



Możliwości modelowania cech funkcjonalnych żywności wytworzonej z nasion roślin strączkowych poprzez zastosowanie fermentacji typu tempeh

Maciej Kuligowski¹, Jacek Nowak

Zakład Fermentacji i Biosyntezy, Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego, Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego, Poznań

The possibility of modeling functional properties of legume food products through the tempeh type fermentation

Summary

Tempeh is a fermented food, originally produced from soy beans, which is characterized by many interesting nutritional, health and functional properties. Using various raw material and fermentation condition together with the selection of suitable microorganisms, health beneficial functional properties of tempeh can be obtained. This gives a possibility to manufacture the products of specific (desirable for customers) features. The knowledge about modeling chemical composition, as well as biological activities and health effects of tempeh type products is still insufficient and requires more studies.

Key words:

tempeh, microorganisms, legumes, functional properties.

Adres do korespondencji

Maciej Kuligowski,
Zakład Fermentacji
i Biosyntezy,
Instytut Technologii
Żywności Pochodzenia
Roślinnego,
Wydział Nauk o Żywności
i Żywieniu,
Akademia Rolnicza
im. A. Cieszkowskiego,
ul. Wojska Polskiego 31,
60-624 Poznań.

Wstęp

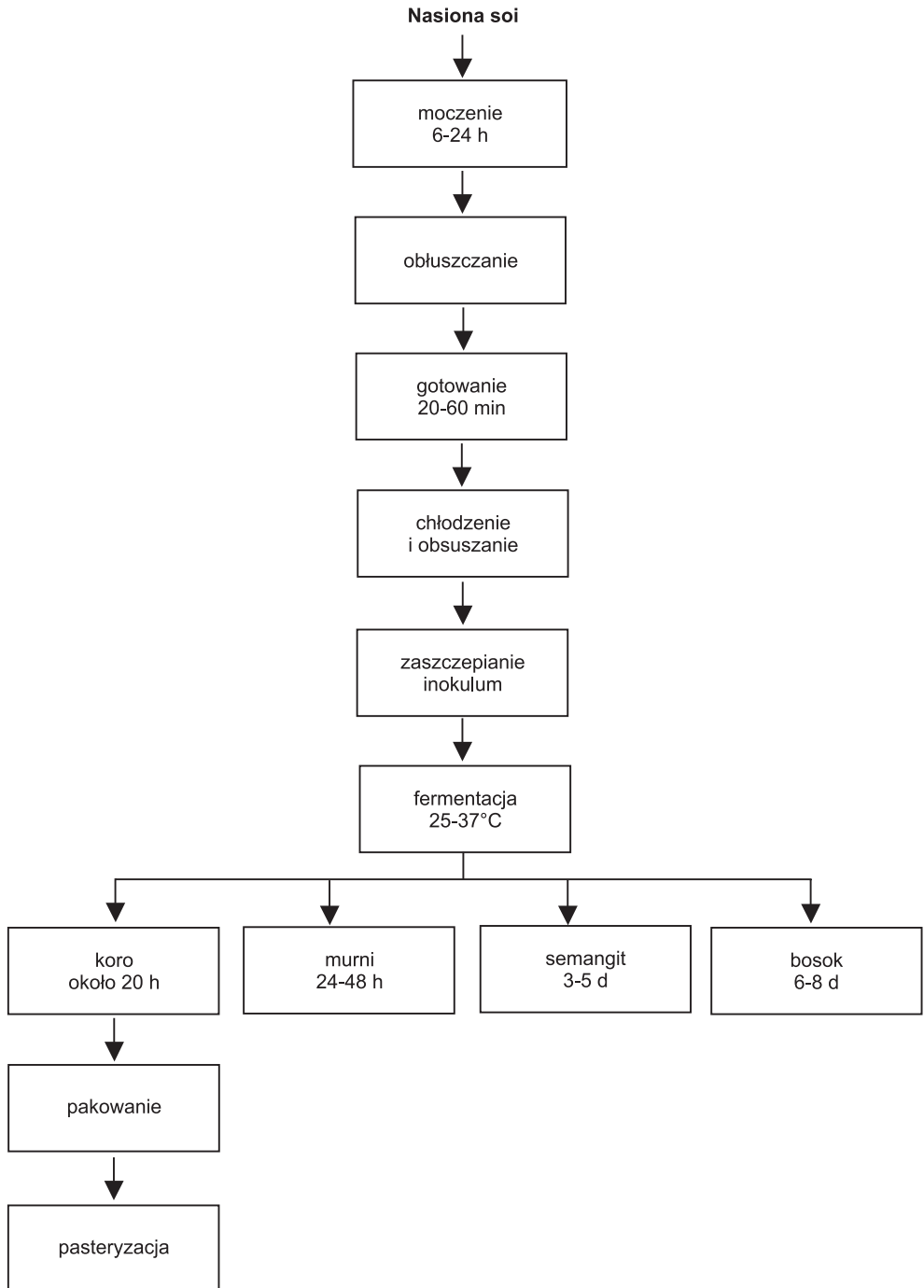
W krajach Dalekiego Wschodu powstało wiele nieznanymi w tradycyjnej kulturze europejskiej artykułów żywnościowych. Szczególnie interesujące są produkty fermentowane wytwarzane w krajach azjatyckich. W Europie do wytwarzania żywności

¹Autor jest stypendystą w ramach Działania 2.6 Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego finansowanym z Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa.

fermentowanej stosuje się głównie drożdże i bakterie fermentacji mlekowej, natomiast grzyby strzępkowe wykorzystuje się w znacznie mniejszym stopniu, głównie do produkcji serów pleśniowych, niektórych wędlin (1) i win (m.in. typu tokaj) (2). W krajach Azji pleśnie stanowią podstawę wytwarzania wielu różnych produktów, np. sosu sojowego (shoyu), miso, oncom, angkak i tempeh (3). Szczególne znaczenie zyskał tempeh, którego światowa kariera zaczęła się po II wojnie światowej. Produkt ten umożliwił przetrwanie niewoli japońskiej uwięzionym żołnierzom, głównie z armii USA. Przetrzymywani na wyspach Pacyfiku, w niekorzystnych warunkach sanitarnych, cierpieli na rozmaite dolegliwości, związane głównie z nieodpowiednim żywieniem. Korzystając z dostępnych źródeł pokarmu stwierdzili, że tempeh posiada wysokie wartości odżywcze i zdolność do powstrzymywania biegunk (4).

2. Technologia wytwarzania

Tempeh jest tradycyjnym indonezyjskim produktem wytwarzanym z nasion soi, którego proces produkcji (rys.) opiera się na moczeniu i gotowaniu nasion, schłodzeniu i obsuszeniu powierzchniowym, a następnie fermentacji, w rezultacie której uzyskuje się pokryte białą, gęstą grzybnią „ciasto”. Tak przygotowany tempeh poddaje się różnym rodzajom obróbki termicznej, m.in. gotowaniu, smażeniu i pieczeniu (4,5). W pierwszym okresie obróbki hydrotermicznej nasion soi, w trakcie moczenia, dochodzi do rozwoju bakterii fermentacji mlekowej, które zakwaszają środowisko. W przemysłowej i laboratoryjnej praktyce stosuje się wodę z dodatkiem kwasu mlekowego lub octowego (6,7). Moczenie ma na celu zwiększenie wilgotności nasion, co umożliwia rozwój mikroorganizmów poprzez zwiększenie dostępności wolnej wody, oraz wypłukanie saponin charakteryzujących się gorzkim smakiem (4). W trakcie gotowania, ginie większość wegetatywnych form drobnoustrojów, osuszenie zewnętrznych warstw nasion stanowi barierę dla wzrostu niepożądanych mikroorganizmów. Po obróbce hydrotermicznej nasiona soi zaszczenia się inokulum, a następnie, w tradycyjnej technologii, nasiona zawijane są w liście bananowca, zastąpione w przemysłowej produkcji perforowanymi woreczkami lub pojemnikami z blachy perforowanej, w których przeprowadza się fermentację. Tradycyjne inokulum dla tempeh przygotowywano z liści hibiskusa (*Hibiscus* sp.) lub liści drzewa tikowego (*Tectona grandis*) i gotowanego ryżu (5,8). Liście hibiskusa zawierają na swojej powierzchni formy wegetatywne i zarodniki różnych szczepów mikroorganizmów, m.in. zarodniki grzybów strzępkowych z rodzaju *Rhizopus* (9). Obecnie na skalę przemysłową używa się czystych kultur startowych *Rhizopus oligosporus*. Dostępne są również kultury startowe, które zostały wyizolowane z tempeh i zawierają, podobnie jak tradycyjne inokulaty indonezyjskie, różne szczepy mikroorganizmów. Temperatura i czas fermentacji uzależnione są od preferencji i wyposażenia technicznego producenta. W trakcie fermentacji dochodzi do znaczących zmian,



Rys. Schemat technologii wytwarzania tempeh.

z których zauważalna przez konsumenta jest zmiana struktury nasion oraz następująca z wydłużeniem czasu fermentacji alkalizacja produktu, prowadząca do powstania intensywnego zapachu amoniaku. Proces ten następuje na skutek aktywności enzymatycznej grzybów strzępkowych rozkładających białka, aż do powstania wolnego amoniaku (10). Szybki rozwój grzybów strzępkowych następuje dzięki odpowiedniej wilgotności i temperaturze. Szczepy *R. oligosporus* mogą wzrastać w temperaturze dochodzącej nawet do 42°C (3), jednak najczęściej fermentację przeprowadza się w temperaturze 25-37°C (4,11). Czas fermentacji jest uzależniony od temperatury i pożądanego stopnia przerostu produktu grzybnia. Najczęściej proces fermentacji przeprowadza się w woreczkach perforowanych lub na perforowanych tacach, lecz prowadzone są również badania nad wykorzystaniem do fermentacji tempel obrotowych bębnow i fermentorów, co ma zapewnić równomierny przepływ tlenu i ciepła przez poddaną procesowi masę nasion (12,13). Po zakończeniu procesu fermentacji tempel jest pakowany i często pasteryzowany, w celu przedłużenia jego trwałości. Na wyspach indonezyjskich wytwarza się wyroby z tempel, który poddano dłuższemu okresowi fermentacji, nadając tak powstałym produktom różne nazwy: koro – około 20 h fermentacji, murni – 24-48 h fermentacji, semangit – od 3 do 5 dni oraz bosok – od 6 do 8 dni. Tempel bosok służy do wyrobu ciastek nazywanych mendol, charakteryzujących się intensywnym aromatem (4,14). Poza wyspami Pacyfiku można nabyć wyłącznie tempel wytworzony poprzez zastosowanie najkrótszego okresu fermentacji, najczęściej w postaci schłodzonego lub pasteryzowanego produktu (3).

3. Wpływ tempel na zdrowie

Najczęstszą przyczyną niechęci do konsumpcji nasion roślin strączkowych jest powodowanie przez zawarte w nich sacharydy dysfunkcji przewodu pokarmowego. Mimo wysokiej wartości żywieniowej (zwłaszcza zawartości białka i witamin z grupy B), właściwości nasion roślin motylkowych powodujące wytwarzanie gazów w przewodzie pokarmowym ludzi i połączony z tym dyskomfort psychiczny, wpływają na ich malejącą konsumpcję (15). Jednym z efektów technologii zastosowanej w produkcji tempel, jest obniżenie gazotwórczego oddziaływania w organizmie człowieka, za który są odpowiedzialne należące do oligosacharydów stachioza i rafinoza. Nowak i wsp. stwierdzili występowanie w nasionach soi większej ilości rafinozy, natomiast Egounlety i wsp. uzyskali wyniki świadczące o przewadze stachiozy w tym surowcu. W obydwu pracach opisane są jednak znaczące obniżenia ilości rafinozy i stachiozy w procesie fermentacji surowca sojowego. Nowak i wsp. uzyskali 13% redukcję rafinozy i 66% stachiozy, a Eugently i wsp. odpowiednio 55 i 84% (16,17). W badaniach nad wykorzystaniem cukrów z rodziny rafinozy jako jedynego źródła węgla wskazuje się na brak możliwości ich wykorzystania przez jeden z najczęściej stosowanych do przygotowania tempel w badaniach laboratoryjnych

szcep *R. oligosporus* NRRL 2710. Wykazano jednak, że cukry te metabolizowane są przez niektóre szczepy *R. oryzae*, *R. stolonifer* i jeden ze szczepów *R. oligosporus* (18). W niektórych doniesieniach wskazuje się na brak możliwości rozkładu cukrów z rodziny rafinozy przez szczepy *R. oligosporus*, przypisując tę rolę szczepom bakterii, towarzyszącym grzybom strzępkowym w trakcie fermentacji (4,19). Wydaje się jednak, że poszczególne szczepy *R. oligosporus* charakteryzują się odmiennymi zdolnościami wywoływania zmian w fermentowanym surowcu, co nie umniejsza roli mikroorganizmów towarzyszących pleśniam, zwłaszcza w tradycyjnej technologii sporządzania inokulum i przy stosowaniu mieszanych kultur mikroorganizmów.

Nasiona roślin strączkowych charakteryzują się dużą zawartością związków antyodżywczych, m.in. inhibitorów trypsyny i soli kwasu fitynowego, które zmniejszają biologiczne wykorzystanie białek i składników mineralnych. Proces produkcji tempeh redukuje ilość inhibitorów trypsyny o około 80% (17). Związki te odpowiedzialne są za zmniejszenie ilości przyswajanych białek poprzez inhibicję aktywności enzymów trawiennych. Inhibitory trypsyny mogą pełnić również pozytywną rolę, jako antyoksydantom przypisuje się im profilaktyczną rolę w zmniejszeniu ryzyka występowania nowotworów oraz zmniejszaniu hipercholesterolemii (20). Naukowcy badający w tempeh zawartość kwasów fitynowych, zmniejszających biodostępność niektórych pierwiastków, takich jak: fosfor, cynk, magnez, żelazo, wapń oraz inaktywujących niektóre enzymy trawienne, podają różne dane na temat możliwej redukcji ich ilości w trakcie fermentacji. Eugently i wsp. wykazali około 30% redukcję fitynianów po 36 godzinach fermentacji, Astuti i wsp. opublikowali dane o 60% redukcji fitynianów, a niektórzy naukowcy pośrednio określali brak wpływu fitynianów na zawartość mikroelementów w tkankach zwierząt karmionych tempeh (21), u których stwierdzono wzrost stężenia żelaza w porównaniu do zwierząt żywionych niefermentowaną soją (5,17,22).

Tempeh charakteryzuje się również większą niż produkt wyjściowy wartością odżywczą, z uwagi na częściowe nadtrawienie i uwolnienie składników odżywczych przez aparat enzymatyczny grzybów strzępkowych (3). Większość składników prozdrowotnych zawartych w tempeh pochodzi z surowca roślinnego, a ich zwiększona ilość w fermentowanym produkcie jest spowodowana uwalnianiem z trwałych połączeń z innymi składnikami żywności przez aparat enzymatyczny *Rhizopus*, do którego uwolnienia mogłoby nie dojść w przewodzie pokarmowym człowieka z uwagi na dość ubogi zestaw enzymów tam występujących. Przykładem tego typu mechanizmów zwiększania dostępności związków są m.in. procesy prowadzące do zwiększenia ilości łatwo przyswajalnych jonów żelaza. Enzymy *Rhizopus* przyczyniają się do zwiększenia biodostępności żelaza, gdyż uwalniają jony tego pierwiastka z kompleksów białkowych, ilość dostępnych jonów żelaza wzrasta o około 40% (5).

Interesujące są również zmiany zachodzące podczas fermentacji tempeh w ilości izoflawonów, takich jak daidzeina i genisteina, zaliczanych do fitoestrogenów, które w soi występują w postaci związanej z sacharydami jako glikozydy, a w tempeh w postaci uwolnionych z matrycy aglikonów. Na podstawie badań przeprowadza-

nych nad wydalaniem fitoestrogenów można stwierdzić, że uwolnione z matrycy polisacharydowej w trakcie fermentacji tempeh izoflawony są bardziej przyswajalne przez organizm człowieka w porównaniu do izoflawonów zawartych w niefermentowanej soi (4,23). Świadczy to o potencjalnie dużym znaczeniu tempeh w dostarczaniu fitoestrogenów, których oddziaływanie na organizm człowieka jest bardzo wielokierunkowe. Poprzez wpływ na syntezę białek i różnicowanie komórek, związki te mogą korzystnie oddziaływać na zapobieganie występowaniu nowotworów. W dotychczasowych badaniach wykazano właściwości antyutleniające, antybakteryjne i antywirusowe fitoestrogenów. Izoflawony regulują procesy tworzenia i resorpcji tkanki kostnej, zwiększając wskaźnik gęstości mineralnej kości, przez co zapobiegają procesom osteoporozy, powodują również zmniejszenie nasilenia symptomów menopauzy (23-25). Genisteina wykazuje zdolność do hamowania wzrostu komórek nowotworowych prostaty u mężczyzn (24). Wysokie stężenie fitoestrogenów w płynach ustrojowych człowieka wpływa na obniżenie ryzyka występowania choroby wieńcowej serca oraz nowotworów piersi i prostaty (23,26).

Nakajima i wsp. opracowali metodę wytwarzania tempeh o zwiększonej ilości izoflawonów, poprzez dodanie do poddanych obróbce hydrotermicznej nasion zarodków, które zwykle są usuwane w procesie obłuszczenia (27).

Nasiona roślin strączkowych są bogatym źródłem błonnika pokarmowego, który korzystnie wpływa na funkcjonowanie układu pokarmowego m.in. poprzez stymulację rozwoju bakterii probiotycznych, odpowiedzialnych za zmniejszenie ryzyka występowania nowotworów jelit oraz zwiększenie aktywności układu immunologicznego (28,29). Po zakończeniu procesu wytwarzania tempeh z nasion soi, w gotowym produkcie zawartość błonnika była wyższa w stosunku do surowca wyjściowego, wzrastała z 3,7 do 5,7% (30), zaobserwowano również, że ilość błonnika w tempeh była uzależniona od długości czasu fermentacji, co jest związane z wytwarzaniem przez grzyby strzępkowe struktur komórkowych (4,31).

Od 1969 r. pojawiają się doniesienia o antybakteryjnej aktywności izolatów z tempeh. Jako najbardziej wrażliwe na oddziaływanie antybakteryjnych substancji zawartych w tempeh określano różne szczepy mikroorganizmów, Wang i wsp. stwierdzili, że są to bakterie *Streptococcus cremoris* (32), natomiast Kobayasi i wsp. opracowali metodę pozyskiwania czynnika antybakteryjnego syntetyzowanego podczas wzrostu *R. oligosporus* na podłożu z hydrolizatu kazeiny, i wykazali, że najbardziej wrażliwe na działanie czynnika antybakteryjnego są bakterie *Bacillus subtilis*, nie stwierdzili ponadto aktywności wobec *S. cremoris* (33). W późniejszych badaniach Kiers, który charakteryzował aktywność antybakteryjną ekstraktów z tempeh, stwierdził niewielką aktywność antybakteryjną tylko jednego ze szczepów *Rhizopus* wobec *B. subtilis*, a pozostałe wykorzystane szczepy wykazały aktywność wobec *Bacillus stearothermophilus* (34). Do badań aktywności stosowano metodę krążków bibułowych nasączonych badanym ekstraktem. Kobayasi i wsp. (33) uzyskali w badaniach wyniki sugerujące, że czynnikiem antybakteryjnym syntetyzowanym przez *R. oligosporus* jest peptyd o masie cząsteczkowej 5500 Da. W literaturze światowej

nie znaleziono doniesień o obecności takich peptydów w tempeh. Dodatkowo duża masa cząsteczkowa czynnika antybakteryjnego utrudnia prawdopodobnie jego wnikanie w głąb pożywki agarowej przy stosowaniu tradycyjnych metod oznaczania aktywności antybakteryjnej, takich jak metoda studzienkowa czy krążków bibułowych. Kuligowski i Nowak stwierdzili niewielką aktywność antybakteryjną ekstraktów z tempeh fasolowego wykorzystując metodę nefelometryczną i pomiar zmian impedancji elektrycznej, nie uzyskując potwierdzenia tej aktywności metodą krążków bibułowych i metodą studzienkową (praca w druku). Wydaje się, że w trakcie fermentacji i wzrostu grzybów strzępkowych z rodzaju *R. oligosporus* następuje synteza czynnika antybakteryjnego, który jest aktywny wobec niektórych Gram (+) szczepów bakterii (33,34). Interesująca jest możliwość inhibicji przez czynnik antybakteryjny wzrostu bakterii *Staphylococcus aureus*, które mogą wywoływać różnorodne schorzenia, m.in. zatrucia pokarmowe, spowodowane toksyną wytwarzaną przez niektóre szczepy należące do tego gatunku (33,35). Jednak w dotychczasowych badaniach nie wykazano obecności w produktach typu tempeh związków charakteryzujących się aktywnością antybakteryjną wobec bakterii *S. aureus*.

Pomimo obecności w tempeh czynnika antybakteryjnego, nie wykazano zdolności izolatów z tempeh do inhibicji wzrostu bakterii *Escherichia coli*, które najczęściej wywołują biegunki u ludzi i zwierząt (34). Jednak istnieją doniesienia o pozytywnym wpływie spożywania tempeh w zapobieganiu i leczeniu biegunek u ludzi i zwierząt. Efekt taki zaobserwowano u królików (36,37), świń (38) oraz u ludzi (39). Wykazano, że izolaty z tempeh mają wpływ na inhibicję adhezji komórek enterotoksycznego szczepu *E. coli* wobec komórek nabłonka jelita, w różnym stopniu w zależności od zastosowanego do fermentacji szczepu *R. oligosporus*. Mechanizm zmniejszenia adhezji jest prawdopodobnie związany z częściową agregacją komórek bakterii, ułatwiającą ich usuwanie z powierzchni nabłonka jelit. Brak jest jednak danych umożliwiających stwierdzenie, która z substancji zawartych w tempeh ma wpływ na ten proces (34).

Oprócz pozytywnych zmian obserwowanych po procesie produkcji w tempeh, niektóre operacje technologiczne mogą mieć wpływ na obniżenie wartości odżywczej wytwarzanego produktu. W trakcie moczenia nasion dochodzi do wypłukania witamin rozpuszczalnych w wodzie, a gotowanie może powodować ich termiczny rozkład. Ilość witamin rozpuszczalnych w tłuszczach zmniejsza się o 15%, a rozpuszczalnych w wodzie o około 50% (40,41). Pomimo to, ilość niektórych witamin w tempeh jest większa od ich ilości w nasionach soi. Denter i wsp. zaobserwowali zdolność wytwarzania karotenoidów u wszystkich 14 wykorzystanych do badań szczepów *R. oligosporus*, z których tylko u 6 wykazano syntezę β -karotenu. Największy wzrost zawartości β -karotenu następował pomiędzy 36 a 48 h fermentacji. Istotna była również synteza ergosterolu przez szczepy *Rhizopus*, którego obecności nie stwierdzono w nasionach soi. Najwyższe stężenie ergosterolu w 34 h fermentacji zanotowali Denter i wsp. – 750 $\mu\text{g/g}$ ss (41). Produkowali oni tempeh z wykorzystaniem szczepu *R. oligosporus* MS35, przy którego zastosowaniu Wiesel i wsp. w 36 h

fermentacji uzyskali ilość ergosterolu na poziomie 190 $\mu\text{g/g}$ ss. W badaniach Dentera i wsp. oraz Wiesela i wsp. stosowano identyczne warunki fermentacji. W obu przeprowadzonych badaniach, przy zastosowaniu czystych kultur grzybów strzępkowych, zaobserwowano wzrost zawartości: karotenoidów i ergosterolu oraz niewielkie obniżenie zawartości witaminy K_1 . Wiesel i wsp. zaobserwowali również wzrost zawartości: ryboflawiny, pirydoksyny, niacyny, biotyny, kwasu foliowego, oraz nieznaczne obniżenie ilości witaminy E i tiaminy. Jednak po zastosowaniu do fermentacji mieszanych kultur grzybów strzępkowych i bakterii obserwowano większe ilości zawartych w tempeh witamin: ryboflawiny i kwasu foliowego, oraz zmniejszenie ilości niacyny (42). Stwierdzono również w produkcie zwiększenie zawartości witaminy B_{12} . W tempeh przygotowanym poprzez fermentację z użyciem czystych kultur szczepu *R. oligosporus* NRRL 2710 ilość cyjanokobalaminy wynosiła 0,03-0,06 $\mu\text{g}/100$ g, natomiast w tempeh zakupionym w Indonezji i przygotowanym tradycyjną metodą ilość witaminy B_{12} wynosiła 4,6 $\mu\text{g}/100$ g tempeh. Tak znaczące różnice w zawartości cyjanokobalaminy mogą być spowodowane namnożeniem w trakcie moczenia nasion bakterii *Klebsiella pneumonia*, która intensywnie syntetyzuje witaminę B_{12} (43) lub wzrostem i aktywnością metaboliczną bakterii *Citrobacter freundii* i *Brevibacterium epidermidis* syntetyzujących cyjanokobalaminy w trakcie fermentacji (42). Niewykluczone jest synergistyczne oddziaływanie wielu szczepów mikroorganizmów na syntezę witamin w przypadku zastosowania tradycyjnej technologii wytwarzania tempeh.

W niektórych doniesieniach wskazuje się na właściwości funkcjonalne tempeh związane z obecnością składników, którym od niedawna przypisuje się pozytywny wpływ na organizm człowieka. Przyczynił się do tego znacząco rozwój metod analitycznych, pozwalających na stwierdzenie obecności biologicznie aktywnych związków oraz postęp nauk medycznych, które wskazują na różnorodny wpływ na organizmy ludzi poszczególnych składników żywności. Na przykład pozytywna rola tempeh w profilaktyce chorób serca może być związana z obecnością inhibitorów ACE. ACE jest to enzym występujący w organizmie człowieka, który odpowiada za wytwarzanie angiotensyny II, związku o silnym działaniu zwiększającym ciśnienie krwi. Angiotensyna II wpływa na bezpośrednie obkurczanie tętnic i stymulację wytwarzania aldosteronu, hormonu sterydowego, związanego z nadciśnieniem tętniczym, który oddziałuje na gospodarkę wodno-elektrolitową poprzez zwiększenie zwrotnego wchłaniania sodu z utratą potasu w nerkach i negatywny wpływ na czynność śródbłonna naczyń (43,44,46).

Inhibitory ACE, jak i inne peptydy o właściwościach antyoksydacyjnych i antyza-krzepowych powstają głównie podczas proteolizy przeprowadzanej przez enzymy wytwarzane w trakcie fermentacji tempeh przez *R. oligosporus* NRRL 2710 (47).

Intensywna proteoliza może doprowadzić do powstania biologicznie czynnych aminokwasów, takich jak kwas γ -aminomasłowy, który jest neuroprzekaznikiem we współczulnym układzie nerwowym. W badaniach wykazano, że pełni on ważną rolę w obniżaniu ciśnienia krwi i zapobieganiu niektórym symptomom menopauzy, ta-

kim jak bezsenność, depresja i nerwica wegetatywna (48). Poprzez modyfikację warunków fermentacji, polegającej na zastosowaniu po 20 h fermentacji 5-godzinne go przetrzymywania w inkubatorze wypełnionym azotem, Aoki i wsp. uzyskali zwiększenie ilości kwasu γ -aminomasłowego z 30 mg/100 g s.s. w tradycyjnym tempeh do 370 mg/100 g s.s. w tempeh wytworzonym w zmodyfikowanych warunkach (7).

W badaniach, do produkcji tempeh, oprócz nasion soi, wykorzystywano również nasiona innych roślin strączkowych i ziarna zbóż. Stosowano m.in. fasolę (14), groch (16), wspięęę chińską (17), łubin (49), ciecierzycę (50), owies (51), sorgo (52), kukurydzę (53), jęczmień (54) i grykę (55). Zastosowanie innych niż soja surowców do wytwarzania tempeh może doprowadzić do powstania produktów bogatych w inne składniki funkcjonalne. Wykorzystanie do fermentacji nasion bobu spowodowało 2-krotny wzrost zawartości L-dihydroksy-feniloalaniny (L-DOPA), prekursora dopaminy, która jest neurotransmiterem odpowiedzialnym za przekazywanie impulsów między komórkami nerwowymi i prekursorem w biosyntezie noradrenaliny i adrenaliny. L-DOPA ma zastosowanie w leczeniu objawów choroby Parkinsona. Obecnie poszukuje się naturalnych źródeł tego związku, tak aby zapobiegać uciążliwym skutkom ubocznym wywoływanych przez podawanie syntetycznej L-dihydroksy-feniloalaniny (56).

Po poddaniu innych niż soja surowców fermentacji typu tempeh obserwowano podobne zmiany w fermentowanym surowcu, jak w przypadku zastosowania nasion soi. Przy zastosowaniu wspięęę chińskiej (*Vigna unguiculata*) czy grochu, obserwowano degradację cukrów z rodziny rafinozy w podobnym zakresie jak w soi (16,17), a w przypadku wykorzystania jako surowca jęczmienia stwierdzono zwiększenie ilości ergosterolu (54). Podczas fermentacji fasoli wzrost pH surowca był analogiczny jak przy fermentacji nasion soi (14). Fermentację typu tempeh stosowano też do poprawy wartości odżywczej ziaren zbóż, wykorzystując do tego celu tylko ziarna lub mieszaniny ziarno-soja (51,53). W niektórych doniesieniach wskazuje się na możliwość zwiększenia bezpieczeństwa zdrowotnego niektórych artykułów żywnościowych poprzez poddanie fermentacji z udziałem *R. oligosporus* nasion zbóż, zakażonych bardzo często mykotoksynami wytwarzanymi przez grzyby strzępkowe. Wykazano bowiem, że szczep *R. oligosporus* NRRL 2710 może rozkładać zearalenon i ochratoksynę, które wywołują u ludzi i zwierząt zmiany nowotworowe narządów wewnętrznych. Fermentacja typu tempeh może obniżyć poziom tych związków w produkcie, szczególnie przy niewielkiej ilości mykotoksyn w surowcu (57).

Podczas analizy literatury naukowej wskazuje się jednak na brak wszechstronnych badań ilościowych i jakościowych zmian w składzie chemicznym innych niż soja surowców w trakcie fermentacji typu tempeh. Dotychczasowy stan wiedzy nie pozwala również na porównanie właściwości funkcjonalnych tempeh wytworzonego z różnych nasion. Na przykład informacje dotyczące występowania właściwości antybakteryjnych w fermentowanych produktach typu tempeh, w opublikowanych do tej pory doniesieniach, opisano wyłącznie w produktach wytworzonych z soi oraz grochu (58).

4. Podsumowanie

Rozwój badań nad produktami typu tempeh świadczy o dużym zainteresowaniu możliwościami ich prozdrowotnego oddziaływania. W przeprowadzonych dalszych badaniach powinna znaleźć się odpowiedź, w jakim stopniu istnieje możliwość modelowania produktów o określonych cechach funkcjonalnych wytwarzanych za pomocą fermentacji typu tempeh. Jako narzędzia modelowania można wykorzystać sterowanie składem surowca poprzez zastosowanie odpowiednich nasion roślin lub ich mieszanin, oraz wykorzystanie różnych gatunków mikroorganizmów, stosowanych zarówno oddzielnie, jak i w rozmaitych mieszanych układach mikroorganizmów. Interesujące, jak się wydaje, są możliwości opracowania synergistycznych lub metabiotycznych układów mikroorganizmów o dokładnie poznanym składzie i mniejszej zmienności, niż przypadkowe mikroorganizmy stosowane w tradycyjnie przygotowywanych na Wyspach Indonezyjskich inokulatach. Pomimo zmienności mikroorganizmów, w licznie przeprowadzonych badaniach, jak się wydaje, potwierdza się tezę o większej zawartości składników funkcjonalnych w tempeh wyprodukowanym za pomocą tradycyjnych technologii, w porównaniu do tempeh wytworzonego za pomocą czystych kultur startowych. Zastosowanie nowych surowców otwiera interesujące możliwości wytwarzania produktów o niespotykanych walorach smakowych i zdrowotnych, co przy niechęci konsumentów do często modyfikowanej genetycznie soi (59), może w przyszłości okazać się komercyjnym sukcesem. W Europie istnieje zapotrzebowanie na żywność niemodyfikowaną genetycznie, ale będącą produktem rozwoju nowoczesnej biotechnologii (60).

Literatura

1. Czarnecki Z., Czarnecka M., (2006), *Tradycyjne wykorzystanie mikroorganizmów w produkcji żywności*, w: Gawęcki J., Libudzisz Z., *Mikroorganizmy w żywności i żywieniu*, 31-40, Wyd. AR, Poznań.
2. Pour A., Nikfardjam M. S., Laszlo G., Dietrich H., (2006), *Food Chemistry*, 96, 74-79.
3. Nowak J., (2006), *Żywność fermentowana w kuchniach różnych narodów*, w: Gawęcki J., Libudzisz Z., *Mikroorganizmy w żywności i żywieniu*, 81-92, Wyd. AR, Poznań.
4. Nout M. J. R., Kiers J. L., (2005), *Journal of Applied Microbiology*, 98, 789-805.
5. Astuti M., Meliala A., Dalais F. S., Wahlqvist M. L., (2000), *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 9 (4), 322-325.
6. Denter J., Rehm H. J., Bisping B., (1998), *International Journal of Food Microbiology*, 45, 129-134.
7. Aoki H., Uda I., Tagami K., Furuya Y., Endo Y., Fujimoto K., (2003), *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 67 (5), 1018-1023.
8. Rusmini S., Ko S. D., (1974), *Applied Microbiology*, 28 (3), 347-350.
9. Ogawa Y., Tokumasu S., Tubaki K., (2004), *Mycoscience*, 45, 271-276.
10. Sparringa R. A., Owens J. D., (1999), *Enzyme and Microbial Technology*, 25, 677-681.
11. Piskorz J., Nowak J., Szabotko K., (1994), *Acta Biotechnologica*, 14 (1), 105-110.
12. Reu J. C., (1995), *Solid substrate fermentation of soya beans to tempe*, *Process innovations and product characteristics*, Agriculture University of Wageningen, Wageningen
13. Miszkiewicz H., Bizukojc M., Rozwandowicz A., Bielecki S., (2005), *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 8 (2).

14. Miszkiewicz H., (2005), *Zmiany właściwości prozdrowotnych nasion roślin strączkowych w procesie fermentacji przy udziale Rhizopus oligosporus*, w: Kołakowski E., Bednarski W., Bielecki S., *Enzymatyczne modyfikacje składników żywności*, Wyd. AR, Szczecin, 479-492.
15. Gawęcki J., Zielke M., (1998), *Żywność – wartość odżywcza i jakość zdrowotna*, w: Gawęcki J., *Żywnienie człowieka. Podstawy nauki o żywieniu*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 325-326.
16. Nowak J., Szebiotko K., (1992), *Food Microbiology*, 9, 37-43.
17. Egonlety M., Aworh O. C., (2003), *Journal of Food Engineering*, 56, 249-254.
18. Rehms H., Barz W., (1995), *Applied Microbiology and Biotechnology*, 44, 47-52.
19. Graffham A. J., Gordon M. H., Westby A., Owens J. D., (1995), *Letters in Applied Microbiology*, 21, 223-227.
20. Ahn H. J., Kim J. H., Jo C., Kim M. J., Byun M. W., (2004), *Food Chemistry*, 88, 173-178.
21. Kasaoka S., Astuti M., Uehara M., Suzuki K., Goto S., (1997), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 195-198.
22. Czarnecka M., Roszyk H., Czaczyk K., Nowak J., (2003), *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna*, VIII (1), 41-48.
23. Duncan A. M., Phipps W. R., Kurzer M. S., (2003), *Best Practice & Research Clinical Endocrinology and Metabolism*, 17 (2), 253-271.
24. Adlercreutz H., (1999), *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 7, 201-207.
25. Albertazzi P., Purdie D. W., (2002), *Maturitas*, 42, 173-185.
26. Jasińska I., Michniewicz J., (2005), *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna*, X (2), 120-127.
27. Nakajima N., Nozaki N., Ishihara K., Ishikawa A., Tsuj H., (2005), *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100 (6), 685-687.
28. Ziemiański Ś., Budzyńska-Topolowska J., (1997), *Wegetarianizm w świecie nauki o żywności i żywieniu*, Instytut Danone – Fundacja Promocji Zdrowego Żywnienia, Warszawa, 116-117.
29. Libudzisz Z., (2006), *Żywność probiotyczna*, w: Gawęcki J., Libudzisz Z., *Mikroorganizmy w żywności i żywieniu*, 93-102, Wyd. AR, Poznań.
30. Steinkraus K. H., Hwa Y. B., Buren J. P., Povvidenti M. I., Hand D. B., (1960), *Food Research*, 25, 777-788.
31. Murata K., Ikehata H., Miyamoto T., (1967), *Journal of Food Science*, 22, 580-586.
32. Wang H. L., Ruttel D. I., Hesseltnie C. W., (1969), *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 131, 579-583.
33. Kobayasi S., Okazaki N., Koseki T., (1992), *Biotechnology, and Biochemistry*, 56 (1), 94-98.
34. Kiers J. L., Nout M. J. R., Rombouts F. M., Nabuurs M. J. A., Meulen J., (2002), *Letters in Applied Microbiology*, 35, 311-315.
35. Trojanowska K., Giebel H., Gołębiowska B., (1996), *Mikrobiologia żywności*, Wyd. AR, Poznań, 95.
36. Karyadi D., Lukito W., (1996), *Nutrition Reviews*, 54, S94-S98.
37. Karmini M., Affandi E., Hermana, Karyadi D., Winarno F., (1997), *The inhibitory effect of tempe on Escherichia coli infection*, in: *International Tempe Symposium*, Bali, Indonesia: Indonesian Tempe Foundation.
38. Kiers J. L., Meijer J. C., Nout M. J. R., Rombouts F. M., Nabuurs M. J. A., Meulen J., (2003), *Journal of Applied Microbiology*, 95, 545-552.
39. Karyadi D., Lukito W., (2000), *Nutrition*, 16, 697.
40. Keuth S., Bisping B., (1993), *Journal of Applied Bacteriology*, 75, 427-434.
41. Denter J., Rehm H. J., Bisping B., (1998), *International Journal of Food Microbiology*, 45, 129-134.
42. Wiesel I., Rehm H. J., Bisping B., (1997), *Applied Microbiology and Biotechnology*, 47, 218-225.
43. Okada N., (1989), *JARQ*, 22, 310-316.
44. Leeuw P., (1999), *The American Journal of Cardiology*, 84 (2A), 5K-6K.
45. Anonim, *Humoralne układy presyjne*, www.docedu.klwrp.pl
46. Januszewicz A., (2001), *Zarys budowy i funkcji układu renina-angiotensyna*, *Medycyna Praktyczna*, www.mp.pl
47. Gibbs B. F., Zougman A., Masse R., Mulligan C., (2004), *Food Research International*, 37, 123-131.
48. Aoki H., Furuya Y., Endo Y., Fujimoto K., (2003), *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 67 (8), 1806-1808.

49. Fudiyansyah N., Petterson D. S., Bell R. R., Fairbrother A. H., (1995), *International Journal of Food Science and Technology*, 30, 297-305.
50. Reyes-Moreno C., Romero-Urias C. A., Milan-Carrillo J., Gomes-Garza R. M., (2000), *Food Science and Technology International*, 6, 251-258.
51. Nowak J., (1992), *Acta Biotechnologica*, 12, 345-348.
52. Mugula J. K. Lyimo M., (2000), *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 51, 269-277.
53. Cuevas-Rodriguez E. O., Milan-Carrillo J., Mora-Escobedo R., Cardenas-Valenzuela O. G., Reyes-Moreno C., (2004), *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 37, 59-67.
54. Feng X. M., Eriksson A. R. B., Schurer J., (2005), *International Journal of Food Microbiology*, 104, 249-256.
55. Handoyo T., Maeda T., Urisu A., Adachi T., Morita N., (2006), *Food Research International*, 39, 598-605.
56. Randhir R., Vattem D., Shetty K., (2004), *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 235-244.
57. Varga J., Peteri Z., Tabori K., Teren J., Vagvolgyi C., (2005), *International Journal of Food Microbiology*, 99, 321-328.
58. Nowak J., Steinkraus K. H., (1988), *Nutrition Reports International*, 38, 1163-1172.
59. Twardowski T., Zimny J., Twardowska A., (2003), *Biobezpieczeństwo biotechnologii*, Agencja Edytor, Poznań, 103-107.
60. Anonim, (2006), *European Biotechnology*, 5, 10.