

Vlastnosti a využití chmele a chmelového extraktu

Michal Kutňák

Bakalářská práce
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav biochemie a analýzy potravin
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal KUTŇÁK**
Osobní číslo: **T07048**
Studijní program: **B 2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie a řízení v gastronomii**

Téma práce: **Vlastnosti a využití chmele a chmelového extraktu**

Zásady pro vypracování:

- 1. Morfologie chmele.**
- 2. Chemické složení a vlastnosti chmele.**
- 3. Změny v chemickém složení chmelového extraktu.**
- 4. Využití chmele a chmelového extraktu.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] HLAVÁČEK, F., LHOTSKÝ, A. Pivovarství, SNTL, Praha 1972.

[2] KOSAŘ, K., PROCHÁZKA, S. a kolektiv autorů. Technologie výroby sladu a piva, 1. vydání, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s., 2000.

[3] BASAŘOVÁ, G., HLAVÁČEK, I. České pivo, Nuga, 2. vydání, 1999.

[4] 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.*, 72, 2009, S. 1220–1230.

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Magda Doležalová, Ph.D.

Ústav technologie a mikrobiologie potravin

Datum zadání bakalářské práce:

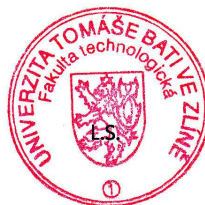
25. února 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

30. května 2011

Ve Zlíně dne 21. března 2011

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Kutnáček Michal

Obor: CHTP-Ga

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 25. 5. 2011


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávajíc zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce požít na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlíží k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Chmel je rostlina, kterou lidstvo využívá k výrobě nápojů již po tisíciletí. Představuje jednu z hlavních a nenahraditelných surovin pro vaření piva. Dodává pivu charakteristickou nahořklou chuť a aroma. V gastronomii lze použít pro přípravu různých pokrmů. Také se využívá v cukrovarnictví k potlačení bakteriální kontaminace. V lékařství se využívají jeho sedativní, antioxidační a antiseptické vlastnosti. Je součástí mnoha fytofarmak. Chmel obsahuje látku, která je považována za nejúčinnější fytoestrogen. V současnosti se šlechtění nových odrůd chmele zaměřuje na větší obsah látek využitelných pro farmacii.

Klíčová slova: chmel, pivo, antioxidační vlastnosti, fytoestrogen, farmacie

ABSTRACT

Hop is a plant, which people use for production of drinks already for millenium. It constitutes one of the main and irreplaceable raw materials for cooking beer. It supplies the characterization of beer and aroma. In gastronomy can be used for preparing various dishes. It is used in sugar industry for suppression bacterial contamination. In medicine are usable sedative, antioxidant and antiseptic properties. It is a part of fytopharmaceuticals. The hop contains a substance, which is regarded as the most effective fytoestrogen. Currently, the cultivation focused on a new mutation of hop, which will contain higher amounts of substances usable for pharmacy is performed.

Keywords: hop, beer, antioxidant properties, fytopharmaceuticals, pharmacy

Na tomto místě bych rád především poděkoval vedoucí mé bakalářské práce Mgr. Magdě Doležalové, Ph.D. za její pomoc, dobré připomínky, cenné rady a čas, který mi věnovala při tvorbě této práce. V neposlední řadě také děkuji své rodině a přátelům za jejich podporu a oporu během celého mého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
1 BOTANIKA A MORFOLOGIE CHMELE	11
1.1 PĚSTOVÁNÍ CHMELE	13
1.1.1 Vývoj pěstování chmele	14
1.1.2 Pěstitelské oblasti	14
1.1.3 Odrůdy chmele	17
2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ CHMELE	21
2.1 VODA	21
2.2 CHMELOVÉ PRYSKYŘICE	22
2.2.1 α -hořké kyseliny	23
2.2.2 β -hořké kyseliny	24
2.2.3 Nespecifické měkké pryskyřice.....	25
2.3 POLYFENOLOVÉ LÁTKY (TRÍSLOVINY).....	30
2.4 FLAVONOLOVÉ GLYKOZIDY	30
2.5 CHMELOVÉ SILICE	34
2.6 LÁTKY PODŘADNÉHO VÝZNAMU	36
3 CHMELOVÉ PRODUKTY A ZMĚNY V CHEMICKÉM SLOŽENÍ CHMELOVÉHO EXTRAKTU	37
3.1 PRODUKTY VYROBENÉ MECHANICKÝMI ÚPRAVAMI.....	37
3.1.1 Lisovaný chmel	37
3.1.2 Granulované chmele.....	38
3.2 PRODUKTY VYROBENÉ FYZIKÁLNÍMI ÚPRAVAMI	38
3.2.1 Etanolové extrakty.....	39
3.2.2 CO ₂ extrakty	39
3.2.3 Preparáty z chmelových silic.....	40
3.3 PRODUKTY VYROBENÉ CHEMICKÝMI ÚPRAVAMI	40
3.3.1 Izoextrakty.....	41
3.3.2 Izopelety	41
3.3.3 Hydrogenované (reduované) izo- α -hořké kyseliny	41
4 VYUŽITÍ CHMELE A CHMELOVÉHO EXTRAKTU	44
4.1 VYUŽITÍ CHMELE V GASTRONOMII.....	44
4.2 VYUŽITÍ CHMELE V KOSMETICE	44
4.2.1 Využití chmelových extraktů v kosmetice	44

4.2.2	Využití chmele v kosmetice jako součást piva.....	45
4.3	VYUŽITÍ CHMELE V LÉKAŘSTVÍ	46
ZÁVĚR	.....	50
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	.....	52
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	.....	59
SEZNAM OBRÁZKŮ	.....	60
SEZNAM TABULEK	.....	61

ÚVOD

Již staří Římané využívali chmel pro léčebné účinky. Byl a je přirovnáván k vlkovi rdousící svou kořist, neboť chmel je rostlina popínavá a při růstu zardousí jakoukoliv rostlinu po které se ovíjí. V té době rostl divoce mezi vrbami jako vlk mezi ovce. Díky této vlastnosti ho Plinius starší pojmenoval a popsal ve své první přírodovědecké encyklopedii starověku *Historia naturalis* jako *Lupus salictarius* (lupus = vlk, salictarius = vrba). Toto pojmenování se stalo základem pro botanický název jak jej známe dnes, a to *Humulus lupulus* L.

Dlouhým vývojem a šlechtěním se chmel začal pěstovat jako kulturní rostlina. Stal se velmi důležitou technickou plodinou pěstovanou pro sklizeň chmelových hlávek. Sušené chmelové hlávky představují jednu z hlavních a zároveň nenahraditelných pivovarských surovin pro vaření piva. Hlávky obsahují technologicky důležité hořké látky, které dávají pivu jeho charakteristickou nahořklou chuť a také přispívají k tvorbě charakteristického aroma. Zároveň působí jako konzervační prostředek mající další technologicky významné vlastnosti.

V České republice má chmel bohatou historii a tradici. Každý rok je vyváženo přes 80 % českého chmele do zahraničí. Česká republika je čtvrtým největším producentem chmele na světě a zároveň největším producentem jemného aromatického chmele. Drží světové prvenství v největší ploše určené pro pěstování jedné odrůdy. A také jí náleží zeměpisná ochranná známka Evropské unie – chráněné označení původu „Žatecký chmel“ a chráněné zeměpisné označení „České pivo“.

Jelikož sušené chmelové hlávky ztrácí při skladování své kvalitativní vlastnosti, tak se v posledních desetiletích vyvíjeli způsoby nového a efektivnějšího skladování, např. ve formě chmelových extraktů.

1 BOTANIKA A MORFOLOGIE CHMELE

Chmel otáčivý (*Humulus lupulus* L.) je dvouděložná vytrvalá rostlina, která patří do řádu kopřivovitých, čeledi konopovitých (*Cannacabaceae*). Vytrvalou rostlinou je proto, že může být stará až několik desítek let, avšak po dvaceti až třiceti letech klesá její plodnost a výtěžnost látek pro pivovarnictví [1]. Je rostlinou dvoudomou, tudíž má rostliny jak samičí, tak i samčí. Samčí rostliny vytvářejí tyčinky a prašníky (samčí orgány), které vyrůstají v chudých latách. Samčí orgány mají schopnost oplodnit samičí rostliny. Samičí rostliny vytvářejí pestíkové květy, které vyrůstají v šištících, krytých světle zelenými šupinami. Z hlediska malé výtěžnosti důležitých látek u samčích květů pro pivovarnický průmysl se u nás pěstují pouze rostliny samičí, jejichž květenství má zůstat neoplozeno [2, 3].

Podzemní část rostliny tvoří bohatý kořenový systém. Horní část kořene je dřevnatá babka, která vzniká ze sazečky a postupně vytváří hlavní kulové kořeny, z nichž pak do stran vyrůstají postranní oddenky zvané vlky. Při ošetřování chmelnic musí být tyto oddenky odstraňovány, protože by mohly odebírat rostlině živiny a tak zeslabovat růst zavedených rév. Kulové kořeny zasahují do hloubky dvou až šesti metrů. Funkcí těchto kulových kořenů je udržovat nadzemní část rostliny, čerpat vláhu a živiny ze spodních vrstev půdy [3].

Nadzemní částí chmelové rostliny je lodyha čili réva šestiúhelníkového průřezu. Réva je popínavá, pravotočivá a má přichytné chloupky, kterými se zachytává vodícího drátu. Dorůstá do výšky sedmi až osmi metrů. V kolénkách na lodyze vyrůstají třílaločné až pětílaločné listy. V paždí listů z chmelové révy vyrůstají postranní větévky zvané pazochy, které v horní polovině vytvářejí květenství. Zbarvení chmelové révy může být zelené, červené až fialové s různými přechody. Toto zbarvení se považuje za charakteristické a podle toho se v praxi skutečně dělí na zeleňáky, červeňáky a přechodné typy poločerveňáky. Mezi červeňáky patří téměř všechny ušlechtilé chmely [4].

Květenství samičích rostlin se nazývá osýpka a dorůstá do šištice dlouhé tři až pět centimetrů. Šištice bývají zelené až načervenalé, z jejichž paždí vyčnívají pestíky. Po dozrání vzniká z květenství hlávka. Chmelová hlávka se skládá z krátkého chlupatého

vřeténka. Na každém článku vřeténka vyrůstají dva palisty (listence), které jsou na konci více zašpicatělé. Tvar hlávky bývá kulatý až protáhle oválný. Pravidelnost hlávky a vejčitý tvar jsou typickými rysy pro zdravé a ušlechtilé chmely (Obr. 1) [5].



Obr. 1. Chmel otáčivý, chmelové hlávky a listence [6].

České chmely mají hlávky dlouhé jeden až pět centimetrů a po usušení 0,5 až 3 cm. Na vnitřní straně listenů se nacházejí citronově žluté až zlatožluté žlázy, které při zrání chmelové hlávky tvoří zrnka lupulinu o průměru 0,15 až 0,25 mm, což je typickou a nejcennější složkou chmele (Obr. 2). Žlázy jsou složeny z polygonálních buněk, které tvoří měchýčky v nichž je žlutý sekret obsahující hořké látky a silice. Barva lupulinu je znakem jakosti a jeho množství je znakem vydatnosti určité odrůdy chmele. Sušením, stárnutím a skladováním lupulin tmavne [5].



Obr. 2. Řez zralou chmelovou hlávkou, která obsahuje žlutě zbarvená zrnka lupulinu [7].

1.1 Pěstování chmele

Chmel je z pěstitelského hlediska velmi náročnou rostlinou. Je to rostlina náročná na světlo, vláhu, teplotu a také na půdní podmínky. Nejvíce světla vyžaduje v době zrání pro dobrý vývoj květenství v hlávku. Půda musí být úrodná, bohatá na vápník s rozpustnou spodinou. Vhodné jsou půdy s vysokým obsahem železa, dusíku, fosforu, draslíku a hořčíku. Ve chmelařských oblastech České republiky jsou půdy hlinito-písčité, těžké až jílovité. Například pro oblast Žatecka jsou typické žatecké červenky permského původu, zabarvené sloučeninami železa. Průměrné roční teploty v oblastech pěstování chmele by měly být 8 až 10 °C. Chmel je rostlina vlhkomilná [8].

1.1.1 Vývoj pěstování chmele

Chmel byl znám již ve starověku jako planě rostoucí rostlina. Od počátku našeho letopočtu se pěstuje jako kulturní rostlina. Největší použití od konce starověku souvisí s přípravou piva a dodnes je chmel pro tento nápoj nenahraditelnou surovinou. Uvádí se, že Slované chmelili nápoje v době nejméně 1 500 až 1 000 před naším letopočtem, avšak doložené zprávy uvádějí, že se chmelilo od 8. a 9. století našeho letopočtu. Rozšíření chmelení piva u řady národů nastalo ve 13. století. V 11. století se stále ještě chmelové hlávky získávaly z planě rostoucích rostlin v přírodě. Ve 14. století za vlády Karla IV. se pěstování chmele hodně rozšířilo. Původně si každý pivovarník pěstoval chmel sám a chmelnice byly u každého velkostatku. Po roce 1781, kdy byla zrušena roboty, směli chmel pěstovat sedláci a chmelnice se stále rozrůstaly. Na území našeho státu do roku 1890 byla plocha chmelnic 8 000 až 10 000 hektarů. Poté se následně zvyšovala a největší výměra před první světovou válkou byla zaznamenána v roce 1907, kdy chmelnice zaujímaly plochu 17 280 hektarů. Zhoršení podmínek pro pěstování chmele na území našeho státu přinesla druhá světová válka. Chmelnice se snížili zhruba o plochu 3 000 hektarů. Zanedbáním chmelnic poklesla jejich produktivita o 30 %. Od roku 1979 se výnosy chmelnic ustálily okolo jedné tuny z hektaru. K podstatným změnám na vlastnosti zpracovaného chmele dochází roku 1960. Sušené hlávky chmele se začínají nahrazovat chmelem mletým nebo granulovaným či chmelovými extrakty. V podniku Chmelařství Žatec se roku 1973 postavila první linka na výrobu granulovaného a mletého chmele [9].

1.1.2 Pěstitelské oblasti

V České republice je pěstování chmele státně kontrolováno a řízeno. Na českém území jsou povoleny tři pěstitelské oblasti (Obr. 3). První oblast Žatecko a druhá Úštěcko se nacházejí v Čechách, třetí oblast Tršicko se rozléhá na Moravě u Olomouce [10].



Obr. 3. Pěstitelské oblasti chmele v České republice [11].

Produkce a plocha pro pěstování chmele v České republice se v historii stále měnili (Tab. 1). Z tabulky je také vidět, že od roku 1990 se plocha pro pěstování chmele zmenšuje.

Tab. 1. Plocha, produkce a průměrný výnos chmele na našem území od roku 1870 do roku 2009 [12, 13].

Rok	Plocha [ha]	Produkce [t]	Průměrný výnos [t/ha]
1870	5 350	2 591	0,28
1880	8 400	4 694	0,56
1890	10 270	4 238	0,41
1900	13 010	7 201	0,55
1910	14 715	12 255	0,83
1917	9 000	5 700	0,61
1919	8 583	4 350	0,52
1921	7 673	2 903	0,38
1925	10 218	7 015	0,78
1930	15 729	14 725	0,95
1939	10 535	11 079	1,05
1940	8 941	6 774	0,76
1980	10 122	8 680	0,86
1988	10 372	14 045	1,35
1990	10 435	9 123	0,87
1995	10 071	9 770	0,97
2000	6 095	4 864	0,80
2001	6 075	6 621	1,09
2002	5 968	6 442	1,08
2003	5 942	5 527	0,93
2004	5 838	6 311	1,08
2005	5 672	7 831	1,38
2006	5 414	5 453	1,01
2007	5 389	5 631	1,04
2008	5 345	6 753	1,27
2009	5 307	6 616	1,25

Ve světě jsou hlavní producenti sdruženi v mezinárodním sdružení pěstitelů chmele (MSCHP). Sdružení koordinuje produkci chmele s jeho zpracováním a spotřebou v pivovarech v závislosti na poměru nabídky a poptávky. Do MSCHP patří i Česká republika. Největším světovým producentem chmele je Spolková republika Německo s hlavními pěstitelskými oblastmi Hallertau, Tettngang, Spalt, a Hesrbruck. Druhým největším producentem chmele jsou Spojené státy americké s pěstitelskými oblastmi

ve státech Washington, Idaho a Oregon. Dalšími důležitými evropskými producenty jsou Anglie, Čína, Slovinsko, Polsko, Rusko, v zámoří pak Austrálie [4].

1.1.3 Odrůdy chmele

V pěstitelské praxi rozdělujeme odrůdy chmele z několika hledisek. Podle zabarvení chmelové révy odrůdy dělíme na:

- červeňáky – révu mají zabarvenou antokyanovým barvivem červeně až červenofialově. Mají rychlý růst, proto jsou polorané a rané. Chmelové hlávky jsou světlezelené, vejčitého tvaru a dobře uzavřené. Jsou bohaté na lupulin a mají pravou chmelovou vůni. V České republice mají největší zastoupení.
- zeleňáky – révu mají zabarvenou zeleně, rostou pomaleji, proto bývají pozdější. Chmelové hlávky jsou světlezelené, avšak hrubší. Tvoří se větší zrnka lupulinu, vůně je ostřejší.
- poločerveňáky – révu mají téměř zelenou s načervenalými řapíky listů. Jejich význam je podřadnější.

Podle vegetační doby zrání se dělí na odrůdy: rané, polorané a pozdní [4, 8].

Historie výzkumu chmele a jeho šlechtění má v České republice velkou historii. Začala prací nadšenců, kteří se snažili o neustálé zlepšování kvality produkce chmele. V roce 1925 kdy byla založena první výzkumná stanice zemědělská v Dešticích, se považuje za počátek moderního českého chmelařství. V tomto období se začalo rozvíjet mnoho prací a výzkumů o výživě, ochraně a šlechtění chmele [9, 10].

V současné době na českém území jsou registrovány pouze české odrůdy chmele (Obr. 4). Každá odrůda má své kvalitativní vlastnosti, kterými se odlišuje od ostatních odrůd. Aby nedocházelo k falšování kvalitních českých chmelů, tak se musí podle uzákoněného předpisu veškerý chmel známkovat za účelem garance původu, odrůdové čistoty a dodržení kvalitativních parametrů [4].

Známkování chmele se skládá z označení a z ověření. Obal s chmelem se opatří štítkem, na kterém je uveden název republiky, název odrůdy, ročník sklizně, název chmelové oblasti a její poloha, číslo obalu a uzavření obalu plombou. Ověření je uvedení štítku s údaji stanovenými zákonem na obal s chmelem a následné vydání ověřovací listiny [14].



Obr. 4. Odrůdy českých chmelů pěstované v České republice [15].

Žatecký poloraný červeňák je natolik kvalitní a celosvětová odrůda, že po dlouhých procesech návrhů a projednávání byla zapsána do produktů chráněného označení původu. Chráněné označení původu vyplývá z Nařízení Rady č. 2081/92 ze dne 14. července o ochraně zeměpisných označení původu výrobků. Dne 8. května 2007 dle Nařízení Komise č. 503/2007 bylo označení Žatecký chmel (CHOP) zapsáno do Rejstříku chráněných označení původu a chráněných zeměpisných označení. Jednalo se o první udělení v Evropské unii co se týče chmele. V České republice udělení typu označení původu a chráněných zeměpisných označení bylo dokonce jako první. Označením Žatecký chmel může být pouze označen jemný aromatický chmel Žatecký poloraný červeňák vypěstovaný v Žatecké chmelařské oblasti (Obr. 5) [16].



Obr. 5. Etiketa pro chmel a chmelové výrobky, které mohou být označeny jako Žatecký chmel [17].

Obchodní řazení chmelových odrůd do kvalitativních skupin je založeno na hodnocení jejich pivovarských vlastností, obsahu α -hořkých kyselin, genetické příbuznosti, podílu kohumulonu v α -hořkých kyselinách a podílu farnesenu v celkových silicích. Ve světě jsou obdobným odrůdám přiřazovány písmenné zkratky, které říkají jaká je to odrůda, ale i kde byl chmel vypěstován [14].

Odrůdy se v současné době dělí do čtyř kvalitativně odlišných skupin:

- jemné aromatické odrůdy chmelů (angl. fine aroma) – zahrnují především žatecké odrůdy s ušlechtilým a příjemně chmelovým aroma bez jakýchkoliv pavůní, které se považují za nejlepší na světě. K jemným chmelům patří většina našich chmelů. Patří sem žatecký poloraný červeňák pěstovaný v žatecké oblasti (CZSSA), velmi raný německý tettnangský (Tettnang) červeňák (TTE), rovněž německý poloraný špaltský (Spalt) červeňák (SSP) a polská odrůda Lublin (PLLU). Obsah α -hořkých kyselin se pohybuje v rozmezí 3,5 až 4,0 %, podíl kohumulonu 25 až 30 % a podíl farnesenu 10 až 15 %, avšak u žateckého červeňáku bývá až 18 % [4].
- aromatické odrůdy chmelů (angl. aroma) – v popředí zde stojí německý poloraný červeňák holedavský (Hallertauer, HHA) a hersbrucký (Hersbrucker, HHE) pozdní zeleňák i nové odrůdy Select (SSE) a Perle (HPE), slovinský Golding (SLGO), americký Cascade (USCA), česká hybridní odrůda Sládek (CZSL). Obsah α -

hořkých kyselin je 3,5 až 6,5 %, podíl kohumulonu je 20 až 40 % a podíl farnesenu do 5 % s výjimkou odrůdy Spalt, která má 20 % [4, 8].

- hořké odrůdy chmelů (angl. bitter) – zde řadíme dvě nové české odrůdy Bor (CZBO) a Premiant (CZPR), anglickou odrůdu Northern Brewer (HNB), slovinskou odrůdu Super Steiner (SLSU) a polskou Marinku (PLMA). Odrůdy této skupiny vykazují α -hořkých kyselin okolo 8 %, podíl kohumulonu 30 % a podíl farnesenu do 2 %. Předností hořkých odrůd chmele je vysoký obsah látek, které jsou zdrojem hořkosti. U české odrůdy Premiant je i velmi příznivé aroma, proto bývají označovány jako poloaromatické (semiaroma) či dvou-účelové (dual purpose) a nacházejí široké uplatnění v pivovarském průmyslu [xxx8].
- vysokoobsažné odrůdy chmelů (angl. high alfa) – mají velký obsah pryskyřic, hlavně α -hořkých kyselin. Patří zde hybridní odrůdy vyšlechtěné přímo pro dosažení vysokého obsahu α -hořkých kyselin,. Tyto hybridní odrůdy mají podstatně horší aroma. Konkrétně zde můžeme zařadit německou odrůdu Matným (HHM) a Taurus (HTU), anglickou odrůdu Nugget (HNU), americkou Target (USTA) a Columbus (USCO) [8, 18].

Na trhu se v posledních letech objevují odrůdy ještě s vyšším obsahem α -hořkých kyselin, přesahujících 15 %. Bývají označovány jako super alfa odrůdy. Jsou vhodné spolu se čtvrtou skupinou odrůd ke zpracování na chmelové extrakty [18].

2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ CHMELE

Chemické složení chmele závisí na odrůdě, ročníku, oblasti pěstování a způsobu posklizňové úpravy. Nejdůležitější složkou chmele jsou zejména chmelové pryskyřice, polyfenolové látky a silice, které jsou rozhodující pro kvalitu chmele a které se uplatňují v technologickém procesu při výrobě piva (Tab. 3) [4]. Chmel obsahuje i látky, které nepříznivě ovlivňují zpracování chmele v technologickém procesu výroby piva. Tyto látky se označují jako problematické složky a patří k nim dusičnany, zbytky postřikových látek, těžké kovy a u některých chmelových výrobků i zbytky chemických katalyzátorů [18].

Tab. 3. Průměrné složení sušených chmelových hlávek [4].

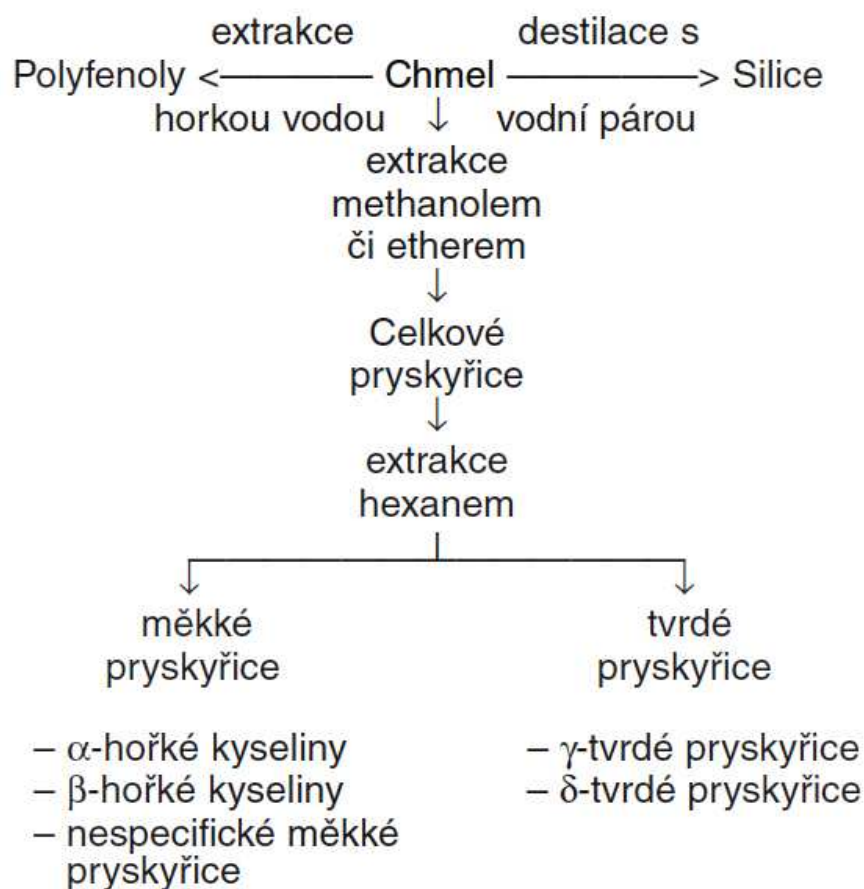
Látka	Obsah [%]
voda	8 – 12
celkové pryskyřice	15 – 20
polyfenolové látky (třísloviny)	2 – 6
silice	0,2 – 2,5
vosky a lipidy	1 – 3
dusíkaté látky	12 – 15
sacharidické látky (celulosa)	40 – 50
minerální látky	6 – 8

2.1 Voda

Obsah vody v čerstvě sklizených chmelových hlávkách bývá 72 až 82 %. Obsah vody je vysoký, tudíž se nemůže skladovat v původním stavu a musí se snížit umělým sušením za teplot do 50 °C až na 8 %. Chmel se suší ve vrstvě 20 cm 5 až 8 hodin. Po procesu sušení se chmel skladuje na půdách, kde přijímá vzdušnou vlhkost, a tím se zvyšuje jeho obsah vody na 11 % [4]. Pokud je obsah vody při skladování pod 10 % dochází k rozlisování chmelových hlávek a při manipulaci vznikají ztráty lupulinu vypadáváním. Skladované chmely s obsahem vody nad 15 % nejsou stálé a snadno se zapařují a plesnivějí [8].

2.2 Chmelové pryskyřice

Nejdůležitější složkou chmele jsou chmelové pryskyřice, které jsou zdrojem hořké chuti piva. Pryskyřice jsou tvořeny řadou chemicky podobných látek. Jsou rozpustné v etyléteru, kterým se izolují. Ze zbytku po odpaření éteru se získá rozpuštěním v metanolu podíl obsahující celkové chmelové pryskyřice. Ty se dále dělí na tvrdé pryskyřice, které nejsou rozpustné v n-hexanu a měkké pryskyřice rozpustné v n-hexanu do kterých patří velmi významné α -hořké kyseliny a β -hořké kyseliny (Obr. 6) [10, 19].



Obr. 6. Schéma dělení účinných chmelových látek [4].

Chemické složení chmelových pryskyřic:

- měkké pryskyřice (rozpustné v n-hexanu);
 - α -hořké kyseliny;

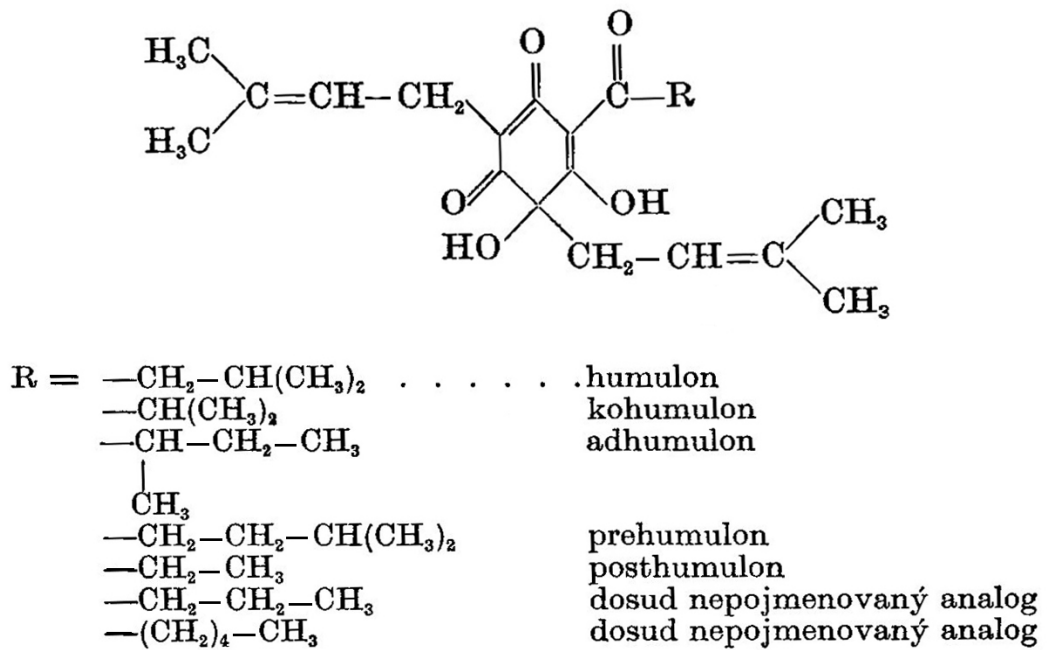
- β -hořké kyseliny;
- *nespecifické měkké pryskyřice (resupony).*
- tvrdé pryskyřice (nerozpustné v n-hexanu);
 - γ -tvrdé pryskyřice;
 - δ -tvrdé pryskyřice [8].

2.2.1 α -hořké kyseliny

Jsou složeny ze tří hlavních složek:

- humulonu;
- adhumulonu;
- kohumulonu.

Jejich vzorce i vzorce ostatních známých analogů se odvozují od obecného vzorce α -hořkých kyselin (Obr. 7) substitucí za R na C₂ benzenového jádra. Jednotlivé analogy se tedy od sebe strukturně liší pouze postranním acylovým řetězcem [20].



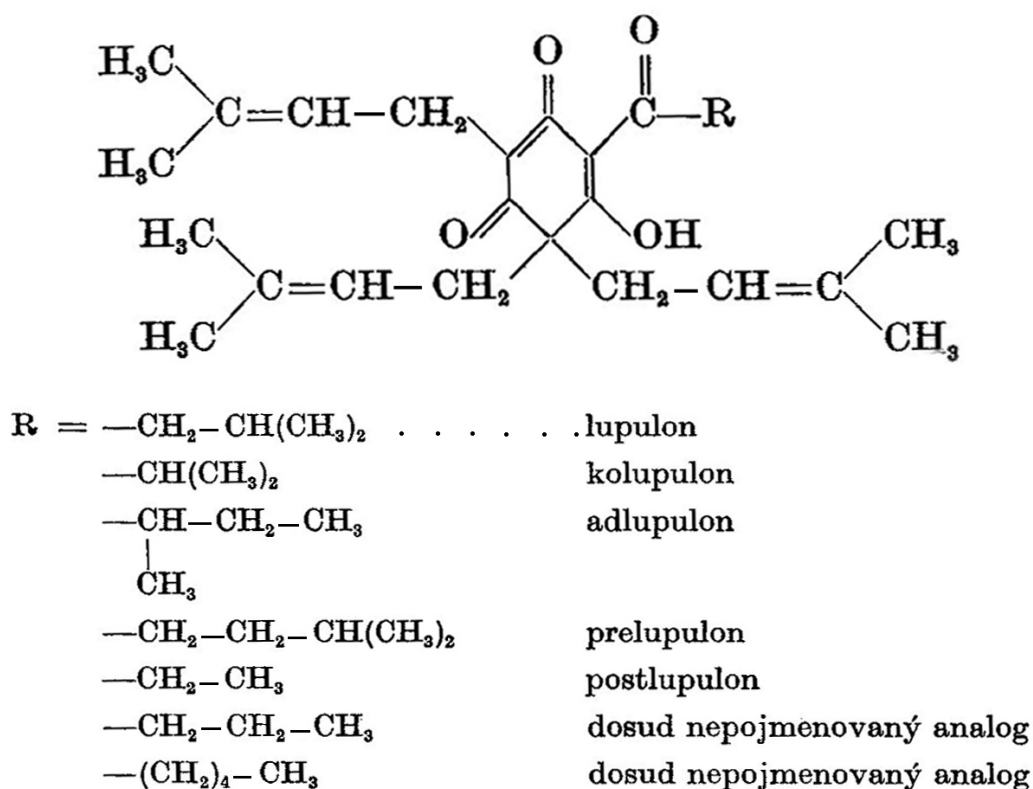
Obr. 7. Strukturní vzorec α -hořkých kyselin [8].

2.2.2 β -hořké kyseliny

Skládají se ze tří hlavních složek:

- lupulonu;
- adlupulonu;
- kolupulonu.

Další analogy se odvozují od obecného vzorce β -hořkých kyselin (Obr. 8) a obdobně jako analogy humulonu mají také stejný postranní řetězec [21].

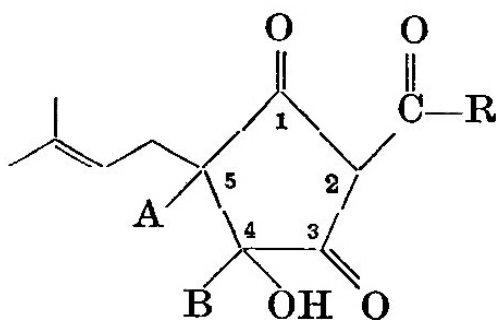


Obr. 8. Strukturní vzorec β -hořkých kyselin [8].

Ve chmelových pryskyřicích je poměrné zastoupení analogů dáno geneticky. Uvádí se, že české chmely mají poměr humulonu : kohumulonu : adhumulonu = 80 : 10 : 10 a poměr lupulonu : kolupulonu : adlupulonu = 60 : 20 : 20. α -Hořké kyseliny a β -hořké kyseliny jsou velmi dobře prozkoumány, avšak zpočátku byla pozornost soustředěna jen na α -hořké kyseliny a β -hořké kyseliny se považovaly za technologicky bezcenné. V technologickém procesu se chmelové pryskyřice uplatňují nepřímo jako prekurzory dalších látek, které pak přispívají k vytvoření hořké chuti piva [22].

2.2.3 Nespecifické měkké pryskyřice

Tyto látky rozlišujeme na α -resupony a β -resupony (Tab. 3) podle toho, zda jsou odvozeny od α -hořkých kyselin nebo od β -hořkých kyselin. Teoreticky lze odvodit nejméně osm různých skupin α -resuponů a 4 skupiny β -resuponů, které se navzájem liší funkčními skupinami. Proto byl vytvořen klasifikační systém této početné skupiny látek. Látky tohoto typu obsahují cyklopentantrionové jádro (Obr. 9), různě substituované v poloze 4 a 5 [23].



Obr. 9. Cyklopentantrionové jádro [23].

Tab. 3. Základní typy resuponů [23].

	Charakter substituentů		Název resuponů
	A	B	
α-resupony	-H	-CO-prenyl	izohumulony
	-H	-CO-CH ₃	pryskyřice B
	-H	-H	humulinové kyseliny
	-H	-OH	Re- α -4*
	-OH	-CO-prenyl	humulinony
	-OH	-CO-CH ₃	Re- α -6*
	-OH	-H	oxyhumulinové kyseliny
	-OH	-OH	Re- α -8*
β-resupony	-prenyl	-CO-prenyl	Re- β -1*
	-prenyl	-CO-CH ₃	Re- β -2*
	-prenyl	-H	luputriony
	-prenyl	-OH	hulupony

* Strukturální vzorce hypotetických resuponů

Čerství chmel obsahuje více α -resuponů. Starší chmely či chmelové extrakty mohou obsahovat větší podíl β -resuponů [23].

α -resupony

Izohumulony

Vznikají izomerací humulonů při chmelovaru piva, ale také bylo prokázáno, že vznikají již při skladování chmele. Vzniklé izohumulony mají výrazně hořkou chuť. Podle Verzeleho se izohumulony vyskytují vždy ve směsi tří či více podobných látek, a to izohumulonu A, izohumulonu B, alloizohumulonu A a alloizohumulonu B [24].

Hořkou chuť mají pouze oxidační a degradační produkty, které ve své molekule obsahují pětiuhlíkatý kruh a postranní acyl navázaný na druhém atomu uhlíku. Hořké látky obsahují dvojnou vazbu, která je umístěna v poloze $-\beta$ nebo $-\gamma$ v postranním izohexenylovém řetězci například alloizohumulon A a alloizohumulon B [24, 25].

Ve chmelu byla také objevena skupina abeo-izohumulonů označovaných I, II a III. Vznikají oxidací α -hořkých kyselin, izohumulonů a humulinonů. Abeo-izohumulony nemají hořkou chuť, jsou dobře rozpustné ve vodě a mají pěnotvorné vlastnosti [26].

Pryskyřice B

Pryskyřice B jsou degradační produkty, které vznikly odštěpením izobutylaldehydu z humulonů či izohumulonů [24].

Humulinová kyselina

Je konečným produktem hydrolýzy α -hořkých kyselin a má pouze dva hydrofobní postranní řetězce. Předpokládá se také, že vznikají z pryskyřice B. Chuť mají trpce hořkou. Dehydratovaná kyselina humulinová je jedním z možných původců samovolného přepěňování piva při použití izomerovaných chmelových extraktů. Dehydratovanou kyselinu humulinovou považujeme za jednu z mnoha dalších původců samovolného přepěňování piva při použití izomerovaných chmelových extraktů [24].

Humulinony

Jsou středně silné kyseliny vznikající podobně jako izohumulinony izomerací α -hořkých kyselin za současné mírné oxidace. Poprvé byly izolovány z chmele Cookem a Hanisem. Zjistili, že chmel obsahuje 2 % humulinonů. Synteticky je připravili Howard a Slater. Jejich hořkost je menší a příjemnější oproti izohumulonům. Oxidací humulonů vznikají izohumulinony hned vedle humulinonů [27, 28].

Oxyhumulinové kyseliny

Tyto kyseliny zatím nebyly blíže prostudovány, avšak od kyselin se liší tím, že ve strukturním vzorci obsahují na šestém atomu uhlíku skupinu $-\text{OH}$ místo $-\text{H}$ [28].

β -resupony

Luputritiony

Za objev luputritionů v mladině a pivě se zasloužili Japonci Kuroiwa a Hashimoto. Lupotritiony jsou dalšími degradačními produkty β -hořkých kyselin. V pivě jsou v určité oxidoredukční rovnováze s hulupony se kterými jsou vlastnostmi i strukturně podobné. Oxidačním produktem luputritionů z mnoha dalších je i kyselina hulupinová [29].

Hulupony

Vznikají degradací β -hořkých kyselin. Jde o středně silné, jednosytné, nekarboxylové kyseliny, málo rozpustné ve vodě a dobře rozpustné v organických rozpouštědlech. Zásahu si zasloužili Švédci Spetsig a kolektiv [30], kteří hulupony objevili ve chmelu, mladině a i pivu. Chmel obsahuje 0,1 až 0,2 % huluponů.

Z technologického hlediska je nejdůležitější hořkost chmelových pryskyřic. Hořké látky jsou přímo či nepřímo odvozeny z původních chmelových pryskyřic. Již při dozrávání a následném sušení a skladování chmele vznikají oxidační produkty chmelových pryskyřic. K největším kvantitativním změnám chmelových pryskyřic dochází při chmelovaru [30].

Meilgaard a Trolle uvádějí, že se při chmelovaru α -hořké kyseliny nejdříve izomerují a následně přecházejí v podobě odpovídajících izosloučenin do roztoku [31]. Humulony se rozkládají na rozpustnější izohumulony, které se částečně mění na pryskyřice B a dále na kyselinu humulinovou. Na stupeň izomerace má vliv mnoho faktorů a její průběh nelze usměrnit změnou délky chmelovaru. Největší ztráty α -hořkých kyselin probíhají na začátku chmelovaru. Po chmelovaru je v mladině přítomno asi 60 % α -hořkých kyselin z celkového počtu. Vyskytují se zde v podobě izosloučenin. Někteří autoři uvádějí dokonce 40 – 50 % α -hořkých kyselin [32]. Konečné využití α -hořkých kyselin z chmele při výrobě piva je pouze asi 30 %, někdy ještě menší, poněvadž při ostatních procesech vznikají další ztráty [33].

β -hořké kyseliny degradují přes hulupony, popřípadě luputryony ke kyselině hulupinové. Ztráty β -hořkých kyselin při chmelovaru dosahují 20 %. Analýzou mladiny bylo zjištěno 18 % β -hořkých kyselin, z nichž 1/3 se přeměňuje na hořce chutnající látky. Takže 2/3 β -hořkých kyselin se adsorbovaly chmelovým mlátem a jsou nevyužitelné. Výsledky výzkumných prací potvrdily, že β -hořké kyseliny se mění na rozpustnou formu [22].

Z hlediska využití β -hořkých kyselin je technologický proces ztrátový a neekonomický. V praxi lze využitelnost chmelových pryskyřic zvýšit. Zvyšuje se používáním chmelových koncentrátů, použitím ultrazvuku při chmelovaru, extrakcí chmelového mláta a nejučinněji náhradou chmele chmelovými extrakty [10].

Vhodně uchovaný chmel obsahuje 2 – 9 % α -hořkých kyselin, 6 – 8 % β -hořkých kyselin a 1 – 2 % γ -tvrdých pryskyřic. Čerstvé chmely obsahují 35 % α -hořkých kyselin, 46 – 48 % β -hořkých kyselin a 12 % γ -tvrdých pryskyřic z veškerých pryskyřic. Pokud chmel není čerstvý nebo byl poškozen sušením obsahuje přes 15 % γ -tvrdých pryskyřic. Jestliže obsahuje nad 20 % γ -tvrdých pryskyřic je chmel starý nebo byl špatně skladován. České chmely obsahují 12 – 14 % měkkých pryskyřic, u zahraničních chmelů bývá obsah až 18 %. Obsah měkkých pryskyřic klesá stárnutím chmele na 8 – 10 % a současně stoupá zastoupení γ -tvrdých pryskyřic na 9 % [22].

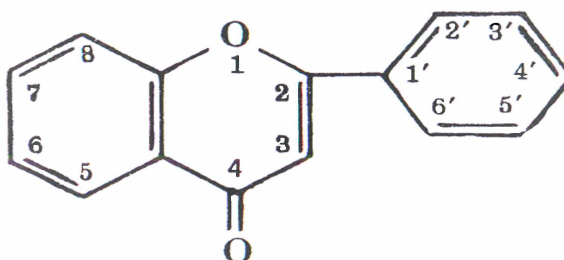
2.3 Polyfenolové látky (třísloviny)

Třísloviny obsažené ve chmelu tvoří početnější skupinu s porovnáním se sladovými tříslovinami. Chmelové polyfenolové látky jsou rozpustnější ve vodě. Jsou také reaktivnější a tím méně stálé. Stupeň disperzity určuje různé chuťové rozdíly. Moštěk uvádí, že chmelové třísloviny jsou snadněji oxidovatelnější, tím pádem mají větší redukční schopnosti a větší aktivitu srážení bílkovin [34]. Tímto chrání chmelové pryskyřice, zejména α -hořké kyseliny před oxidací a tvorbou komplexů. Moštěk spolu s Dyrem [35] uvádějí, že chmelové třísloviny svými dehydratačními účinky podporuje srážení nestažitelných bílkovin a uplatňuje se také jako stabilizační činidlo. Výraznou část chmelových tříslovin řadíme do skupiny flavonoidů [36]. Ve chmelu jsou přítomny ve formě glykozidů a ojediněle aglykonů [37].

Dělením chmelových látek se zabýval Moštěk, který vycházel z Harrisova schématu dělení chmelových tříslovin do pěti skupin, zahrnujících flavonolové glykozidy, látky typu kyseliny chlorogenové, antokyanogeny, látky typu kumarinů a volné kyselé fenoly [38].

2.4 Flavonolové glykozidy

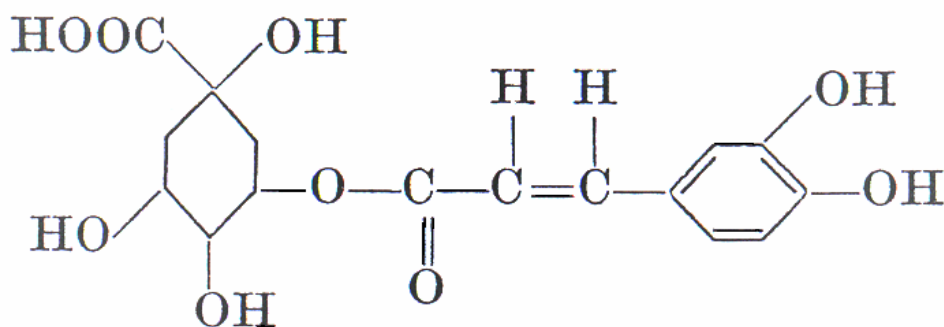
Pro tuto skupinu je typickým představitelem kvercitrin, tj. ramnozyl kvercetinu, dále pak kaempferitrin, myricitrin a další triglykozidy a polyglykozidy (Obr. 11) [38, 37].



Obr. 10. Základní skelet flavonových derivátů
(flavon, 2-fenyl- γ -benzopyron) [38].

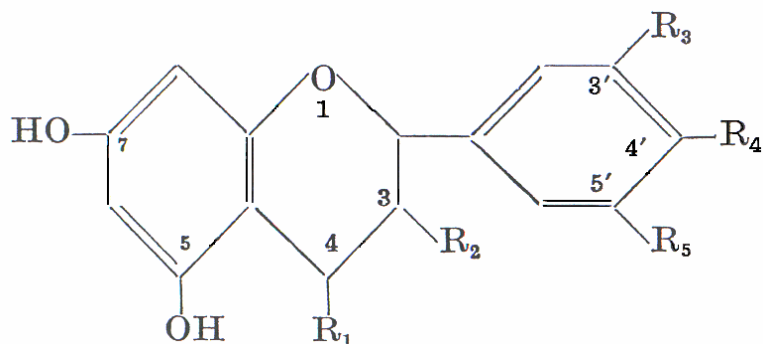
K chemické taxonomii velmi výrazně přispěli Hubáček a Trojna z hlediska obsahu flavonolových glykozidů a volných flavonolů. Celkový obsah flavonolů ve chmelech kolísá v mezích od 0,14 do 0,85 % podle pěstitelské oblasti a vyjadřuje se jako rutin [39].

Látky typu kyseliny chlorogenové (Obr. 12) a její deriváty jsou přechodem k saponinům, látkám, které při třepání s vodou silně pění. Ve chmelu zastupují značný podíl z celkového obsahu tříslovin. Do této skupiny řadíme z derivátů kyseliny p-hydroxybenzoové kyselinu protokatechovou, gallovou, vanilínovou a syringovou [39, 37]. Z derivátů kyseliny kávové zde patří kyselina koumarová a ferulová. Některé z těchto kyselin jsou obsaženy ve chmelu v malém množství, jiné vznikají kyselou, alkalickou nebo enzymovou hydrolyzou tříslovin. Kyseliny, které vznikají enzymatickou cestou, mají za následek hnědnutí mladiny a piva. Tyto reakce však inhibujeme sirnými sloučeninami, to je tzv. síření chmele [40, 41].



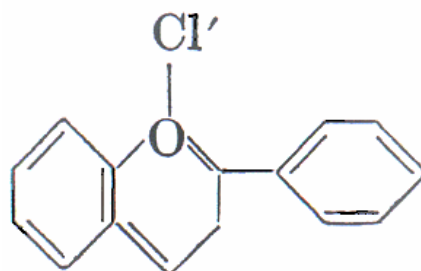
Obr. 11. Kyselina chlorogenová (dipeptid kávové a chinové kyseliny) [38].

Do chmelových polyfenolů řadíme také antokyanogeny. Jsou to látky typu antokyanidinů, jejich leukoformem a hlavně 5,7-dihydroxyflavanových derivátů (Obr. 13) [10].



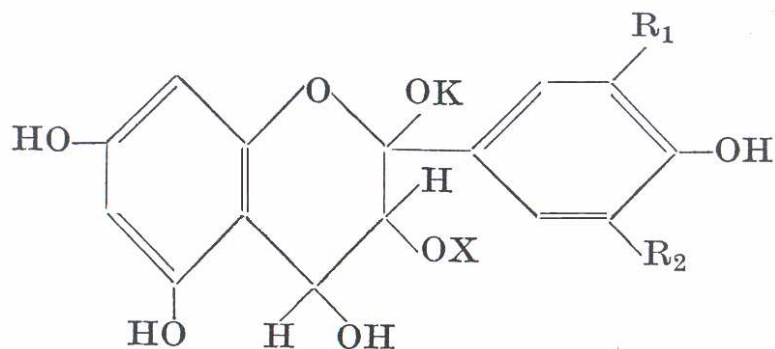
Obr. 12. Základní skelet 5,7-dihydroxyflavanových derivátů [37].

Na substituenty R_1 až R_5 jsou hlavně vázány $-H$, $-OH$, zřídka pak $-OCH_3$. Patří k nim kyanidin a delphinidin a jejich leukoformy. Antokyanidiny, aglykony antokyaninů jsou odvozeny od flavyliumchloridu (Obr. 14) [35].



Obr. 13. Chemický vzorec flavyliumchloridu [42].

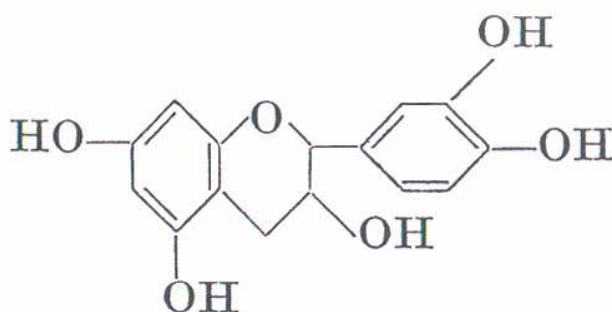
V révách červeňáků a poločerveňáků jsou obsaženy zejména antokyaniny. V listenech a palistech hlávek se nacházejí leukoantokyaniny. Antokyanogeny (Obr. 15) jsou karmínově hnědě zbarvené látky, které vznikají zahříváním spolu s minerálními látkami [34].



Obr. 14. Základní struktura antokyanogenu [42].

Význam symbolů ve vzorci (Obr. 15): X = -H nebo cukerná složka, K = -H nebo hydroxyflavanol (u biflavonoidního antokyanogenu), R₁ a R₂ = -H, -OH, -OCH₃ [42].

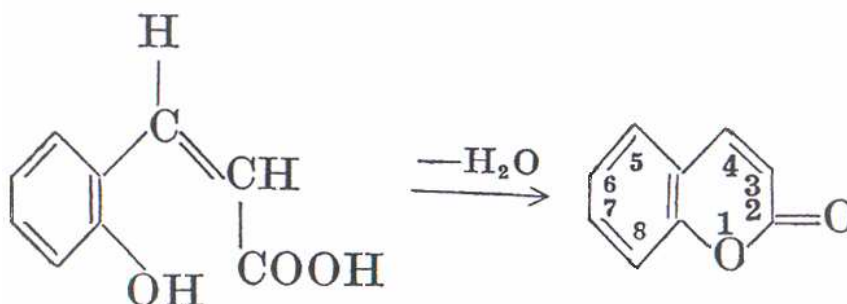
Kyanidiny ve většině chmelů několikanásobně převládají nad delfinidiny. Harris a Ricketts zjistili, že chmel obsahuje také D (+)-katechin (Obr. 16), epikatechin a jejich polymery. Katechin je druhou stavební složkou hlavního biflavonoidního antokyanogenu chmele [43, 44].



Obr. 15. D (+)-katechin [45].

Pokud v poloze 5' zaměníme -H skupinou -OH, vznikne gallokatechin. Katechiny tvoří řadu izomerů. Působením slunečního záření a vzdušného kyslíku se katechiny kondenzují ve větší molekuly [45].

Ve chmelu se také vyskytují kumariny (Obr. 17) většinou v podobě aglykonů. Glykozidy s kumarinovým jádrem se odvozují od kumarinu substitucí hydroxylovými skupinami, z nichž jedna zprostředkuje glykozidickou vazbu. Nejčastěji se jedná o β-D-glykozidy [37].



Obr. 16. Z kyseliny *o*-hydroxykyskořičové vzniká kumarin [37].

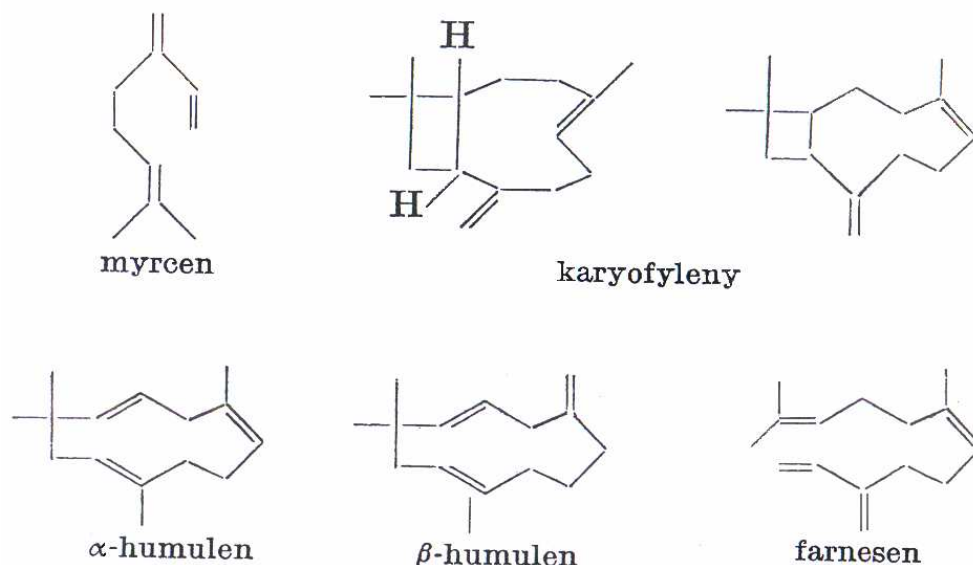
Další látkou obsaženou ve chmelu jsou kyselé fenoly. Jsou směsí velkého počtu kyselých reagujících látek fenolového typu přítomných ve volné formě [46].

2.5 Chmelové silice

Udělují chmelu charakteristickou vůni. Z technologického hlediska mají podřadný význam, avšak z hlediska obchodního mají rozhodující vliv na hodnocení chmele [47].

Tvoří je směs několika set organických látek, převážně terpenové řady. Plynová chromatografie a další moderní metody identifikovaly velký počet složek chmelových silic. Dnes jich je známo nad 200. Rozdělují se na frakci uhlovodíkovou (terpenovou), kyslíkatou a frakci sirných sloučenin [47].

Uhlovodíková frakce tvoří 40 až 80 % chmelové silice. Převažuje zejména v čerstvě sklizeném chmelu. Zhruba polovina jsou monoterpeny (C_{10}), zbytek frakce tvoří hlavně seskviterpeny (C_{15}), a další látky s C_{30} . Hlavním monoterpenem je myrcen a hlavními seskviterpeny jsou humulen, karyofylen a farnesen [48, 49].



Obr. 17. Hlavní terpeny chmelových silic [25].

Terpeny (Obr. 18) mohou tvořit až 90 % chmelové silice. Obvykle jsou součástí evropských odrůd chmele. U amerických odrůd se humulony a karyofyleny vyskytují jen v malém množství (2,7 %) z celkového množství chmelových silic, kdežto selinony, kterých může být až 38 % převládají. Tvorba a kvalitativní složení chmelových silic tak jako u hořkých látek značně závisí na genetických vlastnostech konkrétních odrůd chmele. Žatecké chmely mají nízký obsah myrcenu. Z celkového množství silic 0,5 – 2,0 % přechází do piva asi $\frac{1}{4}$. Rigby [50] zjistil, že myrcen uděluje pivu ostrou vůni a chuť, kdežto humulen a karyofyleny dávají pivu ušlechtilé aroma [25, 48].

Kyslíkatá frakce se tvoří během zrání, zpracování a skladování chmele. Vznikají také působením vzdušného kyslíku za vyšších teplot. Obsahuje velký počet sloučenin, ale procentuálně méně zastoupených než frakce terpenová. Na kyslíkatou frakci připadá 15 – 40 % z celkových silic chmele. Volné alifatické alkoholy nepřesahují 1 % z celkového množství silic [48]. Jansen zjistil tyto látky: n-butanol, izobutanol, n-amylalkohol, hexanol, heptanol, oktanol, nonanol, dekanol, undekanol, dodekanol, nerol, linalool, geraniol, terpineol a nerolidol [51].

Z ketonů byl nejprve určen metyl-nonyl keton, následně 2-undekanon, který určil Šorm [52]. Dále pak Jansen ve chmelových silicích určil také přítomnost následujících aldehydů, jejichž obsah je velmi nízký: hexanal, heptanal, 2-hexanal, oktanal, 2-heptanal, 2-oktanal,

nonanal, 2-nonanal, dekanal, undekanal, dodekanal, tetradekanal a citral. Jansen také zjistil a následně potvrdil Roberts, že je ve chmelových silicích asi 60 metylesterů s rovnými i rozvětvenými řetězci a nasycenými i nenasycenými vazbami [53]. Z ostatních esterů to jsou acetáty, propionáty, kapronáty a heptanoáty. Tyto látky jsou zejména v amerických odrůdách chmele, avšak u nás nejsou téměř zastoupeny. Při skladování chmele přirozeným stárnutím dochází ke ztrátě původní vůně. Starý chmel má vůni po sýru, je to způsobeno díky vzniku kyseliny izovalerové a máselné [50, 54].

2.6 Látky podřadného významu

Do této skupiny se řadí látky, které jsou součástí chmele, ale nejsou technologicky významné. Chmelové hlávky obsahují celulózu. Ta je součástí všech podpůrných rostlinných pletiv. Dalším polysacharidem je pektin, kterého je ve chmelu 12 – 14 %. Malé množství pektinu přechází do piva, kde působí jako ochranný koloid. Z rozpustných sacharidů chmel obsahuje průměrně 3,5 % glukózy a fruktózy. V menším množství to je sacharóza a rafinóza [34].

Ve chmelu jsou obsaženy 2 – 4 % dusíkatých látek a to albumózy, peptony, polypeptidy, peptidy a aminokyseliny. Součástí chmele je vosk myricin (0,25 – 0,7 %), který dodává chmelovým hlávkám lesk. Kromě toho byla zjištěna řada dalších látek, které jsou ve chmelu přítomny jen v nepatrných množstvích [36].

Zajímavou látku objevil Knorr [55], a tou je estrogenní hormon. Ve 100 g chmelu se nachází 2 – 30 mg estrogenního hormonu. Z vitamínů Knorr zjistil tiamin, kyselinu nikotinovou, kyselinu pantotenovou, biotin a pyridoxin. Obsah minerálních látek ve chmelu kolísá od 5 do 10 %.

3 CHMELOVÉ PRODUKTY A ZMĚNY V CHEMICKÉM SLOŽENÍ CHMELOVÉHO EXTRAKTU

Sušený chmel se při skladování postupně znehodnocuje stárnutím. Jeho kvalita klesá díky oxidačním procesům a působením různých mikroorganismů. Proto je v praxi nutné vyloučit vlivy urychlující proces stárnutí.

Při skladování příznivě na chmel působí nízké teploty kolem 0 °C, které tlumí rozvoj mikroorganismů a brzdí chemické procesy. Rozvoji mikroorganismů brání také mírné šíření chmele oxidem siřičitým, jehož přítomnost je tolerována do 0,4 % [56]. Je nutné omezit přístup vzdušného kyslíku a zamezit zvlhnutí chmele. Proto se hlávková forma chmele nahrazovala takovými úpravami, které by umožnili dlouholeté skladování chmele a dokonalejší využití cenných jakostních účinných látek. V současné době se využívá a několik forem úprav chmelových hlávek. Podle způsobu výroby chmelových produktů je lze rozdělit do několika skupin [57].

3.1 Produkty vyrobené mechanickými úpravami

Do této skupiny řadíme mleté a granulované chmele. Ze všech chmelových produktů si tyto zachovávají nejvíce vlastností původního zpracovávaného chmelu. Nejrozšířenějšími produkty této skupiny jsou granulované chmele různého typu. Liší se podle zkoncentrování hořkých kyselin. Chmelové granule typu 90 a 45 zaujímají největší podíl chmelových výrobků [58].

3.1.1 Lisovaný chmel

Sušené chmelové hlávky zbavené příměsí (listy, větvičky) se lisují do tzv. balotů (válcovitého tvaru) či hranolů. Většinou váží 100 – 175 kg. Před lisováním může být chmel sířen pro delší trvanlivost. Poté se balí do syntetických tkanin. Lisovaný chmel má vlhkost mezi 10 – 11 % [59].

3.1.2 Granulované chmele

Připravují se ze sušeného hlávkového chmele. Nazývají se též granulované pelety. Rozlišujeme několik typů granulovaných chmelů, které se liší od sebe výrobním postupem.

Granulovaný chmel typ 100, někdy nazýván také jako chmelové slisky. Je vyroben z přírodního sušeného hlávkového chmele. Je pouze slisován do velkých granulí bez jakékoliv úpravy. Chemické složení je stejné jako u původního, vstupního chmelu. Granulovaný chmel typ 90 je vyroben z předsušeného rozemletého hlávkového chmelu. Chemické složení je téměř stejné jako u vstupního chmelu. Liší se pouze nepatrnými změnami, které nastávají při tlakové granulaci, kdy se zvyšuje teplota. Ze 100 kg chmelu se vyrobí asi 90 kg granulí, proto označení typ 90. Dalším typem je granulovaný chmel typ 45. Vyrábí se z předsušeného rozemletého hlávkového chmelu, kdy se navíc flotací v plynné fázi při $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ zkoncentrují důležité látky. Ze 100 kg chmelu se vyrobí 45 kg granulí, proto označení typ 45. V chemickém složení se od vstupního chmelu liší tím, že má přibližně dvojnásobnou koncentraci hořkých kyselin. Posledním typem je granulovaný chmel typ 30, který se vyrábí obdobně jako typ 45, ale s intenzivnějším zkoncentrováním při flotaci. Výsledným produktem je granule s trojnásobnou koncentrací hořkých kyselin než vstupní chmel [4].

Všechny typy granulovaného chmele (100, 90, 45, 30) jsou baleny do sáčků, kde vzduch je nahrazen inertním plynem. Důvodem je delší skladovatelnost.

3.2 Produkty vyrobené fyzikálními úpravami

Zde řadíme nemodifikované chmelové extrakty připravené pomocí různých rozpouštědel. Jsou vyráběny ekologicky nezávadnými rozpouštědly, zejména etanolem nebo oxidem uhličitým. V porovnání s přírodním chmelem obsahují extrakty surovinu s vyšší koncentrací pivovarsky důležitých látek. Chemickým složením se tedy od sebe celkově liší. Výhoda extraktů je, že obsahují velmi malý až nulový obsah polárních složek. Toho se využívá při regulaci dusičnanů v pivu [16].

3.2.1 Etanolové extrakty

Etanol je rozpouštědlem mírně polárním a hlavně ekologicky a zdravotně nezávadným, proto je vhodný pro extrakci. Při výrobě se z chmelu vyluhuje 90% etanolem tříslovinový podíl (polární, vodní podíl) a pryskyřičný extrakt (nepolární). Prodávat se může buď samotný pryskyřičný extrakt nebo na přání zákazníka se vytvoří extrakt o určité koncentraci α -hořkých kyselin smícháním pryskyřičného a tříslovinného podílu. Chemickým složením se etanolový extrakt od vstupního chmelu liší tím, že obsahuje vyšší koncentraci α -hořkých kyselin a má pozměněné složení chmelových silic. Může také obsahovat malý podíl izomerovaných pryskyřic [4].

3.2.2 CO₂ extrakty

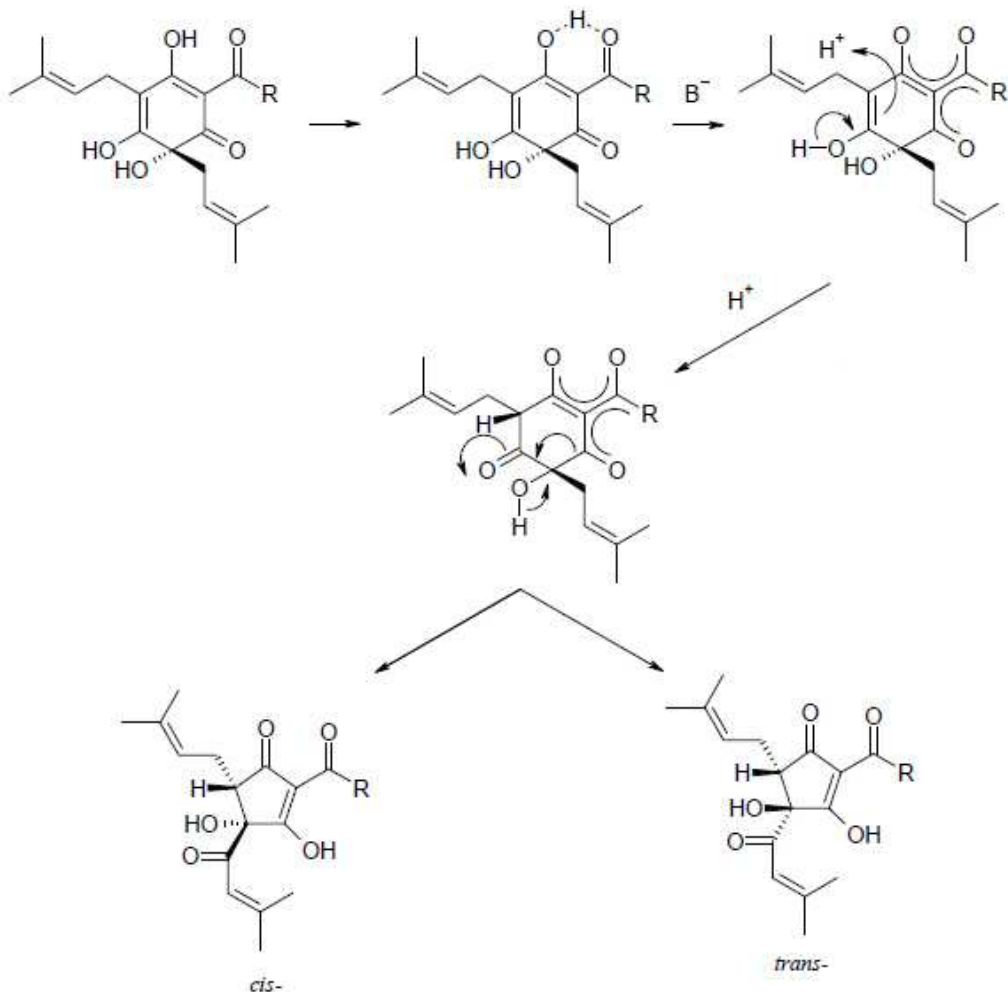
Vyrábí se z granulovaného chmele extrakcí oxidem uhličitým v podkritickém nebo nadkritickém stavu za zvýšené teploty a tlaku. Nadkritický stav znamená, že pokud má plyn teplotu vyšší, než je jeho kritická teplota, nemůže být zkapalněn. Při tlaku několika desítek MPa však přechází do stavu nadkritické tekutiny. A právě této vlastnosti se využívá pro extrakci z tuhých látek, protože díky nízké viskozitě touhou látkou dobře proniká. Běžně se využívá CO₂, který je nepolární a proto je vhodný k extrahování nepolárních látek. Nadkritický CO₂ se po ukončení extrakce snadno oddělí odpařením [60]. Podkritický extrakt se vyrábí při mírnějších podmínkách, avšak s menší výtěžností. Nadkritický extrakt se vyrábí při vyšších teplotách s větší výtěžností. Z toho vyplývá, že nadkritické i podkritické CO₂ extrakty obsahují pouze nepolární složky chmele, především hořké kyseliny a silice. α -hořkých kyselin je v CO₂ extraktu kolem 40 %. Oba jsou tedy prakticky čistě pryskyřičné. Extrakt neobsahuje skoro žádné polární látky chmelu, jako jsou polyfenolové látky (třísloviny) a dusičnany. CO₂ extrakty jsou v chemickém složení velmi stabilní. Na přání zákazníka se může CO₂ extrakt dodat s příměsí tříslovinného extraktu z etanolové extrakce [61].

3.2.3 Preparáty z chmelových silic

Připravují se izolací při extrakci CO_2 , pak jsou čištěny vakuovou destilací a chromatografií. Jsou dodávány jako emulze, prášek či alkoholové roztoky, kde jsou absorbovány na silikagel. Používají se pro zvýraznění chmelového aroma při filtraci [4].

3.3 Produkty vyrobené chemickými úpravami

Do této skupiny patří chemicky upravené chmelové hlávky a také jejich jednotlivé složky, především α -hořké kyseliny, které se přeměňují na izo- α -hořké kyseliny. Vzniklými produkty této reakce jsou tedy dva geometrické izomery příslušné izo- α -hořké kyseliny (Obr. 19) [4].



Obr. 18. Mechanismus izomerace α -hořké kyseliny [62].

Je třeba říci, že izo- α -hořké kyseliny nejsou konečnými produkty reakce a při chmelovaru se dále rozkládají na další produkty, které nebyly zatím chemicky popsány [63].

Smyslem této úpravy je zvýšení rozpustnosti izomerovaných hořkých kyselin ve vodě. U α -hořkých kyselin je rozpustnost 3 mg l⁻¹ a po izomeraci na izo- α -hořké kyseliny je 120 mg l⁻¹. Z toho vyplývá několikanásobná využitelnost organoleptických vlastností. Impulsem chemických úprav chmele jsou technologické a ekonomické důvody např. snížení skladovacího prostoru, snadnější manipulace, přesnější dávkování o přesném chemickém složení, vysoká chemická stabilita, přesná úprava konečné hořkosti a cena. Izo- α -hořkým kyselinám náleží 70 % hořké chuti piva, zvyšují vjem hořkosti, zvyšují odolnost vůči světelné degradaci, zaručují lepší tvorbu a stabilitu pивní pěny a také prodlužují dobu jejího rozpadu. Na aroma piva vliv nemají. [64].

3.3.1 Izoextrakty

Připravují se nejčastěji z pryskyřičných extraktů. V alkalickém prostředí za působení dvojmocných kationtů je prováděna izomerace. Během ní se α -hořké kyseliny přeměňují na izo- α -hořké kyseliny. Poté se oddělí od zbylých složek. Mohou se dodávat ve formě surových hořkých kyselin, rozpustných solí nebo čistých hořkých kyselin [4].

3.3.2 Izopelety

Vyrábí se smícháním granulovaného chmele s vysokým obsahem oxidu hořečnatého za zvýšené teploty. Celá směs zraje několik dní. Při tomto procesu se α -hořké kyseliny přeměňují opět na izo- α -hořké kyseliny. Poté se ochladí a balí. Izopelety nejsou až tak rozšířeny, jelikož mají užší využití než izoextrakty [4].

3.3.3 Hydrogenované (redukované) izo- α -hořké kyseliny

Látky této skupiny jsou odvozeny od izo- α -hořkých kyselin a řadí se dle stupně redukce dvojných (karbonylových vazeb) na postranních řetězcích na dihydro-izo- α -hořké kyseliny, tetrahydro-izo- α -hořké kyseliny a hexahydro-izo- α -hořké kyseliny [65].

Dihydro-izo- α -hořké kyseliny se připravují redukcí předem připravených izo- α -hořkých kyselin nebo souběžnou izomerací a redukcí α -hořkých kyselin. Reakce probíhá při zvýšené teplotě v alkalickém prostředí za přítomnosti redukčního činidla borohydridu sodného. Tetrahydro-izo- α -hořké kyseliny se připravují buď stejným způsobem jako dihydro-izo- α -hořké kyseliny, kdy častější surovinou pro přípravu jsou izomerované α -hořké kyseliny než neizomerované. Redukovány jsou v kapalně fázi plynným vodíkem. Nebo se připravují využitím β -hořkých kyselin. Příprava tetrahydro-izo- α -hořkých kyselin z β -hořkých kyselin je poměrně složitější, avšak jejich využití má ekonomický důvod, protože β -hořké kyseliny jsou vedlejšími produkty z přípravy izo- α -hořkých kyselin. Hexahydro-izo- α -hořké kyseliny se připravují z dihydro-izo- α -hořkých a tetrahydro-izo- α -hořkých kyselin. U každého z nich je použit doplňkový hydrogenační postup. To je, že dihydro-izo- α -hořké kyseliny se redukuje vodíkem a tetrahydro-izo- α -hořké kyseliny borohydridem sodným [62].

Porovnáním těchto tří redukováných forem izo- α -hořkých kyselin při použití k výrobě piva je takové, že dihydro-izo- α -hořké kyseliny dodávají pivu zhruba o 30 % slabší hořkost, než stejné množství neredukovaných izo- α -hořkých kyselin. Při sensorickém hodnocení je tato vlastnost označována jako jemnější a pro spotřebitele i příjemnější. Za to Tetrahydro-izo- α -hořké kyseliny dodávají pivu až o 70 % více hořkosti, než neredukované izo- α -hořké kyseliny, ale při sensorickém hodnocení je označována jako drsnější a méně příjemná pro spotřebitele. Možným východiskem je použití hexahydro-izo- α -hořkých kyselin, avšak nevýhodou při nadměrném používání je vznik nepřírozně husté a stálé pěny, což na spotřebitele působí negativně. Proto každý výrobce by si měl zvolit ten správný směr při používání těchto přípravků, tak aby co nejlépe vyhovoval sensorickým vlastnostem jeho konkrétního výrobku [66].

Legislativní rámec použití chemicky upravených chmelových produktů se mezi jednotlivými státy liší. Evropská unie doposud nevydala žádnou směrnici, která by upravovala používání chemicky upravených chmelových produktů. Proto se jejich použití řídí legislativou konkrétní země. Avšak v současné době se připravuje evropská směrnice, která by tuto záležitost specifikovala. Zatím návrh této směrnice počítá s tím, že chemicky upravené chmelové produkty budou zařazeny mezi potravinářská aditiva [62].

Legislativa v České republice se také zatím touto problematikou nezaobírala. Používání těchto produktů je specifikováno pouze v rámci udělování národní značky kvality potravin Klasa ministerstvem zemědělství [67]. To poskytlo vyjádření ve smyslu toho, že výrobky obsahující chemicky upravené chmelové preparáty mohou být použity k výrobě piva a přidány v malých množstvích do piva ke zlepšení stability a vzhledu pěny i s tím, že jde o značně chemicky pozměněné produkty. Avšak jejich přidávání k výrobě je nutné schválit a výrobce jej musí uvést na etiketě jako aditivum. Pokud výrobce nemá národní značku kvality potravin Klasa a používá chemicky upravené chmelové produkty či izoextrakty, tak by je měl ve složení na obale uvést [62].

4 VYUŽITÍ CHMELE A CHMELOVÉHO EXTRAKTU

Je všeobecně známo, že chmelové hlávky jsou nezbytnou a zároveň nenahraditelnou surovinou pro výrobu piva. Avšak jeho první využití sahá do starověku, kdy se používal jako léčivá bylina. Jeho léčivé účinky se používají ve farmaceutickém průmyslu dodnes. Chmelové extrakty se používají také v kosmetice. Části chmele otáčivého se používají i v kuchyni.

4.1 Využití chmele v gastronomii

Již v Římě se sbíraly mladé chmelové výhonky, tzv. pazoušky, které se považovaly za zeleninu. Připravoval se z nich salát ochucený olejem, pepřem, solí a octem. Ještě i před druhou světovou válkou se prodávaly na tržnicích [68]. Dnes bychom je na tržnicích hledali asi marně. Pazoušky lze upravovat obdobně jako chřest nebo jako zelené fazolové lusky. Mohou se přidávat do jarních salátů a polévek [69, 70].

β -Hořké kyseliny vykazují antibakteriální aktivitu. Extrakty β -hořkých kyselin se používají v cukrovarnictví, kde ve výrobním procesu nahradily formaldehyd k potlačení bakteriální kontaminace. Proto se šlechtění zaměřuje na nové odrůdy s vysokým obsahem β -hořkých kyselin [71].

4.2 Využití chmele v kosmetice

Chmel byl využíván v kosmetice už za vlády arciknížete Ferdinanda II. Tyrolského v 16. století. Jeho osobní lékař a botanik Pietro Andrea Mattioli doporučoval odvar z chmelových šištic k čištění pleti. Také pivovarské kaly se přimíchávali do koupelí pro oddálení a zpomalení stárnutí [72].

4.2.1 Využití chmelových extraktů v kosmetice

V dnešní době se chmel v kosmetice využívá poměrně často. Extrakty z chmelových šištic se přidávají jako přísada do regeneračních koupelí, krémů, pleťových vod a mlék, šampónů

a kondicionérů. Povzbuzují tak metabolismus pokožky, podporují tvorbu červených krvinek a obnovují buňky těla. Zvyšují odolnost pokožky vůči nepříznivým vlivům zevního prostředí [73].

Kosmetické přípravky využívající chmelové extrakty léčí mastnou pleť a zastavují tvorbu akné. Chmelové extrakty spolu s výtažky z pивních kvasinek mají výborné hydratační, hojivé, protizánětlivé a antiseptické účinky. Proto i dnes se využívají pro zpomalení procesu stárnutí. V kombinaci s biotechnickými složkami tvoří základ péče o stárnoucí, vrásčitou a ochablou pleť. Chmelová vlasová voda se používá pro poškozené vlasy, kterým dodá potřebný lesk a pevnost [74].

4.2.2 Využití chmele v kosmetice jako součást piva

Speciální kosmetiku, ve které je chmel obsažen tvoří pivo. Jedná se tak o tzv. pивní kosmetiku. Je založena na tradici českého piva a jeho kvalitě. Díky tomu, že je pivo zdrojem vitaminů skupiny B, minerálů a stopových prvků, napomáhá regenerovat pokožku a zvyšovat její odolnost. Chmel v pивu obsažen pokožku čistí, zvláčňuje a zklidňuje. Tyto pozitivní účinky vedly k vytvoření pивních kosmetických přípravků zaměřené na jednotlivé části lidského těla. Trh nabízí např.: pивní sprchové gely, pивní vlasové šampóny, pивní pěny do koupele, toaletní a zvláčňující pивní mýdla, pивní masážní oleje, pивní balzámy po holení, koupelové soli s chmelovým extraktem a mnoho dalších pивních kosmetických přípravků [75].

Kromě těchto přípravků pro domácí použití se využívají pивní lázně. Pивní koupele znali již před 2 tisíci let. Z pohledu dnešních lázeňských procedur, jsou pивní lázně velmi mladou lázeňskou kúrou. V České republice byly první pивní lázně otevřeny roku 2006 v Chodové Plané. Nyní se v ČR nachází přes osm lázeňských komplexů, které pивní koupele provozují a které se těší z velkého zájmu o tyto procedury. Pивní lázeň je klasická sedavá v dřevěné kádi či kovové vaně. Skládá se z vody, speciální minerální vody a tmavého koupelového piva [76]. Právě pивní lázně dosahují teplot 34 – 37 °C. Působí tak příznivě na cévní soustavu, zvyšují srdeční činnost a zlepšují imunitní systém. Právě vyšší teploty podporují aktivitu krevního oběhu, prohřívají pokožku a uvolňují kožní póry. Dochází i k mírnému pocení a k odplavování škodlivých látek z těla [77].

4.3 Využití chmele v lékařství

Léčebné účinky chmele znali již staří Římané. Využívali jej pro čištění krve a pro močopudné účinky. V léčitelství se chmel používá jako prostředek k celkovému zklidnění těla, odstranění žaludečních potíží, léčení zánětu, migrénám, dně a revmatizmu. Směs chmele a kozlíku lékařského se používá při poruchách spánku [78]. Pomáhá při potížích žlučníku ve formě obkladů při bolesti hlavy. Za uplynulé roky díky analýze obsažených látek ve chmelu se mnohé zkušenosti našich předků postavily na vědecký základ [70].

Hořké chmelové látky brzdí účinek rozvoje bakterií a vznik tuberkulózy. Zvyšují chuť k jídlu, mají uklidňující účinek a tlumí nadměrnou vznětlivost. Polyfenolové látky mají antioxidační vlastnosti a zabraňují nebo omezují oxidační destrukci látek. Eliminují volné radikály v krvi, které jsou schopny podporovat vznik rakoviny [79]. Účastní se procesů regulace tlaku krve a hladiny glukózy v krvi [80]. Yasukawa [81] testoval na myších účinek humulonů proti rakovině. Prokázal, že humulon měl výrazné tlumivé účinky na nekontrolovatelné dělení a nárůst rakovinotvorných buněk a nádorů.

Prenylované flavonoidy inhibují oxidaci nízkodenzitního lipoproteidu (LDL), který napomáhá vzniku aterosklerózy [82]. Chmel působí jako sedativum a mírné hypnotikum, proto může z části nahradit barbituráty [79]. Sedativní účinky chmele se prokázaly i na myších. Při podání chmelového extraktu došlo ke snížení pohybové aktivity, prodloužení doby spánku a k uvolnění křečí [78]. V běžných dávkách je chmel neškodný. Doporučená denní dávka byliny by ale neměla přesáhnout 15 gramů [83].

Má dobré antiseptické a konzervační účinky. Konzervační účinky byly uznány dokonce již ve 12. století [84]. Zklidňuje organismus při nervovém předráždění, tachykardii nervového původu, snižuje frekvenci tepu. Doporučuje se při pocitu napětí. Lupulin má tlumivý účinek na mozkovou kůru a prodlouženou míchu. Uvolňuje napětí hladkého svalstva střev [70].

U nejdůležitějších látek chmelu, tj. chmelové silice, polyfenoly a pryskyřice byly zjištěny zajímavé bioaktivní účinky. Například humulon a xanthumol inhibují proces vstřebávání

vápníku z kostí, působí tak proti osteoporóze. Ve Spojených státech amerických byl patentován prostředek obsahující prenylflavonoidy chmele jako lék na osteoporózu [80]. V Německu se zase zabývají využitím zbytku po extrakci CO₂, který obsahuje značné množství prenylflavonoidů [85]. Silné protirakovinné účinky má xantohumol, který vstupuje do biochemických reakcí, odbourává škodlivé látky a napomáhá jejich odstranění z organismu [86].

Byl zkoumán antibakteriální účinek chmelových látek, zda by mohly být využity při léčbě gastritid vyvolaných bakterií *Helicobacter pylori*. Bylo zjištěno, že se nebezpečí zánětu žaludeční sliznice vyvolané bakterií *H. pylori* snížilo na třetinu [87]. Další antibakteriální studii provedli Langezaal a kol. [88]. Z chmele byly izolovány esenciální éterické oleje a byl testován jejich účinek na některé bakterie. Citlivost na chmelové esenciální oleje byla pozorována u *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* a *Trichophyton mentagrophytes* var. *interdigitale*, zatímco u *Escherichia coli* a *Candida albicans* žádné účinky zaznamenány nebyly. Další bakterie citlivé na chmelové hořké kyseliny jsou *Lactobacillus* spp., *Pediococcus* spp., *Clostridium botulinum*, *Clostridium difficile*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Enterococcus* spp. a *Helicobacter pylori*. [89].

Diskovým difúzním testem se testovala citlivost bakterií k antibiotikům, ke kterým byl přidán lupulon ve formě extraktu. Po kultivaci se nejprve měřil průměr inhibiční zóny kolem disku napuštěného pouze antibiotikem a poté napuštěného antibiotikem a extraktem lupolonu. Tyto dva výsledky se porovnaly a zjistila se pozitivní či negativní součinnost mezi antibiotikem a extraktem lupolonu. Synergismus byl zjištěn u antibiotik: polymyxin, ciprofloxacin a tobramycin. Této vlastnosti by se dalo využít při výrobě léčivých krémů, pastilek nebo žvýkaček proti ústním streptokokům či krmiv pro zvířata [84].

U mužů jsou chmelové účinky známy především jako zklidňující prostředek při chorobném sexuálním předráždění, předčasné ejakulaci, nočních polucích a jako afrodiziakum. Uplatňuje se i při chorobách prostaty [70].

Chmel dodává pivu nejen aroma a hořkost, ale působí i jako konzervant a zvyšuje tak jeho trvanlivost. Tato vlastnost je v posledních letech v centru zájmu farmaceutického průmyslu. Proto je chmel zkoumán jako potencionální zdroj nových fytoterapeutik.

Milligan provedl rozsáhlé biotesty frakcionovaných chmelových extraktů a identifikoval tak 8-prenylnaringenin jako původce estrogenních účinků chmele. Porovnáním 8-prenylnaringenu s dalšími estrogenními látkami ze sóji či jetele zjistil, že 8-prenylnaringenin je nejučinnější dosud známý fytoestrogen [90]. Fytoestrogeny jsou látky některých rostlin, které se strukturou i funkčností podobají steroidním hormonům [91]. U žen v postmenopauzálním období ubývají pohlavní hormony estrogenu, které přispívají k odbourávání vápníku z kostí, což vede ke kostní chorobě osteoporóze. Jako lék je podáván ženský pohlavní hormon estradiol. Ten je ale podezříván z vedlejších negativních účinků, a to ze zvýšení pravděpodobnosti vzniku rakoviny prsu, rakoviny děložní sliznice či infarktu. Proto je 8-prenylnaringenin, ale i ostatní fytoestrogeny z pohledu farmacie velmi zajímavé látky, které by mohly nahradit estradiol a odbourat tak jeho negativní vedlejší účinky při léčbě [92, 93, 94].

U žen při menstruačních obtížích lupulin přispívá ke stabilizaci hormonů. Další látky chmele zklidňují v tomto období depresivní náladu a napomáhají s koncentrací. Proto se doporučuje užívat sušené chmelové hlávky formou čaje [95].

V roce 2008 byla registrována nová česká vysokoobsažná odrůda chmele s možností využití pro farmaceutický průmysl (Obr. 20). Z tohoto důvodu byl odrůdě přidělen název Vital, jako zdraví. Vyznačuje se vysokým obsahem chmelových pryskyřic, xantohumolem a extrémně vysokým obsahem desmetylxantohumolu (DMX). U těchto látek byly zjištěny protirakovinné, antibakteriální, protizánětlivé a estrogenní účinky [96].



*Obr. 19. Chmelová odrůda
Vital [96].*

ZÁVĚR

Kvalita pěstování chmele v České republice je na vysoké úrovni. V pěstitelských oblastech Žatecka, Ústěcka a Tršicka se vyšlechtily odrůdy chmele, které se staly světovým standardem. Český chmel má jedinečné chmelové aroma bez vedlejších pachů. Velká část produkce se vyváží do celého světa.

Z pohledu technologicky významných látek chmel obsahuje chmelové pryskyřice, silice a polyfenoly. Chmelové pryskyřice jsou zdrojem hořké chuti piva a přispívají k tvorbě pивní pěny. Obsahují mnoho chemicky podobných látek z nichž nejdůležitější jsou α -hořké kyseliny a méně důležité β -hořké kyseliny, nespecifické měkké pryskyřice a γ a δ tvrdé pryskyřice. α -Hořké kyseliny jsou nehořké, uplatňují se jako prekurzor při chmelovaru pro izo- α -hořké kyseliny, které vykazují silnou hořkost. Chmelové silice jsou tvořeny směsí několika set organických látek, které udělují chmelu a také pivu charakteristické aroma. Chmelové polyfenoly (trísloviny) jsou z výrazné části řazeny do skupiny flavonoidů. Mají vysoké antioxidační účinky, čímž chrání α -hořké kyseliny před oxidací a ovlivňují senzorigovou stabilitu piva.

Chemická nestabilita, dokonalejší využití cenných jakostních chmelových látek a krátkodobé skladování sušených chmelových hlávek vedla k vývoji různých chmelových produktů a chmelových extraktů. Ty rozdělujeme na chmelové produkty vyrobené mechanickými, fyzikálními a chemickými úpravami hlávkového chmele. Do produktů vyrobených chemickou úpravou chmelové hlávky řadíme hydrogenované izo- α -hořké kyseliny ve formě extraktu. Jejich použití přináší značné výhody. Snadněji se dávkuje, vyžadují méně prostoru na skladování vzhledem k jejich vysokým koncentracím, je přesně známo jejich chemické složení. Proto stále roste jejich obliba použití v pivovarnictví a klesá používání granulovaných chmelů. Na druhou stranu jejich používáním pivo ztrácí charakter „přírodního“ nápoje a mnozí sládcí a spotřebitelé piva se k používání těchto extraktů staví velmi negativně. Tato skutečnost vede k široké diskusi o zařazení těchto extraktů do legislativního rámce.

Kromě všeobecně známého využití chmele, jako nenahraditelné suroviny pro výrobu piva, se chmel používal mnoho staletí jako léčivá bylina pro čištění krve, močopudné účinky

a k celkovému zklidnění těla. Spolu s dalšími bylinami se používá při poruchách spánku. Doporučuje se při pocitu napětí, zrychleném tepu a tachykardii. Lupulin, nejen že je důležitý pro pivovarnictví, má ale také tlumivý účinek na mozkovou kůru a uvolňuje napětí hladkého svalstva střev. Xantohumol má silné protirakovinné účinky a spolu s humulonem působí proti osteoporóze.

V posledních letech se o chmel začal zajímat farmaceutický průmysl. Především se jedná o prenylflavonoidy, xantohumol, desmetylxantohumol, ale také i o α -hořké kyseliny chmele. Důvodem jsou velké bioaktivní účinky a také potencionální zdroj nových fytoterapeutik. Desmetylxantohumol je prekurzorem 8-prenylnaringenin, který je považován dosud za nejúčinnější známý fytoestrogen. V dnešní době už je součástí některých fytofarmak, které jsou na trhu dostupné.

Zdravotní využití těchto látek obsažených ve chmelu vedlo k vyšlechtění nové odrůdy s názvem Vital, který obsahuje Desmetylxantohumol v rozmezí 0,20 – 0,30 % hned po usušení hlávek, což je dvojnásobné množství oproti ostatním odrůdám. Šlechtění nových odrůd je velmi náročná a zdlouhavá práce, avšak v budoucnosti lze předpokládat vyšlechtění nových odrůd chmele s vyšším obsahem látek využitelných ve farmacii.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CZU. Pěstování chmele. [online]. [2010-01-15]. Dostupné na WWW: <http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=17>.
- [2] OPLETAL, L., VOLÁK, J. Rostliny pro zdraví. Aventinum nakladatelství s.r.o., 1999, ISBN 80-7151-074-2.
- [3] CZU. Podzemní část chmelové rostliny. [online]. [2010-01-15]. Dostupné na WWW: <http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=17&idkapitola=4>.
- [4] KOSAŘ, K., PROCHÁZKA S. a kolektiv autorů. Technologie výroby sladu a piva, 1. vyd., Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s., 2000.
- [5] CZU. Morfologie chmelové hlávky. [online]. [2010-01-15]. Dostupné na WWW: <http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=17&idkapitola=6>.
- [6] BREWREALBEER. Chmelová hlávka. [online]. [2011-04-28]. Dostupné na WWW: <<http://www.brewrealbeer.com/images/hops4.jpg>>.
- [7] WORDPRESS. Chmel otáčivý. [online]. [2011-04-28]. Dostupné na WWW: <<http://nybeerguy.files.wordpress.com/2010/01/hal2.jpg>>.
- [8] HLAVÁČEK, F., LHOTSKÝ, A. Pivovarství, SNTL Praha, 1972.
- [9] BASAŘOVÁ, G., HLAVÁČEK, I. České pivo, Nuga, 2. vyd., 1999.
- [10] KŮDELA, V., NOVÁČEK, A., FUCIKOVSKÝ, L. Rostlinolékařská bakteriologie. Academia, 1. vyd., Praha 2002, ISBN 80-200-0899-3.
- [11] PIVNÍ TÁCKY. Mapa pěstitelských oblastí. [online]. [2010-01-16]. Dostupné na WWW: <<http://www.pivni-tacky.cz/o-pivu/image/mapa.gif>>.
- [12] CZHOPS. Plocha a produkce chmele. [online]. [2010-01-17]. Dostupné na WWW: <<http://www.czhops.cz/index.php/cs/chmel-v-cislech>>.
- [13] KOUBOVÁ, D. Vývoz a dovoz chmele v ČR v roce 2008, 2009.
- [14] CZU. Balení hlávek. [online]. [2010-01-16]. Dostupné na WWW: <http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=17&idkapitola=63>.

- [15] CHIZATEC. Atlas odrůd chmele. [online]. [2010-01-16]. Dostupné na WWW: <http://www.chizatec.cz/atlas_odrud_chmele.htm>.
- [16] PRUGAR, J. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha, 2008, ISBN 978-80-86576-28-2
- [17] ŽATECKÝ CHMEL. Chráněné označení původu. [online]. [2011-04-28]. Dostupné na WWW: <http://www.zateckychmel.eu/index_cz.html>.
- [18] VŠCHT. Odrůdy chmele. [online]. [2010-01-16]. Dostupné na WWW: <http://eso.vscht.cz/cache_data/1163/www.vscht.cz/kch/kestazeni/sylaby/sladarstvi.pdf>.
- [19] DYR, J., ČEPIČKA, J. Kvasný průmysl, vol. 15, SNTL Praha, 1969, ISSN 0023-5830
- [20] RIGBY, F. L., BETHUNE, J. L. Amer. Chem. Soc., Proc. 1952.
- [21] HOWARD, G. A., TATCHEL, A. R. J. Inst. Brewing. The chemistry of hop constituents. The structure of cohumulone, část 6., 1954.
- [22] VLČEK, V., BÍLEK, V. Kvasný průmysl. Výroba sladu a piva v otázkách a odpovědích. SNTL Praha, 1962.
- [23] MIKSCHIK, E. Mitteilungen Veruschst. D. Gar. Gew. Wien, vol. 19, 1965, s. 122.
- [24] VERZELE, M., ANTEUNIS, M., ADLERWEIRELDT, T. J. Inst. Brewing 71, 1965, s. 232.
- [25] MOŠTĚK, J., MAREK, M., ČEPIČKA J. Über die Kinetik der Izomerisierung von Hopfenbittersäuren während des Wurzenkochens. Brauwiss., vol. 31, 1978.
- [26] VERZELE, M., VANHOYE, M. J. Inst. Brewing, vol. 73, s. 451, 1967.
- [27] COOK, A. H., HARRIS, G. J. Chem. Soc. The chemistry of hop constituents. Humulinone, a new constituent of hops, část 1., 1950.
- [28] HOWARD, G. A., SLATER, C. A. Journal Chemical Society. The chemistry of hop constituents. The structure of humulinone, část 12., 1958.
- [29] KUROIWA, Y., HASHIMITO, H. J. Inst. Brewing. Studies on hops with reference to their role in the evolution of sunstruck flavor of beer, 1961.

- [30] SPETSIG, L. O. a kol. Proc. European Brewery Convention. Copenhagen, vol. 22, 1957.
- [31] MEILGAARD, M., TROLLE, B. Proc. Eur. Brew. Conv. The utilization of hops in the brewhouse. Copenhagen, 1957, s. 27 – 42.
- [32] KLEBER, W., STEINKOPF, W. Brauwissenschaft, vol. 12, 1959, s. 65.
- [33] DIXON, J. L., LEACH, A. A. J. Inst. Brewing. The adsorption of hop substances on the yeast cell wall, vol. 74, 1968, s. 63 – 67.
- [34] MOŠTĚK, J. Kvasný průmysl, vol. 15, SNTL Praha, 1969, ISSN 0023-5830.
- [35] MOŠTĚK, J., DYR, J. Sborník VŠCHT Praha. Potravinářská technologie 6, část 2., 1962.
- [36] MOŠTĚK, J., TOLAR, J. Sborník VŠCHT Praha. Potraviny E 16, 1967.
- [37] ČEPIČKA, J., KARABÍN, M. Chemické listy. Polyfenolové látky piva – přirozené antioxidanty, vol. 96, 2002.
- [38] HARRIS, G., RICKETTS, R. W. J. Inst. Brewing. High-performance liquid chromatography of flavonoids in barley and hops, vol. 62, 1956.
- [39] HUBÁČEK, J., TROJNA, M. Kvasný průmysl, vol. 10, 1964, s. 169 a 193.
- [40] MARINOVA, E. M., YANISHIEVA, N. V. J. Am. Oil Chem. Soc., vol. 71, 1994.
- [41] HOFTA, P., DOSTÁLEK, P., BASAŘOVÁ, G. Chemické listy. Xanthohumol – Chmelová pryskyřice nebo polyfenol, vol. 98, 825 – 830, VŠCHT Praha, 2004.
- [42] HABOUCHA, J. Brass. et Malt. Belge, vol. 15, 1965, s. 108.
- [43] McFARLANE, W. D., WYE, E., GRANT, H. L. European Brewery Cone. Proc. Baden-Baden, 1955, s. 289.
- [44] HARRIS, G., RICKETTS, R. W. J. Znst. Brew., London 64, vol. 22, 1958.
- [45] KNORR, F. Übersichtsbericht über Polyphenole im Brauprozeß, vol. 166, no. 4, 1978.
- [46] VYSTRČIL, A. Rostlinné glykosidy. ČSAV Praha, 1. vyd., 1955.
- [47] JANSEN, V. J. J. Inst. Brewing, vol. 69, 1963, s. 460.
- [48] HOWARD, G. A. Brewers Guard. The chemical evaluation of hops, 1965.

- [49] BUTTERY, R. G., LING, L. C. *Brewers Digest* 71. The chemical composition of the volatile oil of hops, 1966.
- [50] RIGBY, F. L. *Am. Soc. Brew. Chem. Proceedings. A Theory on the Hop Flavor of Beer*, 1972, s. 36 – 50.
- [51] JANSEN, V. J. *Nature*, vol. 196, 1962, s. 474.
- [52] ŠORM, F., MLEZIVA J., ARNOLD, Z., PLÍVA, J. *Collect. Czech. Commun.*, vol. 14, 1969, s. 699.
- [53] ROBERTS, J. B. *J. Inst. Brewing. Hop oil I. Preliminary investigations of the oxygenated fraction*, vol. 68, 1962, s. 197 – 198.
- [54] SILBEREISEN, K., KRÜGER, E. *Monatschr. Brauerei*, vol. 20, 525 – 530, 1967.
- [55] KNORR, F. *Schweiz. Brau. Rdsch.*, vol. 66, 1955, s. 13.
- [56] ŠAUER, Z., KAHLER, M. *Kvasný průmysl*, 1968.
- [57] LHOTSKÝ, A. *Technická kontrola sladařské a pivovarské výroby*. SNTL Praha, 1957.
- [58] AGRONAVIGATOR. Vývoz a dovoz chmele. [online]. [2011-04-22]. Dostupné na WWW:
<<http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=93&ch=1&typ=1&val=88805>>.
- [59] ZHC. O chmelu. [online]. [2011-03-28]. Dostupné na WWW:
<http://www.zhc.cz/abouthops_c.php>.
- [60] BOROVSÁ, K. *Bakalářská práce: Izolace a stanovení antioxidantů v rostlinách*. Univerzita Pardubice. Fakulta chemicko-technologická, katedra Analytické chemie, 2008.
- [61] KING, M., B., BOTT, T., R. *Extraction of natural products using near-critical solvents*, Chapman and Hall, 1993.
- [62] KARABÍN, M., BRÁNYIK, T., KRULIŠ, R., DVOŘÁKOVÁ, M., DOSTÁLEK, P. *Chemické listy. Využití chemicky modifikovaných hořkých látek v pivovarství*. Ústav kvasné chemie a bioinženýrství, vol. 103, VŠCHT Praha, 2009, s. 721–728.
- [63] MALOWICKI, M., G., SHELLHAMMER, T., H. J. *Agric. Food Chem.*, 2005.
- [64] PEACOCK, V. *Tech. Q. - Master Brew. Assoc. Am.*, 1998.

- [65] ROBERTS, T., R., WILSON, R., J., H. Handbook of Brewing, 2. vyd., London, 2006.
- [66] TODD, P., H., JOHNSON, P., A., WORDEN, L., R. Tech. Q. - Master Brew. Assoc. Am., 1972.
- [67] EKLASA. O značce Klasa. [online]. [2011-03-18]. Dostupné na WWW: <<http://www.eklasa.cz/o-znacce-klasa>>.
- [68] ROZHLAS. Chmel v kuchyni. [online]. [2011-03-15]. Dostupné na WWW: <http://www.rozhlas.cz/kulinarium/napady/_zprava/811778>.
- [69] VĚTVIČKA, V., BROUMOVSKÁ A., KRATOCHVÍLOVÁ O. Bylinář. Fortuna print Praha, 2003, ISBN 80-7321-091-6.
- [70] RYSTONOVÁ, I. Byliny a zvěrokruh. 1. vyd., nakl. Vodnář, Praha, 2001, ISBN 80-86226-22-0.
- [71] KOVAŘÍK, M. Český chmel 2010. Ministerstvo zemědělství, Praha, 2010, ISBN 978-80-7084-933-0.
- [72] ČERMÁKOVÁ, L. Diplomová práce: Pietro Andrea Mattioli, Tadeáš Hájek z Hájku a vědění o rostlinách v 16. století. Univerzita Karlova v Praze. Fakulta přírodovědecká, Katedra filosofie a dějin přírodních věd, 2009.
- [73] KOSMETOLOGIE. *Humulus lupulus*. [online]. [2011-04-15]. Dostupné na WWW: <<http://www.kosmetologie.cz/noveinci.pdf>>.
- [74] DÁMA. Využití chmele v kosmetice. [online]. [2011-04-25]. Dostupné na WWW: <<http://kosmetika.dama.cz/clanek.php?id=14212>>.
- [75] SVĚT PIVA. Pivní kosmetika. [online]. [2011-04-22]. Dostupné na WWW: <<http://obchod.svet-piva.cz/kategorie/pivni-kosmetika/3>>.
- [76] PIVNÍ LÁZNĚ. Historie pivních lázní. [online]. [2011-04-22]. Dostupné na WWW: <<http://www.pivni-lazne.eu/historie.php>>.
- [77] PIVNÍ LÁZNĚ. Pivní lázně. [online]. [2011-04-22]. Dostupné na WWW: <<http://www.pivni-lazne.eu>>.
- [78] SCHILLER, H., FORSTER, A., VONHOFF, C., HEGGER, M., BILLER, A., WINTERHOFF, H. Sedating effects of *Humulus lupulus* L. extracts, 2006.

- [79] FINTELMANN, V. Klinisch-Arztliche bedeutung des Hopfens. Z. Phytoterapie, 1992.
- [80] TOBE, H. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 1997.
- [81] YASUKAWA, K., TAKEEUCHI, M., TAKIDO, M. Humulone, a bitter in the hop, inhibits tumor promotion by 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate in two-stage carcinogenesis in mouse skin. Oncology, 1995.
- [82] MIRANDA, C., L., STEVENS, J., F., IVANOV, V., MACALL, M., FREI, B., DEINZER, M., L., BUHLER D., R. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000.
- [83] DTEST. Léčivé účinky chmele. [online]. [2011-04-23]. Dostupné na WWW: <<http://www.dtest.cz/clanek-1319/leciva-sila-rostlin-chmel-otacivy-humulus-lupulus-l>>.
- [84] NATARAJAN, P., KATTA, S., ANDREI, I., BABU RAO AMBATI, V., LEONIDA, M., HAAS, G., J. Positive antibacterial co-action between hop (*Humulus lupulus*) constituents and selected antibiotics, 2008.
- [85] HERATH, W., H., M., W. Phytochemistry, 2003.
- [86] KAC, J., PLAZAR, J., MLINARIČ, A., ŽEGURA, B., LAH, T., T., FILIPIČ, M. Antimutagenicity of hops (*Humulus lupulus* L.): bioassay-directed fractionation and isolation of xanthohumol, 2008.
- [87] RICKEN, K., van BRAAKOVÁ, H. S pivem ke zdraví. Granit s.r.o., Praha, 2002.
- [88] LANGEZAAL, C., R., CHANDRA, A., SCHEFFER, J., J. Antimicrobial screening of essential oils and extracts of some *Humulus lupulus* L. cultivars, 1992.
- [89] SIRAGUSA, G., R., HAAS, G., J., MATTHEWS, P., D., SMITH, R., J., BUHR, R., J., DALE, N., M., WISE, M., G. Antimicrobial activity of lupulone against *Clostridium perfringens* in the chicken intestinal tract jejunum and caecum, 2008.
- [90] KROFTA, K. Obsah prenylovaných flavonoidů chmele v českých a zahraničních pivech. Kvasný průmysl 56, č. 1, 2010, ISSN 0023-5830.

- [91] MURKIES, A., L., WILCOX, G., DAVIS, S., R. Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism. Phytoestrogens. vol. 83, no. 2, 1988, 297 – 303.
- [92] CZHOPS. Chmelové polyfenoly. [online]. [2011-04-20]. Dostupné na WWW: <<http://www.czhops.cz/index.php/cs/hop-polyphenols?format=pdf>>.
- [93] DUQUE, G., KIEL, D., P. Osteoporosis in Older Persons: Pathophysiology and Therapeutic Approach, Springer-Verlag London Limited, 2009.
- [94] 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, 2008.
- [95] ŽENY. Chmel na ženské potíže. [online]. [2011-03-28]. Dostupné na WWW: <<http://www.zeny.cz/magazin/gynekologie/chmel-na-zenske-potize.aspx>>.
- [96] ALTOVÁ, M. Situační a výhledová zpráva chmel, pivo. Ministerstvo zemědělství, Praha, 2010, ISBN 978-80-7084-901-9.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Angl. Anglicky

ČR Česká republika

DMX Desmetylxantohumol

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Chmel otáčivý, chmelové hlávky a listence [6].	12
Obr. 2. Řez zralou chmelovou hlávkou, která obsahuje žlutě zbarvená zrnka lupulinu [7].	13
Obr. 3. Pěstitelské oblasti chmele v České republice [11].	15
Obr. 4. Odrůdy českých chmelů pěstované v České republice [15].	18
Obr. 5. Etiketa pro chmel a chmelové výrobky, které mohou být označeny jako Žatecký chmel [17].	19
Obr. 6. Schéma dělení účinných chmelových látek [4].	22
Obr. 7. Strukturní vzorec α -hořkých kyselin [8].	24
Obr. 8. Strukturní vzorec β -hořkých kyselin [8].	25
Obr. 9. Cyklopentantrionové jádro [23].	26
Obr. 10. Základní skelet flavonových derivátů (flavon, 2-fenyl- γ -benzopyron) [38].	30
Obr. 11. Kyselina chlorogenová (dipeptid kávové a chinové kyseliny) [38].	31
Obr. 12. Základní skelet 5,7-dihydroxyflavanových derivátů [37].	32
Obr. 13. Chemický vzorec flavyliumchloridu [42].	32
Obr. 14. Základní struktura antokyanogenu [42].	33
Obr. 15. D (+)-katechin [45].	33
Obr. 16. Z kyseliny o-hydroxykořicové vzniká kumarin [37].	34
Obr. 17. Hlavní terpeny chmelových silic [25].	35
Obr. 18. Mechanismus izomerace α -hořké kyseliny [62].	40
Obr. 19. Chmelová odrůda Vital [96].	49

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Plocha, produkce a průměrný výnos chmele na našem území od roku 1870 do roku 2009 [12, 13].	16
Tab. 3. Průměrné složení sušených chmelových hlávek [4].	21
Tab. 3. Základní typy resuponů [23].	26