

DOROTA WITROWA-RAJCHERT, KATARZYNA SAMBORSKA

## METODY SUSZENIA MIKROORGANIZMÓW I PRODUKTÓW SYNTEZY MIKROBIOLOGICZNEJ

### Streszczenie

Przedstawiono charakterystykę mikroorganizmów i produktów syntezy mikrobiologicznej (jako obiektów suszenia) oraz podstawowe przyczyny degradacji tych materiałów w czasie odwadniania. Zaprezentowano najczęściej stosowane metody suszenia, pozwalające na zachowanie aktywności biologicznej produktów: suszenie rozpyłowe, fluidyzacyjne i sublimacyjne. Wyodrębniono również suszenie na nośnikach, charakterystyczne dla grupy materiałów biotechnologicznych. Opisano także nowe, pozostające w fazie prób laboratoryjnych, niekonwencjonalne sposoby suszenia.

Trudno wyobrazić sobie wytwarzanie wielu podstawowych produktów żywnościowych, o cechach znanych i akceptowanych przez konsumentów, bez udziału w procesach technologicznych odpowiednich materiałów i substancji pochodzenia mikrobiologicznego. W wielu przypadkach obróbka za ich pomocą pozwala na przekształcenie surowców roślinnych i zwierzęcych w produkty spożywcze, wartościowe pod względem funkcjonalnym i żywieniowym. Jest ona bez wątpienia atrakcyjną alternatywą procesów chemicznych, często ułatwia i przyspiesza zachodzenie korzystnych zmian w surowcach, zwiększając wydajność gotowych produktów, a przez to zmniejszając koszty produkcji.

Mikroorganizmami najpowszechniej stosowanymi w przetwórstwie żywności są drożdże *Saccharomyces cerevisiae*. Różne szczepy drożdży są używane do wyrobu pieczywa i napojów alkoholowych. Drugą grupą mikroorganizmów często stosowanych w przetwórstwie żywności są bakterie kwasu mlekowego. Dzięki różnym szczepom tych bakterii możliwe jest wytworzenie szerokiego asortymentu mlecznych napojów fermentowanych o korzystnych walorach sensorycznych i zdrowotnych oraz przedłużonej trwałości. Preparaty różnego rodzaju enzymów stosowane są praktycznie we wszystkich branżach przetwórstwa żywności. W piekarnictwie dodatek preparatów

proteolitycznych i amylolitycznych do mąki ułatwia rośnięcie ciasta oraz znacznie poprawia jego strukturę i smak. Zastosowanie enzymów koagulujących umożliwia produkcję sera, a dodatek lipaz poprawia jego własności smakowe i aromatyczne oraz skraca czas dojrzewania. Preparaty pektynolityczne, stosowane w przetwórstwie owoców, zwiększają wydajność soku przy tłoczeniu (nawet do 25%) oraz ułatwiają jego klarowanie i filtrację. Szczególnie szerokie zastosowanie mają preparaty enzymów proteolitycznych. Stosowane są one przy produkcji hydrolizatów białkowych i sosu sojowego. W wyniku ich działania wyroby mięsne i rybne uzyskują delikatny smak i odpowiednią strukturę.

Trudno przecenić rolę materiałów biotechnologicznych w nowoczesnej technologii żywności. W wielu przypadkach ich zastosowanie umożliwia uzyskanie produktu o wysokiej jakości i trwałości w wysokowydajnych i energooszczędnych procesach. Jednak, aby preparaty te mogły właściwie spełniać swoje funkcje muszą charakteryzować się wysoką jakością.

### **Jakość produktów biosyntezy**

W przypadku kultur starterowych głównymi wyróżnikami jakości są: liczba żywych komórek, ich zdolność do szybkiego namnażania oraz aktywność fermentacyjna. O jakości preparatów produktów syntezy mikrobiologicznej decyduje ich aktywność lub zdolność do spełniania funkcji biologicznej [21, 22]. Kolejnym czynnikiem, istotnie wpływającym na przydatność preparatów mikroorganizmów i produktów syntezy mikrobiologicznej, jest ich trwałość, która jest ściśle związana z formą preparatu. Szybka utrata trwałości produktów syntezy mikrobiologicznej w czasie przechowywania, związana ze znaczną zawartością wody, jest istotną wadą płynnych preparatów oraz preparatów w postaci częściowo odwodnionej biomasy. Wadą preparatów ciekłych jest także konieczność transportowania i przechowywania znacznych objętości płynu, konieczność instalowania kosztownej armatury, trudności w utrzymaniu higieny, niska aktywność jednostkowa (zwłaszcza preparatów o niskim stężeniu).

Otrzymanie stabilnego, zdatnego do dłuższego przechowywania materiału jest głównym celem produkcji preparatów w postaci stałej, które charakteryzują się także zwiększoną, w stosunku do roztworów wodnych, jednostkową aktywnością. Ze względu na zmniejszenie objętości po suszeniu, preparaty stałe są łatwiejsze w transporcie i przechowywaniu, a koszty tych operacji ulegają znacznemu obniżeniu. Ich stosowanie sprzyja także utrzymaniu higieny produkcji oraz ułatwia jej automatyzację i mechanizację.

Ze względu na te zalety korzystne wydaje się zastępowanie stosowania preparatów płynnych przez preparaty w formie stałej. Przy wytwarzaniu tego rodzaju preparatów ostatnim etapem produkcji, który w znacznym stopniu może wpłynąć na jakość produktu jest proces suszenia [26].

## Właściwości suszarnicze materiałów biotechnologicznych

Suszenie materiałów biotechnologicznych powinno być prowadzone w taki sposób, aby żywotność komórek drobnoustrojów lub poziom aktywności produktów syntezy mikrobiologicznej (np. enzymów) były jak najbardziej zbliżone do wartości w produktach wyjściowych [22]. W praktyce jest to bardzo trudne do osiągnięcia, ponieważ w czasie suszenia w takich materiałach może zachodzić wiele niekorzystnych zmian chemicznych, fizycznych i biochemicznych. Główne przyczyny zachodzenia tych zmian to działanie podwyższonej temperatury oraz usuwanie wody z układu [3, 12].

Tutowa i Kuc [25] podzielili materiały biotechnologiczne na dwie grupy, za kryterium przyjmując wrażliwość materiału na działanie podwyższonej temperatury. Podział ten w znacznym stopniu ułatwia dobór techniki i parametrów suszenia konkretnego materiału.

Według tego podziału, do I grupy produktów syntezy mikrobiologicznej, jako obiektów suszenia, należą wegetatywne formy mikroorganizmów, charakteryzujące się niską termostabilnością. Wykazują one dużą szybkość obumierania i utraty aktywności na skutek inaktywacji termicznej, w zakresie temperatur od 40 do 60°C. W odniesieniu do materiałów z tej grupy istnieje także pewna krytyczna zawartość wody (zależna od właściwości obiektu), której przekroczenie powoduje inaktywację dehydratacyjną. Wynika to z faktu, że w przypadku form wegetatywnych mikroorganizmów woda jest środowiskiem życia oraz substratem reakcji biochemicznych i jej usuwanie poniżej pewnego poziomu uniemożliwia podtrzymywanie funkcji metabolicznych i w konsekwencji powoduje śmierć komórek [19]. Dla większości mikroorganizmów gwałtowna utrata zdolności życiowych występuje w przedziale wilgotności 20–40%. Wyjątek stanowią drożdże, które zachowują aktywność po odwodnieniu nawet do 9% wilgotności. Dopuszczalna końcowa zawartość wilgoci, która pozwala na zachowanie żywotności i aktywności biologicznej, powinna być podstawowym kryterium wyboru metody suszenia materiałów z grupy I.

Do grupy II materiałów biotechnologicznych, charakteryzujących się ponad trzykrotnie wyższą termostabilnością i znacznie większą kserostabilnością, należą produkty syntezy mikrobiologicznej (enzymy, witaminy, antybiotyki i in.) oraz formy przetrwalnikowe bakterii. Podstawowym kryterium wyboru metody suszenia tych materiałów są optymalne warunki temperaturowe procesu.

## Metody suszenia

Trudności w doborze odpowiedniej techniki suszenia materiałów mikrobiologicznych wynikają z bardzo zróżnicowanej postaci mikroorganizmów i produktów syntezy mikrobiologicznej, z różnorodności ich właściwości fizykochemicznych oraz

ich odmiennych reakcji na oddziaływanie warunków otoczenia. Przedstawiona powyżej klasyfikacja materiałów mikrobiologicznych, jako obiektów suszenia, pozwala dokonać wyboru właściwej technologii tego procesu, ale ściślejsze uzasadnienie wyboru metody musi się opierać na dokładnej analizie cieplnych parametrów procesu i fizycznych właściwości obiektu poddawanego dehydracji.

Metodami usuwania wody, pozwalającymi na zachowanie żywotności termolabilnych materiałów z grupy I (bakterii, drożdży), są: suszenie sublimacyjne oraz konwekcyjne (w tym fluidyzacyjne) z zastosowaniem materiałów inertnych (nośników). Do II grupy materiałów można stosować metodę rozpyłową i fluidyzacyjną z wcześniejszą granulacją. Jednak ściślejsze uzasadnienie wyboru metody i warunków odwadniania może być dokonane tylko poprzez dokładną analizę właściwości konkretnego materiału.

### *Suszenie rozpyłowe*

Jest to najbardziej rozpowszechniony sposób produkcji stałych preparatów enzymatycznych, aminokwasów i form przetrwalnikujących bakterii, a więc materiałów z grupy II. W czasie usuwania wody tą metodą, parująca woda pobiera z powierzchni kropeł ciepło przemiany fazowej, dzięki czemu cząstki są utrzymywane w stanie chłodnym, nawet mimo stosunkowo wysokiej temperatury powietrza suszącego. Według Kjaergaarda [9], temperatura uzyskanego produktu rzadko osiąga nawet temperaturę powietrza opuszczającego suszarkę.

Ze względu na krótki czas przebywania materiału w niezbyt wysokiej temperaturze wydawać by się mogło, że jest to odpowiednia metoda suszenia wszystkich materiałów termolabilnych. Jednak doświadczenia przeprowadzone przez Johnsona i Etzela [6] oraz przez Fu i wsp. [3] wskazują, że metodą tą nie można uzyskać suchych preparatów bakterii *Lactobacillus helveticus* i *Lactococcus lactis* (materiały z grupy I), o żywotności i aktywności porównywalnej z preparatami ciekłymi. Przeżywalność bakterii w otrzymanych suszach wynosiła, po zastosowaniu najniższej temperatury powietrza wylotowego 70°C, zaledwie około 50 %. Można jednak zmniejszyć degradację termiczną bakterii w czasie suszenia rozpyłowego poprzez zmniejszanie rozmiarów kropeł, stężenia roztworu poddawanego suszeniu oraz temperatury powietrza wylotowego [3, 11].

Inaktywacja bakterii w czasie suszenia rozpyłowego jest spowodowana, obok inaktywacji termicznej, także usuwaniem wody z układu. Intensywne warunki odparowania wody w czasie suszenia rozpyłowego mogą prowadzić do usuwania wody związanej z komórkami, co powoduje nieodwracalne zmiany w ich budowie oraz uszkodzenie systemu enzymatycznego [3]. Zniszczone zostają struktury biopolimerów (białek, lipidów, węglowodanów, kwasów nukleinowych), ścian komórkowych oraz membran wewnątrzkomórkowych, czego konsekwencją jest śmierć komórki [4, 22]. Należy

zauważyć, że dodatkową przyczyną degradacji mikroorganizmów w czasie suszenia rozpyłowego są uszkodzenia mechaniczne, czyli rozrywanie komórek w czasie rozpylania [2, 27].

Materiały z grupy II charakteryzują się znacznie wyższą kserostabilnością i intensywne warunki odparowania wody nie powodują ich degradacji. Wynika to z faktu, że w przypadku produktów syntezy mikrobiologicznej woda jest tylko rozpuszczalnikiem i jej usuwanie w czasie suszenia nie powoduje niekorzystnych zmian strukturalnych, prowadzących do utraty aktywności biologicznej, jak ma to miejsce w przypadku mikroorganizmów. W przypadku niektórych enzymów zaobserwowano zależność odwrotną. Z badań nad inaktywacją  $\alpha$ -amylazy w różnych temperaturach i zawartościach wody, które przeprowadzili Meerdink i van't Riet [17] wynika, że odporność enzymu na podwyższoną temperaturę wzrasta wraz z obniżaniem zawartości wody. W związku z tym do suszenia  $\alpha$ -amylazy korzystne jest stosowanie suszenia rozpyłowego, dzięki któremu osiąga się szybkie przejście przez zakres zawartości wody, w którym  $\alpha$ -amylaza ma niższą termostabilność.

Wydaje się, że nie wszystkie enzymy mogą być zaliczone do II grupy materiałów pochodzenia mikrobiologicznego. Susząc rozpyłowo oksydazę polifenolową stwierdzono, że jej aktywność zależy od temperatury powietrza wylotowego, a w mniejszym stopniu od zawartości suchej substancji w wyjściowym surowcu. Przykładowo, aktywność enzymu wyniosła 86,5% początkowej aktywności przed suszeniem, gdy temperatura powietrza wylotowego była równa 80°C, a wzrost temperatury wylotowej do 100°C spowodował obniżenie aktywności do 18,8%. Natomiast produkt uzyskiwany w warunkach, gdy temperatura powietrza opuszczającego suszarkę osiągnęła 120°C charakteryzował się zerową aktywnością [18]. Wyniki te świadczą o małej odporności oksydazy polifenolowej na działanie wysokich temperatur.

### *Suszenie na nośnikach*

Po procesach fermentacji lub biosyntezy, będących głównymi etapami produkcji materiałów biologicznie czynnych, najczęściej mają one postać roztworów lub zawiesin. Taka forma materiałów powoduje, że wysuszenie ich metodą konwekcyjną (w tym fluidyzacyjną) jest trudne do zrealizowania. Umożliwienie suszenia płynnych materiałów biologicznych metodą konwekcyjną jest głównym celem stosowania substancji nośnikowych, zwanych także sorbentami. Nośnik wprowadzony do zawiesiny produktu biotechnologicznego zmienia postać substancji suszonej (z cieczy lub zawiesiny otrzymuje się produkt w postaci granulatu). W zależności od rodzaju substancje te mogą spełniać kilka funkcji.

Najrzadziej stosuje się je wyłącznie jako substancje, z powierzchni których następuje odparowanie wody w czasie suszenia. W tym przypadku są to substancje o

budowie krystalicznej. Doświadczenie mające na celu porównanie przydatności laktozy i sacharozy jako tego typu dodatku w czasie **suszenia fluidyzacyjnego** przeprowadzili Kessler i Bauer [7]. Roztwór zawierający bakterie kwasu mlekowego natryskiwany był na nośnik, znajdujący się w komorze suszenia w stanie fluidalnym. Wykazano, że rodzaj zastosowanego nośnika ma wpływ na stopień przeżycia bakterii. Użycie sacharozy o gładkich kryształach pozwala na zwiększenie szybkości suszenia (i zmniejszenie czasu kontaktu materiału z podwyższoną temperaturą), ponieważ natryskiwany roztwór odparowuje z ich powierzchni. W tym przypadku przeżywalność komórek sięgała 90%. Po zastosowaniu laktozy zmniejszyła się do 20%, ponieważ roztwór wsiąkał do porowatych kryształów, co utrudniało odparowanie oraz zwiększało czas suszenia i stopień degradacji.

Inny sposób wykorzystania nośników do suszenia materiałów biologicznie czynnych nosi nazwę **suszenia kontaktowo-sorpcyjnego**. Metoda ta jest szczególnie polecana do suszenia wegetatywnych form mikroorganizmów o niskiej kserostabilności oraz do bioproduktów, które mogą być wykorzystywane jako mieszaniny (koncentraty) wraz z nośnikiem. W tym przypadku nośnik spełnia funkcję aktywnego sorbenta, przejmującego część wilgoci z biomasy [24]. W efekcie uzyskuje się zmniejszenie ilości wody do odparowania, skrócenie czasu kontaktu materiału z podwyższoną temperaturą i zmniejszenie degradacji bioproduktów. W zależności od przeznaczenia produktu suszonego (żywność, farmaceutyki, pasze itp.), jako aktywne sorbenty stosuje się skrobię, celulozę, mąkę, otręby, torf, węgiel aktywny i wiele innych. Oprócz roli aktywnego sorbenta nośnik może pełnić równocześnie funkcję substancji ochronnej przed uszkodzeniami mechanicznymi i cieplnymi w czasie suszenia. Zasada suszenia kontaktowo-sorpcyjnego może być realizowana za pomocą wielu znanych metod suszenia, np.: konwekcyjnie (w tym fluidyzacyjnie i rozpyłowo), sublimacyjnie.

Luna-Solano i wsp. [14], do suszenia drożdży piwowarskich metodą fluidalną i rozpyłową stosowali jako nośniki karboksymetylocelulozę, skrobię kukurydzianą i maltodekstrynę (DE = 6). Dodatek nośników, przed suszeniem, minimalizował termiczną inaktywację drożdży. W przypadku próbek suszonych fluidyzacyjnie zaobserwowano, że im niższa temperatura i krótszy czas, tym stopień przeżycia komórek był większy. W stosunku do drożdży suszonych rozpyłowo stwierdzono, że mniejsza końcowa zawartość wody (co było związane z wyższą temperaturą powietrza wylotowego i większą prędkością obrotową dysku rozpylającego) gwarantowała większą aktywność komórek po procesie. Duża prędkość obrotowa atomizera (23000 rpm) powodowała powstawanie małych kropeł, które suszyły się szybciej, co prowadziło do pozostania w próbce większej liczby żywych komórek ( $10^7$ ; w surowcu przed suszeniem -  $10^9$ ). Zmniejszenie prędkości obrotowej (18000 rpm) zwiększało rozmiar powstających kropeł, co było przyczyną wydłużenia czasu suszenia, a co za tym idzie – większej inaktywacji termicznej drożdży.

Doświadczenia dotyczące suszenia drożdży piekarskich i albuminy w **złożach wibrofluidalnych** o różnej porowatości, osiąganej dzięki zastosowaniu różnych nośników: otrąb pszennych, zmielonych ziaren rzepaku i mąki pszennej, przeprowadzili Strumiłło i Zbiciński [23] oraz Liu i wsp. [13]. Wyniki otrzymane w obu pracach są podobne. W przypadku drożdży piekarskich suszenie na nośnikach pozwoliło na zmniejszenie degradacji w porównaniu z suszeniem bez nośników, lecz nie zaobserwowano wyraźnego wpływu zmiany porowatości złoża na stopień degradacji. Ważniejszym czynnikiem okazał się wpływ temperatury. W przypadku suszenia albuminy zaobserwowano wyraźny wpływ zmiany porowatości złoża na stopień degradacji. Jest to związane z właściwościami albuminy, która (podobnie jak  $\alpha$ -amylaza) charakteryzuje się zmniejszeniem wrażliwości na podwyższoną temperaturę w miarę usuwania wilgoci i w stosunku do której korzystne jest zwiększanie szybkości suszenia przy dużych zawartościach wody, co można osiągnąć właśnie przez zwiększanie porowatości złoża.

#### *Suszenie sublimacyjne (liofilizacja)*

Zastosowanie tej metody pozwala na osiągnięcie wysokiej przeżywalności mikroorganizmów i innych termolabilnych materiałów, ponieważ w czasie procesu nie występuje oddziaływanie podwyższonej temperatury na suszony materiał [8].

Proces liofilizacji jest połączeniem dwóch operacji: zamrażania i sublimacji. W czasie obu operacji w produktach syntezy mikrobiologicznej może zachodzić wiele niekorzystnych zmian wpływających na obniżenie żywotności i aktywności po suszeniu. Są to przede wszystkim zmiany właściwości ściany komórkowej, np. zmiana struktury membran lipidowych, deformacja, zwiotczenie lub uszkodzenie mechaniczne przez kryształy lodu oraz utrata właściwości półprzepuszczalnych [5, 10]. Znaczny wpływ na degradację w czasie zamrażania ma także denaturacja substancji białkowych [1, 10]. Obejmuje ona nieodwracalny rozpad wiązań stabilizujących drugo- i trzeciorzędową strukturę białka, z jednoczesnym uwalnianiem z cząsteczek grup funkcyjnych łańcuchów bocznych oraz istotnym naruszeniem ważnych biologicznie właściwości funkcjonalnych [5].

W celu zmniejszenia występowania tych niekorzystnych przemian, obniżających jakość suszonych preparatów, stosowane są liczne **substancje ochronne** dodawane zarówno do podłoża hodowlanego, jak i bezpośrednio przed procesem zamrażania. Do najczęściej stosowanych dodatków ochronnych należą: sacharoza, trehaloza, glicerol, jony wapnia,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Ponieważ degradacja komórek mikroorganizmów w czasie liofilizacji następuje głównie na skutek naruszenia struktury ścian komórkowych (a w przypadku szybkiego zamrażania także ścian jądra komórkowego) oraz białek, rola ochronna tych dodatków polega głównie na stabilizacji tych struktur [1, 10]. O ile w przypadku wielu substancji ochronnych mechanizm ich działania nie jest wyjaśniony,

to w przypadku disacharydów (sacharoza, trehaloza) polega on na zastępowaniu cząsteczek wody związanej (usuwanej w czasie suszenia) w strukturach membran, dzięki czemu utrzymywana jest ich szczelność.

Doświadczenia przeprowadzone przez autorów dostępnych publikacji wskazują, że zachowanie żywotności przez mikroorganizmy po suszeniu sublimacyjnym bez dodatków ochronnych jest bardzo niskie i wynosi przykładowo 10% (bakterie *Escherichia coli* [10]), 25% (drożdże piekarskie [1]), 50% (bakterie *Lactobacillus acidophilus* [8]). Po zastosowaniu dodatku trehalozy [1, 10] lub glicerolu i jonów wapnia [8] przeżywalność bakterii *E.coli* i drożdży piekarskich zwiększyła się odpowiednio ponad sześciokrotnie i dwukrotnie, a przeżywalność bakterii *Lactobacillus acidophilus* o ponad 20%.

Ze względu na wysokie zużycie energii i długi czas trwania procesu, suszenie sublimacyjne jest stosowane na skalę przemysłową tylko do produkcji preparatów materiałów termolabilnych, w przypadku których nie da się uzyskać wysokiej jakości przy zastosowaniu innych metod suszenia.

### *Niekonwencjonalne metody suszenia*

Suszenie sublimacyjne, jako jedna z metod gwarantujących wysoką jakość suszonych mikroorganizmów, jest operacją drogą i obecnie wiele badań prowadzi się w kierunku zastąpienia tego suszenia innymi operacjami.

DDS (skrót pochodzi z języka francuskiego od pierwszych liter „Deshydration, par Detentes Successives”) jest nową operacją jednostkową, w której suszony produkt jest poddawany działaniu powtarzających się cykli, składających się z etapu podnoszenia ciśnienia do poziomu 2–10 barów w ciągu 10 s, po którym następuje kontrolowane natychmiastowe obniżenie ciśnienia (proces DIC) do poziomu 100 mbarów, w którym produkt jest przetrzymywany przez określony czas (od 4 do 32 s) przed rozpoczęciem następnego cyklu. Każde obniżenie ciśnienia prowadzi do usunięcia z produktu części wody na skutek jej samoodparowania. Ilość odparowanej wody zależy z jednej strony od stanu wody w produkcie, a z drugiej strony od zastosowanych warunków operacyjnych (ciśnienie, temperatura). Suszenie DDS może być prowadzone w temperaturze otoczenia [20]. Zastosowanie metody DDS do suszenia drożdży piekarskich *Saccharomyces cerevisiae* doprowadziło do skrócenia czasu procesu w porównaniu z konwencjonalnym suszeniem sublimacyjnym o 30–60% (w zależności od zastosowanych parametrów procesu). Stopień przeżycia komórek drożdży wahał się od 31 do 87% i był znacznie wyższy niż osiągnięty podczas suszenia sublimacyjnego (5% – bez dodatku substancji ochronnych).

Mikroorganizmy, które są wrażliwe na proces zamrażania lub liofilizacji mogą być suszone w suszarkach próżniowych ze stanu cieczy („liquid-drying”) bez ich wstępnego zamrażania. Malik [15] zaproponował prostą i efektywną metodę, polega-



jąca na odparowaniu wody przy sukcesywnie zmniejszającym się ciśnieniu: od 20–30 mbar do poziomu 0,1–0,001 mbar. Sposób ten okazał się skuteczny w przypadku suszenia 20 gatunków drożdży, jednak przy zastosowaniu chudego mleka jako nośnika i substancji ochronnych, takich jak: trehaloza, miód, glutaminian sodu [16]. Suszone kultury drożdży po procesie pozostały stabilne i nie straciły pożądanych cech. Opisana metoda może być szczególnie polecana do suszenia mikroorganizmów przeznaczonych do długiego przechowywania (rok i dłużej).

## Podsumowanie

Szybki rozwój przetwórstwa żywności stwarza coraz większe zapotrzebowanie na preparaty materiałów biotechnologicznych w formie stałej, zapewniającej ich wysoką funkcjonalność, trwałość i powtarzalną jakość. Proces suszenia, będący ostatnim etapem ich produkcji, może w znacznym stopniu wpłynąć na obniżenie aktywności biologicznej. Jest to związane głównie z niekorzystnym działaniem podwyższonej temperatury i usuwaniem wody z układu. Do suszenia materiałów o stosunkowo wysokiej termostabilności najczęściej stosowane jest suszenie rozpyłowe. Zachowanie aktywności biologicznej materiałów o niskiej odporności na podwyższoną temperaturę wymaga stosowania suszenia sublimacyjnego lub konwekcyjnego (fluidyzacyjnego), z wykorzystaniem zasady kontaktowo-sorpcyjnej wymiany masy. Dobre rezultaty daje także stosowanie dodatkowych substancji ochronnych. Należy jednak pamiętać, że produkty syntezy mikrobiologicznej są materiałami szczególnymi, stąd zarówno warunki hodowli, jak i sposób suszenia, a szczególnie zastosowanie substancji ochronnych, trzeba dobierać indywidualnie. Uzyskanie odpowiedniej jakości produktu końcowego wymaga każdorazowo prowadzenia dokładnej analizy parametrów cieplnych procesu, takich jak czas i szybkość nagrzewania, szybkość usuwania wody. Równie ważne są właściwości fizyczne obiektu suszenia (np.: reologiczne, higroskopijne), bez znajomości których nie sposób dokonać optymalnego wyboru metody suszenia.

## Literatura

- [1] Diniz-Mendes L., Bernardes E., De Araujo P.S., Panek A.D., Paschoalin V.M.F.: Preservation of frozen yeast cells by trehalose. *Biotechnol. Bioeng.*, **65**, 1999, 572.
- [2] Elizondo H., Labuza T.P.: Death kinetics of yeast in spray drying. *Biotechnol. Bioeng.*, **16**, 1974, 1245.
- [3] Fu W.Y., Suen S.Y., Etzel M.R.: Inactivation of *Lactococcus ssp. Lactis* C2 and alkaline phosphatase during spray drying. *Drying Technology*, **13**, 1995, 1463.
- [4] Gniewosz M., Sobczak E., Kucińska I.: Wpływ dodatku NaCl i skrobi na filtrację drożdży piekarskich oraz na ich trwałość i aktywność w czasie przechowywania (1). *Przem. Ferm. i Owoc.-Warz.*, **8**, 1997, 21.
- [5] Gruda Z., Postolski J.: Zamrażanie żywności. WNT, Warszawa 1999.

- [6] Johnson J.A.C., Etzel M.R.: Inactivation of lactic acid bacteria during spray drying. AICHE Symposium Series, **89**, 1993, 98.
- [7] Kessler U., Bauer W.: Convective drying of lactic acid starter cultures with high survival rates. Developments in Food Engineering (eds. T. Yano, R. Matsumo, K. Nakamura), Blackie Academic Professional London, 1994, 448.
- [8] King V.A.E., Su J.T.: Dehydration of *Lactobacillus acidophilus*. Process Biochem., **28**, 1993, 47.
- [9] Kjaergaard O.G.: Kierunki rozwoju i zastosowania suszenia rozpyłowego. Nowe metody zagęszczania i suszenia żywności (red. A. Spicer), WNT, Warszawa 1980, 318.
- [10] Leslie S.B., Israeli E., Lighthart B., Crowe J.H., Crowe L.M.: Trehalose and sucrose protect both membranes and proteins in intact bacteria during drying. Appl. Environ. Microbiol., **61**, 1995, 3592.
- [11] Lievens L.C., Van't Riet K.: Convective drying of bacteria. Adv. Biochem. Eng., **50**, 1993, 46.
- [12] Linders L.J.M., Meerdink G., K.Van't Riet: Convective drying of *Lactobacillus plantarum*. Developments in Food Engineering (eds. T. Yano, R. Matsumo, K. Nakamura), Blackie Academic Professional, London 1994, 445.
- [13] Liu X.D., Strumiłło C., Zbiciński I.: Protection of thermo- and xero-labile materials during thermal drying. Drying'96 (eds. A.S.Mujumdar, Cz.Strumiłło, Z.Pakowski), Łódź Technical University, Łódź 1996, 1237.
- [14] Luna-Solano G., Salgado-Cervantes M., Garcia-Alvando M.A., Rodriguez-Jimens G.: Yeast viability (*Saccharomyces cerevisiae*) dried by fluidised bed and spray drying. Drying'98, Proceedings of the 11th International Drying Symposium, Ziti Editions, Thessaloniki, 1998, v.C, 1815.
- [15] Malik K.A.: Liquid-drying of microorganisms using a simple apparatus. World J. Microbiol. Biotechnol., **8**, 1992, 80.
- [16] Malik K.A., Hoffmann P.: Long-term preservation of yeast cultures by liquid-drying. World J. Microbiol. Biotechnol., **9**, 1993, 372.
- [17] Meerdink G., K.van't Riet: Inactivation of a thermostable  $\alpha$ -amylase during drying. J. Food Eng., **14**, 1991, 83.
- [18] Okello H.O., Brennan J.G., Lewis M.J., Gilmour S.: Optimisation of the spray drying of the enzyme polyphenol oxidase by response surface methodology. Drying'98, Proceedings of the 11th International Drying Symposium, Ziti Editions, Thessaloniki 1998, v.C, 1713.
- [19] Pan Y.K., Pang J.Z., Li Z.Y., Mujumdar A.S., Kudra T.: Drying of photosynthetic bacteria in a vibrated fluid bed of solid carriers. Drying Technol., **13**, 1995, 395.
- [20] Rakotzafy H., Louka N., Therisod M., Allaf K.: Drying of baker's yeast by a new method: dehydration by successive pressure drops (DDS). Effect on cell survival and enzymatic activities. Proceedings of the 12th International Drying Symposium, Elsevier Science, Amsterdam 2000, Paper no. 37.
- [21] Sobczak E., Gniewosz M., Raczyńska A.: Biotechnologiczne aspekty hodowli i suszenia drożdży piekarskich. Przem. Ferm. i Owoc.-Warz., **10**, 1997, 32.
- [22] Strumiłło C., Markowski A., Adamiec J.: Selected aspects of drying of biotechnological products. Drying'91 (eds. A.S.Mujumdar, J.Filkowa), Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1991, 36.
- [23] Strumiłło C., Zbiciński I.: Effect of particle structure on quality retention of bio-products during thermal drying. Drying Technol., **14**, 1996, 1921.
- [24] Tutowa E.G.: Heat and mass transfer enhancement in drying labile materials. Drying'92 (ed. A.S. Mujumdar), Elsevier Science Publishers, New York 1992, 1719.
- [25] Tutowa E.G., Kuc P.S.: Suszenie produktów biosyntezy, WNT, Warszawa 1991.
- [26] Witrowa-Rajchert D.: Współczesne tendencje w suszarnictwie żywności. Cz. I. Przem. Spoż., **54** (12), 2000, 10.

- [27] Witrowa-Rajchert D., Jakubas K.: Badanie przeżywalności drożdży piekarskich w czasie suszenia. Technologia żywności a oczekiwania konsumentów (red. T. Haber, H. Porzucek) SGGW, Warszawa 2001, nr 255.

## **METHODS FOR DRYING OF MICROORGANISMS AND MICROBIOLOGICAL SYNTHESIS PRODUCTS**

### **S u m m a r y**

Feature of microorganisms and products of microbiological synthesis as drying objects and basic reasons of the products degradation during dewatering were presented. Most often applied drying methods, which allow of keeping of products biological activity: spray, fluid and freeze drying were described. Drying on carriers, characteristic for biotechnological products, was indicated. Remaining in phase of laboratory tests, unconventional ways of drying were also presented. ☒