

Zdzisław Targoński
Jerzy Rogalski*
Andrzej Leonowicz*

Katedra Technologii
Przemysłu Rolno-Spożywczego
i Przechowywania
Akademia Rolnicza
Lublin

*Zakład Biochemii,
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej
Lublin

Biologiczna transformacja ligninocelulozy jako potencjalne źródło surowców żywnościowych

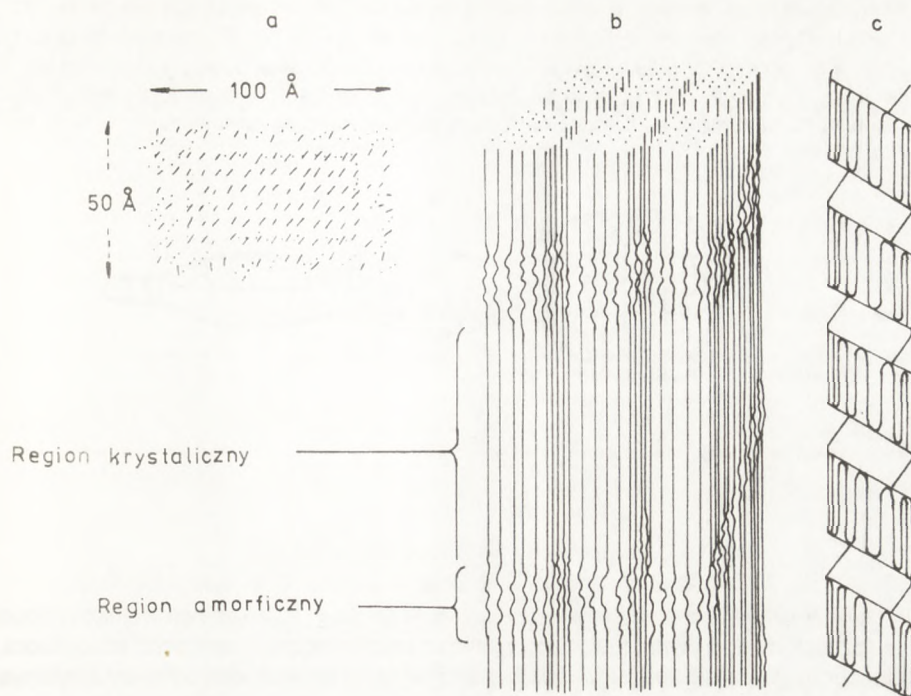
Materiały ligninocelulozowe, w skład których wchodzi roślina jedno- i wieloletnie, makulatura, produkty uboczne przemysłu drzewnego i celulozowego, stanowią w dużym stopniu nie wykorzystane, odnawialny, o potencjalnie dużych możliwościach zastosowania surowiec energetyczny oraz źródło pasz i żywności. Pomimo tego w ostatnich kilku latach obserwuje się zmniejszenie zainteresowania badaniami nad biokonwersją materiałów ligninocelulozowych. Szczególny wpływ na to ma obecna i przywidywana na najbliższe lata niska cena ropy naftowej. Jednak, wraz z wyczerpywaniem się światowych zasobów tego surowca, zainteresowanie technologiami przetwarzającymi biomasę roślinną będzie wzrastało; w szczególności dotyczy to krajów nie posiadających złóż ropy naftowej. Dlatego też w dalszym ciągu w wielu laboratoriach badawczych pracuje się nad doskonaleniem technologii biokonwersji materiałów ligninocelulozowych do produktów o niskiej masie cząsteczkowej i to zarówno na poziomie badań podstawowych jak i czysto technicznych. Procesy te w dalszym ciągu nie są dostatecznie poznane, dotyczy to w szczególności biokonwersji ligniny.

Materiały ligninocelulozowe charakteryzują się skomplikowaną budową chemiczną i fizyczną. W skład ich wchodzi trzy podstawowe grupy związków: polisacharydy, lignina i substancje ekstraktywne. Polisacharydy w materiałach ligninocelulozowych stanowi celuloza i hemicelulozy w ilościach dochodzących do 70%.

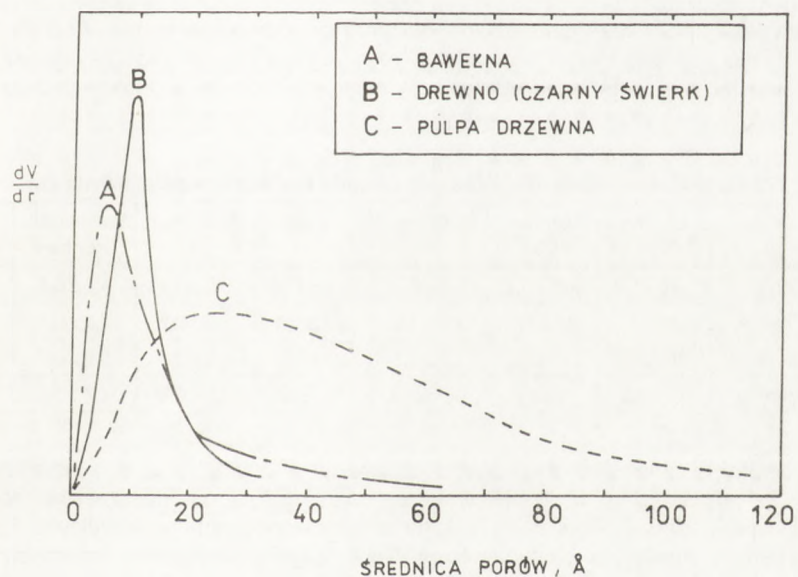
Celuloza jest głównym składnikiem materiałów ligninocelulozowych. Jest to liniowy polimer zbudowany wyłącznie z jednostek D-glukozowych połączonych wiązaniem β -1,4-, o masie cząsteczkowej dochodzącej w natywnej celulozie do 1,5 mln daltonów. Poszczególne cząsteczki celulozy, jak większość hydrofilowych liniowych polimerów, są połączone ze sobą wiązaniami wodorowymi, tworząc fibryle elementarne o szerokości około 40 Å, grubości 30 Å i długości 100 Å. Fibryla elementarna jest najmniejszą jednostką strukturalną mikrofibryl i fibryl. Koncepcje budowy mikrofibryl przedstawiono na rys. 1 (1).

Na rys. 1a przedstawiono mikrofibrylę o wymiarach 100 Å x 50 Å w przekroju poprzecznym; składa się on z krystalicznego rdzenia, który jest obszarem wysoko uporządkowanych cząsteczek celulozy, oraz otaczającego go obszaru amorficznego. Natomiast na rys. 1b pokazano mikrofibryle wzdłuż, w taki sposób, iż widać obszary krystaliczne i amorficzne. Wielkość tych obszarów jest różna dla celulozy różnego pochodzenia. Stopień krystaliczności określony za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego ma ważne znaczenie przy ocenie podatności celulozy na hydrolizę enzymatyczną. Większy udział frakcji amorficznej w celulozie sprzyja szybszej i przebiegającej z większą wydajnością hydrolizie.

Ważniejsze znaczenie ma jednak rozkład kapilar w ścianie komórkowej roślin. Podatność celulozy na enzymatyczną hydrolizę jest uzależniona od bezpośredniego kontaktu enzymu i cząsteczek celulozy, a jest to możliwe, jeżeli szerokość kapilar znacznie przekracza wymiary cząsteczek celulaz. Przykładowy rozkład wielkości kapilar w trzech substratach przedstawiono na rys. 2 (1).

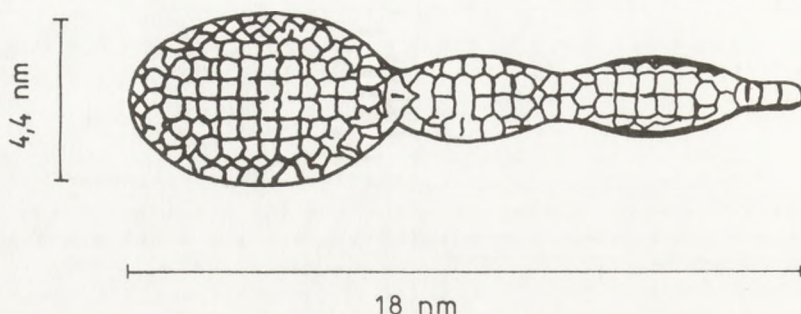


Rys. 1. Struktury mikrofibryl celulozowych (1).



Rys. 2. Rozkład wielkości kapilar w wybranych substratach celulozowych (1).

Wymiary cząsteczek enzymów celuloitycznych wahają się w granicach od 24 do 77 Å, a kształt przykładowej celulazy z *T. reesei* pokazano na rys. 3 (2). Z porównania obu tych wielkości wynika, że tylko niewielka frakcja kapilar ściany komórkowej bawełny i drewna jest dostatecznie duża, aby mogły do niej wnikać celulazy. Ma to swoje konsekwencje w enzymatycznej hydrolizie tych materiałów, jak i sposobie ich przygotowania do biokonwersji.



Rys. 3. Komputerowy model celobiohydrolazy (2).

Innymi, ważnymi polisacharydami występującymi w tkankach roślin są hemicelulozy. Zbudowane są z różnych jednostek węglowodanowych, o znacznie krótszym łańcuchu niż celuloza, a ponadto łańcuchy są często rozgałęzione. W skład hemiceluloz wchodzi polimery zawierające w swym składzie pentozy (ksyloza, arabinoza), heksozy (glukoza, mannoza, galaktoza), kwasy heksauronowe (kwas glukuronowy, galakturonowy, α -D-4-O-metyloglukuronowy) (3). Hemicelulozy można podzielić na następujące grupy: ksyłany, mannany, glukany, galaktany oraz związki pektynowe. Zawartość hemiceluloz i poszczególnych ich składników jest różna w różnych materiałach ligninocelulozowych (tab. 1) (4). Przykłady uproszczonej struktury chemicznej ksyłanu drewna liściastego i mannanu drewna iglastego przedstawiono na rys. 4 i 5 (3). Tylko niektóre z wymienionych składników hemiceluloz mają budowę krystaliczną. Dlatego też hemicelulozy są o wiele łatwiej podatne na kwasową i enzymatyczną hydrolizę w porównaniu do celulozy.

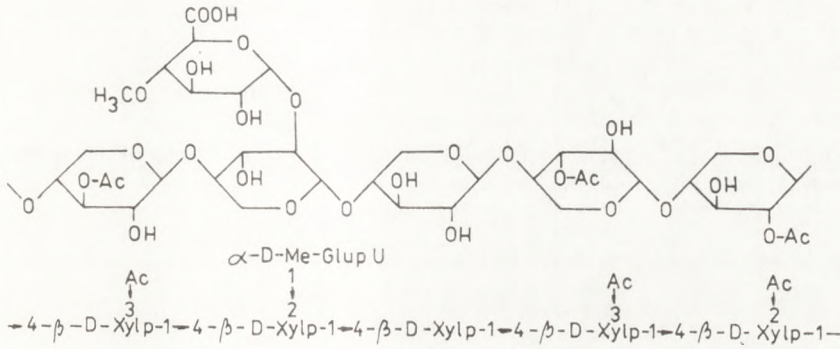
Tabela 1

Zawartość węglowodanów w różnych materiałach ligninocelulozowych (%)

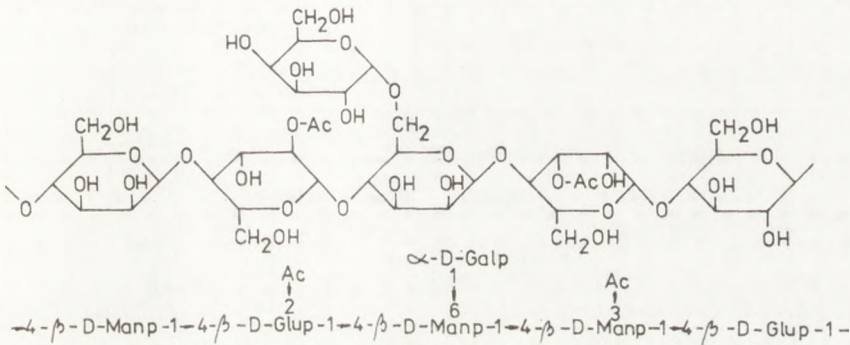
Ligninoceluloza	Glukan	Mannan	Galaktan	Ksyłan	Arabinian	Bezwodnik uronowy	Grupa acetylowa
drewno twarde	48±6	2,5±0,7	0,8±0,3	18±4,0	0,5±0,1	4,1±0,6	3,6±0,5
drewno miękkie	46±1	11±1,0	2,0±1,2	5,8±1,7	1,3±0,7	3,6±0,5	1,3±0,3
łodyga kukurydzy	48±0,0	ślady	1,0±0,1	23±0,0	2,8±0,0	5,6±0,0	4,6±0,0
łodyga pszenicy	45±0,0	ślady	0,9±0,0	23±0,0	2,0±0,0	2,7±0,0	2,0±0,0

Obok celulozy lignina jest najbardziej rozpowszechnionym i ważnym polimerem świata roślinnego. Zawartość ligniny w drewnie waha się od 20 do 35%, natomiast w roślinach jednorocznych od kilku do 20%. Prekursorami i podstawowymi jednostkami strukturalnymi ligniny są alkohole: kumarowy, koniferylowy i synapinowy (rys. 6). Ligniny traw, drzew liściastych i iglastych różnią się pomiędzy sobą m.in. stosunkiem poszczególnych wymienionych alkoholi. Przykładową strukturę ligniny drewna świerkowego przedstawiono na rys. 7 (5). Zwraca uwagę skom-

plikowana budowa tego polimeru w odróżnieniu od celulozy i hemiceluloz. Na szczególną uwagę zasługują różne typy wiązań pomiędzy poszczególnymi jednostkami ligniny, przy czym najczęściej pojawia się wiązanie aryloglicerol- β -aryl eterowe (połączenie 1-2, 2-3, 6-7, 7-8). W tak skomplikowanej budowie ligniny należy upatrywać jej wysoką oporność na wszelkiego rodzaju biotransformacje.



Rys. 4. Fragment struktury O-acetylo-4-O-metyloglukuronoksyłanu z drewna „twardego” (3).

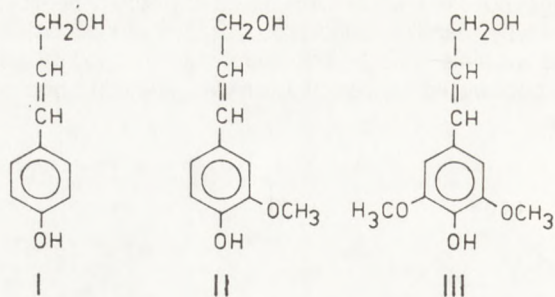


Rys. 5. Fragment struktury O-acetylo-galaktoglukanomannanu z drewna „miękiego” (3).

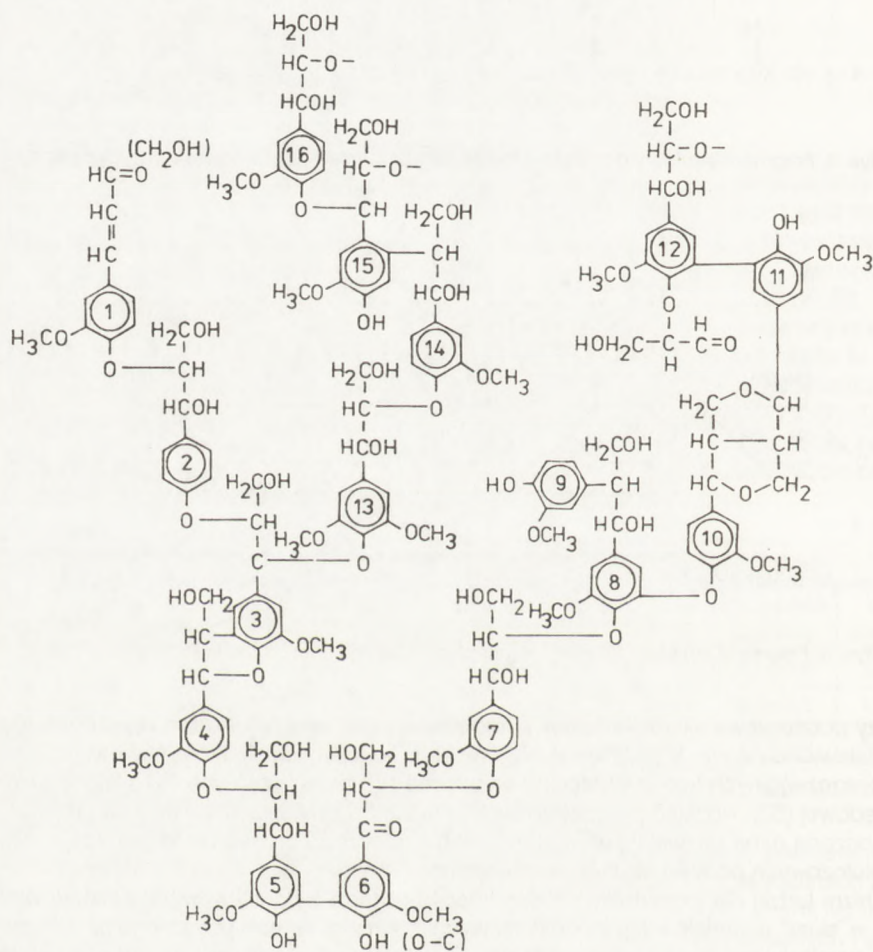
Te trzy podstawowe składniki ściany komórkowej roślin tworzą jej strukturę, co schematycznie przedstawiono na rys. 8 (5). Składa się ona ze środkowej lameli, którą stanowią substancje klejące poszczególnych komórek, ściany pierwotnej (P), ścian wtórnych (S1 i S2) oraz ściany trzeciorzędowej (S3). Rozkład poszczególnych składników przedstawiono na rys. 9 (6).

Przytoczone dane pozwalają uświadomić sobie, dlaczego proces biodegradacji materiałów ligninocelulozowych odbywa się niezmiernie wolno.

Organizm ludzki nie jest zdolny do degradacji żadnego z podstawowych polimerów wchodzących w skład materiałów ligninocelulozowych. Niemniej jednak poszczególne składniki, tj. celuloza, hemicelulozy, lignina występujące w owocach, warzywach, zbożu, odgrywają bardzo ważną rolę w żywieniu człowieka. Stanowią one tzw. błonnik pokarmowy. Jego rola polega prze-

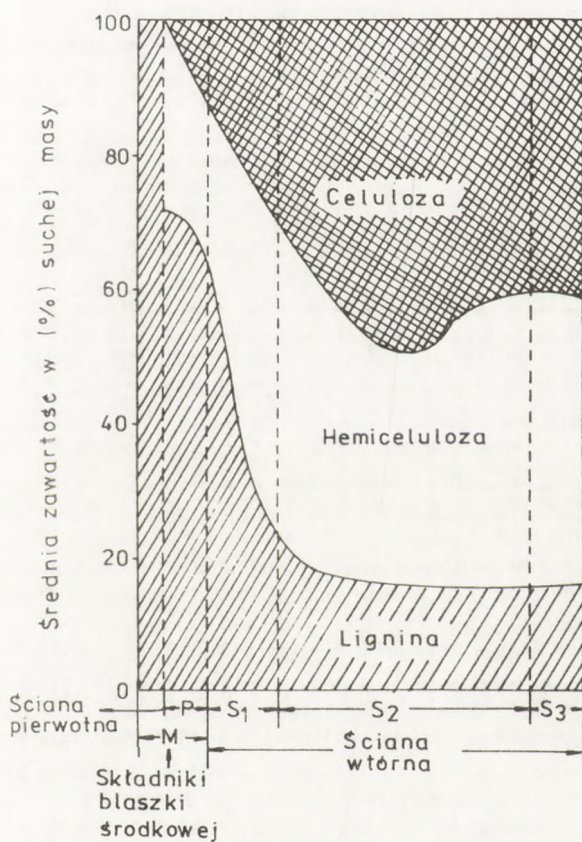
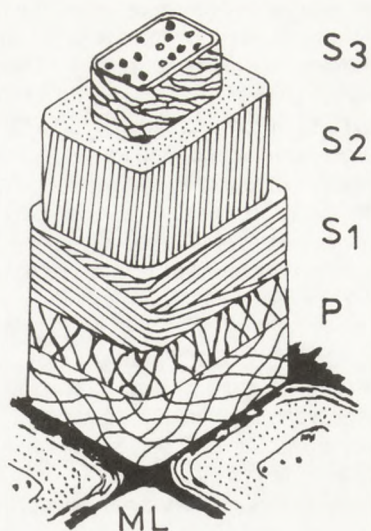


Rys. 6. Związki uważane za podjednostki struktury ligniny: alkohol p-kumarowy (I); alkohol koniferylowy (II); alkohol synapinowy (III).



Rys. 7. Fragment struktury cząsteczki ligniny świerkowej (5).

Rys. 8. Modelowy schemat struktury zdrewniałej ściany komórkowej (5). ML – blaszka środkowa; P – ściana pierwotna; S1 i S2 – ściany wtórne; S3 – ściana trzeciorzędowa.



Rys. 9. Rozmieszczenie składników zdrewniałej ściany komórkowej (6).

de wszystkim na regulowaniu funkcji ruchowych przewodu pokarmowego, a jego pozytywne znaczenie rozpoczyna się już w jamie ustnej. Diety zawierające duże ilości błonnika powodują zwiększoną wagę i objętość kału. Przykładem leczenia nadwagi i otyłości może być dieta wysokobłonnikowa. Jej zaletą jest to, że pokarm zawierający dużo błonnika, powoduje uczucie sytości, a jednocześnie jest niskoenerygetyczny. Obniżenie spożycia błonnika może być jedną z przyczyn wzmożonego występowania miażdżycy, otyłości, cukrzycy, kamicy żółciowej, nieinfekcyjnych chorób jelita grubego i otyłości, a także przewlekłych zaparć i stanów zapalnych jelita grubego. Lignina ma zdolność łączenia się z kwasami żółciowymi w kompleksowe związki nierozpuszczalne i nie wchłaniane w przewodzie pokarmowym, a wydalane z kałem. W konsekwencji obserwuje się przekształcanie cholesterolu w kwasy żółciowe (usuwane z organizmu), przez co obniża się poziom cholesterolu w surowicy krwi, jak również zapobiega wytrącaniu się cholesterolu z żółci, co nie dopuszcza do tworzenia kamieni żółciowych. Błonnik pokarmowy przechodząc przez przewód pokarmowy człowieka wiąże substancje szkodliwe dla organizmu, które występują w ilościach nadmiernych lub zbędnych powodując ich wydalanie z kałem. Należy jednak podkreślić, że w przewodzie pokarmowym człowieka znajdują się bakterie zdolne do daleko posuniętej degradacji pektyny, oraz niewielkiej, celulozy i hemiceluloz. Zważywszy na znaczenie błonnika pokarmowego w żywieniu człowieka, zaleca się spożywać go minimalnie ok. 50 g dziennie. Oprócz naturalnej żywności zawierającej błonnik, produkuje się preparaty o wysokiej zawartości błonnika pokarmowego np. w Szwecji pod nazwą „Fibrex”, w Czecho-Słowacji „Sinacol”, w Polsce „Pectocel”.

Inne kierunki wykorzystania materiałów ligninocelulozowych w produkcji żywności wiążą się z koniecznością hydrolizy celulozy i hemiceluloz do cukrów prostych, a następnie wykorzystaniu ich lub ich pochodnych, jako np. środki słodzące, a głównie jako źródło węgla i energii w procesach biotechnologicznych.

Jako przykład środka słodzącego otrzymywanego z hemiceluloz może posłużyć ksylitol. Jest to naturalnie występujący pięciowęglowy polialkohol, który znajduje wzrastające zastosowanie, jako środek słodzący o większej mocy aniżeli bliskie mu sacharydy. Ponadto może być używany jako substytut cukru dla diabetyków lub populacji mających deficyt dehydrogenazy glukozy-6-fosforanu. Ostatnio w krajach skandynawskich używany jest z dużymi sukcesami w procesie zwalczania próchnicy. Z danych statystycznych wynika, że już po pierwszym roku stosowania ksylitolu w pastach do zębów i wyrobach cukierniczych zachorowalność na próchnicę zmalała o około 50%. Inne zalety użycia ksylitolu do produktów żywnościowych podaje Sikorski i wsp. (7). Na skalę techniczną, ksylitol otrzymuje się poprzez chemiczną redukcję ksylozy, zawartej w hydrolizatach hemiceluloz drewna brzoźowego lub innych bogatych w ksylian materiałów. Ponieważ frakcje hemicelulozowe tych materiałów zawierają pewne ilości innych cukrów, konieczne jest ich usunięcie przed lub po redukcji ksylozy, co sprawia, że odzysk ksylozy wynosi 50–60%. Ksylitol można produkować z D-ksylozy na drodze mikrobiologicznej. Meyriol i wsp. (8) podają, że szczep *Candida guilliermondi* jest zdolny do konwersji ksylozy do ksylitolu z 82,6% wydajnością przy minimalnej produkcji etanolu. Szczep ten nie redukował glukozy, mannozy i galaktozy do odpowiednich alkoholi tylko do etanolu, co znacznie upraszczało proces otrzymywania czystego ksylitolu. W wyniku redukcji glukozy otrzymanej z celulozy otrzymuje się sorbitol, środek słodzący dla diabetyków, a także półprodukt w procesie otrzymywania witaminy C.

Materiały ligninocelulozowe i ich poszczególne składniki wykorzystywane są ponadto jako źródło węgla i energii w procesach biotechnologicznych do produkcji żywności i pasz, np. jako podłoże do hodowli grzybów jadalnych. Owocniki grzybów wyższych znane są ludzkości jako źródła pożywienia od tysięcy lat. O ile we współczesnym społeczeństwie grzyby stanowią w głównej mierze przyprawę smakowo-zapachową, to w minionych wiekach stanowiły one istotny składnik pożywienia. Spośród znanych ok. 2 tysięcy gatunków grzybów jadalnych na większą skalę uprawia się w warunkach hodowlanych tylko kilka; mianowicie, pieczarkę polną

w Europie i Ameryce Płn, w Japonii gatunek *Cortinellus shic-take*, a w Chinach i południowo-wschodniej Azji gatunek *Volvaria volvacea*. W ostatnich latach zyskuje coraz większe uznanie owocnik bocznika ostrygowatego (*Pleurotus ostreatus*), a przedmiotem badań i aplikacji jest także smardz (*Morchella*). Problematyka grzybów jadalnych stanowi oddzielny obszerny temat dlatego nie będzie przedmiotem dalszych rozważań, a jedynie jest zasygnalizowana.

Należy jednak nadmienić, że grzyby są cennym źródłem chityny i chitozanu, które w procesach technologicznych przemysłu spożywczego mogą odgrywać ważną rolę, jak choćby w klarowaniu soków, unieruchamianiu enzymów itd. (9). Dlatego też poszukuje się szczepów grzybów charakteryzujących się wysoką zawartością chityny, a następnie wydziela z biomasy grzybowej chitynę lub chitozan.

Ponadto należy wspomnieć o innych polisacharydach, które są syntetyzowane przez grzyby, a wykazują aktywności immunoindukcyjne; chodzi tutaj o rozpuszczalne w wodzie (1-3)- β -glukany. Mając m.in. na uwadze wymienione właściwości prowadzone są intensywne prace nad polisacharydem (1-3)- β - i (1-6)- β -glukanów z *Schizophyllum commune* (schizophyllan) i *Lentinus edodes* (lentinan), odpowiednio.

Materiały ligninocelulozowe mogą być wykorzystane do otrzymywania biomasy mikrobiologicznej nie tylko grzybowej, ale także bakteryjnej i drożdżowej. W ostatnich kilku dziesięcioleciach podejmowane były próby otrzymywania biomasy mikrobiologicznej zarówno przy zastosowaniu metod hodowli wglębnej, jak i w złożu stałym, z wykorzystaniem do tego celu bakterii i grzybów posiadających zdolności degradacji celulozy i hemicelulozy, a niekiedy również ligniny. Materiały ligninocelulozowe mogą być także wykorzystane do produkcji biomasy drożdżowej, przy czym celuloza i hemicelulozy są najpierw hydrolizowane do cukrów prostych, a następnie na hydrolizacie hoduje się drożdże z rodzaju *Candida* do celów paszowych. Bezpośrednie wykorzystanie materiałów ligninocelulozowych do produkcji białka mikrobiologicznego jest obecnie nieopłacalne.

Coraz większą wartość komercyjną ma natomiast biomasa otrzymana w wyniku zdrożdżenia lub tzw. zgrzybowania odcieków z produkcji celulozy metodą siarczynową. W latach osiemdziesiątych w USA otrzymywano rocznie 9000 ton drożdży paszowych z rodzaju *Torula*, wykorzystując jako podłoże hodowlane wspomniany odciek. Otrzymana biomasa charakteryzowała się 50% zawartością białka (10). Na wymienionym odcieku w procesie Pekilo produkowano w Finlandii 10 000 ton rocznie biomasy, wykorzystując do tego celu grzyb *Paecilomyces varioti*. Zawartość białka w preparacie dochodziła do 60%, a biomasa przeznaczana była na paszę dla bydła (11). W końcu lat sześćdziesiątych rozpoczęto w Polsce produkcję drożdży paszowych (mieszanka szczepów *Candida*) na bazie lęgów posiarczynowych w Niedomickich Zakładach Celulozy. Otrzymywano w tym okresie około 1800 ton drożdży rocznie (17).

W ostatnich kilku latach obserwuje się duże zainteresowanie żywymi komórkami drożdży z rodzaju *Saccharomyces*, jako dodatkiem do pasz, często w połączeniu z bakteriami fermentacji mlekowej. Obecnie badany jest szczegółowo mechanizm działania drożdży zarówno u zwierząt poli- jak i monogastrycznych, a także drobiu. Wiadomo już, że drożdże wywierają pozytywny wpływ na metabolizm włókna, gdyż stymulują degradację celulozy przez pewne drobno-ustroje bytujące w przedłożdkach przeżuwaczy. Również u nieprzeżuwaczy, np. koni, obserwowano wzrost stopnia degradacji włókna, a także wzrost absorpcji fosforu, cynku i innych substancji mineralnych. Wprowadzenie do paszy drożdży usuwało przeladowanie skrobiowe u młodych zwierząt, polepszało zdolności wylęgowe drobiu oraz jakość skorupy jajek, a także wspomagało działanie jonoforów (12). Obecność drożdży i probiotyków (bakterii kwasu mlekowego) pozwalała w dużym stopniu ograniczyć rozwój bakterii *Salmonella enteritidis*, co z kolei zwiększało wykorzystanie pasz i obniżało % upadku zwierząt i drobiu. Dlatego wydaje się, że pojawiły się nowe możliwości wykorzystania enzymatycznych hydrolizatów ligninocelulozowych jako źródła węgla do otrzymywania biomasy drożdżowej i bakterii kwasu mlekowego do celów paszowych. Pozyskanie łatwo przyswajalnych przez drożdże cukrów z materiałów ligninocelulo-

zowych jest w tym przypadku sprawą podstawową. W pierwszym rzędzie należy otrzymać preparat celulaz, po możliwie niskiej cenie, gdyż w chwili obecnej koszt produkcji celulaz stanowi do 60% wartości otrzymywanej glukozy. Najefektywniejszym producentem celulaz są mutanty *Trichoderma reesei* QM 6a. W ostatnich latach podjęto prace nad klonowaniem i ekspresją celulazowych genów *T. reesei* w *Saccharomyces cerevisiae*, a także genów z termofilnych anaerobowych celulolitycznych bakterii. Penttila i wsp. (13) z Finlandii skonstruowali 4 szczepy drożdży produkujące białka celulaz *T. reesei*, tj. 2 celobiohydrolazy i 2 endoglukanazy. Chociaż wszystkie 4 białka były wydzielane do podłoża hodowlanego w enzymatycznie aktywnej formie, to ich ilość była zbyt niska nawet dla przeprowadzenia eksperymentów hydrolizy celulozy. Niemniej jednak został dokonany ważny krok w kierunku pozyskania drożdży *S. cerevisiae*, zdolnych do syntezy celulaz.

Obok biosyntezy enzymów celulolitycznych, drugim ważnym procesem w enzymatycznej hydrolizie materiałów ligninocelulozowych jest ich przygotowanie, albo inaczej wstępna obróbka do tego procesu. Jej zadaniem jest m.in. rozbitcie kompleksu lignino-celulozowego, zmniejszenie krystaliczności celulozy oraz zwiększenie powierzchni właściwej substratu.

Poznano szereg metod wstępnego przygotowania materiałów ligninocelulozowych do enzymatycznej hydrolizy, przy czym w ostatnim dziesięcioleciu szczególnie dużo uwagi poświęcono parowaniu tych materiałów w temperaturach od 170°C do 260°C. W wyniku tego procesu zachodzi daleko posunięta hydroliza hemiceluloz i częściowa degradacja ligniny, natomiast celuloza staje się stosunkowo łatwo podatna na enzymatyczną hydrolizę (14). Tak przygotowany substrat można poddać hydrolizie enzymatycznej łącznie ze źródłowaniem powstałych cukrów prostych, bądź też odzyskać hydrolizat i w osobnej fermentacji namnożyć drożdże.

Należy podkreślić, że enzymy celulolityczne i ksylanolityczne znajdują zastosowanie nie tylko w ulepszaniu pasz, ale także i w produkcji żywności. Stosuje się je w celu zwiększenia strawności pasz bogatych w włókno, a także nasion ryżu, jęczmienia i pszenicy. W wyniku degradacji celulozy i hemiceluloz, zwiększa się przyswajalność innych składników.

Traktowanie celulazami (obok pektynaz) owoców i warzyw pozwala zwiększyć wydajność soku z miazgi, a niekiedy nawet eliminować kosztowne prasy do oddzielania miazgi od soku. Hydrolizaty celulozy i w ograniczonej ilości hemiceluloz mogą być wykorzystane nie tylko do produkcji biomasy, ale także innych wartościowych produktów biotechnologicznych. W ostatnich latach pojawiły się prace dotyczące biosyntezy kwasów organicznych, w tym tak ważnych dla przemysłu spożywczego, jak kwas fumarowy, cytrynowy czy mlekowy. Kwas fumarowy był dotychczas produkowany z glukozy, skrobi, melasy. Obecnie pojawiły się nowe możliwości surowcowe, gdyż stwierdzono, że źródłem węgla w procesie biosyntezy mogą być także pentozy, głównie ksyloza (15). Unieruchomienie (immobilizacja) grzybni *Rhizopus arrhizus* na odpowiednich nośnikach sprzyja intensyfikacji produkcji kwasu fumarowego. Abe i Takagi (16) stwierdzili, że materiały celulozowe są efektywnie transformowane na kwas mlekowy w procesie łącznego scukrzania celulazami *T. reesei* i fermentacji z pomocą *L. delbruecki*. Stwierdzono, że produkcja kwasu mlekowego z celulozy jest efektywniejsza niż etanolu z tego surowca.

Podsumowując należy stwierdzić, że materiały ligninocelulozowe pozostają wciąż nie w pełni wykorzystanym, czekającym na swoją szansę surowcem, zarówno jako potencjalne źródło energii, jak i bardziej efektywne źródło paszy, a co z tym się wiąże – także żywności.

Literatura

1. Fan L.T., Gharpuray M. M., Lee Y.-H., (1987), Cellulose Hydrolysis, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
2. Schnuck M., Pilz I., Hayn M., Esterbauer H., (1986), Biotechnol. Letters, 6, 397-402.
3. Fengel D., Wegener G., (1984), Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions, W. de Gruyter, Berlin, New York.

4. Mc Carty P., Baugh K., Bachmann A., Owen W., Everhart T., (1980), Fuel Gas Development, 49-71.
5. Adler E., (1977), Wood Sci. Technol., 11, 169-218.
6. Hale J. D., (1969), The pulping of wood, 2nd edn., vol.1, Mc Graw-Hill, New York, 4.
7. Sikorski Z., Drozdowski B., Samotus B., Pałasiński M., (1988), Chemia żywności, PWN, Warszawa, 47-48.
8. Meyrial V., Delgenas J. P., Moletta R., Navarro J. M., (1991), Biotechnol. Lett., 13, 281-286.
9. Knor D., (1984), Food Technology, January, 85-97.
10. Mc Govern J. N., (1980), Silvichemicals. In: Pulp and paper Chemistry and Chemical Technology (J. P. Casey ed.), 3rd ed., vol.1, Wiley-Intersci, New York, 492-504.
11. Forss K., Passinen K., (1976), Pap. Pun., 58, 608-618.
12. Lyons T. P., (1990), Biotechnology in the Feed Industry, Proceedings of Alltech's Sixth Annual Symposium, (T. P. Lyons ed.), 1-34.
13. Penttilä M. E., Lehtavaara P., Knowles J., (1989), Yeast Genetic Engineering, Butterworth, Stoneham, USA, 247-267.
14. Bujak S., Targoński Z., (1988), Postępy Mikrobiologii, 27, 211-241.
15. Kautola H., Linko Y. Y., (1989), Appl. Microbiol. Biotechnol., 31, 448-452.
16. Abe S.-I., Tokagi M., (1991), Biotechnol. Bioeng., 37, 93-96.
17. Prończuk A., Siemaszko E., Bartnik J., (1973), Roczn. Techn. i Chem. Żywn., 23, 81-92.

Biological Transformation of Ligninocellulose as a Potential Source of Food Substances

Summary

This paper summarizes the possibilities of applying higher fungi and yeasts as a potential source feed, food and substrates for food production including ligninocellulosic waste materials as a medium in shallow stationary and submerged fungal cultures. The affect of medium constituents and growth conditions on quality of fungal biomass and products is discussed. The paper also describes the chemical structure of ligninocellulosic materials and their degradation mechanisms by microorganisms and enzymes.

Adres dla korespondencji:

Zdzisław Targoński, Katedra Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego i Przechowalnictwa, Akademia Rolnicza, ul. Akademicka 13, 20-934 Lublin