

## XANTHOMOL – CHMELOVÁ PRYSKYŘICE NEBO POLYFENOL?

PAVEL HOFTA, PAVEL DOSTÁLEK a  
GABRIELA BASAŘOVÁ

Ústav kvasné chemie a bioinženýrství, Vysoká škola chemicko-technologická, Technická 5, 166 28 Praha 6  
pavel.hofta@vscht.cz

Došlo 18.8.03, přepracováno 17.10.03, přijato 27.11.03.

Klíčová slova: xanthohumol, chmel, *Humulus lupulus*, pivo, prenylované flavonoidy, polyfenoly

### Obsah

1. Úvod
2. Flavonoidy chmele
  - 2.1. Prenylflavonoidy chmele
3. Chemické vlastnosti xanthohumolu a isoxanthohumolu
  - 3.1. Biotransformace xanthohumolu
4. Vliv prenylflavonoidů chmele na lidské zdraví
5. Bilance xanthohumolu během výroby piva
6. Závěr

### 1. Úvod

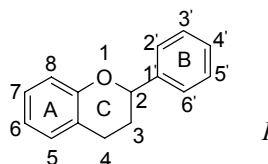
Hlávky samičích rostlin chmele (*Humulus lupulus* L.) čeledi Cannabaceae jsou jednou ze základních surovin na výrobu piva. Obohacují pivo nejen o tolik oblíbenou hořkost, plnost chuti a vůni, ale i o řadu látek, jež zvyšují jeho hodnotu z pohledu pivovarské technologie, moderního lékařství a farmakologie. Mezi tyto látky patří polyfenoly chalkonové řady, prenylovaný flavonoid xanthohumol (XN) a jeho izomer flavanon isoxanthohumol (IX). XN byl izolován již v roce 1892, pojmenován a získán ve větším množství byl až v roce 1913 a objev struktury XN a jeho izomeru byl učiněn týmem prof. Verzela již před 46 lety<sup>1-3</sup>. Pozornost odborníků si však tato látka zaslouží až nyní, s rozvojem biochemických věd a výzkumu zaměřeného na lidské zdraví.

Polyfenolické látky se obecně podílejí na chemicko-fyzikální stabilitě piva, na formování pěny a na odolnosti proti stárnutí a oxidaci piva. Navíc některé z těchto látek mají silné antioxidační, antikarcinogenní, protimikrobiální, protitrombózní a další vlastnosti, které pozitivně působí na lidské zdraví. Z celkového množství polyfenolů obsažených v mladíně jich pouze 20 až 30 % pochází z chmele, ostatní pochází ze sladu<sup>4</sup>. Řada polyfenolických látek obsažených ve chmelu má obdobné antioxidační účinky jako syntetické antioxidanty, které zabraňují nepříznivým projevům oxidace a jsou dnes součástí mnoha potravin. Pivo

tak může zvyšovat hladiny antioxidantů v lidském organismu, a tím zabraňovat nežádoucím oxidacím volnými radikály, které jsou příčinou řady civilizačních chorob<sup>5</sup>.

### 2. Flavonoidy chmele

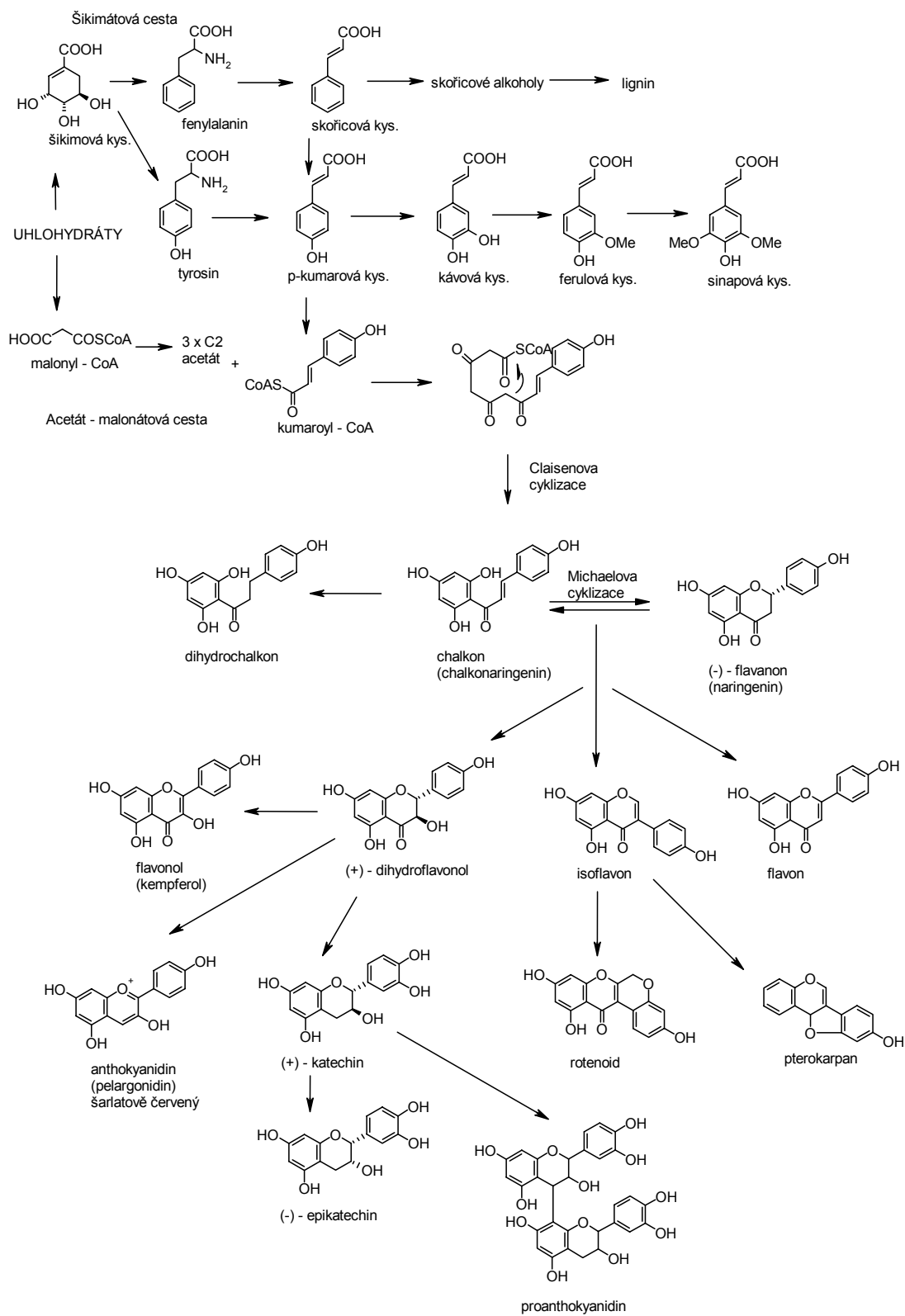
Metodou HPLC bylo ve chmelu, mladíně a pivu nalezeno a izolováno více než 100 polyfenolických látek. Nejvíce zastoupenou skupinu polyfenolových složek chmele v pivu představují flavonoidy, které patří do rozsáhlé skupiny rostlinných fenolů obsahujících v molekule dvě benzenová jádra spojená tříuhlíkatým řetězcem v uspořádání C<sub>6</sub>–C<sub>3</sub>–C<sub>6</sub>, a jejichž struktura se odvozuje od skeletu heterocyklického flavanu (*I*, cit.<sup>6</sup>). Majoritními složkami chmele jsou nejčastěji katechin, epikatechin a jejich polymery proanthokyanidiny, dále flavonoly rutin, kvercetin a kempferol<sup>7</sup>. Dále také prenylovaný chalkon xanthohumol<sup>8</sup>.

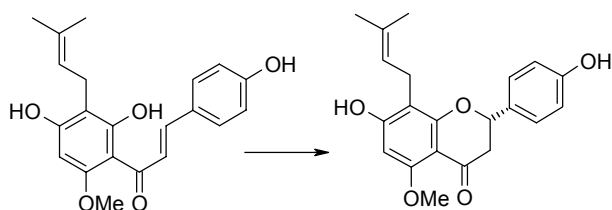
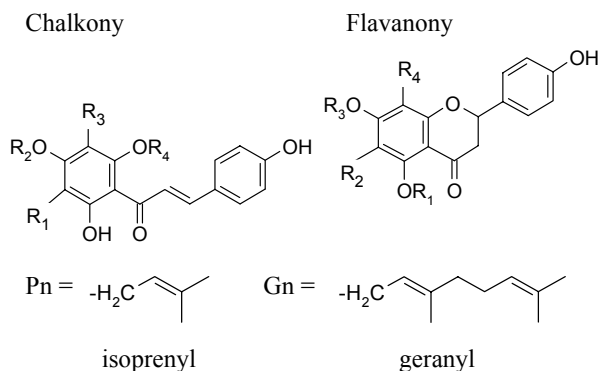


Chmelové flavonoidy se obvykle rozdělují do čtyř podskupin na chalkony, flavanoly, flavonoly a anthokyanidiny<sup>9</sup>. Chalkony jsou prvními intermediáty v biosyntéze flavonoidů vznikajícími reakcí mezi kyselinou kumarovou a třemi acetátovými jednotkami, katalyzovanou enzymem chalkonsynthasou. Další adice prenylu nebo geranylu mohou vést k prenylovaným chalkonům. Flavanonová struktura vzniká izomerací chalkonu enzymem chalkonisomerasou a její následná oxidace vede k flavanolům, kdežto redukce k flavanolům. Flavanolová polymerace může dále vést k dobře známým proanthokyanogenům. V tomto případě se vytváří vazba mezi C-8 kruhu A a C-4 kruhu C. Krátké polymery s méně než 10 jednotkami jsou obvykle označovány jako oligomery, kdežto dlouhé řetězce jsou známy jako taniny, viz. (schéma 1, cit.<sup>6,10,11</sup>).

#### 2.1. Prenylflavonoidy chmele

Pouze několik málo vyšších rostlin umí syntetizovat prenylované flavonoidy, asi 5 % známých prenylovaných flavonoidů pochází z chmele. Rostlina biosyntetizuje a sekretuje prenylflavonoidy spolu s chmelovými pryskyřicemi a silicemi do lupulinových žlázek. Chmelové hlávky obsahují poměrně velké množství flavonoidů s prenylovým nebo geranylovým substituentem na kruhu A. Více než 80 až 90 % z nich tvoří XN v množstvích 0,2 až 1,1 hm.% v sušině chmele<sup>8</sup>, který přechází do piva

Schéma 1. Biosyntéza flavonoidů<sup>6,10,11</sup>

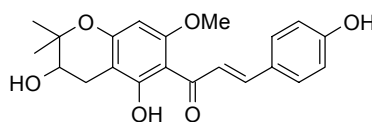
Obr. 1. Izomerační přeměna xanthohumolu v isoxanthohumol během chmelovaru<sup>12</sup>

Č.	Triviální název	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
<i>Chalkony</i>					
I	Xanthohumol	Pn	H	H	Me
II	Xanthogalenol	Pn	H	Me	H
III	4'-O-Methylxanthohumol	Pn	Me	H	Me
IV	4',6'-Di-O-methylchalconaringenin	H	Me	H	Me
V	Desmethylxanthohumol	Pn	H	H	H
VI	3'-Geranylchalconaringenin	Gn	H	H	H
VII	3',5'-Diprenylchalconaringenin	Pn	H	Pn	H
VIII	5'-Prenylxanthohumol	Pn	H	Pn	Me
<i>Flavanony</i>					
XIII	Isoxanthohumol	Me	H	H	Pn
XIV	7-O-Methyl-6-prenylnaringenin	H	Pn	Me	H
XV	7-O-Methyl-8-prenylnaringenin	H	H	Me	Pn
XVI	5,7-Di-O-methyl-8-prenylnaringenin	Me	H	Me	Pn
XVII	5,7-Di-O-methylnaringenin	Me	H	Me	H
XVIII	6-Prenylnaringenin	H	Pn	H	H
XIX	8-Prenylnaringenin	H	H	H	Pn
XX	6-Geranylnaringenin	H	Gn	H	H
XXI	8-Geranylnaringenin	H	H	H	Gn
XXII	6,8-Diprenylnaringenin	H	Pn	H	Pn

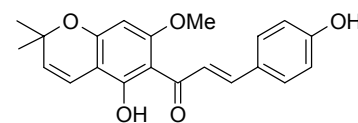
Obr. 2. Prenylované flavonoidy chmele a chmelových výrobků a jejich izomery; Pn – isoprenyl, Gn – geranyl

v izomerované formě jako IX, podobně jako např.  $\alpha$ -hořká kyselina na iso- $\alpha$ -hořkou kyselinu. Tato podobnost a skutečnost, že se při analytickém stanovení používá extrakce organickými rozpouštědly, ho řadí mezi chmelové pryskyřice (obr. 1). Dále je ve chmelu více zastoupen desmethylxanthohumol (2–5 %) a xanthohumol C (1–2 %), ostatní prenylflavonoidy se ve chmelu nachází pouze ve stopovém množství<sup>12,13</sup>. Chemické vzorce prenylflavonoidů chmele jsou uvedeny na obr. 2 (cit.<sup>8</sup>).

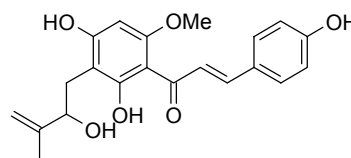
Prenylflavonoidy chmele prozkoumal zatím nejlépe Stevens a spol. Ve více než 120 vzorcích chmele (*Humulus lupulus*) a (*Humulus japonicus*) z 52 odrůd a tří divokých taxonů objevil 22 prenylovaných flavonoidů. XN byl hlavní prenylflavonoid ve všech vzorcích chmele a byl doprovázen 11 strukturálně podobnými chalkony. Deset flavonoidů bylo identifikováno jako flavanonové izomery těchto chalkonů. Tři jiné prenylované chalkony byly objeveny v americké odrůdě Galena, jeden z nich, který byl identifikován jako 3'-prenyl-4'-O-methylchalconaringenin,



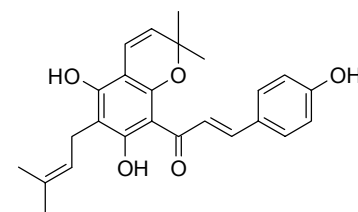
IX Xanthohumol B



X Xanthohumol C



XI Xanthohumol D



XVII Xanthohumol E

byl pojmenován xanthogalenol. K identifikaci byla používána HPLC s hmotnostní detekcí fragmentů (MS-CID a CAD), která však neuměla rozdělit chalkony od jejich izomerovaných flavanonů, proto byla používána i UV detekce. Většina chalkonů má absorpční maxima blízko 370 nm, kdežto jejich izomerované flavanony blízko 290 nm. Z českých odrůd byly zkoumány bezvirozní klony č. 36, 38 a 72 Žateckého poloraného červeňáku (Saazer). Bylo zjištěno, že ze zkoumaných odrůd obsahují nejvíce desmethylxanthohumolu, zato však neobsahují žádný xanthogalenol ani jiné 4'-*O*-methylchalkony, a tudíž ani žádné jejich izomerované flavanony<sup>8</sup>.

Obsah XN a ostatních prenylflavonoidů ve chmelu závisí na odrůdě a stresových faktorech, dále pak na skladování podobně jako u  $\alpha$ -hořkých kyselin. Během půlročního skladování může obsah prenylflavonoidů poklesnout až o 50 % (cit.<sup>14</sup>). U odrůd Nugget a Perle pěstovaných v USA a Německu bylo zjištěno, že množství XN ve chmelu závisí nejen na odrůdě, ale i na pěstební oblasti a pěstebních podmínkách<sup>15,16</sup>. Aromatické odrůdy ho obsahují méně než odrůdy vysokoobsažné. Žatecký poloraný červeňák ho obsahuje podle Fostera asi 0,35 hm.% v sušině<sup>16</sup>. České odrůdy ze sklizně 2002 obsahovaly podle Chmelařského institutu průměrně: Žatecký poloraný červeňák 0,33 hm.% XN v sušině, Premiant 0,37 hm.% XN v sušině, Sládek 0,71 hm.% XN v sušině, Bor 0,49 hm.% XN v sušině, Agnus 1,01 hm.% XN v sušině. Obsahy XN u zahraničních odrůd se pohybovaly v rozmezí 0,22–1,09 hm.% v sušině<sup>17</sup>.

### 3. Chemické vlastnosti xanthohumolu a isoxanthohumolu

XN je žluto-oranžová krystalická látka nepolární povahy obsažená spolu s chmelovými pryskyřicemi a silicemi v chmelových hlávkách všech chmelových odrůd. Je to látka, která patří mezi chalkony a prenylované flavonoidy. Její povahou je možné ji řadit mezi polyfenoly i mezi chmelové pryskyřice. Bod tání této látky je 160 °C. Podle Stevense je XN téměř nerozpustný ve vodě (1,3 mg.l<sup>-1</sup> při 8 °C, cit.<sup>12</sup>), petroletheru a pívu (4 mg.l<sup>-1</sup> při 8 °C, cit.<sup>12</sup>), krystalizuje v 50% ethanolu, 50% acetonu, kyselině octové, chloroformu, benzenu a toluenu. S ethanolovým roztokem chloridu železitého tvoří hnědo-černé sloučeniny. Není opticky aktivní. Rozpouští se v silném hydroxidu a v kyselině sírové za tvorby tmavě červené sloučeniny. Chalkon XN se ve slabě alkalickém prostředí (5% NaOH) izomeruje z 95 % na flavanon IX, zpětná konverze na XN s výtěžkem okolo 5 % je možná pomocí 40% kyseliny fluorovodíkové<sup>3</sup>. Molekulový vzorec XN je C<sub>21</sub>H<sub>22</sub>O<sub>5</sub> a jeho molekulová hmotnost je 354,4 g.mol<sup>-1</sup>. Číslo v databázi CAS je [6754-58-1]. Maximální absorbance XN v UV záření je při 367,8 nm (1 mg XN/ 100 ml methanolu)<sup>18</sup>. Chemické vlastnosti ostatních prenylflavonoidů chmele jsou uvedeny v tabulce I, cit.<sup>8</sup>.

IX je světle žlutá krystalická látka, méně rozpustná než XN. S ethanolovým roztokem chloridu železitého tvoří

Tabulka I  
Chromatografická a spektrální data prenylflavonoidů<sup>8</sup>

Č.	Triviální název	UV $\lambda_{\max}$ [nm] v MeOH	APCI- MS, m/z (MH) <sup>+</sup>
<i>Chalkony</i>			
1	Xanthohumol	368	355
2	Xanthogalenol	365	355
3	4'- <i>O</i> -Methylxanthohumol	367	369
4	4',6'-Di- <i>O</i> - -methylchalkonaringenin	367	301
5	Desmethylxanthohumol	366	341
6	3'-Geranylchalkonaringenin	367	409
7	3',5'-Diprenylchalkonaringenin	372	409
8	5'-Prenylxanthohumol	371	423
9	Xanthohumol B	370	371
10	Xanthohumol C	371	353
11	Xanthohumol D	369	371
12	Xanthohumol E	369	407
<i>Flavanony</i>			
13	Isoxanthohumol	287	355
14	7- <i>O</i> -Methyl-6-prenylaringenin	291	355
15	7- <i>O</i> -Methyl-8-prenylaringenin	291	355
16	5,7-Di- <i>O</i> -methyl-8- -prenylaringenin	287	369
17	5,7-Di- <i>O</i> -methylaringenin	283	301
18	6-Prenylaringenin	291	341
19	8-Prenylaringenin	291	341
20	6,8-Diprenylaringenin	295	409
21	6-Geranylaringenin	294	409
22	8-Geranylaringenin	294	409

tmavě žluté sloučeniny<sup>3</sup>. Maximální absorbance IX v UV záření je při 287 nm (1 mg IX/ 100 ml methanolu)<sup>18</sup>.

Typické polyfenoly jsou koncentrovány v listenech chmelových šištic a mají polární charakter, a proto jsou dobře rozpustné v horké vodě. V nepolárních rozpouštědlech jako je např. CO<sub>2</sub> nebo hexan jsou velmi málo rozpustné. Ačkoli většina flavonoidů je dobře rozpustná v horké vodě, nepolární XN tvoří výjimku. Hromadí se spolu s tvrdými pryskyřicemi a oleji v lupulinových žlázkách

kách, ale ne v listenech chmelových šištic. V superkritickém CO<sub>2</sub> (např. při 30 MPa, 50 °C) je XN rozpustný pouze ve stopách. V ethanolu se rozpouští 90 % všech prenylflavonoidů chmele, XN je proto zastoupen v ethanolových extraktech chmele a jeho koncentrace zde může dosáhnout až k 10 hm.% (cit.<sup>15</sup>).

### 3.1. Biotransformace xanthohumolu

Ačkoliv se flavonoidy hojně vyskytují v přírodě, o jejich metabolismu v živočišných organismech toho víme málo. Primárně se flavonoidy biotransformují játry a střevní mikroflórou. Pomocí glukuronidace (na volnou OH skupinu flavonoidu se naváže kyselina glukuronová) se vylučují např. kvercetin, rutin, genistein a kempferol, avšak o biotransformacích prenylovaných flavonoidů víme jen málo. Glukuronidace je hlavní metabolická cesta 2. fáze detoxifikačních procesů většiny xenobiotik, včetně flavonoidů a je katalyzována enzymem UDP-glukuronosyl transferasou, která je součástí membrány endoplazmatického retikula buněk jaterních mikrosomů. Výzkum se zaměřil na glukuronidy XN z potkaních a lidských jater. Metodou HPLC byly nalezeny dva hlavní glukuronidy XN. V glukuronidu G1 se navázala kyselina glukuronová na XN přes hydroxylovou skupinu jádra A a v glukuronidu G2 se navázala kyselina glukuronová na XN přes hydroxylovou skupinu jádra B (cit.<sup>19</sup>). V další studii se výzkum zaměřil na metabolismus XN potkaními jaterními mikrosomy a odhalil, že je XN odbouráván na 3 polární metabolity. Dva byly identifikovány jako hydroxylované isopropylidihydrofurano deriváty XN a třetí jako 2- nebo 3-hydroxyxanthohumol (cit.<sup>20</sup>). Odbourávání XN kvasinkou *Pichia membranifaciens* vedlo ke třem metabolitům, vznikl (*E*)-2''-(2'''-hydroxyisopropyl)-dihydrofurano[2'',3'' : 4',3' ]-2',4-dihydroxy-6'-methoxychalkon, dále pak (2*S*)-2''-(2'''-hydroxyisopropyl)-dihydrofurano[2'',3'' : 7,8]-4'-hydroxy-5-methoxyflavanon a (*E*)-2''-(2'''-hydroxyisopropyl)-dihydrofurano[2'',3'' : 2',3']-4'-hydroxy-6'-methoxychalkon. Odbourávání probíhá tak, že nejprve vzniká z prenylové skupiny epoxid mezi 2. a 3. uhlíkem prenylu, posléze probíhá nukleofilní cyklizace za vzniku dvou chalkonů jako produktů<sup>21</sup>.

## 4. Vliv prenylflavonoidů na lidské zdraví

Preparát obsahující jako účinné látky XN a humulon byl v USA patentován jako léčebný prostředek na osteoporózu<sup>22,23</sup>. Dále u něj byla prokázána vysoká antioxidační aktivita při inhibici mědi katalyzované oxidace LDL (nizkodenzitní lipoprotein), která hraje roli při vzniku aterosklerózy a může vést k cévním chorobám, infarktu myokardu, arterioskleróze či mrtvici<sup>24-26</sup>. XN a xanthohumol B inhibují enzym diacylglycerolacyltransferasu (DGAT) [EC 2.3.1.20], která přeměňuje diacylglycerol na triacylglycerol, a tím chrání opět proti ateroskleróze. Vyšší hladiny triacylglycerolů v určitých orgánech a tkáních těla zvyšují

riziko obezity, ztučnění jater (steatózy) a hypertriglyceridemie vedoucí k vážným chorobám jako např. ateroskleróze, cukrovce, metabolickému zvratu a snížení funkčnosti některého orgánu<sup>27</sup>. Tyto a jiné vlastnosti řadí XN, IX a ostatní prenylflavonoidy chmele spíše mezi polyfenoly, neboť antioxidační kapacita je přímo spjata s počtem hydroxylových skupin.

IX, který se nachází v pivu, má prokázané antikarcinogenní účinky. Při blokování škodlivě působících enzymů je dokonce účinnější než XN (cit.<sup>28</sup>).

XN a některé chmelové prenylflavonoidy mohou inhibovat enzymy cytochromu P-450, které přeměňují prokarcinogeny v karcinogenní sloučeniny. Poznatky naznačují, že tyto chmelové prenylflavonoidy mohou být efektivními protinádorovými léčivy, které blokují cytochromem P-450 zprostředkovanou aktivaci prokarcinogenů a indukují karcinogen-detoxifikační enzym chinonreduktasu<sup>29</sup>. Studie ukazují, že XN, xanthohumol C a IX mají efektivní protinádorové účinky na buňky lidského karcinomu prsu (MCF-7), tlustého střeva (HT-29) a vaječníků (A-2780) v dávkách od 0,1 do 100 μM (cit.<sup>30</sup>).

Chmel je vedle sóji a jetele jedním z nejbohatších přírodních zdrojů fytoestrogenů. Zvláště zajímavé jsou fytoestrogenní vlastnosti prenylflavonoidů. Estrogenní aktivita prenylovaných flavonoidů je dobře známa, dříve se myslelo, že ji způsobuje XN, někdy také pro tuto vlastnost nazývaný chmelový hormon, avšak z novějších poznatků vyplývá, že samotný XN nemá žádnou estrogenní aktivitu. Estrogenní vlastnosti byly však prokázány u IX a 8-prenylnaringeninů a u několika dalších prenylovaných flavanonů. 8-Prenylnaringenin patří mezi nejsilnější rostlinné estrogény neboli fytoestrogény vůbec. Ve chmelu jsou tyto látky obsaženy pouze v nepatrném množství, v hotovém pivu se tak nalézají ve stopovém množství a jejich obsah se pohybuje od 0,4 do 4,0 mg.l<sup>-1</sup> (cit.<sup>31-33</sup>).

V dnešní době se můžeme setkat i na našem trhu s řadou přírodních preparátů obsahujících flavonoidy sóji, isoflavony, které údajně snižují riziko výskytu různých typů rakoviny a mají i příznivý vliv proti kornatění srdečních tepen. Pomáhají údajně i při klimakterických potížích, při poruchách menstruace, při depresích, zvýšené únavě, bolestech hlavy, migrénách, závratích, nespavosti apod. Podobné účinky se předpokládají i u některých chmelových flavonoidů, zvláště u těch s fytoestrogenní aktivitou.

## 5. Bilance xanthohumolu během výroby piva

Prenylflavonoidy chmele se dostávají do piva během chmelovaru nebo druhotného chmelení. Stevens a spol. provedli několik pokusných chmelení. Jestliže se chmelilo jednou dávkou na začátku chmelovaru (172 g na 12° pivo) byla účinnost extrakce XN horkou vodou asi 87 rel.% Z množství XN, který přešel do mladiny chmelovarem, bylo asi 18 rel.% navázáno na zkoagulované bílkoviny a asi 12 rel.% se ztratilo v horkých kalech. V odpadním chmelu zůstalo asi 13 rel.% Další ztráty vznikaly během chlazení kalů (6 %) a fermentace (11 %). Pouze asi

30 rel.% se nalézalo v hotovém pivu, 98 % bylo však ve formě IX. Celková ztráta XN byla kolem 60 rel.% + 13 rel.% ztráty extrakcí. Stabilizace piva polyvinylpyrrolidonem (PVPP) snížila obsah IX asi o 30 rel.% Jestliže se chmelilo na dvě dávky, na začátku chmelovaru 128 g a na konci 137 g, celkem tedy 265 g na 12° pivo, pak bylo ztraceno v odpadním chmelu a horkých kalech asi 40 rel.% Pouze asi 22 rel.% se nalézalo v hotovém pivu. Celková ztráta byla asi 64 rel.% + 14 rel.% ztráty extrakcí. Konečný obsah IX v lahvových pivech světových značek se proto pohybuje od 0,4 do 4,0 mg.l<sup>-1</sup>, obvykle okolo 1,5 mg.l<sup>-1</sup> (cit.<sup>12,16</sup>).

Forster zkoumal, jaké množství přidaného XN zůstane v hotovém pivu. Z počáteční dávky 5 mg XN do 1 litru sladiny zbylo na konci 35 min dlouhého chmelovaru v mladině 0,4 mg XN a 1,5 mg IX, celkem byla suma látek 1,9 mg, což je 38 rel.% Na konci kvašení byla suma obou látek už jen 30 rel.% A po konečné filtraci a stabilizaci jen 15 rel.% (cit.<sup>34</sup>).

## 6. Závěr

XN, IX a ostatní prenylflavonoidy chmele jsou pozoruhodné sloučeniny, které teprve nyní nacházejí využití jak v pivovarském průmyslu, tak i v řadě jiných odvětví. XN může sloužit jako přírodní antioxidant a jako látka prospěšná lidskému zdraví nejen v pivu, ale i v nových typech léčiv a potravinových doplňcích. Je to látka, která zvyšuje trvanlivost piva i jeho užitnou hodnotu. Vzrůstající počet zpráv o využití těchto látek k léčbě řady nádorů a civilizačních nemocí nabízí využití v chemoprevenci těchto chorob. Už nyní se XN používá k léčbě osteoporózy a v budoucnu se jeho aplikace jistě rozšíří. V Německu se vážně zabývají využitím zbytku po extrakci CO<sub>2</sub>, který obsahuje velké množství prenylflavonoidů, a přidávají ho do piva za účelem zlepšení trvanlivosti, hořkosti a užitné hodnoty piva<sup>35</sup>. Potenciál prenylovaných flavonoidů je obrovský, v blízké budoucnosti si tyto látky mohou najít uplatnění i v oborech, kde bychom je vůbec nečekali.

## LITERATURA

- Seyfferth: Ztschr. f. d. ges. Brauwesen 6, 31 (1892).
- Power F., Tutin F., Rogerson H.: J. Chem. Soc., 1267 (1913).
- Verzele M., Stockx J., Fontijn F., Anteonis M.: Bull. Soc. Chim. Belg. 66, 452 (1957).
- De Keukelaire D.: Pharm. Pharmacol. Lett. 7, 83 (1997).
- Piendl A., Biendl M.: Brauwelt Int. 4, 310 (2000).
- Čepička J., Karabín M.: Chem. Listy 96, 90 (2002).
- Hofta P.: *Diplomová práce*. VŠCHT Praha, Praha 2002.
- Stevens J. F.: Phytochem. 53, 759 (2000).
- Rice-Evans C.: Free Radical Biol. Med. 20, 933 (1996).
- Rice-Evans C. A., Miller N.J., Paganga G.: Trends Plant Sci. 2, 152 (1997).
- Stevens J. F.: J. Am. Soc. Brew. Chem. 56, 136 (1998).
- Stevens J. F.: J. Agric. Food Chem. 47, 2421 (1999).
- Biendl M.: Cerveza Malta 38, 25 (2001).
- Hansel R., Schulz J.: Deutsche Apoth. Ztg. 126, 2033 (1986).
- Forster A., Beck B.: Monatsschr. Brauwiss., 5/6, 98 (2002).
- Forster A., Gahr A.: Monatsschr. Brauwiss. 9/10, 184 (2002).
- Krofta K.: Kvas. Prum. 49, 62 (2003).
- Rausch H.: Xanthohumol Certificate of Analysis, Phytochem, Ichenhausen 2001.
- Yilmazer M., Stevens J. F., Buhler D. R.: FEBS Lett. 491, 252 (2001).
- Yilmazer M.: Drug Met. And Disp. 29, 223 (2001).
- Stettner G., Methner F.-J., Biendl M.: *29th International Congress of the European Brewery Convention, Dublin, 17. - 22.5. 2003*, Poster č. 4. Dublin 2003.
- Tobe H.: Biosci. Biotech. Biochem. 59, 740 (1997).
- US Patent and Trademark Office, US 5 679 716, (1997).
- Miranda C. L.: J. Agric. Food Chem. 48, 3876 (2000).
- Mosinger B.: Cor Vasa 36, 171 (1994).
- Biendl M.: Brauwelt I, 39 (2002).
- Tabata N.: Phytochem. 46, 683 (1997).
- Vinson J. A.: J. Agric. Food Chem. 47, 2502 (1999).
- Henderson M.: Xenobiotica 30, 235 (2000).
- Miranda C. L.: Food Chem. Toxicol. 37, 271 (1999).
- De Keukelaire D.: *EBC Proceedings of the 26th Congress*, 29, str. 239, Maastricht 1997.
- De Keukelaire D.: *EBC Proceedings of the 28th Congress*, 7, str. 82, Budapest 2001.
- Stevens J. F., Taylor A. W., Deinzer M. L.: J. Chromatogr., A 832, 97 (1999).
- Forster A., Beck B., Schmidt R.: Hopfenrdsch. Int. 69 (1999).
- Herath W. H. M. W.: Phytochem. 62, 673 (2003).

## P. Hofta, P. Dostálek, and G. Basařová (Department of Fermentation Chemistry and Bioengineering, Institute of Chemical Technology, Prague): **Xanthohumol - a Hop Resin or Hop Polyphenol ?**

The existing and new findings on xanthohumol and other prenylated hop flavonoids are reviewed. First, synthesis of flavonoids and prenylated flavonoids in plants is described. The contents of major prenylflavonoids in hops in general and the xanthohumol contents in Czech cultivars in the last year are listed. Formulae of all the known hop prenylflavonoids and their chemical, physical and biochemical properties are given. Their effect on human health and their current and potential future utilization are discussed. Biotransformations of xanthohumol in microorganisms, mammals and humans are also mentioned. The balance of xanthohumol and isoxanthohumol in the production of beer is given.