

MIKROFALOWO-PRÓŻNIOWE ODWADNIANIE DROŻDŻY GORZELNICZYCH*

Marta Paślawska, Klaudiusz Jałoszyński, Bogdan Stępień, Mariusz Surma
Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. W badaniach przeprowadzono mikrofalowo-próżniowe suszenie drożdży gorzelniczych *Saccharomyces cerevisiae* immobilizowanych na nośnikach pochodzenia naturalnego (płatkach owsianych, otrębach pszennych, sianie i słomie). Zastosowano nagrzewanie mikrofalami niskiej mocy (180 W) przy jednocześnie obniżonym ciśnieniu (4-6 kPa). Stwierdzono, że w zastosowanych warunkach mikrofalowo-próżniowych woda z komórek drożdży odprowadzana była w sposób łagodny, bez uszkodzania struktur komórkowych, a uzyskany w czasie 30 minut susz wykazywał wysoką żywotność (84-95%) i aktywność enzymatyczną po ponownym uwodnieniu.

Słowa kluczowe: suszenie mikrofalowo-próżniowe, drożdże gorzelnicze, płatki owsiane, otręby pszenne, słoma, siano

Wprowadzenie i cel badań

W aspekcie konieczności zachowania zdolności życiowych mikroorganizmów w utrwalonych preparatach mikrobiologicznych, niezwykle istotny jest wybór metody i parametrów odwadniania. Najbardziej znaną metodą utrwalania drobnoustrojów jest suszenie sublimacyjne, gwarantujące uzyskanie suszu o wysokim stopniu przeżywalności komórek, przy jednoczesnej niskiej zawartości wody w materiale (Ghandi i in., 2012). Jednak ze względu na kosztowną aparaturę oraz energochłonność procesu poszukuje się wciąż tańszych sposobów pozyskiwania suszy. Znany jest sposób suszenia drobnoustrojów poprzez rozpylanie strugi zawiesiny komórek w gorącym powietrzu (suszenie rozpyłowe), jednak wysoka temperatura stosowana podczas procesu jest przyczyną powstawania znacznego efektu letalnego komórek (Luna-Solano i in. 2005). Jedną z metod alternatywnych do suszenia sublimacyjnego oraz suszenia rozpyłowego może być nagrzewanie mikrofalami w warunkach obniżonego ciśnienia. Metoda nagrzewania mikrofalami (najczęściej falami o częstotliwości 2450 MHz) stosowana jest powszechnie do termicznej obróbki

* Praca zrealizowana w ramach projektu badawczego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr 7712/B/P01/2011/40

żywności (podgrzewanie, gotowanie, pieczenie, rozmrażanie), natomiast rzadko stosuje się ją w procesach przetwarzania materiałów zawierających nietrwałe związki biologicznie czynne. Przepływające przez materiał mikrofałe nagrzewają materiał w całej objętości, a wyższa temperatura wewnątrz niż na powierzchni, wywołując różnicę ciśnienia, jest motorem transportu wody na zewnątrz cząstki. W popularnych kuchenkach mikrofalowych, zaopatrzonych w magnetrony wytwarzające fale o dużej mocy, w trakcie intensywnego transportu ciepła i masy, nietrwałe związki chemiczne ulegają destrukcji, a komórki drobnoustrojów giną (Kudra i Strumiłło, 1998). Negatywny wpływ wysokiej temperatury i ciśnienia działających na materiał w czasie nagrzewania mikrofalami można ograniczyć poprzez zastosowanie mikrofal niskiej mocy, obniżenie ciśnienia w komorze suszarniczej oraz usuwanie strumienia pary znad materiału. Zastosowanie wymienionych zabiegów jednocześnie umożliwia uzyskanie suszu roślinnego o wysokiej jakości i ta technika suszenia stosowana jest w praktyce przemysłowej coraz częściej do owoców, warzyw i ziół (Schubert i Regier, 2005) oraz miodu (Cui i in., 2011). Stosowanie metody odwadniania z użyciem mikrofal i obniżonego ciśnienia do utrwalania drobnoustrojów jest natomiast wciąż na etapie eksperymentów.

Skutecznym sposobem odizolowania komórek drobnoustrojów od bezpośredniego oddziaływania środowiska jest immobilizacja przez adsorpcję na nośniku (Nedović i in., 2001) w stosunku do którego komórki wykazują powinowactwo (ziemia okrzemkowa, drewno, szkło lub materiały porowate). Ponieważ podczas fermentacji etanolowej możliwe jest zastosowanie drożdży gorzelniczych unieruchomionych na materiałach pochodzenia roślinnego, wydaje się zasadne sprawdzenie przydatności wybranych produktów zbożowych oraz roślinnych jako nośników suszarniczych podczas suszenia.

Doświadczenia przeprowadzono w celu określenia możliwości wykorzystania metody suszenia mikrofalowo-próżniowego do utrwalania drożdży *Saccharomyces cerevisiae* unieruchomionych na nośnikach pochodzenia naturalnego: płatkach owsianych, otrębach pszennych, słomie oraz sianie.

Materialy i metody

Materiał badawczy stanowiły drożdże gorzelnicze *Saccharomyces cerevisiae* D₂ zakupione w Instytucie Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego, które w formie zawiesiny wodnej (stężenie 2 g s.m. drożdży·100 cm⁻³) nanoszono na nośniki, które stanowiły: płatki owsiane górskie (Kupiec), otręby pszenne (Sante) oraz siano i słoma (pochodzące z gospodarstwa rolnego w Góraszowicach) rozdrobnione na cząstki o długości 1 cm, a następnie poddane sterylizacji. Po inkubacji drożdży na nośniku (4 h) prowadzono suszenie mikrofalowo-próżniowe w instalacji PLAZMATRONIKA SM-200, stosując moc 180 W i ciśnienie 4-6 kPa (Jałoszyński i in., 2011). Suszenie wykonano w trzech powtórzeniach dla każdego z nośników.

Wyznaczono kinetykę suszenia materiału, analizując wagowo (WLC 3/6/A2, dokładność pomiaru ±0,5g) ubytek masy złoża w równych odstępach czasowych (3 minuty) oraz zawartość wody w materiale na podstawie metody wagowej (waga AS/160/C/2, dokładność pomiaru ±0,0001g (PN-A/75101, 1990)). Po rehydracji (2h w temperaturze 35°C) określano przeżywalność komórek (na podstawie obrazu mikroskopowego preparatu po

wybarwieniu błękitem metylenowym) i aktywność enzymatyczną drożdży na podstawie dwóch testów: krótkiego testu w podłożu z 10% roztworem czystej glukozy podczas pomiaru pH (PN-A/79002, 1998) oraz podczas fermentacji etanolowej w podłożu z 10% glukozą stosując 1g suszu do 50 ml podłoża. Kolby zamknięto czopem fermentacyjnym i termostатовano w temperaturze 35°C. Wydajność etanolu oznaczono piknometrycznie po dwukrotnej destylacji i wyrażono w stosunku do teoretycznej Y_p/s . Próby fermentacyjne wykonano w 3 powtórzeniach. Wyniki dotyczące żywotności komórek oraz wydajności etanolu poddano analizie statystycznej w programie STATISTICA 9, stosując test Duncana przy $\alpha=0,05$.

Wyniki

Suszenie mikrofalowo-próżniowe drożdży gorzelniczych *Saccharomyces cerevisiae* D₂ unieruchomionych na wybranych nośnikach pochodzenia naturalnego, przebiegało dwu-etapowo, przy wysokiej intensywności oddawania wody. Przebieg procesu suszenia, dla porównania analizowanych prób, wyrażono jako zmianę zredukowanej zawartości wody w materiale U_{red} (-) w czasie suszenia τ (min) (rys. 1). Zredukowaną zawartość wody wyliczono ze wzoru:

$$U_{red} = \frac{u - u_r}{u_0 - u_r}, \quad (1)$$

gdzie:

- U_{red} – zredukowana zawartość wody (-),
- u – bieżąca zawartość wody ($\text{kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg s.m}^{-1}$),
- u_0 – początkowa zawartość wody ($\text{kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg s.m}^{-1}$),
- u_r – równowagowa zawartość wody ($\text{kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg s.m}^{-1}$).

Pierwszy etap suszenia opisano funkcją prostoliniową:

$$U_{red I} = -a \cdot \tau + 1 \quad (2)$$

natomiast dla drugiego etapu suszenia, rozpoczynającego się w momencie osiągnięcia krytycznej zawartości wody U_k , uzyskano opis w postaci funkcji wykładniczej:

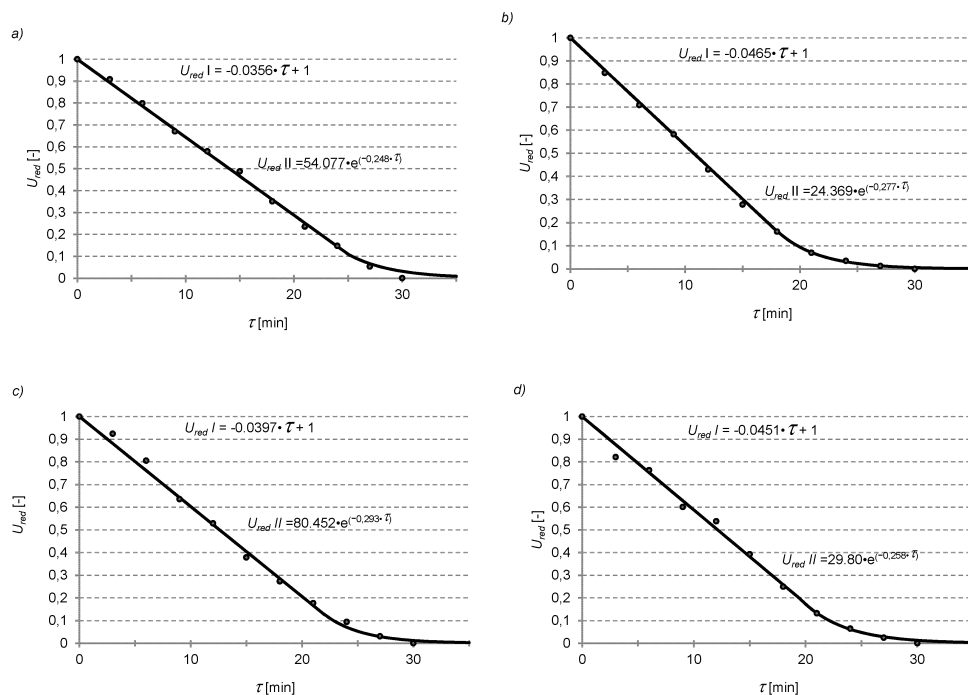
$$U_{red II} = b \cdot \exp(-c \cdot \tau) \quad (3)$$

Krytyczną zawartość wody U_k dla poszczególnych wariantów suszenia wyliczono z zależności (4) i przedstawiono w tabeli 1,

$$U_k = U_{red I \rightarrow II}(u_0 - u_r) + u_r \quad (4)$$

natomiast wartości $U_{red I \rightarrow II}$ odczytano dla poszczególnych nośników z wykresów jako punkty zetknięcia się prostej opisującej pierwszy etap suszenia (1) i krzywej opisującej drugi etap suszenia (2).

Współczynniki a , b , c do równań (2) i (3) dobrano narzędziami programu Excel, na podstawie analizy statystycznej, z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów i zamieszczono w tabeli 1.



Rysunek 1. Kinetyka suszenia mikrofalowo-próżniowego drożdży gorzelniczych immobilizowanych na a) płatkach owsianych, b) otrębach pszennych, c) sianie i d) słomie
 Figure 1. Kinetics of microwave-vacuum drying of distillery yeast immobilized on a) oat flakes, b) wheat bran, c) hay and d) straw

Tabela 1

Wartości współczynników równań opisujących przebieg suszenia mikrofalowo-próżniowego oraz wartości krytycznej zawartości wody w trakcie suszenia drożdży gorzelniczych unieruchomionych na wybranych nośnikach

Table 1

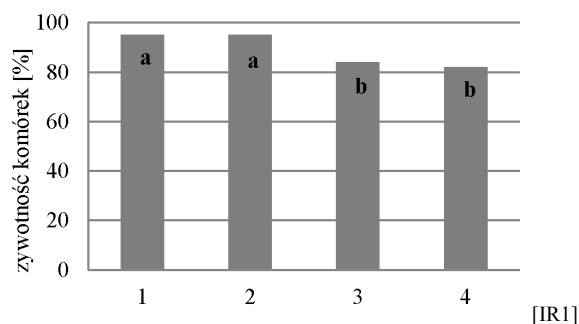
Values of coefficients of equations describing the course of microwave-vacuum drying and the critical value of the water content during drying distillery yeast immobilized on the selected carriers

Nośnik suszarniczy	$U_{red I} = -a \cdot \tau + 1, \quad U_{red II} = b \cdot \exp(-c \cdot \tau)$				
	a	U_k	$U_{red I \rightarrow II}$	b	c
Płatki owsiane	0,0356	0,512	0,166	54,078	0,248
Otręby pszenne	0,0451	0,256	0,127	14,369	0,232
Siano	0,0397	0,458	0,163	80,452	0,293
Słoma	0,0451	0,895	0,197	29,800	0,258

Na podstawie porównania przebiegu mikrofalowo-próżniowego suszenia drożdży unieruchomionych na zastosowanych nośnikach, zauważono że największą dynamiką wysychania w pierwszym etapie suszenia charakteryzowała się próba z otrębami pszczykami ($a=0,0451$), natomiast najmniejszą - próba z płatkami owsianymi ($a=0,0356$). Zróżnicowana kinetyka suszenia tych prób uwidacznia różnice w strukturze i stopniu rozdrobnienia materiału roślinnego wykorzystanego jako nośnik oraz stopnia związania nośnika z zawiesiną drożdży po inkubacji. Płatki owsiane zawierają większe ilości wodorochłonnej skrobi, zatem stopień związania zawiesiny z tym nośnikiem jest większy i woda z płatków owsianych odparowuje wolniej. Otręby pszenne najszybciej ulegają odwadnianiu, ponieważ są najdrobniejsze, a ich struktura, jako złoża, mniej zwarta w porównaniu do innych nośników. Krytyczna zawartość wody, osiągnięta po pierwszym etapie suszenia, była również w przypadku otrębów pszczykowych najniższa ($U_k=0,256$), natomiast najwyższa w przypadku słomy ($U_k=0,895$). Wynika z tego, że słoma odwadniała się wprawdzie dynamicznie, ale usuwana była jedynie woda zwilżająca cząstki powierzchniowo, niezwiązana z nośnikiem. W drugim etapie suszenia najbardziej dynamicznie odwadniającym się materiałem były także otręby pszenne ($b=14,369$; $c=0,232$), a najwolniej przebiegało usuwanie wody z cząstek siana ($b=80,452$; $c=0,293$).

Analizując łącznie pierwszy i drugi etap suszenia drożdży na wybranych nośnikach można stwierdzić, że próby z otrębami pszczykami wysychały najszybciej, natomiast próby z płatkami owsianymi najwolniej. W przypadku zastosowania rozdrobnionych i wysuszonych łodyg roślinnych zaobserwowano wydłużony etap dosuszania.

Proces mikrofalowo-próżniowego utrwalania preparatów drożdży spowodował obniżenie liczby komórek aktywnych w stosunku do biomasy przed suszeniem (rys. 2.), jednak przeżywalność drożdży po odwadnianiu na wszystkich analizowanych nośnikach była wysoka (84-95%).



Rysunek 2. Żywotność drożdży odwodnionych mikrofalowo-próżniowo po immobilizacji na nośnikach: 1) płatkach owsianych, 2) otrębach pszczykowych, 3) sianie i 4) słomie; a,b – grupy jednorodne

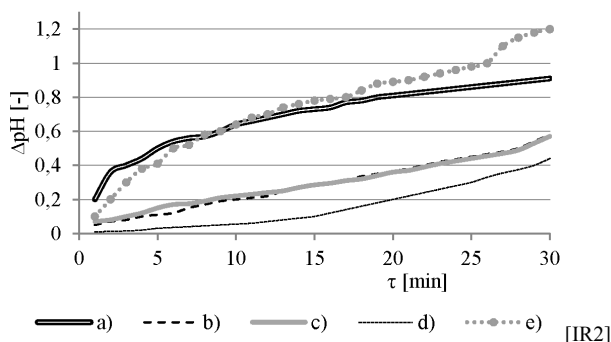
Figure 2. Vitality of dehydrated yeast with microwave-vacuum method after immobilization on the following carriers: 1) oat flakes, 2) wheat bran, 3) hay and 4) straw a,b – uniform groups

Żywotność drożdży wysuszonych na produktach zbożowych (płatki owsiane i otręby pszenne – 95%) była wyższa niż drożdży suszonych po bioimmobilizacji na materiałach z łądyg roślinnych (siano – 86% i słoma – 84%). Spadek żywotności populacji drobnoustrojów w czasie utrwalania jest efektem ubocznym anabiozy. Postępująca w czasie odprowadzenia wody z komórki przemiana białek protoplazmy z hydrozolu w hydrożel, prowadzi do okresowego i odwracalnego zatrzymania funkcji życiowych układów – anabiozy, w stopniu uzależnionym od ilości pozostawionej wody (Kudra i in., 1998). Przechodzenie w stan anabiozy wywołuje w części populacji efekt letalny, na skutek naruszenia błony komórkowej (destrukcja, deformacja) lub denaturacji białek komórkowych. Dzieje się tak dlatego, że woda odgrywa istotną rolę w stabilizacji konformacji białek i lipoproteidów, a odwadnianie powoduje nie tylko usuwanie środowiska reakcji biochemicznych, lecz także wpływa na głębokie zmiany strukturalne na poziomie biopolimerów, membran i organów w istotnym stopniu zmieniając ich odporność na działanie czynników zewnętrznych. Niskie i wysokie temperatury, promieniowanie, zmiany ciśnienia, lepkości i pH środowiska oraz inne czynniki fizyczne powodują porażenie protoplazmatycznej struktury komórek i wywołują zaburzenia w procesach przemiany, mogą doprowadzić do ich zamierania (Bayrock i in., 1997). Dlatego niezwykle istotną kwestią podczas odwadniania zawiesiny drobnoustrojów jest zminimalizowanie negatywnych efektów działania wymienionych czynników letalnych. W prezentowanych doświadczeniach nośniki pochodzące ze zbóż – owsa i pszenicy, zawierające węglowodany, białka, błonnik, witaminy z grupy B, witaminę PP oraz mikroelementy (Fe, Ca, Mg, Zn oraz K) okazały się być materiałem lepiej chroniącym komórki drożdży przed negatywnymi skutkami odwadniania niż wysuszone łądygi roślin, które w czasie suszenia stanowią materiał inertny. Żywotność drożdży *Saccharomyces cerevisiae* wysuszonych konwekcyjnie, w temperaturze 40°C po unieruchomieniu na włóknach baobabu opisują Nyanga i inni (2012). Uzyskali oni susz konwekcyjny o żywotności komórek na poziomie 80% i twierdzą, że po przechowywaniu w temperaturze 4°C drożdże wykazywały bardzo wysoką żywotność oraz stabilność, wyższą nawet niż kontrolne liofilizaty. Żywotność komórek w suszonych preparatach drożdży *Pichia anomala* badali Melin i współautorzy (2011), i stwierdzili przeżywalność drożdży na poziomie 65-80%, w zależności od zastosowanej metody utrwalania. Zróżnicowane efekty suszenia sublimacyjnego wybranych drobnoustrojów opisują Morgan i inni (2006), podając żywotność komórek od 20% do 100% w zależności od rodzaju, gatunku i szczepu.

Dla uzyskania pełnej informacji o wpływie zastosowanej metody odwadniania na komórki drożdży, przeprowadzono ocenę aktywności enzymatycznej – sacharolitycznej i fermentacyjnej. Analizie została poddana aktywność sacharolityczna uzyskanych próbek suszu (rys. 3), na podstawie testu, w którym przez 30 minut, w odstępach jednonminutowych oceniano intensywność poboru glukozy z roztworu, widoczną jako spadek kwasowości (ΔpH).

Najwyższą aktywność sacharolityczną zaobserwowano w próbach wysuszonych z płatkami owsianymi jako nośnikiem. Aktywność ta zbliżona była do aktywności drożdży niepoddanych suszeniu. Drożdże wysuszone na otrębach pszennych i cząstkach siana pobierały glukozę z roztworu ze zbliżoną dynamiką, natomiast drożdże wysuszone na cząstkach słomy – wykazywały najniższą aktywność enzymatyczną. Przyczyną wyższej aktywności enzymatycznej w przypadku drożdży wysuszonych na płatkach owsianych, może być prawdopodobnie wchodzący w skład owsa, rozpuszczalny w wodzie β -glukan, który wy-

kazuje silną aktywność biologiczną i jest również naturalnym składnikiem budulcowym ścian komórkowych drożdży. Zewnętrzny β -glukan, dostarczony komórkom podczas inkubacji na płatkach owsianych, zapewnił wzmocnienie ścian komórkowych, a w konsekwencji lepszą przeżywalność w czasie odwadniania.



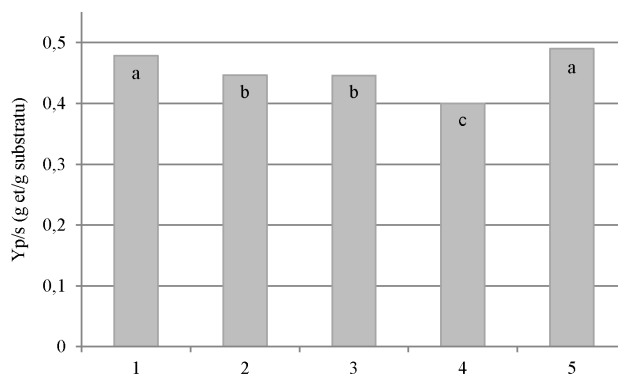
Rysunek 3. Aktywność sacharolityczna drożdży gorzelniczych poddanych wysuszeniu metodą mikrofalowo-próżniową po unieruchamianiu na: a) płatkach owsianych, b) otrębach pszennych, c) sianie d) słomie oraz e) drożdży niepoddanych suszeniu

Figure 3. Saccharolytic activity of distillery yeast subjected to drying with microwave-vacuum method after immobilization on a) oat flakes, b) wheat bran, c) hay d) straw and 3) yeast subjected to drying

Aktywność fermentacyjna oceniana na podstawie testu fermentacyjnego w podłożu z glukozą (rys. 4) była najwyższa w przypadku drożdży unieruchomionych i wysuszonych na płatkach owsianych, taka jak w próbie fermentacyjnej z drożdżami niepoddanymi unieruchomianiu i suszeniu ($Y_{p/s}=0,49$), a najniższa w przypadku wykorzystania słomy jako nośnika ($Y_{p/s}=0,40$). Drożdże wysuszone na otrębach pszennych i suszonej trawie, wykazywały w próbach fermentacyjnych taką samą aktywność, produkując etanol z wydajnością ($Y_{p/s}=0,45$). Wyniki te korespondują z wynikami testu sacharolitycznego i wskazują na najmniejszy stopień uszkodzenia enzymów komórkowych na skutek odwadniania na płatkach owsianych.

Podobne badania z unieruchomionymi i wysuszonymi drożdżami prowadzili Tsaousi i inni (2010). W testach fermentacyjnych z użyciem komórek drożdży *Saccharomyces cerevisiae* unieruchomionych na młócie - odpadzie browarniczym i wysuszonych w temperaturze 38°C różnymi metodami, uzyskali wydajność etanolu na poziomie $Y_{p/s}=0,51$ (suszenie konwekcyjne) i $Y_{p/s}=0,42$ (po wysuszeniu parą przegrzaną oraz suszeniu próżniowym). Wydajności etanolu uzyskane w przypadku suszy konwekcyjnych są wyższe niż w przypadku suszy uzyskanych przez badaczy w innych metodach suszenia oraz wyższe niż w przypadku stosowanych w tej pracy suszach mikrofalowo-próżniowych, ale czas suszenia konwekcyjnego był znacznie dłuższy (8 godzin) w porównaniu do czasu suszenia innymi metodami (0,5 godziny dla mikrofalowo-próżniowego). Powoli przebiegające odwadnianie pozwoliło uzyskać Tsaousi i współpracownikom preparat o lepszym stopniu zachowania enzymów, podniosło jednak znacząco koszt procesu suszenia i koszt preparatu

oraz możliwość zakażenia innymi drobnoustrojami. Wyniki oceny preparatów drożdży wysuszonych po unieruchomieniu na młócie browarniczym są według badaczy na tyle zadowalające, że stawiają zastosowane metody na równi z powszechnie zalecaną, ale znacznie droższą liofilizacją.



Rysunek 4. Wydajność etanolu Yp/s po fermentacji podłoża syntetycznego z wykorzystaniem drożdży gorzelniczych poddanych wysuszeniu metodą mikrofalowo-próżniową unieruchomionych na: 1) płatkach owsianych, 2) otrębach pszennych, 3) sianie, 4) słomie oraz 5) drożdży niepoddanych suszeniu; a, b, c – grupy jednorodne

Figure 4. Efficiency of ethanol Yp/s after fermentation of the synthetic base with the use of distillery yeast subjected to drying with microwave-vacuum method immobilized on: 1) oat flakes, 2) wheat bran, 3) hay 4) straw and 5) yeast not subjected to drying; a, b, c – uniform groups

Podsumowanie

Ze względu na dynamikę suszenia mikrofalowo-próżniowego najlepszym nośnikiem drożdży były otręby pszenne, natomiast ze względu na przyjęte kryterium oceny jakości preparatów po procesie suszenia, najlepszym nośnikiem okazały się płatki owsiane. Biorąc pod uwagę najniższą żywotność komórek, aktywność sacharolityczną i wydajność etanolu, za najgorszy z analizowanych nośników suszarniczych uznano słomę.

Metoda suszenia mikrofalowo-próżniowego jest odpowiednią metodą utrwalania drożdży gorzelniczych *Saccharomyces cerevisiae* unieruchomionych na nośniku pochodzenia naturalnego, ponieważ zastosowanie wybranej metody umożliwiło uzyskanie suchych preparatów mikrobiologicznych charakteryzujących się wysoką aktywnością biologiczną i enzymatyczną komórek po rehydracji. Przystosowanie tej techniki suszenia do utrwalania drobnoustrojów może stanowić alternatywny do liofilizacji sposób odwadniania szczepionek mikrobiologicznych.

Literatura

- Bayrock, D.; Ingledew, W.M. (1997). Mechanism of viability loss during fluidized bed drying of baker's yeast. *Food Research International*, 30(6), 417-425.
- Cui, Z.W.; Sun, L.J.; Chen, W.; Sun D.W. (2011). Preparation of dry honey by microwave-vacuum drying. *Journal of Food Engineering*, 84(4), 582-590.
- Ghandi, A.; Powell, I.; Chen, X.D.; Adhikari, B. (2012). Drying kinetics and survival studies of dairy fermentation bacteria in convective air drying environment using single droplet drying. *Journal of Food Engineering*, 330, 405-417.
- Jałoszyński, K.; Szarycz, M.; Surma, M.; Pasławska, M. (2011). Analiza suszenia owoców głogu w warunkach obniżonego ciśnienia z nagrzewaniem mikrofalowym. Kinetyka suszenia i skurcz suszarniczy. *Inżynieria Rolnicza*, 5(130), 91-97.
- Kudra, T.; Strumiłło, C. (1998). *Thermal processing of biomaterials*. Gordon and Breach Science Publishers. OPA Amsterdam.
- Melin, P.; Schnürer, J.; Håkansson, S. (2011). Formulation and stabilisation of the biocontrol yeast *Pichia anomala*. *Antonie van Leeuwenhoek*, 99, 107-112.
- Morgan, C.A.; Herman, N.; White, P.A.; Vesey, G. (2006). Preservation of micro-organisms by drying. *Journal of Microbiological Methods*, 66 (2), 183-193.
- Nedović, V. A.; Obradović, B.; Leskosek-Cukalović, I.; Trifunović, O.; Pesic, R.; Bugarski B. (2001). Electrostatic generation of alginate microbeads loaded with brewing yeast. *Process Biochemistry*, 37, 17-22.
- Nyanga, L.; Nout, M.; Smid, E.; Boekhout, T.; Zwietering, M. (2012). Yeasts preservation: alternatives for lyophilization. *World J Microbiol Biotechnol*, 28, 3239-3244.
- Schubert, H.; Regier, M. (2005). *The microwave processing of foods*, CRC Press, Cambridge England.
- Tsaousi, K.; Koutinas, A.; Bekatorou, A.; Loukatos, P. (2010). Fermentation efficiency of cells immobilized on delignified brewers' spent grains after low and high-temperature thin layer thermal drying. *Appl Biochem Biotechnol*, 162, 594-606.
- PN-90/A-75101/03, (1990). Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek. Metody badań fizykochemicznych. Oznaczanie zawartości suchej masy metodą wagową.
- PN-A/79002, (1998). Drożdże piekarskie prasowane i drożdże piekarskie suszone.

MICROWAVE-VACUUM DEHYDRATION OF DISTILLERY YEAST

Abstract. Microwave- vacuum drying of distillery yeast *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on the natural carriers (oat flakes, wheat bran, hay and straw) was carried out in the research. Heating with low power microwaves (180 W) at the simultaneously lowered pressure (4-6 kPa) was applied. It was found out that in the applied microwave - vacuum conditions, water from yeast cells was removed in a mild way, without damage to cell structures and dry material obtained within 30 minutes proved high vitality (84-95%) and enzymatic activity after rehydration.

Key words: microwave-vacuum drying, distillery yeast, oat flakes, wheat bran, straw, hay

Adres do korespondencji:

Marta Paślawska; e-mail: marta.paslawska@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław