

Badanie wpływu mieszania podłoża stałego na wzrost grzybni bocznika ostrygowatego

Leonard Kopiński

Zakład Inżynierii Chemicznej i Bioprocessowej
Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej
Akademia Techniczno-Rolnicza
Bydgoszcz

1. Wprowadzenie

Hodowlę grzybni bocznika ostrygowatego w podłożu stałym (HPS) prowadzi się głównie w celu otrzymania owocników tego grzyba lub dalszego użycia jej jako inoculum (grzybnia handlowa) do szczepienia innych podłoży uprawowych (1,2). Podłożem stałym są najczęściej ziarna zbóż (proso, pszenica, żyto) oraz ich słoma, kora, trociny i wióry drzewne, a także wiele innych odpadowych produktów przemysłów rolno-spożywczego, drzewnego i celulozowo-papierniczego (3-7). Substraty tworzące to podłoże zawierają kompleks ligninocelulozowy, bardzo trudno ulegający rozkładowi chemicznemu i biochemicznemu (8-11). Jednak grzybnia bocznika, należącego do grzybów wyższych z klasy podstawczaków (*Basidiomycetes*), dysponuje aparatem enzymatycznym rozkładającym celulozę, ligninę i inne składniki podłoża stałego (12). W związku z tym podczas realizacji procesu HPS grzybni bocznika nie jest konieczna wstępna obróbka termochemiczna składników podłoża (13). Przed inokulacją podłoże stałe, o odpowiednim składzie i wilgotności, musi być tylko pozbawione obcych mikroorganizmów. Uzyskuje się to za pomocą sterylizacji lub pasteryzacji.

Dotychczas proces HPS z udziałem grzybni bocznika prowadzi się w podłożu nieruchomym (1,2,7). Podstawowym problemem podczas jego realizacji jest trudność homogenizacji układu i regulacja parametrów fizykochemicznych związanych z wymianą ciepła i masy. Ten sam problem występuje również podczas hodowli wielu innych grzybów strzępkowych w podłożu stałym (12-18). Operacja mająca najistotniejszy wpływ na HPS grzybni bocznika (i wielu innych grzybów strzępkowych), jak się okazuje, jest mieszanie podłoża hodowlanego (13-16). Jest ono niezbędne do wytworzenia jednorodnych warunków wzrostu grzybni. Ruch podłoża stałego zapobiega powstawaniu agregatów i wzrostowi grzybni tylko w jednym miejscu, a także prze-

ciwdziała efektowi nierównomiernego rozdziału inoculum. Zapewnia on także odpowiednią regulację odczynu, temperatury i wilgotności tego podłoża podczas hodowli. Podłoże stałe może być mieszane okresowo lub w sposób ciągły. Aparaty do takiej realizacji HPS grzybni dzielą się na dwie grupy (14,15):

- bioreaktory z okresowym mieszaniem lub spulchnianiem podłoża,
- bioreaktory z ciągłym mieszaniem podłoża.

Bioreaktorami pierwszej grupy są najczęściej urządzenia zbiornikowe z nieruchomo spoczywającą warstwą podłoża. Jego mieszanie odbywa się za pomocą zainstalowanych wewnątrz mieszadeł mechanicznych (ślimakowych, wstęgowych itp.) (13,19). Ciągłe mieszanie podłoża zapewniają głównie bioreaktory bębnowe, których podstawowym elementem jest cylindryczny zbiornik obracający się wokół poziomej osi. Efekt mieszania jest wywoływany staczaniem i przesypaniem stałych cząstek po pochyłej powierzchni podłoża, tworzącej się w wyniku ruchu obrotowego bębna (20).

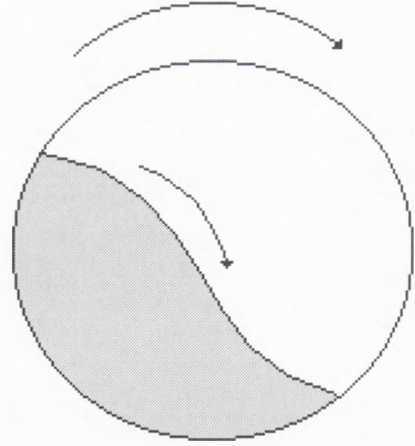
Największym problemem występującym podczas HPS grzybni w mieszanym podłożu jest jej bardzo duża wrażliwość na zjawisko turbohipobiozy (12). W wyniku zbyt dużych sił ścinających i tarcia, występujących podczas mieszania podłoża, strzępki grzybni ulegają mechanicznemu uszkodzeniu. Uszkodzenia te prowadzą do zahamowania czynności życiowych grzybni lub nawet do jej zamierania. O wielkości wpływu turbohipobiozy na wzrost grzybni decyduje intensywność mieszania podłoża stałego. W przypadku bioreaktorów bębnowych zależy ona głównie od ich prędkości obrotowej (13,19). Właśnie to zagadnienie stanowiło cel pracy.

2. Mikroorganizm i metodyka badań

W badaniach stosowano grzybnię bocznika ostrygowatego *Pleurotus ostreatus* z własnej kolekcji grzybów. Czystą kulturę tej grzybni utrzymywano przez cały okres badań w stanie intensywnej hodowli na syntetycznym podłożu zestalonym agarom (21). Podłoże stałe, w którym prowadzono HPS grzybni, stanowiła rozdrobniona słoma pszenna o długości źdźbeł 0,005-0,030 m, nawilżona do wilgotności około 80% i sterylizowana metodą Kocha (22). Podłoże to szczepiono każdorazowo 0,006 kg inoculum (w przeliczeniu na suchą masę), którym było ziarno prosa pokryte grzybnią bocznika. Inoculum to otrzymywano w wyniku wcześniejszej hodowli czystej kultury grzybni na wysterylizowanym i wilgotnym ziarnie prosa w temperaturze 25°C przez 13 dób.

Badanie wpływu mieszania rozdrobnionej słomy na HPS grzybni bocznika prowadzono w szklanym bioreaktorze bębnowym o objętości 0,0048 m³. Jego średnica wynosiła 0,155 m, a długość 0,255 m. Bioreaktor posiadał dwa króćce zapewniające wlot i wylot powietrza, otwór do wprowadzania inoculum i pobierania prób oraz gniazdo z termometrem rtęciowym, mierzącym temperaturę jego wnętrza. Konstrukcja bioreaktora powodowała opadanie źdźbeł słomy w postaci strumienia (ruch kaskadowy) podczas jego ruchu obrotowego — rysunek 1 (23).

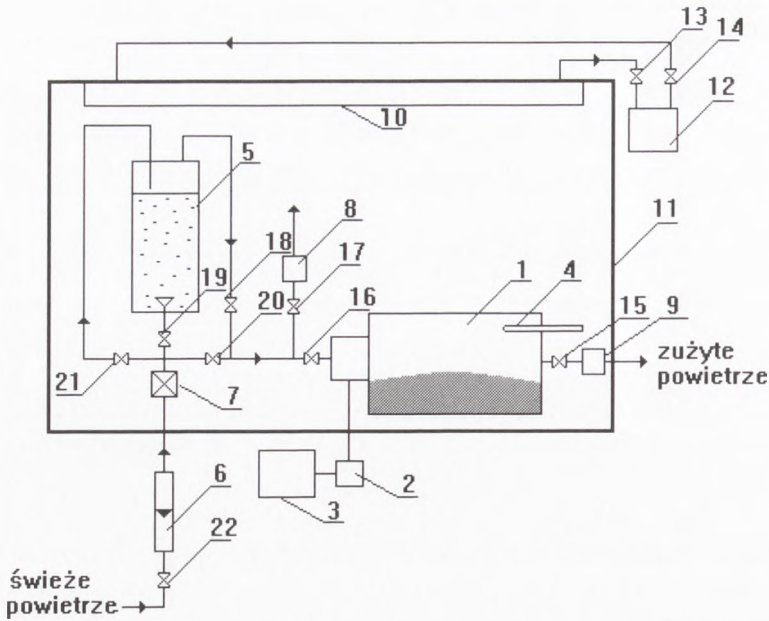
Rys. 1. Kaskadowy ruch żdzbeł słomy podczas obrotów bioreaktora bębnowego.



Bioreaktor współpracował z urządzeniami towarzyszącymi, zapewniającymi stałą temperaturę hodowli, kontrolę i regulację wilgotności powietrza nadtleniającego podłoże oraz zmianę szybkości mieszania (w zakresie od 0 do 4,8 obr/h). Konstrukcja bioreaktora pozwalała prowadzić hodowlę grzybni w warunkach sterylnych.

Aparatura doświadczalna została schematycznie przedstawiona na rysunku 2.

Do bioreaktora wprowadzano każdorazowo 0,045 kg (w przeliczeniu na suchą masę) wcześniej przygotowanego podłoża stałego. Tak przygotowany bioreaktor razem z oprzyrządowaniem (bez komory termostatującej) sterylizowano metodą Kocha (23). Po sterylizacji i ochłodzeniu podłoża do 25°C napowietrzono je wstępnie strumieniem suchego powietrza w ilości 0,054 m³/h przez 1 godzinę. W tym czasie bioreaktor obracał się z prędkością obrotową właściwą dla danej hodowli — tabela 1. Przeprowadzono pięć hodowli grzybni, w których jedynym zmiennym parametrem była prędkość obrotowa bioreaktora, warunkująca zmienną dynamikę mieszania podłoża. Szóstą hodowlę prowadzono w nieruchomym bioreaktorze, w którym podłoże nie było mieszane. Temperatura w podłożu hodowlanym utrzymywana była zawsze na poziomie 25°C za pomocą komory termostatującej, zaopatrzonej w wymiennik ciepła współpracujący z ultratermostatem. Stopień napełnienia bioreaktora stałym podłożem wynosił zawsze 0,3, co zapewniało właściwy proces jego mieszania w tego typu urządzeniach (20,23).



Rys. 2. Schemat bioreaktora z oprzyrządowaniem do HPS grzybni bocznika w mieszanym podłożu: 1 — bioreaktor, 2 — przekładnia, 3 — silnik, 4 — termometr, 5 — nawilżacz powietrza, 6 — rotametr, 7 — filtr biologiczny powietrza, 8,9. — higrometry, 10 — wymiennik ciepła, 11 — komora termostatująca, 12 — ultratermostat, 13-22 zawory.

TABELA 1
PARAMETRY HPS GRZYBNI BOCZNIKA W BIOREAKTORZE BĘBNOWYM

Numer hodowli	Prędkość obrotowa bioreaktora (obr/h)	Początkowa wilgotność podłoża (%)
1	0,00	79,86
2	0,07	80,00
3	0,10	80,11
4	0,35	79,85
5	2,00	79,47
6	4,80	79,80

Okres trwania każdej hodowli wynosił zawsze 260 godzin. W tym czasie okresowo co 12 godzin przewietrzano podłoże w bioreaktorze wilgotnym powietrzem (o wilgotności 95%), przepuszczając w ciągu 2 minut przez jego wnętrze strumień powietrza wynoszący 0,054 m³/h. Nie prowadzono ciągłego napowietrzania podłoża ze względu na specyficzne właściwości grzybni bocznika, która bardzo dobrze rośnie w atmosferze podwyższonej zawartości

CO₂ (2). Śledzenie wzrostu grzybni podczas hodowli było niezwykle trudne. Strzępki grzybni splatały się bardzo ściśle ze źdźbłami słomy, tworząc trwałą mieszaninę. Określenie stężenia grzybni w tej mieszaninie, powszechnie stosowanymi metodami było niemożliwe. W związku z tym przyjęto, że parametrem określającym pośrednio zawartość grzybni w podłożu hodowlanym będzie zmiana stężenia azotu ogólnego. W czasie wzrostu grzybnia wydzielala szereg metabolitów, z których CO₂ i H₂O opuszczały wnętrze bioreaktora. Efektem tego był ubytek suchej masy podłoża, w stosunku do wartości początkowej. W związku z tym następowało zwiększenie stężenia azotu ogólnego w przeliczeniu na suchą masę podłoża, co świadczyło proporcjonalnie o ilości rosnącej w nim grzybni.

Zawartość azotu ogólnego w podłożu po inokulacji, podczas wszystkich hodowli była stała i w przeliczeniu na suchą masę wynosiła 0,39%. Oznaczanie azotu ogólnego prowadzono metodą Kjeldahla (24).

3. Wyniki i ich dyskusja

Zawartość azotu ogólnego w podłożu pohodowlanym i jego wilgotność przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2
ZAWARTOŚĆ AZOTU OGÓLNEGO I WILGOTNOŚĆ PODŁOŻA PO ZAKOŃCZENIU HPS
GRZYBNI BOCZNIKA W BIOREAKTORZE BĘBNOWYM

Numer hodowli	Stężenie azotu ogólnego (%)	Końcowa wilgotność podłoża (%)
1	0,48	76,62
2	0,65	77,14
3	0,53	79,20
4	0,46	77,29
5	0,42	76,85
6	0,40	77,18

Hodowlę nr 1 prowadzono w podłożu nieruchomym (bioreaktor nie obracał się). Grzybnia bocznika znajdująca się na ziarnach prosa (podczas inokulacji) stopniowo opanowywała powierzchnię źdźbeł słomy w postaci bardzo puszystych białych strzępek. Po około 150 godzinach powierzchnia wszystkich źdźbeł została pokryta grzybnią i rozpoczęło się wypełnianie jej strzępkami objętości porów podłoża. W momencie zakończenia hodowli źdźbła słomy tworzyły z grzybnią zestaloną mieszaninę, pokrytą dodatkowo na powierzchni styku podłoża z powietrzem warstwą bardzo luźnych strzępek o grubości około 0,5 cm. Czynności związane z pobieraniem próbek podłoża do badań analitycznych powodowały uszkodzanie strzępek grzybni i ich pozorne zanikanie. To zjawisko świadczyło już wstępnie o stosunkowo małej zawartości grzybni w podłożu pohodowlanym.

Podczas trwania hodowli nr 2 bioreaktor wykonał 18,2 obrotów. Grzybnia z ziaren inoculum stosunkowo szybko pokrywała powierzchnię poszczególnych źdźbeł słomy. Cała ich powierzchnia została pokryta po około 130 godzinach hodowli. Strzępki grzybni na powierzchni słomy były jednak znacznie ściślej upakowane niż to miało miejsce podczas hodowli nr 1 (w porównywalnych czasach ich trwania). Podłoże z rosnącą w nim grzybnią charakteryzowało się luźną strukturą i bardzo wolno przesypywało się po osiągnięciu tzw. strefy mieszania (20). Nie tworzyły się agregaty źdźbeł słomy i strzępek grzybni. Zaobserwowano dodatkowo bardzo duże zagęszczenie strzępek grzybni wewnątrz źdźbeł słomy. Po zakończeniu hodowli podłoże zachowało swoją luźną strukturę i sypkość. Źdźbła słomy pokryte były gęstą białą grzybnią, znacznie bardziej wytrzymała mechanicznie niż w przypadku hodowli nr 1.

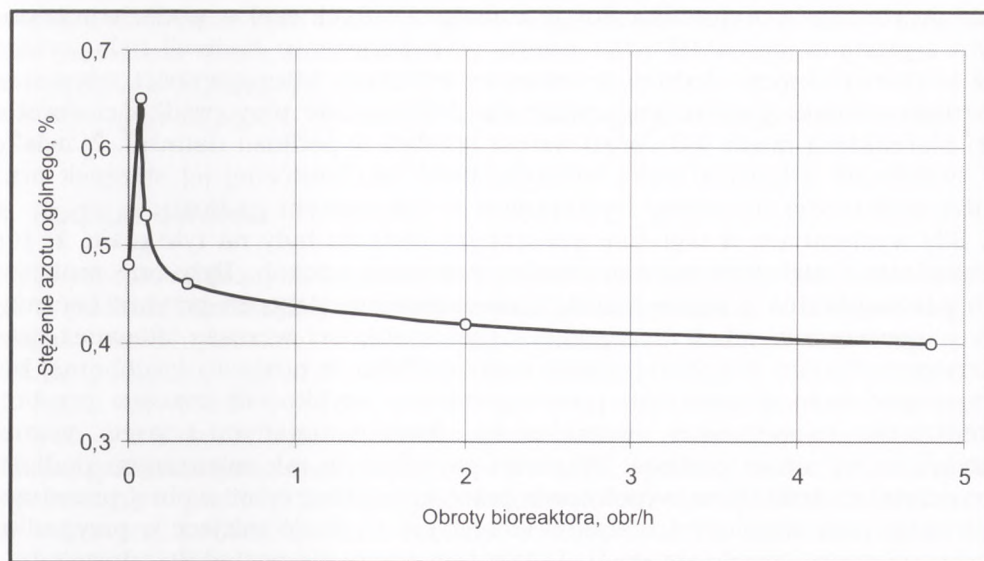
Intensywność mieszania podłoża w trakcie hodowli nr 3 była tylko nieznacznie większa niż w hodowli nr 2. Podczas jej trwania bioreaktor wykonał 26 obrotów. Intensywność wzrostu grzybni w obu hodowlach była zbliżona. Podłoże pohodowlane z hodowli nr 3 miało również bardzo luźną strukturę, a powierzchnia słomy pokryta była gęstą białą grzybnią. Strzępki grzybni znajdowały się w dużej ilości także wewnątrz źdźbeł słomy.

Warunki mieszania podłoża podczas hodowli nr 4 znacząco różniły się w stosunku do hodowli wcześniejszych. Bioreaktor wykonał w trakcie jej realizacji już 91 obrotów. Zaobserwowano znacznie wolniejszy wzrost grzybni w podłożu. W chwili zakończenia hodowli powierzchnia nie wszystkich źdźbeł słomy została pokryta grzybnią. Większość strzępek grzybni ulokowała się w ich wewnętrznych częściach. Struktura podłoża hodowlanego była luźna i bardzo sypka. Zaobserwowano jednak powstanie kilku większych agregatów składających się z ziaren inoculum, źdźbeł słomy i strzępek grzybni.

Podczas hodowli nr 5 intensywność mieszania uległa zwiększeniu. W momencie jej zakończenia bioreaktor wykonał 520 obrotów. Strzępki grzybni już tylko sporadycznie rosły na powierzchni źdźbeł słomy. Stosunkowo niewielką ich ilość obserwowano wewnątrz źdźbeł. W związku z tym struktura podłoża była bardzo luźna i sypka. Pojawiła się natomiast w nim znacznie większa liczba agregatów niż podczas hodowli nr 4. W podłożu pohodowlanym utworzyło się kilkanaście agregatów zawierających ziarna inoculum, źdźbła słomy i strzępki grzybni.

Najbardziej intensywnie było mieszane podłoże w hodowli nr 6, podczas której bioreaktor wykonał 1248 obrotów. Zaobserwowano wzrost strzępek grzybni jedynie w bezpośrednim otoczeniu ziaren inoculum. Grzybnia w zasadzie nie pokrywała powierzchni źdźbeł słomy, stosunkowo intensywnie przesypanych się w strefie mieszania. Nie tworzyły się też agregaty obserwowane w trakcie hodowli nr 4 i 5.

Uzyskane wyniki wskazują, że turbohipobioza ma duży wpływ na HPS grzybni bocznika. Podczas obracania się bioreaktora zaobserwowano, że źdźbła słomy poddawane były głównie mieszaniu ścinającemu i w mniejszym stopniu mieszaniu dyfuzyjnemu (20). W strefie mieszania przesypana się warstwa źdźbeł słomy wykazywała pewien gradient prędkości w stosunku



Rys. 3. Zmiana stężenia azotu ogólnego w podłożu hodowlanym podczas HPS grzybni bocznika przy różnych prędkościach obrotowych bioreaktora.

do ich nieruchomej masy statycznej. Cząstki słomy poddawane były działaniu sił bezwładności i grawitacji charakteryzowanych liczbą Frouda (25):

$$Fr = \frac{n^2 D}{g} \quad (1)$$

gdzie: n — prędkość obrotowa bioreaktora 1/s,
 D — średnica bioreaktora m,
 g — przyspieszenie ziemskie m/s².

Wielkość siły bezwładności i związana z nią intensywność mieszania podłoża zależały tylko od prędkości obrotowej bioreaktora (przy stałej jego średnicy, stałym czasie wszystkich hodowli i niezmiennych właściwościach podłoża). Wzrastająca prędkość obrotowa bioreaktora generowała zwiększające się siły ścinające i tarcia występujące w coraz większej masie podłoża. Równocześnie ulegał skróceniu czas spoczynku jego masy statycznej.

Mała całkowita masa podłoża hodowlanego znajdująca się w bioreaktorze podczas badań powodowała, że nie występowały w nim gradienty temperatury mogące mieć istotny wpływ na wzrost grzybni. Problem ten należy jednak brać pod uwagę przy powiększaniu skali bioreaktora do realizacji HPS grzybni bocznika.

Z wykresu przedstawionego na rysunku 3 wynika, że mała intensywność mieszania bardzo korzystnie wpływała na wzrost grzybni bocznika. Zawar-

tość grzybni (proporcjonalna do stężenia azotu ogólnego) w podłożu mieszanym z prędkościami 0,07 i 0,1 obr/h po zakończeniu hodowli była wyższa niż w nieruchomym. Jednak w miarę zwiększania intensywności mieszania warunki wzrostu grzybni pogarszały się. Praktycznie przy prędkości obrotowej bioreaktora rzędu 4,8 obr/h wzrost grzybni w podłożu ustawał. Zjawisko to świadczyło o bardzo małej wytrzymałości mechanicznej jej strzępek oraz dużej podatności na stresy występujące w mieszanym podłożu.

Siły występujące w łagodnie mieszanym podłożu były na tyle małe, że nie uszkadzały i nie stresowały grzybni w znaczący sposób. Były one mniejsze lub porównywalne z wytrzymałością mechaniczną strzępek grzybni bocznika, a generowany stres nie ograniczał jej szybkości wzrostu. Również czas utrzymywania się statycznej części masy podłoża w postaci nieruchomej był prawdopodobnie dłuższy lub porównywalny z szybkością wzrostu grzybni. Umożliwiała to swobodny, niezakłócony siłami ścinającymi i tarcia, wzrost grzybni w tej masie podłoża. Warunki panujące w tak mieszanym podłożu nie pozwalały jednak na wypełnianie przez strzępki grzybni wolnej przestrzeni między poszczególnymi źdźbłami słomy, jak to miało miejsce w przypadku braku mieszania (hodowla nr 1). Dzięki temu podłoże posiadało odpowiednio dużą porowatość, sprzyjającą procesom wymiany pędu, ciepła, a głównie masy. Źdźbła słomy tworzyły bardzo luźną strukturę ułatwiającą dostęp strzępek grzybni do ich powierzchni. Korzystniejsze były również warunki dyfuzji składników odżywczych (głównie tlenu) do rosnącej grzybni oraz jej metabolitów. Taka struktura podłoża pohodowlanego sprzyjała procesom jego dalszej obróbki i transportu.

Zakres obrotów powodujących intensyfikację wzrostu grzybni był, jak się okazało, bardzo mały. Już bowiem przy prędkości obrotowej bioreaktora 0,35 obr/h podłoże pohodowlane zawierało mniej grzybni niż po zakończonej hodowli w podłożu nieruchomym. Siły ścinające i tarcia były tam na tyle duże, że dość mocno już uszkadzały i niszczyły grzybnie. Z kolei czas spoczynku statycznej masy podłoża oraz jej wielkość zmniejszyły swoje wartości w stosunku do hodowli nr 2 i 3. Strzępki grzybni reagując na te niekorzystne zjawiska chroniły się do wnętrza źdźbeł słomy, ograniczając wzrost na ich powierzchni. Inną reakcją grzybni było tworzenie agregatów zawierających jej strzępki, źdźbła słomy i ziarna inoculum. We wnętrzu tych agregatów grzybnia była w znacznym stopniu izolowana od niszczących i stresujących ją sił ścinających i tarcia.

Zwiększenie obrotów bioreaktora do 2 obr/h spotęgowało zjawiska niekorzystnie wpływające na wzrost grzybni. W warunkach istnienia dużych sił ścinających i tarcia, a także znacznego skrócenia czasu unieruchomienia statycznej masy podłoża oraz zmniejszenia jej wielkości grzybnia poszukiwała miejsc umożliwiających w miarę niezakłócony wzrost. Znalazła je we wnętrzu źdźbeł słomy oraz tworzących się agregatów, których liczba była większa niż podczas hodowli nr 4.

Warunki panujące w podłożu mieszanym z prędkością 4,8 obr/h były na tyle drastyczne dla grzybni bocznika, że praktycznie zahamowały jej wzrost. Czas unieruchomienia statycznej masy podłoża był, jak się okazało, bardzo

krótki. Praktycznie całe podłoże było w ciągłym powolnym ruchu. Przesypujące się żdźbła słomy uniemożliwiały dłuższy kontakt strzępek grzybni z ich powierzchnią. Występujące tam siły powodowały mechaniczne odrywanie i niszczenie tych strzępek. W takich warunkach grzybnia przestała rosnąć.

4. Podsumowanie

W przeprowadzonych badaniach wykazano, że grzybnia bocznika rosnąca w podłożu zawierającym rozdrobnioną słomę pszenną w różnym stopniu ulegała turbohipobiozie w trakcie jego mieszania. Podczas łagodnego mieszania podłoża (w zakresie obrotów bioreaktora 0,07 i 0,1 obr/h) zjawisko to miało niewielki wpływ na wzrost grzybni. Zawartość grzybni hodowanej w tych warunkach była większa niż w podłożu nieruchomym o 10-35%. Wzrost grzybni stymulowały korzystne warunki wymiany pędu, ciepła i masy, wytworzone w podłożu podczas jego łagodnego mieszania. Okazało się zatem, że warto jest ponieść pewne nakłady energetyczne na takie mieszanie aby uzyskać w podłożu większe stężenie grzybni oraz jego bardzo luźną i sypką strukturę. Użycie sypkiego podłoża pokrytego grzybnią na przykład jako inoculum w uprawie owocników bocznika znacznie usprawni i przyspieszy ten proces. Można tutaj wyeliminować wstępne rozdrabnianie takiego inoculum oraz znacznie zintensyfikować jego mieszanie z podłożem uprawowym. Dzięki temu pojawia się możliwość odzyskania znacznej części poniesionych wcześniej nakładów energetycznych.

Bardziej intensywne mieszanie podłoża (powyżej 0,35 obr/h bioreaktora) stwarzało gorsze warunki wzrostu grzybni niż w podłożu nieruchomym. Jej stężenie zmniejszało się. Zjawisko turbohipobiozy odgrywało coraz większą rolę w miarę zwiększania się obrotów bioreaktora. Przy obrotach bioreaktora wynoszących 4,8 obr/h nastąpiło praktycznie zahamowanie wzrostu grzybni. Grzybnia broniąc się przed rosnącymi siłami ścinającymi i tarcia, w coraz intensywniej mieszanym podłożu, rosła wewnątrz żdźbeł słomy lub tworzyła z nimi oraz ziarnami prosa liczne agregaty.

Potwierdzony w badaniach istotny wpływ turbohipobiozy na HPS grzybni bocznika, w ruchomym podłożu zawierającym rozdrobnioną słomę, wymaga każdorazowo doświadczalnego doboru optymalnej częstości obrotów bioreaktora. Podczas zmiany skali bioreaktora należy korzystać z urządzenia modelowego. Aby zachować warunki hodowli najbardziej sprzyjające wzrostowi grzybni w bioreaktorze przemysłowym trzeba utrzymać stałość liczby Frouda (równanie 1) w obu urządzeniach oraz zapewnić intensywną wymianę ciepła.

Literatura

1. Gapiński M., Woźniak W., (1991), *Uprawa grzybów*, PWRiL, Poznań, 63-88.
2. Gapiński M., Woźniak W., Ziombra M., (1992), *Bocznik*, PWRiL, Poznań, 25-43.
3. Ziombra M., (1990), *Grzyby*, 24, 6-10.
4. Zadražil F., Brunnert H., (1981), *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 9, 243-248.

5. Zadražil F., Brunnert H., (1981), Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol., 11, 183-188.
6. Kaneshiro T., (1977), Dev. Ind. Microbiol., 18, 591-597.
7. Jamroz J., Kalbarczyk J., (1989), Przem. Spożywczy, 6, 151-153.
8. Leonowicz A., Wojtaś-Wasilewska M., Rogalski J., Luterek J., (1991), Biotechnologia, 1 (11), 39-61.
9. Han Y. W., (1978), Adv. Appl. Microbiol., 23, 119-153.
10. Béguin P., Aubert J. P., (1994), FEMS Microbiol. Rev., 13, 25-58.
11. Targoński Z., Rogalski J., Leonowicz A., (1992), Biotechnologia, 2 (17), 56-65.
12. Viesturs U. E., Szmite I. A., Żilewicz A. W., (1992), *Biotechnologia. Substancje biologicznie czynne, technologia, aparatura*, WNT, Warszawa, 164-165.
13. Viesturs U. E., Kuzniecowa A. M., Sawienkova W. W., (1990), *Bioreaktory. Zasady obliczeń i doboru*, WNT, Warszawa, 22-32.
14. Szewczyk K. W., (1994), Inż. i Aparat. Chem., 6, 22-25.
15. Myszkowa L., (1992), Przem. Ferment. i Owocowo-Warzywny, 7, 9-10.
16. Laukevics J.J., Apsite A. F., Viesturs U. E., (1984), Biotechnol. Bioeng., 26, 1465-1474.
17. Lonsane B. K., Ghildyal N. P., Budiatman S., Ramakrishna S. V., (1985), Enzyme Microbiol. Technol., 7, 258-265.
18. Hesseltine C. W., (1987), International Biodeterioration, 23, 79-89.
19. Durand A., Chereau D., (1988), Biotechnol. Bioeng., 31, 476-480.
20. Stręk F., (1971), *Mieszanie i mieszalniki*, WNT, Warszawa, 325-355.
21. Kopiński L., (1984), *Badania nad wpływem intensywności mieszania na węglaną hodowlę grzybnia pieczarki *Agaricus bisporus**, Praca doktorska, Politechnika Łódzka, 102-104.
22. Kocwowa E., (1977), *Ćwiczenia z mikrobiologii ogólnej*, PWN, Warszawa, 60-62.
23. Koch R., (1972), *Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej*, Wyd. PWr, Wrocław, 225-228.
24. Ladoński W., Gospodarek T., (1986), *Podstawowe metody analityczne produktów żywnościowych*, PWN, Warszawa, 186-191.
25. Koch R., Noworyta A., (1995), *Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej*, WNT, Warszawa, 206-208.

Investigation of influence of solid substrate mixing on growth mycelium *Pleurotus ostreatus*

Summary

The influence of mixing cut straw on the growth of *Pleurotus ostreatus* in a rotating drum bioreactor was investigated. Higher concentration of mycelium was determined for low rotation (0.07-0.1 rph) than without rotation of bioreactor. Decrease in concentration of mycelium was observed for increasing rotations and the growth was stopped at 4.8 rph.

Key words:

Pleurotus ostreatus, mushroom, mycelium, solid state fermentation, mixing, rotating drum bioreactor.

Adres do korespondencji:

Leonard Kopiński, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Akademia Techniczno-Rolnicza, ul. Seminaryjna 3, 85-326 Bydgoszcz.