

Monika Agacka, Urszula Skomra

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

CHMIEL JAKO ŹRÓDŁO BIOAKTYWNYCH METABOLITÓW WTÓRNYCH DLA PRZEMYSŁU PIWOWARSKIEGO I FARMACEUTYCZNEGO*

Wstęp

Chmiel zwyczajny *Humulus lupulus* L. jest powszechnie wykorzystywany przez przemysł browarniczy do produkcji piwa. Ten wieloletni gatunek należący do rodziny konopiowatych (*Cannabaceae*) odznacza się dwupiennością. Na plantacjach produkcyjnych uprawiane są tylko osobniki żeńskie, które wytwarzają owocostany zwane szyszkami. Szyszki są surowcem dla przemysłu piwowarskiego, który wykorzystuje ponad 95% chmielu wyprodukowanego na świecie (26). W szyszkach występują specyficzne związki chemiczne, nadające piwu charakterystyczny smak i aromat. Najcenniejsze składniki znajdują się w lupulinie, która jest produkowana przez gruczoły lupulinowe rozmieszczone na listkach okwiatu i okrywy kwiatowej szyszki chmielowej (fot. 1).

Nieco mniej znane jest wykorzystanie chmielu w farmacji, medycynie oraz przemyśle kosmetycznym. Chmiel jest składnikiem preparatów o działaniu uspokajającym i ułatwiającym zasypianie. Stosowany jest również do produkcji szamponów oraz kremów i mleczeek opóźniających procesy starzenia, a także jako składnik kąpieli regenerujących.

Wyniki badań wskazują, że metabolity wtórne chmielu charakteryzują się wielokierunkową aktywnością biologiczną, co otwiera nowe możliwości dla wykorzystania chmielu poza przemysłem piwowarskim (10, 12, 13, 14, 15, 17, 26, 27).

1. Chmiel jako surowiec do produkcji piwa

Piwo to napój otrzymany w wyniku fermentacji alkoholowej. Podstawowymi surowcami wykorzystywanymi w produkcji piwa są: woda, drożdże, jęczmień i chmiel. Chmiel odgrywa szczególną rolę, bowiem zawarte w szyszkach żywice i olejki nadają piwu niepowtarzalny smak i aromat. Przypuszczalnie po raz pierwszy piwo wytworzyli Sumerowie około 6500 lat temu, natomiast najstarsze wzmianki

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 3.5 w programie wieloletnim IUNG-PIB



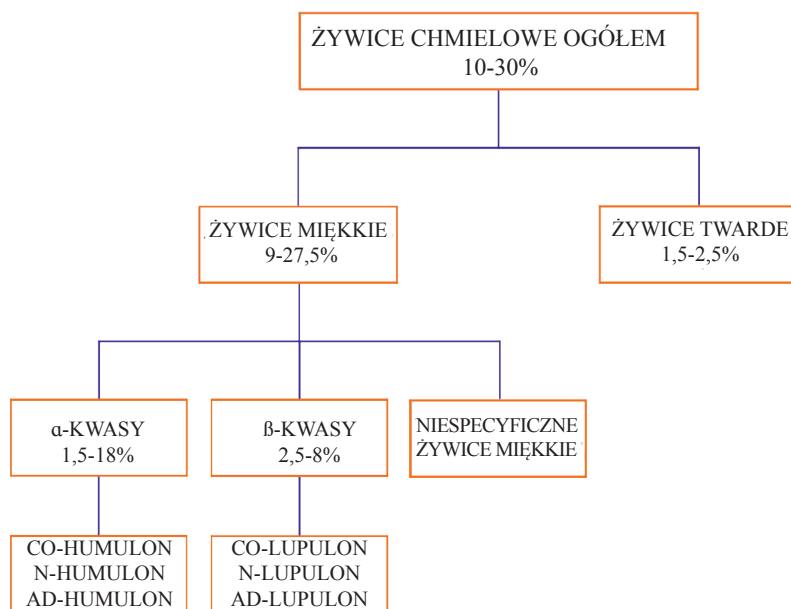
Fot. 1 Owocostan chmielu zwyczajnego. Na przekroju widoczne gruczoły lupulinowe.
Źródło: dokumentacja własna.

o produkcji piwa w krajach słowiańskich pochodzą z V wieku (28). Jednak znaczący wzrost produkcji piwa nastąpił w XIX wieku, dzięki wprowadzeniu innowacji technicznych oraz pasteryzacji wydłużającej przydatność piwa do spożycia. Produkcja piwa w tamtym czasie kształtowała się na poziomie 247,4 mln hektolitrów (28). Obecnie piwo jest produkowane na wszystkich kontynentach, a jego popularność stale rośnie. W 2011 roku światowa produkcja piwa wyniosła 1,92 miliarda hektolitrów. W Polsce wyprodukowano 37,8 mln hektolitrów piwa, co plasuje nasz kraj na czwartym miejscu w Europie i dziewiątym na świecie (18).

Żywice chmielowe

Najważniejszymi składnikami chmielu wykorzystywanymi przez przemysł browarniczy w procesie produkcji piwa są żywice chmielowe. Podziału żywic na poszczególne frakcje dokonano ze względu na ich zróżnicowane powinowactwo do rozpuszczalników organicznych. Żywice chmielowe dzielą się na żywice miękkie i żywice twarde (rys. 1). W skład żywic miękkich wchodzi głównie alfa i beta kwasy oraz niespecyficzne żywice miękkie.

Największe znaczenie w kształtowaniu charakterystycznej goryczki chmielowej w piwie mają alfa kwasy. Są one mieszaniną optycznie czynnych homologów, składającą się z humulonu (35-70%), kohumulonu (20-65%) i adhumulonu (10-15%) (26). Zawartość humulonu i kohumulonu jest warunkowana genetycznie i charakterystyczna dla poszczególnych odmian chmielu, natomiast w przypadku adhumulonu nie stwierdzono istotnych różnic odmianowych (11, 26). Alfa kwasy są słabo rozpuszczalne w wodzie, ale w trakcie warzenia piwa ulegają one izomeryzacji do dobrze rozpuszczalnych izo-alfa kwasów. Kwasy te stanowią ponad 80% wszystkich komponentów chmielowych, które znajdują się w piwie i to głównie one odpowiadają za szlachetną goryczkę (10, 26). Izo-alfa kwasy nie tylko decydują o charakterystycznym smaku piwa, ale również stabilizują pianę oraz działają bakteriostatycznie. Ich rola w stabilizowaniu piany w piwie polega na reakcji



Rys. 1. Podział żywic chmielowych

Źródło: Briendl, Pinzl, 2000; Analitica EBC Section 7 Hops (1, 8).

z polipeptydami (19, 26). Największy udział w tym procesie mają izohumulon i izoadhumulon, których zawartość w piwie jest dużo wyższa niż izoko-humulonu. Dodatkowo poprawienie trwałości piany można uzyskać stosując zredukowane ziomeryzowane ekstrakty chmielowe, zawierające w swoim składzie di-hydro-izo-alfa kwasy oraz tetra-hydro-izo-alfa kwasy, które w większym stopniu niż izo-alfa kwasy wzmacniają trwałość piany (19). Właściwości antybakteryjne izo-alfa kwasów odgrywają szczególną rolę, ponieważ chronią piwo przed rozwojem bakterii pełniąc rolę naturalnych konserwantów. Izo-alfa kwasy wykazują działanie antyseptyczne w stosunku do bakterii Gram-dodatnich, takich jak: *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* czy *Bacillus*. Bakterie Gram-ujemne (np. *Escherichia coli*) są zupełnie odporne na działanie izo-alfa kwasów albo reagują jedynie przy ich bardzo wysokim stężeniu (26, 27).

Drugim bardzo ważnym komponentem żywic miękkich są beta kwasy, które składają się z nieczynnych optycznie homologów: lupulonu (20-55%), kolupulonu (20-55%) i adlupulonu (10-15%) (11, 26). Beta kwasy bardzo łatwo ulegają utlenianiu, a ich pochodne charakteryzują się silnymi właściwościami goryczkowymi. Wykazano, że beta kwasy ograniczają niekorzystne procesy utleniania w piwie, jednak ich wysoka zawartość wpływa niekorzystnie na walory smakowe tego napoju, bowiem powodują one mniej szlachetną goryczkę (5, 11, 26).

Żywice twarde powstają w wyniku utleniania i polimeryzacji żywic miękkich (głównie alfa i beta kwasów); procesy te zachodzą intensywnie w trakcie prze-

chowowania chmielu i zależą od temperatury, wilgotności oraz dostępu do światła i tlenu (6). Utlenianie i polimeryzacja żywic miękkich do żywic twardych są procesami niekorzystnymi, wpływają na tzw. „zestarzenie” chmielu, podczas którego traci on wartość goryczkową i technologiczną. Piwo wyprodukowane z chmielu o podwyższonej zawartości żywic twardych charakteryzuje się ostrą, nieprzyjemną goryczką, co ma negatywny wpływ na jego smak i aromat (6). Najbardziej narażony na niekorzystne procesy utleniania jest chmiel nieprzetworzony, w dużo mniejszym stopniu granulaty chmielowy, natomiast ekstrakty, powstające przy użyciu ciekłego dwutlenku węgla, nie wykazują praktycznie żadnych zmian w składzie żywic w czasie kilkuletniego przechowywania (9).

Olejki chmielowe

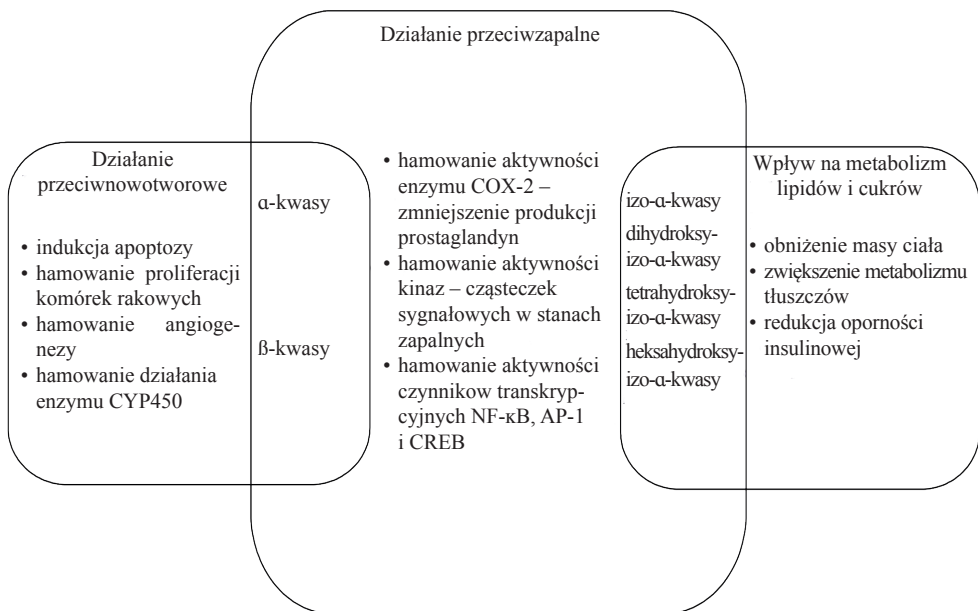
Olejki eteryczne to mieszanina ponad 300 związków chemicznych, których łączna zawartość w chmielu wynosi od 0,03 do 3%. W skład tej grupy wchodzi głównie mono- i seskwiterpeny oraz produkty ich utleniania (4). Składniki olejków tworzą kompozycje zapachowe, charakterystyczne dla poszczególnych odmian chmielu. Zazwyczaj tylko 2-3 związki występują w wysokich stężeniach, stanowiąc od 20% do 70% wszystkich składników olejku. Koncentracja pozostałych komponentów jest dużo niższa, mimo to wpływają one na jakość profilu aromatycznego (3, 11). Przyjmuje się, że charakterystyczny chmielowy aromat piwa jest efektem wzajemnego oddziaływania wielu różnych związków chemicznych występujących w olejku chmielowym (11). Dominującymi składnikami olejku eterycznego chmielu są myrcen, humulen, kariofilen i farnezen. Do najbardziej pożądaných związków, nadających przyjemny zapach chmielowy należą humulen i produkty jego utleniania, takie jak tlenki humulenu I i II oraz alkohole: humulol i humulenol-2. Pozytywny wpływ na jakość aromatu w piwie wywierają również kariofilen i tlenek kariofilenu oraz farnezen. Związki te są prekursorami „chmielowo-żywicznego” zapachu i smaku piwa. Natomiast o aromacie „kwiatowo-chmielowym” piwa decyduje zawartość linalolu i alfa-terpineolu. Do związków niekorzystnie wpływających na smak i aromat piwa należą myrcen i geraniol. Myrcen wraz z produktami jego utleniania powoduje ostrą, nieprzyjemną goryczkę, a geraniol w wysokich stężeniach odpowiada za powstanie „perfumeryjnego” zapachu w piwie. Humulen i myrcen występują w największym stężeniu, dlatego też stosunek obu tych związków w olejku eterycznym jest ważną cechą jakościową, charakterystyczną dla odmiany. Wyższy stosunek humulenu do myrcenu w surowcu przekłada się na korzystniejszy aromat piwa i jest charakterystyczny dla aromatycznych odmian chmielu (5, 6). Olejki są związkami lotnymi, które w trakcie warzenia piwa ulatniają się w ponad 90%. Z tego powodu chmiel odmian aromatycznych stosowany w celu nadania piwu szlachetnego chmielowego aromatu jest dodawany do brzezki dopiero w końcowym etapie jej gotowania, tak aby w maksymalnym stopniu ograniczyć straty cennych komponentów.

2. Właściwości prozdrowotne chmielu

Chmiel w medycynie ludowej wykorzystywano od pokoleń. Najstarsze zapisy o właściwościach leczniczych tej rośliny pochodzą z XI wieku (8). Chmiel był uważany za remedium na szeroką gamę dolegliwości. Tradycyjnie wykorzystywany był jako środek łagodzący stany nadpobudliwości i nerwowości, a także jako specyfik uspokajający u osób cierpiącym na bezsenność. Uważano, że chmiel pomaga w problemach trawiennych i poprawia apetyt, a także przynosi ulgę w bólach zębów, ucha oraz nerwobólach. Polecany był jako środek przeciwskurczowy i moczopędny. Wywar z chmielu stosowano w problemach z jelitami i w gorączce, natomiast kompresami chmielowymi leczono zapalenie płuc. Chmiel używany był w aromaterapii jako środek łagodzący stresy, nadpobudliwość i nerwobóle. Właściwości uspokajające, przeciwreumatyczne, przeciwbólowe i przeciwzapalne chmielu wykorzystywane były przez plemiona amerykańskie. Również w tradycyjnej medycynie chińskiej oraz w Indiach chmiel stosowany był w leczeniu szeregu różnych schorzeń (27).

Właściwości prozdrowotne żywic i olejków chmielowych

Niemal wszystkie metabolity wtórne chmielu wykazują mniejsze lub większe działanie bioaktywne. Właściwości takie posiadają również żywice i olejki chmielowe znane przede wszystkim ze swoich walorów smakowych i zapachowych wykorzystywanych przez przemysł piwowarski. W badaniach laboratoryjnych alfa i beta kwasy oraz ich pochodne wykazywały różnorodną aktywność biologiczną (rys. 2).



Rys. 2. Właściwości biologiczne alfa i beta kwasów

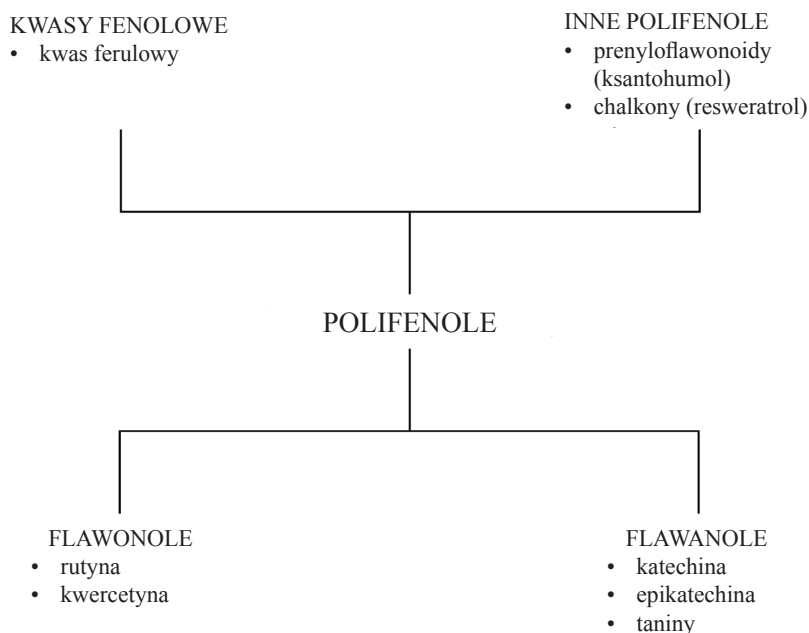
Beta kwasy działały hamująco na rozwój bakterii. Ich właściwości antybakteryjne ujawniały się nie tylko wobec bakterii powodujących psucie żywności, lecz także wobec bakterii chorobotwórczych. Badania wykazały, że beta kwasy hamują rozwój prątków gruźlicy oraz *Helicobacter pylori* – bakterii zwiększającej ryzyko wystąpienia choroby wrzodowej żołądka i dwunastnicy (26). W warunkach *in vitro* beta kwasy wspomagały działanie antybiotyków, co mogłoby przyczynić się do obniżenia dawki leku stosowanej w zwalczaniu niektórych chorób (26). W testach laboratoryjnych alfa i beta kwasy wykazywały również dużą aktywność antyoksydacyjną, która polegała na neutralizowaniu wolnych rodników. Wolne rodniki odpowiedzialne są za wiele niekorzystnych procesów w komórkach. Powodują m.in. uszkodzenia nici DNA i chromosomów, inaktywację enzymów, powstawanie mutacji i transformacji nowotworowej komórek. Testy wykazały, że beta kwasy są silniejszymi antyoksydantami niż witamina C (kwas askorbinowy) i E (tokoferol) (26). Badania dowiodły, że alfa kwasy wykazują właściwości przeciwzapalne, polegające na blokowaniu aktywności cyklooksygenazy-2 – enzymu uczestniczącego w powstawaniu stanów zapalnych w organizmie (12, 26). Przeprowadzono pilotażowe testy w celu określenia skuteczności komercyjnych preparatów zawierających izo-alfa kwasy w łagodzeniu objawów towarzyszących chorobom związanym z przewlekłymi zapaleniami, np. zapaleniem stawów (26). U pacjentów przyjmujących preparat zawierający izo-alfa kwasy obserwowano zmniejszenie odczuwania bólu, a także złagodzenie objawów klinicznych choroby. Badania wykazały również chemoprewencyjne właściwości alfa i beta kwasów. Związki te posiadają zdolność indukcji apoptozy (śmierci) komórek nowotworowych, hamują proliferację (nadmierny wzrost) tych komórek oraz hamują angiogenezę (rozwój naczyń krwionośnych zaopatrujących komórki nowotworowe w tlen i substancje odżywcze). Poprzez takie wielokierunkowe działanie alfa i beta kwasy mogą skutecznie zapobiegać rozwojowi choroby nowotworowej. Niestety, na razie właściwości te udowodniono tylko w badaniach laboratoryjnych (7, 12, 26).

Chmiel znany jest z działania uspokajającego i nasennego. Właściwości te przypisuje się przede wszystkim olejkom eterycznym. Największą aktywność pod tym względem wykazuje jeden ze składników olejku chmielowego – alkohol 2-metylo-3-buten-2-ol (10). Olejki eteryczne przejawiają również działanie przeciwbakteryjne w stosunku do Gram-dodatnich bakterii np. *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis* i niektórych Gram-ujemnych, np. *Escherichia coli*, *Salmonella* (21).

Właściwości prozdrowotne polifenoli chmielowych

Polifenole to grupa związków powszechnie występujących w roślinach, bardzo zróżnicowanych pod względem struktury, właściwości chemicznych i biologicznych. Do polifenoli roślinnych zaliczane są m. in. flawonoidy, izoflawony, prenyloflawonoidy oraz antocyjany. Polifenole wpływają korzystnie na zdrowie człowieka

dzięki różnorodnym właściwościom biologicznym. Związki te wykazują działanie przeciwutleniające, przeciwzapalne, przeciwmutagenne, antynowotworowe, chronią przed chorobami serca i miażdżycą. Do najbardziej znanych i aktywnych biologicznie związków z tej grupy należą: genisteina występująca w soi, kwercetyna obecna w zielonej herbacie, resweratrol zawarty w winogronach i czerwonym winie oraz kwas ferulowy, którego źródłem są ziarna zbóż i kukurydzy. Chmiel zawiera zarówno polifenole powszechnie występujące w świecie roślin, jak i charakterystyczne tylko dla tego gatunku (rys. 3).



Rys. 3. Podział polifenoli chmielowych

Źródło: Biendl i Pinzl, 2000 (8).

Wśród polifenoli chmielowych najważniejsza grupa to prenyloflawonoidy, do których należą ksantohumol, jego izomer – izokszantohumol oraz desmetyloksantohumol i jego pochodne: 8-prenylnaringenina i 6-prenylnaringenina.

Ksantohumol jest głównym prenyloflawonoidem chmielu, a jego stężenie waha się w zależności od odmiany od 0,1 do 1,1% suchej masy i stanowi 80-90% wszystkich prenyloflawonoidów występujących w chmielu (16, 25). Ksantohumol wykazuje silne działanie antyoksydacyjne, polegające na neutralizowaniu wolnych rodników: hydroksylogowego i nadtlenkowego (12, 15, 16). Rodnik hydroksylogowy jest najbardziej reaktywnym rodnikiem tlenowym. Powoduje uszkodzenia DNA w komórkach, a wraz z innymi reaktywnymi formami tlenu wywołuje tzw. stres oksydacyjny, który wpływa na powstawanie niektórych chorób. Ponadto ksantohumol powstrzymuje utlenianie lipidów w błonach komórkowych, dzięki czemu ogranicza

powstawanie zaburzeń w funkcjonowaniu komórek, co w konsekwencji przyczynia się do lepszej ochrony organizmu przed chorobami (25). Badania wykazały również aktywność przeciwwirusową, przeciwbakteryjną oraz przeciwgrzybową ksantohumolu. W warunkach *in vitro* hamował on rozwój bakterii odpowiedzialnych za powstawanie trądziku, a także wykazywał współdziałanie z antybiotykami w ograniczaniu namnażania tych bakterii (16, 22). Ksantohumol wykazywał również silne działanie hamujące w stosunku do bakterii powodujących próchnicę zębów czy choroby skóry (16, 22). Właściwości przeciwwirusowe ksantohumolu skierowane są przeciwko niektórym wirusom DNA i RNA, m.in. przeciwko wirusowi HIV-1. Oddziaływanie ksantohumolu polega na przeciwdziałaniu replikacji wirusa w komórkach krwi, lecz niestety nie hamuje on wnikania patogenu do komórek (12, 22). Badania wykazały również umiarkowane działanie przeciwgrzybicze ksantohumolu w stosunku do grzybów *Trichophyton spp.* powodujących choroby skóry u ludzi oraz względem pleśni *Mucor rouxianus* (13, 27). Najwięcej uwagi i badań poświęcono właściwościom przeciwnowotworowym ksantohumolu. W warunkach *in vitro* wykazuje on działanie ograniczające we wszystkich fazach powstawania i rozwoju choroby nowotworowej. Związek ten ma zdolność hamowania syntezy DNA, blokowania cyklu komórkowego i różnicowania komórek oraz aktywacji apoptozy w komórkach nowotworowych (12, 25, 27). Ksantohumol hamuje również aktywność aromatazy 450 – enzymu kontrolującego syntezę estrogenów w organizmie (16). Podwyższony poziom estrogenów wpływa na rozwój niektórych nowotworów. W leczeniu chorób nowotworowych bardzo ważne jest zahamowanie procesu angiogenezy, czyli tworzenia się nowych naczyń krwionośnych wokół guza. Naczynia te są niezbędne do wzrostu guza, a także umożliwiają tworzenie przerzutów, pozwalając na rozprzestrzenianie się choroby w organizmie człowieka. Badania laboratoryjne wykazały, że ksantohumol i pozostałe chmielowe prenyloflawonoidy posiadają zdolność angioprewencji (12, 16, 27). Efektywność ksantohumolu potwierdzono w stosunku do linii komórkowych raka piersi, jajnika, okrężnicy, prostaty i białaczki. Stwierdzono ponadto, że nie wpływa on negatywnie na komórki wątroby, dzięki czemu nie powoduje skutków ubocznych nawet przy długotrwałym stosowaniu (13, 16, 22, 25).

Innym prenyloflawonoidem specyficznym dla chmielu jest desmetyloksantohumol. Zawartość tego związku w szyszkach wynosi 0,05-0,3% (16). W wyniku izomeryzacji desmetyloksantohumolu powstają pochodne o działaniu estrogennym: 6-prenylonaryngenina oraz 8-prenylonaryngenina, które są jednymi z silniejszych znanych fitoestrogenów. Właściwości tych związków testowano zarówno w badaniach *in vitro*, jak i *in vivo*. Aktywność estrogenna 8-prenylonaryngeniny polega na łączeniu się z receptorami estradiolu oraz indukowaniu sygnału podobnego do sygnału estrogenowego (10). Związek ten wykazuje działanie 10-20 tys. razy słabsze w porównaniu z 17-beta-estradiolem, ale dużo silniejsze, niż np. fitoestrogeny soi czy koniczyny, które są powszechnie wykorzystywane do produkcji suple-

mentów diety stosowanych w łagodzeniu objawów menopauzy (10). Ze wstępnych badań klinicznych wynika, że 8-prenylnaryngenina hamuje dolegliwości związane z menopauzą u kobiet, zapobiega uderzeniom gorąca oraz ogranicza rozwój osteoporozy (17). Autorzy badań podkreślają, że działanie lecznicze 8-prenylnaryngeny było widoczne, mimo że codzienne spożycie tego związku (100 lub 250 µg) było wielokrotnie niższe od zalecanej dziennej dawki izoflawonów sojowych (50-100 mg) (17). Oprócz działania estrogennego, 8-prenylnaryngenina posiada również właściwości antynowotworowe. Wykazuje zdolność do hamowania namnażania komórek raka piersi oraz indukowania apoptozy (8, 10, 12).

Wyniki badań wskazują, że chmiel jest źródłem wielu substancji o zróżnicowanej aktywności biologicznej, w tym również o potencjalnym działaniu prozdrowotnym. Głównym źródłem bioaktywnych metabolitów wtórnych chmielu w diecie człowieka jest piwo. Niestety, zawiera ono jedynie śladowe ilości tych substancji. Do wyprodukowania 1 hektolitra piwa potrzeba około 5 g alfa kwasów, co w zależności od odmiany odpowiada 40-130 g chmielu. Zawartość ksantohumolu w szyszkach chmielowych wynosi jedynie 0,1-1,1% i waha się w zależności od odmiany, sposobu uprawy i warunków klimatycznych (16, 25). Koncentracja polifenoli chmielowych w piwie jest jeszcze mniejsza niż można byłoby przypuszczać biorąc pod uwagę dawkę chmielu, związki te bowiem ulegają przemianom podczas warzenia piwa. Stwierdzono, że zawartość ksantohumolu w piwie stanowi jedynie około 30% jego wyjściowej dawki w szyszkach chmielowych, przy czym występuje on głównie w formie izoksantohumolu, którego aktywność biologiczna jest znacznie mniejsza (25). Koncentracja polifenoli w piwie zależy nie tylko od dawki chmielu, ale również od rodzaju produktu chmielowego użytego do produkcji piwa. Granulaty i ekstrakty etanolowe zawierają 95% wyjściowej zawartości ksantohumolu, natomiast ekstrakt powstały przy użyciu dwutlenku węgla zaledwie 5% (16). Zatem piwa wyprodukowane z ekstraktów CO₂ są najuboższe w polifenole. Szacuje się, że aby ksantohumol mógł oddziaływać prozdrowotnie jako związek chemoprewencyjny, jego stężenie w piwie powinno wynosić około 5mg·l⁻¹ (25). Niestety zawartość ksantohumolu w różnych rodzajach piwa zazwyczaj kształtuje się na poziomie od kilku do kilkudziesięciu mikrogramów, a więc jest kilkaset razy mniejsza niż dawka terapeutyczna (tab. 1). W Niemczech, Belgii i Republice Czeskiej opracowano technologię produkcji piwa wzbogaconego w ksantohumol, co pozwoliło podnieść zawartość tego związku nawet do 10 mg·l⁻¹ w piwach ciemnych (16). W celu wzbogacenia piwa w ksantohumol opracowano technologię otrzymywania tego związku, m.in. poprzez izolację z odpadów powstających po ekstrakcji ciekłym dwutlenkiem węgla, ekstrakcję etanolową wyciągu żywic chmielowych oraz syntezę chemiczną (16). Prowadzone są również prace hodowlane w kierunku uzyskania odmian chmielu o podwyższonej zawartości prenyloflawonoidów w szyszkach (24, 25). Wzrost stężenia polifenoli w chmielu można również uzyskać na drodze modyfikacji szlaku biosyntezy tych związków poprzez zastosowanie odpowiednich technik inżynierii genetycznej (2, 25).

Tabela 1

Zawartość polifenoli w wybranych piwach produkowanych w Republice Czeskiej

Marka piwa	Ksantohumul $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$	Izoksantohumul $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$	8-prenylnaryngenina $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$
Branik, beczkowe	9	206	21
Gambrinus, beczkowe	34	450	191
Primus, beczkowe	<0,2	<20	<2
Meštan, dietetyczne	1,9	250	25
Bernard, 12%	28	1350	150
Premium Žatec, 11%	28	1180	175
Pilzner Urquell, 12%	26	1910	116
Budweiser Czech, 12%	16	860	25

Źródło: Krofta i in., 2005 (20).

Dotychczasowe wyniki badań wskazują, że chmiel zawiera wiele związków o zróżnicowanych właściwościach biologicznych, które mogłyby w przyszłości znaleźć zastosowanie w zapobieganiu i leczeniu niektórych chorób, w tym tak groźnych jak nowotwory. Aktywność biologiczną chmielowych metabolitów wtórnych przetestowano jak dotąd głównie w warunkach laboratoryjnych. Brakuje kompleksowych badań klinicznych, które pozwoliłyby lepiej zrozumieć wpływ tych związków na organizm człowieka. Badania kliniczne umożliwiłyby również ostateczną weryfikację właściwości leczniczych metabolitów wtórnych chmielu, ponieważ związki te podlegają w organizmie człowieka przemianom, które mogą w znacznym stopniu wpływać na ich działanie terapeutyczne.

W praktyce wykorzystywane są przede wszystkim te walory chmielu, które mają znaczenie w procesie produkcji piwa. Potencjał leczniczy tej rośliny jest eksploatowany w bardzo niewielkim stopniu, przede wszystkim w ziołowych preparatach o działaniu uspokajającym oraz suplementach diety stosowanych w ograniczaniu objawów menopauzy.

Jeżeli dotychczasowe ustalenia dotyczące właściwości prozdrowotnych chmielu zostaną potwierdzone w badaniach klinicznych, to niewątpliwie gatunek ten zajmie znaczącą pozycję na rynku fitofarmaceutyków. Otworzy to nowe możliwości również przed plantatorami chmielu.

Literatura

1. Analitica EBC Section 7 Hops, European Brewery Convention, Fachverlag Hans Carl, Nurnberg, 2007.
2. Aldinger C., Stanke M., Alheit K., Gatica A., Hohnle M., Matoušek J., Weber G.: Modification of the synthesis of bioactive flavonoids in transgenic hop *Humulus lupulus* L. by PAP1/MYB75 from *Arabidopsis thaliana* L. Proc. of the Sci. Com. IHGC, Leon, Hiszpania, 2009: 56-59.
3. Bakkali F., Averbek S., Averbek D., Idomar M.: Biological effects of essential oils – A review. Food and Chemical Toxicology, 2008, **46**: 446-475.

4. Bamforth C. H. W.: Beer: An ancient yet modern biotechnology. *Chem. Educator*, 2000, **5**: 102-112.
5. Baranowski K.: Ocena jakości chmielu na podstawie zawartości alfa kwasów oraz wpływ składników olejków chmielowych na aromat piwa. Materiały konferencyjne z seminarium w Kazimierzu Dolnym, 17-18 czerwca 1997.
6. Baranowski K.: Określenie stopnia zesterzenia się chmielu, granulatu i ekstraktu oraz jego wpływ na sposób obliczania a następnie dozowania ich dawek w procesie produkcji piwa. Materiały konferencyjne z seminarium w Kazimierzu Dolnym, 17-18 czerwca 1997.
7. Biedl M.: Hops and health. Master Brewers Association of the Americas, 2009, doi:10.1094/TQ-46-2-0416-01.
8. Biedl M., Pinzl Ch.: Hops and health. German Hop Museum Wolnzach, 2000.
9. Bolibok M.: Wpływ metod analizy chmielu na wyniki określania zawartości alfa kwasów. Materiały konferencyjne z seminarium w Kazimierzu Dolnym, 17-18 czerwca 1997.
10. Chadwick L. R., Pauli G. F., Farnsworth N. R.: The pharmacognosy of *Humulus lupulus L.* (hops) with an emphasis on estrogenic properties. *Phytomedicine*, 2006, **13**: 119-131.
11. De Keukeleire D.: Fundamentals of beer and hop chemistry. *Química Nova*, 2004, **23**: 108-112.
12. Gerhäuser C.: Beer constituents as potential cancer chemopreventive agents. *European J. Cancer*, 2005, **41(13)**: 1941-1954.
13. Gerhäuser C.: Broad spectrum anti-infective potential of xanthohumol from hop (*Humulus lupulus L.*) in comparison with activities of the hop constituents and xanthohumol metabolites. *Molecular Nutrition Food Research*, 2005, **49(9)**: 827-831.
14. Gerhäuser C., Alt A. P., Klimo K., Knauff J., Frank N., Becker H.: Isolation and potential cancer chemopreventive activities of phenolic compounds of beer. *Phytochemistry Reviews*, 2002, **1(3)**: 369-377.
15. Gerhäuser C., Alt A., Heiss E., Gamal-Eldeen A., Klimo K., Knauff J., Neumann I., Scherf H. R., Frank N., Bartsch H., Becker H.: Cancer chemopreventive activity of xanthohumol, a natural product derived from hop. *Mol. Cancer Ther.*, 2002, **1(11)**: 959-969.
16. Gołąbczak J., Gendeszevska-Darmach E.: Ksantohumol i inne prenyloflawonoidy szyszek chmielu-aspekty biologiczne i technologiczne. *Biotechnologia*, 2010, **1(88)**: 82-96.
17. Heyerick A., Vervarcke S., Depypere H., Bracke M., De Keukeleire D.: A first prospective, randomized, double-blind, placebo-controlled study on the use of a standardized hop extract to alleviate menopausal discomforts. *Maturitas*, 2006, **54(2)**: 164-175.
18. Der Barth Bericht, Barth-Hass Group, Hopfen 2011/2012, Nurnberg, 2012.
19. Kordalik-Bogacka E., Ambroziak W.: Investigation of the foam-active polypeptides during beer fermentation. *J. Sci. Food Agric.*, 2004, **84**: 1960-1968.
20. Krofta K., Poustka J., Novakova K., Hajšlova.: Contents of prenylflavonoids in Czech hops and beers. *Acta Hort.*, 2005, **668**: 201-206.
21. Langezaal C. R., Chandra A., Sheffer J. J. C.: Antimicrobial screening of essential oils and extracts of some *Humulus lupulus L.* cultivars. *Pharmaceutisch Weekblad. Scientific Edition* 1992, **14(6)**: 353-356.
22. Mielczarek M., Kołodziejczyk J., Olas B.: Właściwości lecznicze chmielu zwyczajnego (*Humulus lupulus L.*). *Postępy Fitoterapii*, 2010, **4**: 205-210.
23. Natarajan P., Katta S., Andrei I.: Positive antibacterial co-action between hop (*Humulus lupulus*) constituents and selected antibiotics. *Phytomed*, 2008, **15(3)**: 194-201.
24. Nesvada V., Krofta K.: Hop breeding on high contents of desmethyloxanthohumol. *Proc. of the Sci. Com. IHGC, Leon, Hiszpania*, 2009: 20.
25. Stevens J. F., Page J. E.: Xanthohumol and related prenylflavonoids from hops and beer: to your good health! *Phytochemistry*, 2004, **65(10)**: 1317-1330.

26. Van Cleemput M., Cattoor K., De Bosscher K., Haegeman G., De Keukeleire D., Heyerick A.: Hop (*Humulus lupulus*) – derived bitter acids as multipotent bioactive compounds. *J. Nat. Prod.*, 2009, **72(6)**: 1220-1230.
27. Zanolini P., Zavatti M.: Pharmacognostic and pharmacological profile of *Humulus lupulus* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 2008, **116(3)**: 383-396.
28. Zaorski T.: Zarys dziejów chmielarstwa polskiego. IUNG Puławy, 2002.

Adres do korespondencji:

dr Urszula Skomra
Zakład Hodowli i Biotechnologii Roślin
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 886 34 21, w. 220
e-mail: urszula.skomra@iung.pulawy.pl