtości i nasycenia barwy uzyskanymi kolorymetrycznie w systemie Hunter Lab a względnymi

Tabela 1. Modele krzywych korelacji parametrów barwy dla uzyskanych suszy truskawkowych zmierzonych dwoma metodami (kolorymetryczną – Hunter Lab i KAO)

Table 1. Models of correlation curves for color parameters for dried strawberries for both methods (colorimetric – Hunter Lab and KAO (CV))

Parametry barwy / Color parameters	Krzywa zmiany barwy dla poszczególnych parametrów względnych / Correlation curves for color relative parameters for both methods	Współczynnik determinacji / Determination coefficients (R ²)
$L/L_0 = f(L_{KAO(CV)}/L_{0KAO(CV)})$	$y=0,9899x$	0,8487
$a/a_0 = f(a_{KAO(CV)}/a_{0KAO(CV)})$	$y=0,871x$	0,9187
$b/b_0 = f(b_{KAO(CV)}/b_{0KAO(CV)})$	$y=0,9542x$	0,9798
$C/C_0 = f(C_{KAO(CV)}/C_{0KAO(CV)})$	$y=0,9706x$	0,9865

Źródło: Badania własne

Source: The own study

wartościami uzyskanymi metodą komputerowej analizy obrazu (KAO) najbardziej przydatne do interpretacji okazały się pomiary w odniesieniu do jasności i nasycenia barwy.

- Istnieje możliwość zastosowania techniki pomiarowej komputerowej analizy obrazów do oceny zmian barwy wysuszonych mikrofalowo-konwekcyjnie truskawek, co potwierdza analiza korelacji z pomiarami barwy metodą kalorymetryczną.

LITERATURA

- ADAK N., N. HEYBELI, C. ERTEKIN. 2017. "Infrared drying of strawberry". Food Chemistry 219: 109–116.
- ALIBAS OZKAN I. 2007. "Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying". Biosystems Engineering 96(4): 495–502.
- ALIBAS OZKAN I., A. AKBUDAK, N. AKBUDAK. 2007. "Microwave drying characteristics of spinach". Journal of Food Engineering 78(2): 577–583.
- BÓRQUEZ R., D. MELO, C. SAAVEDRA. 2015. "Microwave-vacuum drying of strawberries with automatic temperature control". Food & Bioprocess Technology 8(2): 266–276.
- CONTRERAS C., M. E. MARTIN-ESPARZA, A. CHIRALT, N. MARTINEZ-NAVARRETE. 2008. "Influence of microwave application on convective drying. Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry". Journal of Food Engineering 88(1): 55–64.
- FERNANDEZ L., C. CASTILLERO, J. M. AGUILERA. 2005. "An application of image analysis to dehydration of apple discs". Journal of Food Engineering 67(2): 185–193.
- HORUZA E., H. BOZKURT, H. KARATAS, M. MASKAN. 2017. "Effects of hybrid (microwave-convective) and convective drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries". Food Chemistry 230: 295–305.
- İLTER I., S. AKYIL, E. DEVSEREN, D. OKUT, M. KOÇ, F. K. ERTEKIN. 2018. "Microwave and hot air drying of garlic puree: drying kinetics and quality characteristics". Heat and Mass Transfer 54(7): 2101–2112.
- KUMAR D., S. PRASAD, G. S. MURTHY. 2014. "Optimization of microwave-assisted hot air drying conditions of okra using response surface methodology". Journal of Food Science and Technology 51(2): 221–232.
- MARTYNYENKO A. I. 2006. "Computer-vision system for control of drying processes." Drying Technology 24(7): 879–888.
- MATIACEVICH S., P. SILVA., J. ENRIONE, F. OSORIO. 2011. "Quality assessment of blueberries by computer vision". Procedia Food Science (1): 421 – 425.
- ONWUDE D. I., N. HASHIMA, K. ABDANA, R. JANIUSA, G. CHENC. 2018. "Combination of computer vision and backscattering imaging for predicting the moisture content and colour changes of sweet potato (*Ipomoea batatas L.*) during drying". Computers and Electronics in Agriculture 150: 178–187.
- PIOTROWSKI D., A. LENART, A. WARDZYŃSKI. 2004. "Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries". Journal of Food Engineering 88(1): 519–525.
- PIOTROWSKI D., K. CHODYN-SEMCZUK. 2006. "Influence of temperature on colour of vacuum dried strawberries". In: Drying 2006 - Proceedings of the 15th International Drying Symposium (IDS 2006). Budapest, Hungary 20-23 August 2006. Ed. Farkas I. Szent István University Publisher C: 1628-1635.

- [15] **PROMIS 2006.** „Mikrofalowa suszarka laboratoryjna. Dokumentacja techniczno - ruchowa.” Instrukcja firmowa. Wrocław, 1-10.
- [16] **RAPONI F., R. MOSCETTI, D. MONARCA, A. COLANTONI, R. MASSANTINI. 2017.** “Monitoring and optimization of the process of drying fruits and vegetables using computer vision: a review”. *Sustainability* 9(11): 1-27.
- [17] **SALDAÑA E., R. SICHE, W. CASTRO, R. HUAMÁN, R. QUEVEDO. 2014.** “Measurement parameter of color on yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices using a computer vision system”. *LWT - Food Science and Technology* 59(2, Part 2): 1220-1226.
- [18] **SUMNU G., E. TURABI, M. OZTOP. 2005.** “Drying of carrots in microwave and halogen lamp–microwave combination ovens”. *Journal of Food Engineering* 77(3): 549–553.
- [19] **TONTUL I., A. TOPUZ. 2017.** “Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil)”. *LWT - Food Science and Technology* 80: 294-303.
- [20] **ZIELINSKA M., P. ZAPOTOCZNY, O. ALVES-FILHO, T. M. EIKEVIK, W. BŁASZCZAK. 2013.** “Microwave vacuum-assisted drying of green peas using heat pump and fluidized bed: A comparative study between atmospheric freeze drying and hot air convective drying”. *Drying Technology* 31(6): 633–642.
- [21] **ZIELINSKA M., A. MICHALSKA. 2016.** “Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture”. *Food Chemistry* 212: 671–680.