

DOMINIK SZWAJGIER, ZDZISŁAW TARGOŃSKI

ARABINOKSYLANY ZE SŁODU ŹRÓDŁEM NATURALNEGO PRZECIWUTLENIACZA – KWASU FERULOWEGO I BŁONNIKA POKARMOWEGO W PIWIE

Streszczenie

Ostatnio obserwuje się tendencję do zastępowania syntetycznych przeciwutleniaczy dodawanych do żywności produktami naturalnymi zawierającymi takie substancje. W artykule scharakteryzowano rolę, jaką kwas ferulowy, główny kwas fenolowy jęczmienia i słodu, odgrywa w kształtowaniu potencjału przeciwutleniającego piwa. Przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat aktywności przeciwutleniającej kwasu ferulowego mierzonej w warunkach *in vitro* i *in vivo*, ponadto szczegółowo przedstawiono budowę, funkcje jak również znaczenie technologiczne arabinoksylianów i b-glukanów w czasie słodowania i produkcji piwa. Wolny kwas ferulowy dodany w niskim stężeniu do piwa jest bardzo stabilny, podczas gdy w wyższych dawkach jego zawartość gwałtownie zmniejsza się. Aktywność przeciwutleniająca kwasu ferulowego w piwie jest podobna do aktywności (+)katechiny. Jednak (+)katechina powoduje powstanie zmętnienia w piwie przy stężeniu o wiele niższym niż ma to miejsce w przypadku kwasu ferulowego. W wyższych stężeniach kwas ferulowy może więc wpływać pozytywnie na stabilność koloidalną piwa. Będąc aktywnym przeciwutleniaczem z jednym miejscem aktywnym, kwas ferulowy może blokować miejsca aktywne białek wywołujących zmętnienia i w ten sposób uniemożliwiać katechinie i jej pochodnym dostęp do białek w miejscach wiązań z polifenolami. Z tego względu, zwiększanie stężenia kwasu ferulowego w piwie w formie połączeń z cukrami może przyczynić się do zwiększenia cech prozdrowotnych piwa przy minimalnych nakładach na modyfikację procesu produkcji piwa, a zwłaszcza zacierania słodu.

Słowa kluczowe: piwo, kwas ferulowy, arabinoksyliany, aktywność przeciwutleniająca

Wprowadzenie

Współczesne procesy technologiczne produkcji piwa, soków i koncentratów soków owocowych zostały opracowane w taki sposób, aby usuwać związki fenolowe, powodujące powstawanie zmętnień. Wymagane jest coraz skuteczniejsze zapewnianie podwyższonej trwałości koloidalnej i smakowej napojów i ich naturalnego aromatu

przy wydłużonym okresie przydatności do spożycia. Ten kierunek działań spotyka się z krytyką naukowców zajmujących się żywieniem. Według obecnych wyników badań nad rolą naturalnych przeciwutleniaczy w żywności wydaje się istotne, aby prowadzić badania nad modyfikacją dotychczasowych technologii produkcji napojów, w tym piwa, w celu zwiększenia właściwości prozdrowotnych. Może to być osiągnięte dzięki wzrostowi zawartości składników piwa o charakterze przeciwutleniaczy, bez utraty pożądanych cech sensorycznych i stabilności tego napoju. Szczególną uwagę należy zwrócić na takie etapy produkcji piwa, jak słodowanie jęczmienia i zacieranie słodu.

Umiarkowane spożycie piwa zmniejsza ryzyko choroby wieńcowej serca, co przypisano obecności polifenoli w piwie, wykazujących aktywność przeciwutleniającą i zdolność wiązania wolnych rodników. Stwierdzono istotne podwyższenie całkowitej aktywności przeciwutleniającej plazmy krwi już po 1 godz. po spożyciu piwa [9]. Wykryto znaczące stężenie kwasu syringowego i synapowego w plazmie krwi. Usunięcie etanolu z piwa spowodowało ograniczenie przenikania kwasów fenolowych do krwi po spożyciu napoju, zaś całkowita aktywność przeciwutleniająca plazmy krwi nie wzrastała. Podobnie, spożycie równoważnej ilości alkoholu nie wywołało wzrostu aktywności przeciwutleniającej plazmy krwi. Wyniki badania jednoznacznie wskazywały na rolę etanolu zawartego w piwie w ułatwianiu wchłaniania związków fenolowych w przewodzie pokarmowym. W badaniach dowiedziono także, że spożycie alkoholu w ilości obecnej przeciętnie w piwie (18 g w 500 ml piwa) nie wywoływało zmian markerów „nieprawidłowej” plazmy krwi, takich jak stężenie triacylogliceroli i kwasu moczowego.

Obecne procesy technologiczne ukierunkowane są na maksymalne usuwanie związków fenolowych z piwa, gdyż są one odpowiedzialne za występowanie zmętnień w piwie, poprzez tworzenie połączeń z białkami. Z tego powodu, aktywność przeciwutleniająca piwa, mierzona np. w układzie zawierającym lipoproteiny o niskiej gęstości i plazmę ludzkiego osocza w warunkach *in vivo* jest niska w porównaniu z aktywnością innych napojów, takich jak wino i sok z winogron czy zielona lub czarna herbata [35]. Z drugiej strony, w porównaniu z niektórymi napojami o wysokiej ogólnej zawartości związków fenolowych, np. białym lub czerwonym winem, zawartość związków fenolowych w piwie jest mniejsza. Mimo to, aktywność przeciwutleniająca piwa *in vitro* w porównaniu z białym winem jest wyższa, co spowodowane jest wyższą zawartością proantocyjanidyn, epikatechiny i kwasu ferulowego w piwie [10].

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie roli, jaką kwas ferulowy, główny kwas fenolowy jęczmienia i słodu, może odgrywać w formowaniu potencjału przeciwutleniającego piwa. W opracowaniu scharakteryzowano arabinoksylany i β -glukany jęczmienia z uwzględnieniem roli obu klas polisacharydów nieskrobiowych w technologii piwa. Kwas ferulowy jest związany estrowo z arabinoksylanami, więc

modyfikacje procesu słodowania i produkcji piwa mające na celu podniesienie stężenia arabinoksylianów mogą przyczynić się do wzrostu zawartości kwasu ferulowego w piwie. Kwas ferulowy, zarówno w formie wolnej, jak i związanej estrowo, będzie w ten sposób wpływał na prozdrowotne właściwości omawianego napoju.

Budowa arabinoksylianów i ich funkcje w ścianie komórkowej jęczmienia i słodu

Arabinoksyliany stanowią od 4,4 do 7,8% suchej masy ziarna jęczmienia. Zaliczane są wraz z β -glukanami do grupy hemiceluloz, przy czym stanowią około 10–20% hemiceluloz, podczas gdy pozostałe 80–90% to β -glukany [13]. Cząsteczki arabinoksylianów stanowią liniowe łańcuchy zbudowane z reszt 1,4- β -D ksylopiranozowych, do których przyłączone są reszty α -L-arabinofuranozy w pozycjach O(3) lub O(2) ksylozy. Bardzo często występuje także substytucja w obu pozycjach jednocześnie [41]. Symulacja konformacji utworzonych przez łańcuch ksylopiranozowy pozbawiony reszt arabinofuranozydowych [21] ujawniła bardzo dużą liczbę możliwych przestrzennych konformacji łańcucha, wynoszącą ponad 100. Obecność reszt arabinofuranozydowych przyłączonych do reszt ksylopiranozowych w pozycjach O(3), O(2) lub w obu pozycjach jednocześnie wymusza powstanie o wiele mniejszej liczby prawdopodobnych konformacji o niskiej energii. Stopień przyłączenia reszt arabinofuranozowych, jak również ich przestrzenne rozmieszczenie w łańcuchu ksylopiranozowym, decyduje o fizycznych i biologicznych właściwościach arabinoksylianów.

Zarówno arabinoksyliany, jak i β -glukany pełnią w ścianie komórkowej bielma ważną rolę budulcową, tworząc mechanicznie odporny szkielet, przy czym istotniejszą rolę, ze względu na wyższą zawartość, spełnia β -glukan. Zawartość arabinoksylianów w poszczególnych częściach ziarna jęczmienia jest następująca: 46% w łusce, 6% w perikarpie, 24% w warstwie aleuronowej i subaleuronowej, zaś 24% w endospermie. Arabinoksyliany jęczmienia stanowią około 25% składu ściany komórkowej endospermy [1]. Ponieważ warstwa aleuronowa jest ważnym źródłem enzymów degradujących skrobię, spowolniony lub utrudniony rozkład ścian komórkowych warstwy aleuronowej może spowodować utrudnione uwalnianie wspomnianych enzymów do wnętrza komórek endospermy. Może to w rezultacie prowadzić do niewłaściwego rozkładu skrobi. Całkowita degradacja arabinoksylianów w ścianach komórkowych wymaga obecności kompleksu enzymów, m.in. endo- i egzo-(1-4)- β -ksylanazy, esterazy kwasu ferulowego, esterazy kwasu octowego i arabinofuranozydazy. Enzymy te są syntetyzowane w czasie słodowania ziarna jęczmienia [24].

Arabinoksyliany ścian komórkowych roślin z rodziny *Graminaceae* tworzą różnorodne wiązania z ligninami. Najpowszechniejszym wiązaniem między tymi

dwoma składnikami ściany komórkowej jest wiązanie estrowe poprzez 5-O-feruloarabinofuranozę. W ścianach komórkowych ziarna ryżowego występują ponadto wiązania eterowe poprzez arabinozę w pozycji 5-O oraz w mniejszych ilościach, wiązania estrowe między ligniną i resztą ksylopiranozową oraz wiązania eterowe poprzez pozycje O-2 i O-3 reszt ksylopiranozowych. Występowanie różnorodnych wiązań łączących dwie frakcje tworzące ściany komórkowe ma ważne implikacje ze względu na możliwości degradacji ścian komórkowych i uzyskiwanie struktur aktywnych biologicznie, takich jak wolne kwasy fenolowe oraz ich połączenia estrowe z arabinoksylianami [38].

Z arabinoksylianami ściany komórkowej związany jest kwas ferulowy, będący integralną częścią budowy łańcuchów tych polisacharydów. Kwas ferulowy jest głównym kwasem fenolowym obecnym w jęczmieniu, a także w ścianach komórkowych innych roślin z rodziny *Graminaceae*, np. pszenicy, ryżu, kukurydzy, owsa i sorgo [2]. Około 75% kwasu ferulowego znajduje się łusce ziarniaka, około 15% w endospermie ziarna, zaś pozostała część zawarta jest w warstwie aleuronowej [4]. Kwas ferulowy w arabinoksylianach jęczmienia jest połączony przeciętnie z co piętnastą resztą α -L-arabinofuranozydową łańcucha arabinoksylianozowego za pomocą wiązania estrowego w pozycji C5 arabinofuranozy. Całkowita zawartość kwasu ferulowego w 18 odmianach jęczmienia dwurzędowego i sześciorzędowego, oznaczona metodą HPLC, wynosiła w zależności od odmiany od 343,2 do 579,7 $\mu\text{g/g}$ ziarna [42]. Zestryfikowane reszty kwasu ferulowego mają zdolność łączenia się ze sobą i tworzenia dimerów ferulowych. Uważa się, że mostki diferulowe zapewniają naturalną barierę ochronną przed atakiem szkodników ziarna i drobnoustrojami. Tworzenie mostków diferulowych między cząsteczkami kwasu ferulowego sąsiadujących ze sobą łańcuchów polisacharydów poprzez wytworzenie wiązań estrowych może także odgrywać pewną rolę w zatrzymywaniu wzrostu komórek. Pod wpływem czynników utleniających, takich jak nadtlenek wodoru lub peroksydaza i w obecności ferulowanych arabinoksylianów wyizolowanych z mąki pszennej, w roztworach modelowych następuje tworzenie mostków diferulowych, przez co wzrasta lepkość roztworu [28]. Badania nad nierozpuszczalnymi frakcjami błonnika pokarmowego roślin z rodziny *Graminaceae* (pszenicy, jęczmienia, owsa, kukurydzy i ryżu) pozwoliły na identyfikację kilku form dehydrodimerów kwasu ferulowego. Omawiane struktury powstają w wyniku tworzenia przez kwas ferulowy par dimerów połączonych wiązaniami 8-8', 8-5', 8-O-4' i 5-5'. Kwas ferulowy połączony wiązaniami estrowymi i eterowymi może być uwalniany z opisywanych połączeń przez łagodną hydrolizę zasadową. Przeważające formy występowania kwasu ferulowego w omawianych połączeniach to aryl diferulowy z wiązaniami 8-8' i 5-5' między resztami kwasu ferulowego. Analiza błonnika pokarmowego wskazuje, że kwas ferulowy w formie połączeń eterowych stanowi w tym materiale ponad 60% ogólnej zawartości

rozważanego kwasu [25]. Z błonnika surowego kukurydzy wyizolowano i scharakteryzowano strukturę dehydrotrimeru kwasu ferulowego charakteryzującą się wiązaniami 5-5/8-O-4. Występowanie wiązania 5-5' dimerowego w strukturze zidentyfikowanego trimeru kwasu ferulowego sugeruje tworzenie mostków poprzecznych między trzema łańcuchami polisacharydowymi [5]. W słomie traw z rodziny *Graminaceae* zidentyfikowano także połączenia kwasu ferulowego z alkoholem koniferylowym poprzez wiązanie eterowe. Opisana struktura bierze udział w tworzeniu mostków z ligniną i formowanie struktury ściany komórkowej przez „zakotwiczenie” ligniny i polisacharydów strukturalnych [18]. Kwas ferulowy podnosi hydrofobowość cząsteczek arabinoksylianów i obniża ich rozpuszczalność, więc związany kwas ferulowy może być czynnikiem antyżywnościowym dla zwierząt hodowlanych, ograniczającym spożycie pasz zawierających zboża. Zaobserwowano także związek między twardością ziarniaków pszenicy i zawartością kwasu ferulowego [14].

Znaczenie arabinoksylianów i β -glukanów w technologii słodowania i produkcji piwa

Pomimo, że całkowita zawartość arabinoksylianów w ziarnie jęczmiennym jest niewielka, mają one duże znaczenie technologiczne w browarnictwie, zwłaszcza gdy stosuje się także surowce niesłodowane. nierozpuszczalna w wodzie frakcja arabinoksylianów jęczmienia wynosi ok. 86% [37]. Podobnie arabinoksyliany zawarte w słodzie jęczmiennym rozpuszczają się w wodzie jedynie w niewielkim stopniu. Rozpuszczalne w wodzie frakcje arabinoksylianów pochodzące z jęczmienia i słodu charakteryzują się wysokim stopniem substytucji reszt ksylopiranozowych przez arabinozę w pozycjach O-(2) i O-(3) ksylozy [15,16]. Ponadto, arabinoksyliany rozpuszczalne w wodzie mają wysokie masy cząsteczkowe, zaś stosunek zawartości reszt arabinofuranozowych do ksylopiranozowych jest wysoki. Około 50% reszt ksylozowych nie jest podstawionych resztami arabinozy, około 31% jest podstawionych przez dwie reszty arabinofuranozydowe, a około 3,5% jest podstawionych w pozycji O-3 i 8,5% w pozycji O-2. Podstawienie reszt ksylozowych w dwóch pozycjach jednocześnie jest przyczyną obniżonej podatności arabinoksylianów na degradację enzymatyczną w czasie zacierania słodu. Zauważono negatywny wpływ arabinoksylianów o wyższych masach cząsteczkowych dochodzących do $1 \cdot 10^6$ Da na przebieg filtracji brzezki, przy czym stosowanie wysokiej temperatury w czasie zacierania słodu, a następnie szybkie jej obniżanie przyspiesza procesy agregacji długich łańcuchów arabinoksylianowych i tworzenie kompleksów zwiększających lepkość [8].

W odróżnieniu od arabinoksylianów, β -glukany zawarte w jęczmieniu są w dużej części rozpuszczalne w gorącej wodzie. Wysalanie arabinoksylianów przy użyciu

roztworu siarczanu amonu powoduje tworzenie agregatów złożonych zarówno z arabinoksylianów, jak i β -glukanów. Przyczyną tego zjawiska jest tworzenie połączeń łańcuchów β -glukanowych z arabinoksylianami. Za tworzenie połączeń tych dwóch polisacharydów odpowiedzialne są długie fragmenty obu polisacharydów o charakterystycznej budowie. W przypadku arabinoksylianów są to łańcuchy β -(1-4)-ksylopiranozowe, w których reszty ksylozowe nie są podstawione przez reszty arabinofuranozowe. W przypadku β -glukanów są to długie fragmenty liniowe glukozy połączone wiązaniami β -(1-4), przypominające swoją budową łańcuchy celulozowe. Obie charakterystyczne cechy struktury polimerów wpływają na występowanie ugrupowań łańcuchów w wyniku tworzenia niekowalentnych interakcji. Oddziaływania pomiędzy fragmentami łańcuchów obu polisacharydów mogą wystąpić, o ile niepodstawione liniowe łańcuchy arabinoksylianów i β -glukanów mają wystarczającą długość do wytworzenia odpowiedniej liczby wiązań wodorowych [17]. W ścianach komórkowych roślin połączenia obu polisacharydów mogą wpływać na zmniejszenie podatności na enzymatyczną degradację oraz słabszą rozpuszczalność w wodzie. W roztworze, np. w brzeczce piwnej, w obecności soli mineralnych oddziaływania typu polimer-polimer są znacznie ułatwione. Ponadto działanie enzymów, np. lichenazy lub 1,4-endoksylianazy przyczynia się do znacznego zwiększenia reaktywności łańcuchów β -glukanów i arabinoksylianów w wyniku odsłaniania prostych, niepodstawionych fragmentów podobnych w swej budowie do celulozy (w przypadku β -glukanów) i prostych fragmentów łańcuchów ksylianopiranozowych. Opisane interakcje mogą przyczyniać się do potęgowania niekorzystnych zjawisk zachodzących w roztworze, w którym obecne są β -glukany w podwyższonym stężeniu. Arabinoksyliany mogą być w związku z tym wskazywane jako polisacharydy zwiększające lepkość brzeczki i wzmagające problemy z jej filtracją, obniżające uzysk ekstraktu, powodujące tworzenie zmętnień piwa i wytrącanie się osadu [32]. Pentozanom przypisuje się podwyższenie strat brzeczki w wyniku wiązania wody przez młóto browarnicze w czasie filtracji brzeczki, ponieważ mogą one wiązać wodę w ilości kilkakrotnie przekraczającej ich własną masę [31]. Pod wpływem nadtlenu wodoru oraz peroksydazy arabinoksyliany podwyższają lepkość roztworu, przy czym zawartość reszt kwasu ferulowego w formie zestryfikowanych monomerów nie ma wpływu na przebieg procesu, lecz na wzrost lepkości wpływają dimery tego kwasu. Główne czynniki wpływające na zdolność arabinoksylianów do tworzenia ferulowych mostków poprzecznych i zwiększania lepkości, to masa cząsteczkowa arabinoksylianów, stosunek zawartości arabinozy do ksylozy w cząsteczce oraz stopień czystości polimeru [27].

W czasie słodowania ziarna jęczmienia, polisacharydy nieskrobiowe ulegają częściowej degradacji, której stopień zależy od rodzaju polisacharydu oraz jego

rozmieszczenia w ziarniaku. Największe zmiany zachodzą w endospermie i w warstwie aleuronowej ziarna. O ile β -glukany w czasie słodowania są hydrolizowane w znacznym stopniu, to arabinoksyłany są o wiele bardziej odporne na działanie enzymów w czasie tego procesu. Wykorzystanie jęczmienia o podwyższonej zawartości β -glukanów wpływa ujemnie na stopień modyfikacji endospermy, zwłaszcza w pierwszych etapach słodowania [13]. Co więcej, zawartość β -glukanów w gotowym słodzie jest ujemnie skorelowana z ekstraktywnością słod, zaś wyższy stopień enzymatycznej modyfikacji endospermy powoduje uzyskanie wyższego ekstraktu brzezki. Zawartość rozpuszczalnych frakcji arabinoksyłanowych i ich modyfikacja jest dodatkowo skorelowana z ekstraktywnością słod. Zawartość arabinozy i ksylozy wyizolowanej z frakcji polisacharydów nieskrobiowych (PN) w stosunku do glukozy wzrasta po słodowaniu, co świadczy o nierozpuszczalności arabinoksyłanów w wodzie; z drugiej strony, spadek zawartości glukozy we frakcji PN po słodowaniu dowodzi, że większa część β -glukanów występuje w jęczmieniu i słodzie w formie rozpuszczalnej w wodzie [12]. Wyniki frakcjonowanego wytrącania polisacharydów nieskrobiowych za pomocą etanolu wskazują, że arabinoksyłany ze słod różnią się od arabinoksyłanów jęczmienia stosunkiem arabinozy do ksylozy w cząsteczce, gdyż w arabinoksyłanach słod stosunek ten jest niższy w porównaniu z arabinoksyłanami jęczmienia. Analizy struktury arabinoksyłanów z jęczmienia za pomocą metylacji wykazały, że około 43% reszt ksylopiranozowych jest podstawiona w pozycji C2 i C3, 22% w pozycji C2 i 34% w pozycji C3 reszty ksylopiranozowej. W przypadku słod, stopień podstawienia wynosi odpowiednio 39, 28 i 33% [33]. Analiza połączeń reszt ksylopiranozowych z resztami arabinofuranozowymi wskazuje, że stopień substytucji nie jest jedynym czynnikiem wpływającym na rozpuszczalność arabinoksyłanów. Wpływ na przechodzenie tych makromolekuł do roztworu w czasie produkcji brzezki może mieć także sposób rozmieszczenia reszt arabinofuranozydowych wzdłuż głównego łańcucha ksylopiranozowego. W przypadku, gdy dłuższe odcinki łańcuchów ksylopiranozowych pozbawione są reszt arabinofuranozydowych, bardziej prawdopodobne są interakcje regularnych liniowych cząsteczek arabinoksyłanu między sobą lub też z łańcuchem „celulozowym”, czyli niepodstawionym β -glukanem. Ponadto, wysoki stopień substytucji łańcuchów arabinoksyłanowych może wpływać na łączenie się cząsteczek arabinoksyłanów z białkami [12]. O częściowej degradacji arabinoksyłanów w czasie słodowania ziarna jęczmiennego świadczy obecność wolnej ksylozy i arabinozy w gotowym słodzie, zaś nieobecne są rozpuszczalne w wodzie frakcje arabinoksyłanów o większych masach cząsteczkowych [32]. W innych badaniach, w których porównywano budowę arabinoksyłanów jęczmienia, słod i wyprodukowanej z niego brzezki wykazano, że różnice w budowie arabinoksyłanów jęczmienia, słod i brzezki są niewielkie, niezależnie od odmiany jęczmienia [31]. Cechą charakterystyczną arabinoksyłanów pochodzących ze wszystkich trzech

badanych materiałów była duża zawartość reszt ksylopiranozowych, podstawionych przez reszty arabinofuranozydowe w pozycji O2. Inną charakterystyczną cechą arabinoksylianów jest obecność około 2% reszt arabinofuranozowych podstawionych do końcowej reszty ksylopiranozowej w cząsteczce arabinoksylianu. Istotna różnica między arabinoksylianami jęczmienia (słodu) oraz brzezki polega na niższym stosunku arabinozy do ksylozy w brzezce, prawdopodobnie z uwagi na obecność pentozanów pochodzących z łuski i kielków liścieniowych. Wyniki badań potwierdziły także wysoką zawartość w brzezce ksylozy połączonej z resztami arabinofuranozowymi w pozycjach O2 i O3 reszty ksylopiranozowej, jak również zawartość reszt ksylopiranozowych podstawionych tylko w jednej ze wspomnianych pozycji.

W przypadku wykorzystania do produkcji brzezki słodu o odpowiednim stopniu rozluźnienia i degradacji β -glukanów, arabinoksyliany stanowią główny składnik polisacharydów nieskrobiowych w brzezce i w wysłodzinach. Badania wskazują, że stosunek całkowitej zawartości arabinozy do zawartości ksylozy w czasie słodowania obniżył się i wynosił w przypadku jęczmienia 0,7, w gotowym słodzie około 0,6, zaś w brzezce 0,5 [12]. W czasie gotowania brzezki nie występują zmiany stosunku zawartości arabinozy i ksylozy. Niskocząsteczkowe arabinoksyliany obecne w brzezce mają niższy stosunek ara:ksyl niż arabinoksyliany o wyższych masach cząsteczkowych, wytrącające się w obecności 80% etanolu. W arabinoksylianach znajdujących się w brzezce arabinoza występuje głównie w położeniu terminalnym cząsteczki arabinoksylianów, zaś reszty ksylopiranozowe połączone są głównie wiązaniami 1,4 jak również 1,2,3,4 i 1,2,4 lub 1,3,4. Stosunek całkowitej zawartości arabinozy do zawartości ksylozy w młócie jest niższy niż w brzezce po gotowaniu, co świadczy o występowaniu dłuższych łańcuchów arabinoksylianowych w tym ubocznym produkcie piwowarskim. Obecność reszt arabinofuranozowych w pozycjach O2 i O3 lub też w obu jednocześnie w łańcuchu arabinoksylianowym hamuje degradację arabinoksylianów w czasie słodowania, jak również w czasie zacierania słodu. Dalszą degradację arabinoksylianów w brzezce może zapewnić zastosowanie endo-1,4- β -ksylanazy pochodzenia grzybowego lub bakteryjnego [34].

Kwas ferulowy jest głównym kwasem fenolowym jęczmienia i słodu związanym jednocześnie w przeważającej części estrowo z arabinoksylianami i jedynie przeciętnie około 0,6% tego kwasu jest obecna w ziarnie jęczmienia w formie wolnej [42]. Zawartość arabinozy w brzezkach niechmielonych wyprodukowanych ze słodów pszennych i jęczmiennych wynosiła od 570 do 650 mg/l, podczas gdy w brzezkach po chmieleniu od 670 do 940 mg/l. Zawartości ksylozy w tych samych brzezkach wynosiła odpowiednio 1150–1230 i 1340–1810 mg/l. Badania piw wykazały, że zawartość błonnika pokarmowego w piwie była znaczna i wynosiła od 183 do 3534 mg/l napoju, w zależności od gatunku piwa. Najwyższą zawartość błonnika

stwierdzono w piwach pszennych typu Doppelbock i Rauchbier [31]. Zawartość błonnika pokarmowego poniżej 1 g/l oznaczono w piwach bezalkoholowych, w piwach dietetycznych, podczas gdy w piwach pszennych i ciemnych mocnych zawartość błonnika pokarmowego przekraczała 2 g/l. W innych badaniach oznaczano zawartość β -glukanów i arabinoksylianów w 15 komercyjnych piwach różniących się zawartością ekstraktu rzeczywistego, alkoholu i cukrów ogółem [29]. Stężenie arabinoksylianów w piwach jasnych wynosiło 51,4 mg/100 cm³ a w piwach pszennych 421,1 mg/100 cm³. Co ważne, zawartość β -glukanów we wszystkich badanych piwach była kilkakrotnie niższa niż zawartość arabinoksylianów i wynosiła maksymalnie 24,77 mg/100 cm³. Wyniki badań wskazują, że arabinoksyliany mogą stanowić do 10% zawartości węglowodanów w piwie i występują w nim w znacznej przewadze nad β -glukanami. Należy jednak podkreślić, że w obu przytoczonych pracach badawczych wykorzystywano piwa wyprodukowane z dodatkiem słodu pszennego, zaś surowiec ten charakteryzuje się wyższą zawartością arabinoksylianów niż sód jęczmienny, niemniej jednak wyższą zawartość frakcji arabinoksylianów w stosunku do frakcji β -glukanów zanotowano w przypadku wszystkich badanych piw, także jęczmiennych. Biorąc pod uwagę tak dużą różnicę zawartości obu polisacharydów nieskrobiowych w piwie, zastanawiać może fakt, że zainteresowanie arabinoksylianami jest od wielu lat o wiele mniejsze niż β -glukanami.

Przeciwutleniające właściwości kwasu ferulowego

Kwas ferulowy wykazuje silną aktywność przeciwutleniającą, dzięki czemu może przyczyniać się do ochrony bogatej w lipidy warstwy aleuronowej ziarna już na etapie produkcji słodu. Właściwości przeciwutleniające kwasu ferulowego wykazano za pomocą wielu metod, takich jak metody chemiluminescencyjne oraz metody z wiązaniem rodników hydroksylowych i ponadtlenkowych. W badaniach prowadzonych w układach modelowych aktywność kwasu ferulowego mierzona za pomocą metody chemiluminescencyjnej była zbliżona do aktywności silnych przeciwutleniaczy, takich jak (+)katechyna, kwercetyna i rutyna. W metodzie z użyciem rodników hydroksylowych aktywność wiązania wolnych rodników w układzie zawierającym 2-deoksyrybozę przez kwas ferulowy jest wyższa niż aktywność wymienionych przeciwutleniaczy. Co więcej, w wymienionym układzie badawczym, (+)katechyna i kwercetyna, związki przeciwutleniające zawarte w znacznych stężeniach w piwie, wykazywały aktywność prooksydacyjną, jeśli były obecne w stężeniu wynoszącym 0,1 mg/ml. Podobnie, rutyna wykazywała aktywność prooksydacyjną w niskich stężeniach w układzie badawczym zawierającym 2-deoksyrybozę i rodniki hydroksylowe. W mieszaninie reagującej zawierającej rodniki ponadtlenkowe katechyna wykazywała natomiast wyższą aktywność przeciwutleniającą

niż kwas ferulowy. Kwas ferulowy był w omówionych układach badawczych skutecznym przeciwutleniaczem, gdyż był donorem wodoru lub elektronów. Powstająca forma rodnikowa była względnie stabilna z uwagi na delokalizację elektronów i brak odpowiednich miejsc w cząsteczce podatnych na atak tlenu [39].

W badaniach *in vitro* prowadzonych w układzie badawczym mierzącym stopień wiązania rodników ponadtlennokowych, kwas ferulowy wykazywał wysoką aktywność przeciwutleniającą ze względu na obecność grupy hydroksylowej w położeniu para- oraz metoksyłowej w położeniu meta- w pierścieniu fenolowym [20]. Aktywność przeciwutleniająca kwasu ferulowego była wyższa niż aktywność pochodnych kwasu benzoowego (p-hydroksybenzoowego, protokatechowego, waniliowego i syringinowego). Wysoka aktywność przeciwutleniająca pochodnych kwasu cytrynowego, do których należy kwas ferulowy, wynika z obecności podwójnego wiązania w łańcuchu propionowym, które przyczynia się do stabilizacji rodnika fenoksyłowego na drodze rezonansu. Ponadto, grupa karboksylowa kwasu oddziałuje na pierścień fenolowy, mając ujemny wpływ na zdolność atomów wodoru pierścienia fenolowego do oddawania elektronów. Kwas ferulowy, który ma jedną grupę hydroksylową w pozycji para- oraz jedną grupę metoksyłową w pozycji meta- wykazuje aktywność przeciwutleniającą niższą od aktywności przeciwutleniającej kwasu kawowego (dwie grupy OH w pozycjach meta- i para) i sinapinowego (dwie grupy metoksyłowe w pozycjach meta- i para-). W innych badaniach prowadzonych w środowisku lipofilowym [7] stwierdzono, że kwas ferulowy hamuje autooksydację linolenianu metylowego skuteczniej niż pochodne kwasu benzoowego (kwas p-hydroksybenzoowy, salicyłowy, wanilinowy, syringinowy i galusowy), jednak mniej efektywnie niż wszystkie pochodne kwasu cytrynowego, oprócz kwasu p-kumarowego. Wykazano, że kwas ferulowy nie hamuje utleniania lipoprotein o niskiej gęstości w obecności jonów miedziowych [20]. Jednak inni autorzy [19] wskazują na wysoką aktywność kwasu ferulowego w zakresie hamowania utleniania lipoprotein o niskiej gęstości.

Przyczyną niższej aktywności przeciwutleniającej kwasu ferulowego w stosunku do kwasów fenolowych, takich jak chlorogenowy, kawowy, neochlorogenowy jest, jak wcześniej wspomniano, obecność większej liczby grup hydroksylowych w sąsiadujących pozycjach. Kwas p-kumarowy ma niższą aktywność przeciwutleniającą od kwasu ferulowego z uwagi na obecność tylko jednej grupy hydroksylowej. Kwas ferulowy zestryfikowany resztą arabinofuranozydową (*FA-Araf*), w porównaniu z wolnym kwasem ferulowym, wykazuje wyższą aktywność przeciwutleniającą w stosunku do frakcji lipoprotein o niskiej gęstości (LDL) w obecności jonów miedziowych [22, 23]. Estryfikacja kwasu p-kumarowego lub ferulowego kwasem winowym podnosiła aktywność przeciwutleniającą w stosunku do frakcji lipoprotein o niskiej gęstości (LDL). Wyższa aktywność przeciwutleniająca obu kwasów fenolowych po estryfikacji kwasem

winowym była spowodowana większą zdolnością kwasu fenolowego do wiązania się do obszaru cząsteczki lipoproteiny noszącej nazwę apolipoproteina B. Aktywność wykazywana przez przeciwutleniacze była bardzo uzależniona od zastosowanego układu badawczego. Stwierdzono brak aktywności hamowania utleniania kwasów tłuszczowych w smalcu i oleju kukurydzianym przez kwas ferulowy, podczas gdy w teście z rodnikiem DPPH^{*} kwas ferulowy był skuteczniejszym przeciwutleniaczem niż butylohydroksytoluen [6]. W innych badaniach stwierdzono, że w teście z rodnikami DPPH^{*} kwas ferulowy wykazywał aktywność przeciwutleniającą nieco niższą niż rutyna i kwercetyna, zaś był skuteczniejszym przeciwutleniaczem niż resweratrol i butylohydroksyanizol (BHA) [26].

W lipofilowym układzie badawczym, z wolnymi rodnikami ponadtlennymi, zawierającym kwas linolowy jako substrat, pochodne kwasu hydroksycynamonowego wykazywały wyższą aktywność przeciwutleniającą ze względu na obecność grupy $-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$. W układzie hydrofilowym hamowanie aktywności lipooksygenazy było skuteczniejsze w przypadku pochodnych kwasu hydroksybenzoesowego [7]. Dane te wskazują na zasadnicze znaczenie polarności rozpuszczalnika użytego do oznaczeń potencjalnej aktywności przeciwutleniającej, w tym przypadku w odniesieniu do kwasu ferulowego.

Kwas ferulowy jest bardzo aktywnym związkiem o działaniu antymutagennym [40]. Wykazuje silną aktywność hamowania uszkodzeń DNA w koloniach komórek nabłonka okrężnicy myszy po indukcji za pomocą benzo- α -pirenu. Należy podkreślić, że aktywność kwasu ferulowego jest wyższa niż aktywności tak silnych przeciwutleniaczy w warunkach *in vitro*, jak: butylohydroksytoluen, kwas kawowy, kwas elagowy i kwercetyna. W innych badaniach [30] dowiedziono, że kwasy: ferulowy, kawowy, elagowy i chlorogenowy wydajnie redukowały częstotliwość wystąpienia inicjacji nowotworu języka u szczurów wywołwanego przez 1-tlenek 4-nitrochinolinu. Dieta wzbogacona w wymienione kwasy powodowała znaczny spadek częstości występowania neoplazmii języka i preneoplastycznych zapaleń bez wystąpienia toksycznych skutków ubocznych u zwierząt doświadczalnych. Sposób wchłaniania, przemieszczania i antymutagennego działania kwasów fenolowych, w tym kwasu ferulowego, w obrębie tkanek biorących udział w zmianach nowotworowych, wymaga jednak szczegółowego wyjaśnienia.

Wolny kwas ferulowy bierze udział w regulacji metabolizmu glukozy i wolnych kwasów tłuszczowych poprzez aktywność antyhiperlipidemiczną i stabilizację dyslipidemii spowodowanej wystąpieniem cukrzycy. Streptozotocyna (STZ), cytostatyk będący składnikiem wielu leków, wywołuje stres oksydacyjny w komórkach trzustki, powodując przerwanie pojedynczych łańcuchów DNA w komórkach tego organu. Efektem działania streptozotocyny jest obniżona sekrecja insuliny, co upośledza wykorzystanie glukozy przez tkanki organizmu. Szczury

żywione dietą z dodatkiem kwasu ferulowego mają unieczynnione wolne rodniki produkowane przez STZ w trzustce i w ten sposób dochodzi do obniżania toksyczności streptozotocyny. Obecność kwasu ferulowego w diecie szczurów (10 mg/kg masy ciała) stymuluje komórki beta trzustki do podwyższenia produkcji i wydzielania insuliny, co obniża poziom glukozy we krwi. Nawet w wysokim stężeniu (40 mg/kg masy ciała), kwas ferulowy nie ma toksycznego działania w przewodzie pokarmowym i nie przyczynia się do wystąpienia hipoglikemii u szczurów, co świadczy o jego przydatności w łagodzeniu objawów choroby cukrzycowej. Działanie kwasu ferulowego w regulacji działania trzustki występuje już przy małym dodatku tego kwasu fenolowego do diety (10 mg/kg masy ciała) [3]. Obecność kwasu ferulowego w diecie szczurów obniża poziom wolnych kwasów tłuszczowych, triacylogliceroli, cholesterolu i fosfolipidów w plazmie. Podobnie, jak w przypadku poziomu glukozy we krwi, kwas ferulowy skuteczniej obniża poziom wymienionych grup związków we krwi, jeśli jest obecny w diecie w małym stężeniu wynoszącym 10 mg na kilogram masy ciała. Zastosowanie wyższej dawki kwasu ferulowego w diecie (40 mg/kg masy ciała) nie ogranicza występowania wolnych kwasów tłuszczowych i triacylogliceroli, cholesterolu i fosfolipidów w plazmie w takim stopniu, jak niska dawka tego kwasu fenolowego.

Podsumowanie

Arabinoksylany są naturalnymi składnikami sło du; ponieważ w gotowym sło dzie związany z arabinoksylanami kwas ferulowy występuje w znacznej przewadze nad jego wolną formą, może okazać się konieczne zwiększenie stopnia uwolnienia omawianego kwasu w połączeniach z cukrami i jego transfer do roztworu w czasie produkcji brzezki. Arabinoksylany w połączeniach z kwasem ferulowym w jęczmieniu, obecne w brzezce, są potencjalnym bogatym źródłem kwasu ferulowego w formie związanej z krótkimi łańcuchami arabinoksylanowymi i w dużej mierze decydują one o właściwościach przeciwutleniających w piwie. Będąc aktywnym przeciwutleniaczem z jednym miejscem aktywnym, kwas ferulowy może blokować miejsca aktywne białek wywołujących zmętnienia i w ten sposób uniemożliwić katechinie i jej pochodnym dostęp do białek w miejscach wiązań z polifenolami. Z tego względu, zwiększanie stężenia kwasu ferulowego w piwie w formie połączeń z cukrami może przyczynić się do zwiększenia cech prozdrowotnych piwa przy minimalnych nakładach na modyfikację procesu produkcji piwa, a zwłaszcza zacierania sło du.

Literatura

- [1] Ahluwalia B., Fry S.C.: Barley endosperm cell walls contain a feruloylated arabinoxylan and a non-feruloylated β -glucan. *J. Cereal Sci.*, 1986, **4**, 287-295.
- [2] Akin D.E.: Microspectrophotometric characterization of aromatic constituents in cell walls of hard and soft wheats. *J. Sci. Food Agric.*, 1995, **68**, 207-214.
- [3] Balashubashini S., Rukkumani R., Menon V.P.: Protective effect of ferulic acid on hyperlipidemic diabetic rats. *Acta Diabet.*, 2003, **40**, 118-122.
- [4] Bartolome B., Garcia-Conesa M., Williamson G.: Release of bioactive compound, ferulic acid from malt extracts. *Biochem. Soc. Trans.*, 1996, **24**, 379S.
- [5] Bunzel M., Ralph J., Funk C., Steihart H.: Isolation and identification of a ferulic acid dehydrotrimer from saponified maize bran insoluble fiber. *Eur. Food Res. Techn.*, 2003, **217** (2), 128-133.
- [6] Chen J.H., Ho C.T.: Antioxidant activities of caffeic acid and its related hydroxycinnamic acid compounds. *J. Agric. Food Chem.* 1997, **45**, 2374-2378.
- [7] Cuvelier M.-E., Richard H., Berset C.: Comparison of the antioxidative activity of some acid-phenols: structure- activity relationship. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 1992, **56** (2), 324-325.
- [8] Dervilly G., Leclercq C., Zimmermann D., Roue C., Thibault J.-F., Saulnier L.: Isolation and characterization of high molar mass water-soluble arabinoxylans from barley and barley malt. *Carbohydr. Polym.*, 2002, **47**, 143-149.
- [9] Ghiselli A., Natella F., Guidi A., Montanari L., Fantozzi P., Scaccini C.: Beer increases plasma antioxidant capacity in humans. *J. Nutr. Biochem.*, 2000, **11**, 76-80.
- [10] Gorinstein S., Caspi A., Zemser M., Trakhtenberg S.: Comparative contents of some phenolics in beer, red and white wines. *Nutr. Res.*, 2000, **20** (1), 131-139.
- [11] Gromes R., Ruhland J., Piendl A.: Erfassung und vorkommen der gesamtballaststoffe in bier. *Monatsschrift Brauwiss.*, 1993, **6**, 221-223.
- [12] Han J.Y., Schwarz P.B.: Arabinoxylan composition in barley, malt and beer. *J. Am. Brew. Chem.*, 1996, **54** (4), 216-220.
- [13] Henry R.J.: Changes in β -glucan and other carbohydrate components of barley during malting. *J. Sci. Food Agric.* 1988, **42**, 333-341.
- [14] Irving D.W., Fulcher R.G., Bean M.M., Saunders R.M.: Differentiation of wheat based on fluorescence, hardness and protein. *Cereal Chem.*, 1989, **66** (6), 471-477.
- [15] Izydorczyk M.S., Macri L.J., MacGregor A.W.: Structure and physicochemical properties of barley non-starch polysaccharides – I. Water-extractable β -glucans and arabinoxylans". *Carbohydr. Polym.*, 1998, **35**, 249-258.
- [16] Izydorczyk M.S., Macri L.J., MacGregor A.W.: Structure and physicochemical properties of barley non-starch polysaccharides – II. Alkali-extractable β -glucans and arabinoxylans". *Carbohydr. Polym.*, 1998, **35**, 259-269.
- [17] Izydorczyk M.S., MacGregor A.W.: Evidence of intermolecular interactions of β -glucans and arabinoxylans. *Carbohydr. Polym.*, 2000, **41**, 417-420.
- [18] Jacquet G., Pollet B., Lapierre C.: New ether-linked ferulic acid- coniferyl alcohol dimers identified in grass straws. *J. Agric. Food Chem.*, 1995, **43**, 2746-2751.
- [19] Meyer A.S., Donovan J.L., Pearson D.A., Waterhouse A.L., Frankel E.N.: Fruit hydroxycinnamic acids inhibit human low-density lipoprotein oxidation in vitro. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, **46**, 1783-1787.
- [20] Natella F., Nardini M., DiFelice M., Scaccini C.: Benzoic and cinnamic acid derivatives as antioxidants: structure-activity relation. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, **47**, 1453-1459.

- [21] Nowiński S.K., Rybka K., Molecular mechanics of arabinoksyylan oligomers. *Acta Biochimica Polonica*. 1994, **41** (2), 216.
- [22] Ohta, T., Yamasaki S., A., Egashira, Y., Sanada, H.: Antioxidant activity of corn bran hemicellulose fragments. *J. Agric. Food Chem.*, 1994, **42**, 653- 656.
- [23] Ohta, T., Semboku, N., Kuchii, A., Egashira, Y., Sanada, H.: Antioxidant activity of corn bran cell-wall fragments in the LDL oxidation system. *J. Agric. Food Chem.*, 1997, **45**, 1644- 1648.
- [24] Preece I.A., McDougall M.: Enzymic degradation of cereal hemicelluloses. Pattern of pentosan degradation. *J. Inst. Brew.*, 1961, **64**, 489-500.
- [25] Renger A., Steinhart H.: Ferulic acid dehydrodimers as structural elements in cereal dietary fibre. *Eur. Food Res. Technol.*, 2000, **211**, 422-428.
- [26] Sanchez-Moreno, Larrauri J.A., Saura-Calixto F.: A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *J. Sci. Food Agric.*, 1998, **76**, 270-276.
- [27] Schooneveld-Bergmans M.E.F., Hopman A.M.C.P., Beldman G., Voragen A.G.J.: Extraction and partial characterization of feruloylated glucuronoarabinoxylans from wheat bran. *Carbohydr. Polym.*, 1998, **35**, 39-47.
- [28] Schooneveld-Bergmans M.E.F., Dignum M.J.W., Grabber J.H., Beldman G., Voragen A.G.J.: Studies on the oxidative cross-linking of feruloylated arabinoxylans from wheat flour and wheat bran. *Carbohydr. Polym.*, 1999, **38**, 309-317.
- [29] Schwarz P.B. Han J.Y.: Arabinoxylan content of commercial beers. *J. Am. Brew. Chem.*, 1995, **53**(4), 157-159.
- [30] Tanaka T., Kojima T., Kawamori T., Wang A., Suzui M., Okamoto K., Mori H.: Inhibition of 4-nitroquinoline-1-oxide-induced rat tongue carcinogenesis by the naturally occurring plant phenolics caffeic, ellagic, chlorogenic and ferulic acids. *Chemopreventions by plant phenolics*. Oxford University Press. 1321-1325.
- [31] Viëtor R.J., Angelino S.A.G.F., Voragen A.G.J.: Arabinoxylans barley, malt and wort. *Proc. Eur. Brew. Conv. Cong.*, 1991, **23**, 139-146.
- [32] Viëtor R.J., Voragen A.G.J., Angelino S.A.G.F., Pilnik W.: Non-starch polysaccharides in barley and malt: a mass balance of flour fractionation. *J. Cereal Sci.*, 1991, **14**, 73-83.
- [33] Viëtor R.J., Angelino S.A.G.F., Voragen A.G.J.: Structural Features of Arabinoxylans from Barley and Malt Cell Wall Material. *J. Cereal Sci.*, 1992, **15**, 213-222.
- [34] Viëtor R.J., Voragen A.G.J.: Composition of non-starch polysaccharides in wort and spent grain from brewing trials with malt from a good malting quality barley and a feed barley. *J. Inst. Brew.*, 1993, **99**, 243-248.
- [35] Vinson J.A., Jan J., Jang J., Dabbagh Y.A., Liang X., Serry M.M., Proch J., Cai S.: Vitamins and especially flavonoids in common beverages are powerful *in vitro* antioxidants which enrich lower density lipoproteins and increase their oxidative resistance after *ex vivo* spiking in human plasma. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, **47**, 2502-2504.
- [36] Vliegenthart J.F.G., Hoffmann R.A., Kamerling J.P.: A ¹H-NMR spectroscopic study on oligosaccharides obtained from wheat arabinoxylans. *Xylans and Xylanases*, Ed. J. Visser et al., Elsevier Science Publishers, B.V., Amsterdam, 1992.
- [37] Voragen A.G.J., Gruppen, M.A., Verbruggen M.A., Vietor R.J.: Characterisation of cereal arabinoxylans. *Xylans and Xylanases*, Ed. J. Visser et al., 1992 Elsevier Science Publishers, B.V., Amsterdam, 1992.
- [38] Wallace G., Russel W.R., Lomax J.A., Jarvis M.C., Lapierre C., Chesson A.: Extraction of phenolic-carbohydrate complexes from graminaceous cell walls. *Carbohydr. Res.*, 1995, **272**, 41-53.

- [39] Walters M.T., Heasman A.P., Hughes, P.S.: Comparison of (+)-catechin and ferulic acid as natural antioxidants and their impact on beer flavor stability. Part 1: Forced-aging. *J. Am. Soc. Brew. Chem.*, 1997, **55** (2), 83-89.
- [40] Wargovich M.J., Eng V.W.S., Newmark H.L.: Inhibition by plant phenols of benzo[α]pyrene – induced nuclear aberrations in mammalian intestinal cells: a rapid *in vivo* assessment method. *Food Chem.Toxic.*, 1985, **23** (1), 47-49.
- [41] Westerlund E., Andersson R., Aman P.: Isolation and chemical characterization of water-soluble mixed-linked β -glucans and arabinoxylans in oat milling fractions. *Carbohydr. Polym.* 1993, **20**, 115-123.
- [42] Zupfer J.M., K.E. Churchill, D.C. Rasmusson, Fulcher R.G.: Variation in ferulic acid concentration among diverse barley cultivars measured by HPLC and microspectrophotometry. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, **46**, 1350-1354.

ARABINOXYLANS FROM MALT AS A SOURCE OF NATURAL ANTIOXIDANT FERULIC ACID AND DIETARY FIBRE IN BEER

S u m m a r y

Recently, a tendency is observed to replace synthetic antioxidants, which are added to food, by natural products containing the same substances. This paper deals with the role the ferulic acid, a main phenolic acid of barley and malt, plays in shaping the antioxidant potential of beer. There is also presented the current state of knowledge of the ferulic acid's antioxidant activity measured under the *in vitro* and *in vivo* conditions. Furthermore, the paper contains a detailed description of the structure, functions, and technological significance of arabinoxylans and β -glucans under the processes of beer malting and brewing. If the amounts of free ferulic acid added to beer have low concentration rates, then, the ferulic acid is very stable, whereas the highly concentrated free ferulic acid amounts cause a very rapid decrease in the ferulic acid content. The antioxidant activity of ferulic acid in beer is similar to the antioxidant activity of (+)-catechin. However, (+)-catechin causes beer to haze at a concentration rate being much lower if compared with the ferulic acid. Therefore, the ferulic acid at higher concentration rates can positively impact the colloidal stabilization of beer. As an active antioxidant with one active site, the ferulic acid can block active sites of the haze-generating proteins and, in this way, make it impossible for (+)-catechin and its derivatives to access proteins in the sites with polyphenol bonds. Thus, the increased concentration rates of ferulic acid in beer in the form of combination with sugars can contribute to enhancing the health-promoting properties of beer alongside low outlays necessary to modify the beer manufacturing process, especially the mashing process

Key words: beer, ferulic acid, arabinoxylans, antioxidant activity 