

Biochemické přeměny sladu během procesu vaření piva

Jan Špilka, DiS.
skupina/3.r.

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav analýzy a chemie potravin
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jan ŠPILKA, DiS.
Osobní číslo: T090206
Studijní program: B2901 Chemie a technologie potravin
Studijní obor: Technologie a řízení v gastronomii
Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Biochemické přeměny sladu během procesu vaření piva

Zásady pro vypracování:

1. Charakterizujte ječmenný slad, soustředte se na jeho chemické složení
2. Popište proces vaření piva, soustředte se především na výrobu mladiny
3. Proveďte literární rešerši biochemických změn sladu během výroby mladiny

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. **BASAŘOVÁ, Gabriela.** Pivovarství: teorie a praxe výroby piva. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010, 863 s. ISBN 978-807-0807-347.
2. **KOSAŘ, Karel.** Technologie výroby sladu a piva: teorie a praxe výroby piva. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 2000, 398 s. ISBN 80-902-6586-3.
3. **STEINER, Elisabeth, GASTL, Martina, BECKER, Thomas.** Protein changes during malting and brewing with focus on haze and foam formation: a review. *European Food Research and Technology*. 232(2), 191–204. ISSN 14382377.
4. **GUPTA, Mahesh, ABU-GHANNAM, Nissreen, GALLAGHAR, Eimear.** Barley for Brewing: Characteristic Changes during Malting, Brewing and Applications of its By-Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 318–328. ISSN 1541-4337.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Hanuštiak

Ústav technologie potravin

Datum zadání bakalářské práce:

15. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

17. května 2013

Ve Zlíně dne 15. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Jan Špilka, DiS.

Obor: Technologie a řízení v gastronomii

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, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

V Olomouci dne 9. 5. 2013

.....

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 nevydělčně 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 nahlížení 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 pořizovat 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.

II 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).

III 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 vynaložil, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato práce pojednává o výrobě mladiny z pohledu biochemických přeměn, v první kapitole popisuje jednotlivé suroviny, ze kterých je mladina vyráběna. Mezi tyto suroviny patří sladovnický ječmen, voda, chmel. Je zde popisováno jejich složení z pohledu obecného i chemického. Druhá kapitola popisuje technologický postup výroby mladiny od prvotního mletí sladu, vystírání a zapařování, rmutování, scezování sladiny, chmelovaru až po závěrečné chlazení mladiny. V závěrečné kapitole jsou objasněny biochemické změny při vaření piva, zejména u látek sacharidické povahy, peptidické povahy a produktů isomerace, hydrolyzy a oxidace hořkých látek.

Klíčová slova: ječmenný slad, varní voda, chmel, bílkoviny, polypeptidy, hořké látky

ABSTRACT

This work deals with production of wort in the view of biochemical changes. The first chapter describes ingredients from which wort is produced. They are malting barley, water and hops. Both general and chemical composition is described here.

The second chapter deals with technological process of production of wort from initial grinding of malt, mashing and steaming, straining wort, until final cooling.

In the last chapter biochemical changes during beer brewing are explained, mainly in substances of sacharidic and peptidic character as well as products of isomerisation, hydrolysis and oxidation of bitter substances.

Key words: barley malt, brewing water, hops, proteins, polypeptides, bitter substances

Děkuji Ing. Pavlu Hanuštiakovi za cenné rady, připomínky a za čas, kterými věnoval při vedení bakalářské práce. Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
1 SUROVINY	10
1.1 PIVOVARSKÝ SLAD	10
1.1.1 Sladovnický ječmen	10
1.1.2 Výroba sladu	11
1.2 CHMEL	14
1.3 VARNÍ VODA	17
1.3.1 Tvrdost vody	18
1.3.2 Ionty a plyny obsažené ve vodě	19
1.3.3 Postupy při úpravě varní vody	20
2 TECHNOLOGIE VAŘENÍ PIVA – VÝROBA MLADINY	21
2.1 MLETÍ SLADU – ŠROTOVÁNÍ	21
2.2 VYSTÍRÁNÍ A ZAPAŘOVÁNÍ	22
2.3 RMUTOVÁNÍ	23
2.4 SCEZOVÁNÍ SLADINY	25
2.5 VAŘENÍ SLADINY S CHMELEM – CHMELOVAR	26
2.6 CHLAZENÍ MLADINY	29
3 BIOCHEMICKÉ ZMĚNY PŘI VAŘENÍ PIVA	30
3.1 LÁTKY SACHARIDICKÉ POVAHY	30
3.2 LÁTKY PEPTIDICKÉ POVAHY	34
3.3 OSTATNÍ DŮLEŽITÉ LÁTKY	37
ZÁVĚR	40
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	41
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBLOLŮ A ZKRATEK	45
SEZNAM OBRÁZKŮ	45
SEZNAM TABULEK	45
SEZNAM PŘÍLOH	45

ÚVOD

Lepší nápoj ještě lidstvo nevymyslelo. I tak by se dal popsat jeden z nejpůvodnějších nápojů na světě. Historie piva se začala odvíjet přibližně před 7 000 lety před naším letopočtem v Mezopotámii. V považované kolébce pivovarnictví pěstovaly různé obiloviny, zejména ječmen, pšenici a proso, které sloužily k přípravě chleba a kvašených nápojů. Právo vařit pivo patřilo v raném středověku k výsadám klášterů. První zmínka o vaření piva v českých zemích je nadační listina kolegiálního kostela na Vyšehradě z roku 1088, která panovníkům zajišťovala desátek chmele na vaření piva. Ve 13. a 14. století byly zakládány první městské pivovary. Rozkvět pivovarnictví trvá až do 17. století, kdy v důsledku válečných stavů nastává úpadek pivovarnictví. To dosáhne vrcholu znovu v 18. století, kdy se o velkou reformu výroby sladu a piva, která byla prvním krokem v rozvoji typických vlastností současných českých piv, se zasloužil český sládek František Ondřej Poupě (1753 až 1805). Navrhl řadu nových zařízení pro výrobu sladu a piva, přesvědčoval sládky, aby používali výhradně ječný slad, upravil dávkování chmele, kterým se zlepšila (tj. omezila) původně poměrně tmavá barva světlých piv atd. Zlatý věk českého pivovarnictví nastal ve druhé polovině 19. století. Ve velkých objemech se začal pěstovat chmel, sladovnický ječmen, vznikaly nové pivovary a byla zavedena výuka pivovarských odborníků. Citelnou ránu pivovarskému průmyslu zasadily obě světové války, kdy se výroba a celková modernizace rapidně zpomalila. Toto období trvalo do ukončení socialistické éry v roce 1989, kdy se privatizované pivovary ekonomicky zvedaly i díky zahraničnímu kapitálu a české pivovary prošly velmi rychlou modernizací na světovou úroveň za udržení specifických a organoleptických vlastností českého piva.

1 SUROVINY

Pivo, jež se řadí mezi slabě alkoholické nápoje, je vyráběno z obilných sladů, chmele, vody a pivovarských kvasinek [1, 2].

1.1 Pivovarský slad

V minulosti bylo pivo připravováno ze sladů z různých surovin. Do 18. století v Evropě převládala výroba sladů z pšenice seté, ze které se připravovala svrchně kvašená piva. Piva z ječného sladu byla připravována v malém množství a vařena jen v zimních měsících. Od 18. století nastal převrat a slad byl vyráběn pouze z ječmene setého. V současnosti je českou legislativou slad popisován jako obilná zrna ječmene, pšenice nebo jiných obilovin, u nichž sladováním došlo k enzymatickým přeměnám endospermu a k vytvoření typických chuťových, aromatických látek a barvicích látek [1, 2].

1.1.1 Sladovnický ječmen

Od prvopočátku vaření piva se slady připravovaly z různých obilovin. Ječmen (*Hordeum vulgare* L.), který je v dnešní době základní surovinou pro výrobu sladu ve všech tradičních pivovarských zemích, pěstován na všech světadílech s výjimkou Antarktidy, je jednou z nejstarších a nejdůležitějších kulturních plodin [1, 2].

Při výrobě piva se používají hlavně slady z jarních ječmenů. Vlastnosti odrůd ječmene výrazným způsobem ovlivňují kvalitu sladu a následně pivo z něj vyrobené, čímž vytvářejí charakteristické vlastnosti a chuťové rysy jednotlivých značek piva [1, 2, 4].

Rostlina ječmene je složena z kořenové soustavy (cca 5-6 zárodečných kořínků), stébla (složeno ze 4-8 článků od celkové délce 80-130 cm), listů a květenství. Květenství ječmene vytváří složený klas. Dvouřadý ječmen má plodný jen prostřední kvítek, šestiřadý všechny tři kvítky. Zrno ječmene je oválného tvaru, barvy žluto-bílé, středně tvrdé struktury. Tvrdost a perleťovost zrna je důležitou charakteristikou ječmene, která vyjadřuje kvalitu ječmene. Zrno je složeno z tří částí: obalu (9 %), zárodku (4 %) a endospermu (87 %). Obalová vrstva na hřbetní straně se označuje jako plucha a na břišní straně jako pluška. Součástí obalové vrstvy je dále oplodí a osemení. Zárodek je v latentní formě, který po hydrataci vytvoří novou rostlinu. Endosperm vytváří největší část obilky a je obalen aleuronovou vrstvou [2, 3, 4].

Obilka ječmene je složena z 80-88 % sušiny a 12-20 % vody. Sušina je tvořena z anorganických látek, organických dusíkatých a bezdusíkatých látek. Sacharidy se vyskytují v obilce ve formě škrobu (jehož obsah činí průměrně 62-65 %), nízkomolekulárních sacharidů (sacharosa, rafinosa, maltosa, glukosa, fruktosa) a neškrobnatých polysacharidů (β -glukany, pentosany, celulosa). Tuky, fosfáty, polyfenolové látky, minerální látky a dusíkatých látky (albuminy, globuliny, hordeiny, gluteliny) jsou obsaženy v menším množství [1, 2, 27].

1.1.2 Výroba sladu

Nejdůležitějším prvkem výroby sladu je přeměna ječmene na slad, který je velmi bohatý na enzymy. Proces výroby lze rozdělit do tří částí, a to: máčení, klíčení a hvozdní. Máčení ječmene zvyšuje řízeným způsobem obsah vody v zrně na určitou hodnotu, při které jsou zahájeny enzymové reakce, začíná klíčivost zrna a odstraňují se splavky a lehké nečistoty v zrně. Máčení probíhá v nádovnicích a lze je považovat za nejdůležitější prvek výroby, který přímo ovlivňuje následnou kvalitu piva. K máčení se používá čistá voda o maximální tvrdosti do $6,25 \text{ mmol.l}^{-1}$ a o teplotě okolo $9-21 \text{ }^\circ\text{C}$. Vyšší teplota vody urychluje hydrataci koloidů a doba máčení se zkracuje. Toto je ovlivněno i velikostí jednotlivých zrn, jelikož velká zrna pomaleji přijímají vodu, proto je důležité, aby byla zrna ječmene před procesem máčení vytříděna. S příjmem vody nastává intenzivnější dýchání ječmene a vzrůstá spotřeba kyslíku. V případě, kdy není ječmen dostatečně provětráván, dochází k intramolekulárnímu dýchání, které může mít za následek poškození či umrtvení embrya zrna. Po skončení máčení je ječmen transportován do klíčidel za pomoci vody nejlépe samospádem (mokrý vymáčka), nebo bez vody (suchý vymáčka) [2, 15, 16].

Proces sladařského klíčení ječmene pokračuje přívodem vzduchu k hromadě a do 24 hodin vyrůstají špičky kořínků a kořínky začínají prorážet obal zrna. Nejdůležitější fáze klíčení je nazývána stadium mladíka, při kterém zrno intenzivně dýchá, při přebytku rostou kořínky a střelka. Poté se využívá tlumícího efektu CO_2 , zpomaluje se dýchání a vyrovnává se délka kořínků a střelky. Zrna mírně zavadnou, růst kořínků a intenzita dýchání je slabší a hromady se nakypří a je ukončen proces klíčení a zelený slad se nastírá na hvozdní. Cílem klíčení ječmene je aktivace a syntéza enzymů a docílení požadovaných vnitřních změn v zrně. Průběh klíčení je veskrze ovlivněn obsahem vody v zrně, obsahem kyslíku a oxidu uhličitého při klíčení, teplotou a délkou při klíčení. Hlavní činností při klíčení je vznik

a aktivace amylolytických enzymů, které se podílejí na hydrolyze vody. Nejdříve vznikají β -glutanasy, následně α -amylasy a proteasy. Amylasy jsou nejdůležitějšími enzymy sladu, pomocí kterých jsou později odbourávány škroby při rmutování. α -amylasa se v ječmeni nevyskytuje, ale vzniká během druhého až čtvrtého dne klíčení. β -amylasa je přítomna v malém množství již v ječném zrně a její podíl se během procesu klíčení zvyšuje za pomoci dostatečného provětrávání v prvních fázích klíčení [2, 15, 16].

Hemicelulasy a β -glutanasy, patřící do komplexu cytas, narušují během klíčení buněčné stěny a tím umožňují proniknutí dalších specifických enzymů do vnitřní části buněk endospermu. Vzhledem k tomu, že hemicelulasy se vytvářejí z vysokomolekulárních molekul neškrobových polysacharidů – β -glukanů, které výrazně zvyšují viskozitu roztoků, je při výrobě sladu velmi důležité jejich rozštěpení [2, 15, 16].

Závěrečnou fází výroby sladu je hvozdění, při kterém je zelený slad na hvozdě předsušen teplotou do 60 °C velkým množstvím vzduchu, následně je teplota zvýšena na 80 °C, poté dotažen při teplotách 80-85 °C (výroba sladu plzeňského typu). Při výrobě bavorského typu sladu je zahřívací teplota nižší, zpravidla okolo 40-50 °C, která se zvyšuje až na dotahovací teplotu 105 °C, kdy se zvýší tvorba melanoidů [2, 15, 16].

Během první fáze předsušení sladu se snižuje obsah vody v zrně ze 40-45 % na hodnotu okolo 10-12 %, kdy rychlost sušení stoupá s klesající relativní vlhkostí vstupujícího vzduchu. Zelený slad obsahuje vysoký podíl vody, proto je nutné tento stav změnit za pomoci hvozdění do skladovatelného a stabilního stavu, načež je provedeno i ukončení životních a luštících pochodů v zrně a vytváří se aromatické a barevné látky, které představují charakteristické rysy jednotlivých druhů sladu. Po následném odklíčení a zchlazení sladu, které zabrání poškození enzymatických aktivit a zhoršení chuťových vlastností, je slad uskladněn ve sladovně. V celosvětovém měřítku se v největších podílech vyrábějí slady plzeňského typu pro světlá piva a tmavé slady bavorského typu pro piva tmavá [1, 2, 15].

Slad plzeňského typu, který patří mezi světlé slady, se používá k výrobě konzumních piv, ležáckých a speciálních piv s různou koncentrací mladiny. Hlavními znaky vyskytujícími se v těchto druzích piva jsou nízká hodnota barvy kongresní sladiny a barvy po povaření. Toto je ovlivněno teplotou dotahování (80-85 °C) při hvozdění a s tím související tvorbou barevných a aromatických látek [1, 2].

Vídeňský slad se vyznačuje vyšší hodnotou barvy oproti plzeňskému typu a zařazuje se mezi světlé a tmavé slady, u kterých tvoří přechodnou formu sladu. Hlavní využití tohoto typu sladu je zvýšení sytosti barvy světlého piva, převážně u výroby speciálních piv [1].

Tmavé slady bavorského typu se používají při výrobě tmavých piv, u kterých jsou typické vysoké hodnoty barvy kongresní sladiny, výraznější aroma, nižší extraktivnost a aktivita sladových enzymů a vyšší obsah bílkovin a koncentrace produktů Maillardovy reakce [1].

Mezi speciální slady se řadí: karamelové slady, barvicí slady, nakuřované slady, proteolitické slady, slady zvyšující redoxní kapacitu piva, melanoidinové slady. Tyto slady jsou určeny pro výrobu tmavých a speciálních piv, pokud je použita při výrobě piva náhražka sladu a zejména při úpravě některých kritérií sladiny z běžných sladů. Na rozdíl od běžných sladů se liší enzymovými aktivitami, redoxní kapacitou, kyselostí či barvou. Přidáváním těchto sladů při výrobě se upravuje barva, chuť nebo pěnivost piva. Vysoký obsah aromatických a barevných látek mají karamelové slady. Ty se vyrábějí ze zeleného sladu nebo z navlhčeného hotového světlého sladu rychlopražením ve speciálních bubnech při teplotě 120 až 180 °C, obsahují 5 až 7 % vlhkosti a vyznačují se silnými hygroskopickými vlastnostmi. Aroma těchto sladů se velmi výrazně ovlivňuje složením dusíkatých heterocyklických sloučenin v nich obsažených [1].

1.1.3 Chemické složení sladu

Jednotlivé druhy sladů se svými typickými vlastnostmi se získávají úpravou máčení a klíčení ječmene. Těmito technologickými úpravami lze regulovat biosyntézu a aktivitu sladových enzymů, které působí na určité složky extraktu – např. aciditu sladu, degradaci vysokomolekulárních látek a redoxní potenciál. V dnešní době je sladovnická kvalita odrůd ječmene hodnocena podle ukazatelů sladovnické jakosti. Ukazatelé sladovnické jakosti hodnotí sladovnickou kvalitu jednotlivých odrůd, ale dosažená úroveň sledovaných technologických znaků je spíše výsledkem působení různých genotypů odrůdy ječmene a vlivu vnějšího prostředí [1, 2, 16, 17].

Mezi hlavní znaky ukazatelů sladovnické jakosti patří zejména:

- **Obsah extraktu v sušině sladu** – hodnota sladového extraktu vyjadřuje v procentech množství uvolněných extraktivních látek ze sladové moučky do vodného roztoku. Za optimální jsou vyhovující hodnoty vyšší než 82 – 83 %.
- **Rozluštěnost sladu** – je stanovena vážením propadu při protlačování zrn sladu sítím v přístroji friabilimetru za standartních podmínek. Za optimální jsou považovány hodnoty 85 % (u některých vyšlechtěných odrůd je možno dosažení až 90 %).
- **Kolbachovo číslo** - udává poměr rozpustného dusíku ve sladině k celkovému obsahu dusíku ve sladu. Hodnota se pohybuje okolo 40 %.
- **Relativní extrakt při 45 °C** (v současnosti je žádoucí hodnota kolem 37 %).
- **Dosažitelný stupeň prokvašení** – hodnota informuje o obsahu všech zkvasitelných látek ve sladině pivovarskými kvasnicemi. Optimální hodnoty jsou nad 82 %.
- **Diastatická mohutnost** - hodnota, jež udává enzymový potenciál sladu, převážně beta – amylasy. Optimální hodnoty jsou nad 250 j.WK.
- **Obsah β -glukanů ve sladině** – β -glukany jsou polysacharidy neškrobového typu, které jsou součástí buněčných membrán endospermu ječmenného zrna. Za optimální jsou považovány hodnoty do 150 mg.l⁻¹.
- **Obsah dusíkatých látek** – jejich obsah je velmi ovlivněn vnějšími podmínkami. Za optimum pro sladovnický ječmen se pokládá obsah dusíkatých látek vyjádřený jako obsah bílkovin (N-x 6,25) v rozmezí 10 – 11,5 % [1, 2, 16, 17].

1.2 Chmel

Látky obsažené v chmelu obohacují pivo o oblíbenou hořkost, plnost chuti a vůni, ale také o řadu látek, jež zvyšuje hodnotu piva z hlediska pivovarské technologie [1, 2].

Chmel otáčivý, zejména hlávky samičích rostlin chmele (*Humulus lupulus* L.), čeleď *Cannabinaceae*, je významnou základní surovinou pro výrobu piva. Tato mnoholetá rostlina roste hlavně v mírném pásmu a v plné plodnosti může vydržet až 25 let. Hlavními částmi chmele je kořenová soustava s chmelovou babkou, réva s pazochoy a listy

s květenstvím, které se v průběhu vegetace vyvíjejí v chmelové hlávky. Samičí rostliny se zpracovávají pro pivovarské využití, samčí rostliny se používají převážně na šlechtění odrůd [1, 2, 6, 13].

Podzemní orgány chmele obsahují kořenovou soustavu a chmelovou babku. Babka je složena ze všech horizontálních a vertikálních lodyžních orgánů, které vznikly modifikací lodyhy pod povrchem půdy. Kosterní kulové kořeny vyrůstající z chmelové babky, rostou převážně svislým směrem s několikerým rozvětvením, a může dosahovat v optimálních půdních podmínkách až 6 metrů hloubky. Vertikální lodyžní orgány rozdělujeme podle stáří na nové jednoleté dřevo a staré víceleté dřevo. Réva vyrůstá z babky, dorůstá výšky 7 až 8 metrů, má šestiúhelníkový průřez a na hranách ji vyrůstají přichytné chloupky, kterými se zachytává vodícího drátu, kolem kterého se pravotočivě vine. Pazochy (postranní větévky) vyrůstající z révy se na konci květenství mění na chmelové hlávky [1, 2, 6, 13].

Chmelové hlávky se skládají ze stopky, věténka, pravých a krycích listenů, při oplození navíc obsahují semeno, což významně snižuje kvalitu pro pivovarské využití. Na vnitřní straně listenů se při zrání vylučují pryskyřičná zrna lupulinu, která obsahují chmelové pryskyřice a silice, což jsou pivovarsky nejcennější složky chmele [1, 2, 6, 10].

Dle zabarvení se rozlišují odrůdy chmele na červeňáky a zeleňáky. Podle délky vegetační doby se dělí na rané, polorané a pozdní. Nejdůležitější znaky, jako je obsah chmelových pryskyřic a chmelové aroma, odrůdy rozdělují na jemné aromatické chmele, které mají nižší obsah α -hořkých kyselin a příjemné aroma a na hořké a vysokoobsažné odrůdy s vysokým obsahem pryskyřic (až 15 % hmotn. α -hořkých kyselin). Každá z odrůd má své kvalitativní prvky, ve kterých se vzájemně liší. α -hořké kyseliny jsou složeny ze tří složek – humulonu, adhumulonu a kohumulonu. Složky β -hořkých kyselin jsou lupulon, adlupulon a kolupulon [1, 2, 6].

α -hořké kyseliny jsou základním prekursorem iso- α -hořkých kyselin vznikající během pivovarského procesu. Obsah α -hořkých kyselin se pohybuje v rozmezí 3-10 hmotn. % a je velmi závislý na pěstebních podmínkách a odrůdě. α -hořké kyseliny tvoří směs sedmi zatím známých analogů humulonu: humulonu (35-70 %), kohumulonu (20-55 %), adhumulonu (10-15 %), prehumulonu (1-10 %) a posthumulonu (1-5 %), které se vzájemně liší postranním acylovým řetězcem na druhém uhlíku cyklického jádra. Chmelové α -hořké kyseliny jsou velmi málo rozpustné ve vodě, respektive i v mladině

a piva. Za varu v mírně kyselém vodném prostředí se z větší části isomerují za vzniku *cis-* a *trans*-iso- α -hořkých kyselin v poměru 68:32. Intenzita a rychlost isomerace je ovlivňována vyšším pH a přítomností měďnatých a hořečnatých iontů. Ze tří hlavních analogů α -hořkých kyselin vznikají isomerací jim příbuzné sloučeniny: isohumulon, isokohumulon a isoadhumulon. Ty vykazují lepší rozpustnost i ve studené vodě a silnější organoleptickou hořkost a jsou velmi důležité pro vznik a stabilitu pивní pěny. Iso- α -hořké kyseliny představují 70 % hořkosti piva a výrazným způsobem ovlivňují prvotní sensorický vjem [1, 2, 9, 14].

β -hořké kyseliny jsou druhou nejvíce zastoupenou složkou v rámci chmelových pryskyřic a v chmelu se vyskytují v množství okolo 3 až 5 %. Z pivovarského hlediska jsou mnohem méně významné než α -hořké kyseliny, jelikož vznikají jako vedlejší produkt iso- α -hořkých kyselin. β -hořké kyseliny jsou směsí pěti základních analogů: lupulon (30-55 %), kolupulon (20-55 %), adlupulon (5-10 %), prelupulon (1-3 %) a postlupulon. Tato směs tvoří bílé krystaly šesterečné soustavy. β -hořké kyseliny snadno podléhají oxidativní izomeraci, jsou nestálé (méně než α -hořké kyseliny) a mají slabou esterovou vůni a nahořklou chuť. Produkty isomerace a oxidace β -hořkých kyselin se vyznačují vyšší rozpustností než samotné β -hořké kyseliny a vykazují specifickou hořkost. Za nejvýznamnější produkty přeměny β -hořkých kyselin lze považovat hulupony, mezi další produkty β -hořkých kyselin lze zařadit lupdehy, lupoxy a lupdoly. Hulupony dosahují 5 až 50% hořkosti iso- α -hořkých kyselin a vyznačují se mírnou a příjemnou hořkostí. Ve zralém chmelu jsou obsaženy v množství asi 0,5 % hmotn. v sušině a následkem oxidačních procesů při skladování může vzrůst jejich hodnota až na 4 % hmotn. v sušině [1, 2, 9].

Chmel obsahuje chmelové silice až v množství 3 %, které vytváří příjemnou chmelovou vůni piva v závislosti na jejich složení a odrůdě chmele. Silice se skládají z několika set různých látek organického složení, na jejichž skladbu má vliv složení půdy, stejně jako další podmínky pěstování či skladování. V čerstvě sklizeném chmelu se nachází uhlovodíková frakce chmelových silic, která tvoří největší podíl (až 80 %). Je složena z alifatických uhlovodíků (např. pentan, oktan, isopren), monoterpenů (např. myrcen, α - a β -pinen, limonen), seskviterpenů (např. β -farnesen, α -humulen a další acyklické, mono-, di- a tricyklické seskviterpeny). Kyslíkatá frakce, která tvoří přibližně 30 % z celkových silic, vzniká během zrání, zpracování a skladování chmele. Je směsí terpenových, alifatických a dalších alkoholů, aldehydů, ketonů, kyselin a esterů. Složky kyslíkaté frakce

jsou velmi dobře rozpustné a společně s těkavými kvasnými produkty vytvářejí aroma piva. Jemné chmelové aroma, které poskytují aromatické odrůdy chmele, se často přidává až ke konci varu (většinou u ležáckých piv) a tím se zvýší koncentrace v mladině, respektive v pivu. Frakce sirných sloučenin se v chmelových silicích vyskytuje pouze ve stopovém množství (cca 0,1 %), ale i toto množství negativně ovlivňuje svými chuťovými i vonnými látkami sensorické vlastnosti piva [1, 2, 12].

Polyfenolové látky mají významný vliv na fyzikální stabilitu piva, formování pěny a na zvýšené odolnosti proti stárnutí a oxidaci piva. Mezi pozitivní vlastnosti polyfenolových látek lze zařadit antioxidační, protirakovinotvorné, antimikrobiální a protizánětlivé účinky. Dále se významně podílejí na procesu bránění oxidačních změn během chmelovaru a skladování. Polyfenoly se převážně rozdělují do čtyř skupin na chalkony, flavanoidy, flavonoly a anthokyanidiny. Nejvýznamnější skupinu polyfenolových látek představují flavonoidy, které obsahují v molekule dvě benzenová jádra spojená tříuhlíkatým řetězcem [1, 8, 10, 11].

1.3 Varní voda

Voda je významnou součástí při výrobě piva. Podílí se jako základní surovina, kde její složení má vliv na konečný produkt. V minulosti se používala voda z různých zdrojů, poté se začaly budovat pivovarské studny, případně i jiné zdroje vod, tj. povrchové vody, pramenité vody a městské vodovodní řády. Z přírodních zdrojů se v pivovarnictví využívají povrchové a spodní vody. V těchto vodách je obsaženo mnoho látek, které by nepříznivě ovlivňovaly kvalitu vyrobeného piva, zejména u vod povrchových, kde čistota v současné době je poněkud horší. Povrchové vody často obsahují anorganické a organické kalící látky, patogenní i nepatogenní mikroorganismy, protozoa. Z tohoto důvodu je úprava povrchové vody technologicky i ekonomicky náročnější, než úprava vod spodních [1, 2, 6].

V pivovarnictví se používají tři druhy vody, které se dělí dle účelu:

- **Voda varní** – je základní surovina pro výrobu piva, zejména k přípravě mladiny. Její podíl z celkového množství použité vody při výrobě piva je velmi malý. Tato voda splňuje podmínky pro pitnou vodu zdravotní s hygienickou nezávadností.

Z fyzikálně-chemického hlediska se musí varní voda dále upravovat dle druhu daného piva [1, 2].

- **Mycí a sterilační voda** – tato voda nesmí obsahovat mikroorganismy a žádné chemické kontaminanty. Upravuje se chlorováním [1].
- **Provozní voda** – se používá pro chlazení, pro přípravu mycích roztoků, voda používaná při pasteraci musí mít nízký obsah anorganických iontů. Voda určená pro chlazení se upravuje na předepsané chemické složení a zejména mikrobiologickou nezávadnost [1, 2].

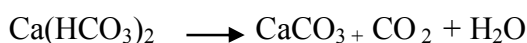
1.3.1 Tvrdost vody

Tvrdost vody určuje obsah rozpustných solí kovů alkalických zemin a to iontů Ca^{2+} , Mg^{2+} , v minimálním výskytu i Sr^{2+} a Ba^{2+} . Tento podíl solí je důležitým kritériem při posuzování vhodnosti vody k určitým technologickým aplikacím.

Z hlediska tvrdosti rozeznáváme:

- měkká voda - do $1,3 \text{ mmol.l}^{-1}$
- středně tvrdá voda – $1,3\text{-}2,5 \text{ mmol.l}^{-1}$
- tvrdá voda – $2,5\text{-}3,8 \text{ mmol.l}^{-1}$
- velmi tvrdá voda – nad $3,8 \text{ mmol.l}^{-1}$

Uhličitanová „tvrdost vody“ vyjadřuje obsah hydrogenuhličitanů hořčiku a vápníku. Ty se během chmelovaru mění odštěpením oxidu uhličitého na rozpustné uhličitany a to následně ovlivňuje celkovou vápenato-uhličitanovou rovnováhu. Nestálost uhličitanu hořečnatého má vliv na rozklad při delším varu a možnost úplného odstranění z roztoku [1, 2, 6].



Neuhličitanová „tvrdost vody“ je vytvářena neměnností při varu zejména hořečnatými i vápenatými solemi kyseliny sírové, dusičné, chlorovodíkové a některých dalších [1, 2].

1.3.2 Ionty a plyny obsažené ve vodě

Všechny procesy při výrobě piva jsou ovlivňovány složením varné vody, tj. obsahem a vzájemnými poměry jednotlivých iontů, což má vliv na proces výroby, charakteristické vlastnosti a kvalitu piva [1, 2, 6].

Vápenaté ionty Ca^{2+} patří mezi nejvýznamnější ionty vody, které působí širokospektrálně v různých fázích při výrobě piva. Vápník působí při stimulaci některých sladových enzymů, nejvíce těch, které pozitivně působí při stabilizaci α -amylasy proti tepelné denaturaci. Dále ovlivňují pH v roztocích sladiny a mladiny. Významně se podílejí na reakci s fosforečnany, které ve zvýšené míře uvolňují do roztoku ze sladu [1, 2].

Hořečnaté ionty Mg^{2+} pocházejí z větší části ze sladu, v menším množství z varné vody. Účastní se ustavení pH v mladině a ve sladince, významnou roli mají při aktivitě enzymů během kvašení [1, 2].

Sodné a draselné ionty Na^+ a K^+ se vyskytují ve vodách v nízkých koncentracích a do piva se dostávají ze sladu. Nepříznivé zvýšení pH rmutů a mladin způsobují převážně hydrogenuhličitan sodný a uhličitan sodný, kdy reakcí těchto složek vznikají rozpustné fosforečnany, které mají alkalickou reakci [1, 2].

Železnaté ionty Fe^{2+} a Fe^{3+} jsou velmi často obsaženy v přírodních vodách. Vysoký výskyt železa (nad $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$) nepříznivě ovlivňuje kvalitu sladu, který vykazuje tmavší barvu, zpomaluje proces zcukření rmutů, snižuje bohatost chuti a charakteristickou hořkost piva [1, 2].

Dusitanové ionty NO_2 působí jako indikátory čerstvého znečištění vody a mikrobiální činnosti. Jsou meziprodukty biochemického rozkladu bílkovin a v menší míře vznikají při kvašení redukcí dusičnanů. Pro kvasinky jsou toxické. V případě reakce s polyfenoly dávají pivu fenolovou příchuť [1, 2].

Oxid uhličitý je součástí přírodních vod a je důležitým prvkem pro zachování uhličitanů v roztoku. Pokud se v roztoku vyskytuje vyšší obsah CO_2 , tak způsobuje korozi zařízení. Kyslík se běžně ve vodě vyskytuje v rozmezí 3 až 8 mg.l^{-1} . Rozpustnost kyslíku však závisí na teplotě vody, kdy během zpracování jeho obsah klesá [1, 2].

1.3.3 Postupy při úpravě varní vody

K základním úpravám vody určené pro vaření piva patří mechanické čištění čířením s následnou sedimentací a filtrací. Mezi další úpravy lze zařadit odželezňování, dezinfekci vody, odstraňování oxidu uhličitého a odmanganování [1, 2].

Odstranění větších nečistot, zejména pevných částic, se provádí mechanicky na sítích. Čířením a filtrací se odstraní části organického a anorganického původu. Po filtraci je voda dechlorována, dezoderoována aktivním uhlím a přečerpá do rezervoárů. Z čířidel se nejvíce používají síran hlinitý, síran železnatý spolu s chlorem, hlinitan sodný a síran železitý [1, 2].

Velmi důležité je odželezňování a odmanganování varní vody, jelikož vyšší obsah železa a manganu způsobují technologické potíže, což má za následek zhoršení kvality piva. To se projevuje přibarvováním mladiny, sladiny a piva, snížení koloidní stability piva [1, 2].

Mezi techniky, které odstraňují dusičnany z vod znečištěné z dusíkatých hnojiv, jsou nejvíce používané reverzní osmóza, elektrodialýza, techniky na principu měničů iontů. Z biologických metod se nejvíce používají heterotrofní a autotrofní denitrifikace [1, 2].

Deaerace (odvzdušnění) vody je nutno použít u vody, která bude dále zpracována pro naředění vysokokonzentrovaných várek na potřebnou hladinu původní koncentrace mladiny vyráběného piva. Ve většině případů zpracování vody probíhají deaerace a karbonizace současně. Voda s redukováným obsahem kyslíku se používá převážně pro vystírání sladu nebo na rozptýlení křemeliny před dávkováním do filtru. Při závěrečném proplachu tanků a stáčecích zařízení je použití deaerované vody velmi příznivé z důvodů snížení oxidačních reakcí při rmutování a ve filtrovaném a stáčeném pivu [1, 2].

Mezi další metody úpravy vody je možno zařadit sterilaci vody, která je potřebná pro mikrobiologicky nezávadnou vodu při kvašení a dokvašování, mytí a výplachy transportních nádob. Chlorace a ozonizace vody jsou sterilační metody, které mají za následek zneškodnění bakterií a virů [1, 2].

2 TECHNOLOGIE VAŘENÍ PIVA – VÝROBA MLADINY

2.1 Mletí sladu – šrotování

Cílem mletí sladu je mechanické vymletí endospermu sladových zrn na jemné a hrubé částice, tak, aby nedošlo k porušení celistvosti obalových pluch. Jejich poškození může snížit porozitu mláta a negativně ovlivnit chuť piva. Pluchy obsahují polyfenolové sloučeniny a rozpustné hořké látky sladu tzv. lipoidy, které jsou složeny z různých uhlovodíků, steroidů, lipofilních barviv a jiných lipofilních sloučenin. Zachování neporušenosti pluch je důležité pro mletí sladu za sucha, kdy jsou pluchy následně využity jako filtrační přepážka při scezování a vyslazování mláta na scezovací kádi. Rozemleté a poškozené pluchy procesy scezování a vyslazování prodlužují, z nich vyloučené látky zhoršují barvu sladiny a následně i barvu, hořkost, chuťový profil, koloidní a senzoryckou stabilitu piva. Dokonalé vymletí zrna zpřístupňuje extraktivní látky sladu a tím je urychleno jejich rozpouštění, stejně jako fyzikální, chemické a biochemické změny, které probíhají při rmutování a v dalších krocích výroby mladiny. Hlavní část extraktu sladiny, který je uvolňován při varném procesu do roztoku, pochází s endospermu sladového zrna. Endosperm obsahuje škrob, dusíkaté látky, neškrobové polysacharidy a enzymy. Množství a celkové složení extraktu získaného během varního procesu z rozemletého sladu závisí na vlastnostech odrůdy ječmene, ze které byl slad připravován, na technologii přípravy mladiny, rozluštění sladu a na výsledku mlecího efektu. Pro výbornou kvalitu piva je nejlepší slad vyrobený z jedné odrůdy ječmene či směsi odrůd podobných vlastností [1, 2].

Šrotování sladu je čistě mechanický a relativně jednoduchý proces. Avšak složení šrotu významným způsobem ovlivňuje proces rmutování, scezování a varní výtěžek. Jemnější rozemletí endospermu způsobuje částečnou rozpustnost a působení sladových enzymů během varního procesu, ve kterém se uvolňuje hlavní podíl extraktu sladiny. Naopak hrubá krupice se těžko rozpouští a zcukřování probíhá pomaleji. Při zpracování hrubšího šrotu je nutné intenzivní a delší rmutování. Složení šrotu pro scezovací kád' má tedy mít kvalitně vymleté, minimálně poškozené pluchy, nízký podíl hrubé krupice a vysoký podíl jemné krupice [1, 2].

Slad uložený v silech se před mletím přečistí na čističkách s vytrásadlem a síty, odkaménkovačem, aspirátorem prachu a magnetickým přístrojem. Slad je zvážen na vahách z důvodů údajů pro výpočet varního výtěžku a putuje do dávkovacího zařízení.

Způsob mletí a složení sladového šrotu se volí podle zařízení, které je k dispozici pro scezování. Základní postupy mletí jsou:

- šrotování sladu za sucha.
- šrotování sladu s kondicionováním.
- šrotování sladu za mokra.

Pro mletí za sucha se používají dvouválcové až šestiválcové šrotovníky. Mlecí stolice mají hladké nebo rýhované válce, které se otáčejí stejnou nebo rozdílnou rychlostí dle konstrukce a účelu. Výkon šrotovníku je určen délkou válců, otáčkami, rýhováním, diferenciální změnou rychlosti a musí umožnit sešrotování potřebného množství sladu na várku. Dvouválcový šrotovník je převážně používán v malých či hostinských pivovarech. Šestiválcový šrotovník představují nejlepší podmínky k mletí sladu a nejvíce se používají pro suché šrotování. Mají tři páry válců, kdy první pár zrno rozmáčkne, druhý vymílá pluchy a třetí pár mele hrubou krupici. Vše je tříděno pomocí sít [1, 2].

Šrotování sladu s kondicionováním je zvýšení vlhkosti zrna v průměru od 1,3 do 1,5 %. Toto je uskutečňováno teplou vodou (30 °C) nebo redukovanou párou. Zrno se vlhčí tak, aby zvlhly pouze pluchy a endosperm zůstal suchý [1, 2].

Při šrotování sladu za mokra se slad máčí vodou o teplotě 10 až 50 °C po dobu 10 až 30 minut (v závislosti na teplotě vody), kdy je zvýšen obsah vody v zrně až na 30 %. Celková doba mletí je okolo 60 minut, mlecí šterbina se nastavuje v rozsahu 0,35 až 0,45 mm. Pomletý šrot se následně smísí s vystírací vodou a přečerpá do vystírací kádě [1, 2].

2.2 Vystírání a zapařování

Cílem vystírání je dokonale promíchat sladový šrot s podílem varní vody. Dávkování a výběr surovin, stejně jako způsob vystírání a rmutování, mají významný vliv na složení sladiny určitého druhu piva. Pro světlé druhy pív se připravuje řidší rmut (větší množství hlavního nálevu), ve kterém se urychlují enzymové reakce, je podpořena činnost amylolytických enzymů a urychluje se zcukření sladiny. Řidší vystírka obsahuje větší množství „ušlechtilého“ extraktu, způsobuje světlejší barvu sladiny a příjemnější chuť piva. Pro tmavé druhy pív se volí hustý rmut (menší množství hlavního nálevu), ve kterém

působí hlavně proteolytické enzymy delší dobu. Dekokční postup rmutování hustějšího rmutu zvyšuje přechody látek z pluch, zlepšuje procesy karamelizace cukrů a zvýšení barvy, což příznivě ovlivňuje chuť tmavého piva [1, 2].

Na začátku vystírání je hlavní nálev rozdělen na dvě části. První část nálevu je smíchána se sladovým šrotem při teplotě do 20 °C při studené vystírce nebo při teplé vystírce, kdy se teplota hlavního nálevu pohybuje mezi 35-38°C a rozemleté části sladového zrna změknou a částečně se rozpustí. Poté se přidá druhá část hlavního nálevu o teplotě 80 °C, provede se zapárka, kdy celková teplota vystírky vzroste přibližně na 50-52 °C. Tím se podpoří účinnost proteolytických a cytolytických enzymů, což má za následek degradaci pluch a zpřístupnění škrobu působením amylolytických enzymů. Množství hlavního nálevu je závislé na druhu vyráběného piva a je určeno v poměru k množství sypání sladu, konzistenci rmutu a koncentraci sladiny [1, 2].

2.3 Rmutování

Rmutování je klíčovým krokem v procesu výroby piva. Cílem rmutování je převedení a rozštěpení žádoucích složek extraktu varních surovin do roztoku. Během celého procesu působí rozdílné teploty, při kterých jsou optimálně aktivní určité enzymy sladu.

Kyselinotvorná teplota (35-38 °C) podporuje rozpouštění látek extraktu a zpřístupňuje působení sladových enzymů. Při přidání teplé vody (80 °C) a následné zapárce má vliv peptonizační teplota (45-50 °C) na podporu proteolýzy, štěpení fosforečnanů a neškrobových polysacharidů (např. β -glukanů). Nižší cukrotvorná teplota (60-65 °C) má vliv na optimální podmínky pro aktivitu β -amylasy. Vyšší cukrotvorná teplota (70-75 °C) podporuje optimální působení α -amylasy, kdy klesá viskozita roztoku a nepatrně se zvyšuje podíl redukujících cukrů. Po finální fázi rmutování je dosažena odrmutovací teplota (76 až 78 °C) [1, 2].

Rmutování probíhá dvojitým způsobem, a to dekokčním a infuzním. Při infuzním postupu se rozpouštějí a štěpí extrakty sladu dlouhodobým působením sladových enzymů bez jakéhokoliv mechanického či tepelného působení povařování rmutů. Doba infuzního rmutování trvá 180 minut při teplotách začínajících vystírkou v rozmezí 35-50 °C a končí odrmutovací teplotou okolo 78 °C. Pro výrobu piva českého typu se používá tzv. dekokční postup rmutování. Podstatou dekokčního rmutování je postupné spouštění dílčích rmutů

(částí vystřené díla) z vystírací kádě do rmutovací pánve, kde se zcukřují a považují. Po vrácení do vystírací kádě s hlavní částí díla se docílí potřebné zvýšení teploty. Podle počtu dílčích rmutů (opakování operací spouštění) rozlišujeme jedno, dvou a tři rmutové postupy. V ČR je nejrozšířenější dvourmutový dekokční postup, který je nejvhodnější pro výrobu pív českého typu a používá se při zpracování středně rozluštěných sladů. Dekokční varní postup se projevuje v sensorické charakteristice piva, vyšší plnosti chuti, hořkosti a čistotě chuti [1, 2, 4, 19].

Výpočet objemu dílčího rmutu při dekokčním rmutování:

$$V_r = \frac{V_c(t_3 - t_1)}{t_2 - t_1}$$

V_r – objem dílčího rmutu (l)

V_c – objem celého rmutu (l)

t_1 – teplota spouštěného dílčího rmutu na rmutovací kotel

t_2 – teplota vráceného dílčího rmutu po povaření (90 °C)

t_3 – teplota celého rmutu po vrácení dílčí části rmutu

Jednourmutový postup je z hlediska časového (cca 160 minut) a mechanického zpracování podobný infuznímu postupu. V obou případech je nejvýhodnější použití dobře rozluštěných sladů. Vystírá se při teplotách okolo 50 °C, po 15 minutách zapáčením horkou vodou na 62 °C. Následně po 15-ti minutovém odpočinku je proveden odběr hustého rmutu, který se zcukří při vyšší cukrotvorné teplotě (70 až 75 °C) a dovede k varu a povaří se po dobu 15 minut. Po jeho navrácení se zvýší teplota celkového rmutu na 72 °C. Po 20 minutách je rmut dohřát na odrmutovací teplotu (76 °C) [1, 2].

Při dvourmutovém postupu se vystírá do vody o teplotě okolo 37 °C s následnou zapáčkou na 50 °C, nebo pro více rozluštěné slady se použije přímo vystírka o teplotě 50-52 °C. První hustý rmut (1/3 celkového rmutu) se spustí do rmutovací pánve a vyhřeje s rychlostí ohřevu 1 °C za minutu na cukrotvornou teplotu okolo 63 až 65 °C po dobu 10-20 minut pro optimální působení β -amylasy. Následně se rmut vyhřeje rychlostí ohřevu 0,7 °C za minutu na teplotu 72 až 74 °C po dobu dokonalého zcukření, obvykle mezi 5 až 10 minutami. Po zcukření se rmut co v nejkratší době (rychlost ohřevu až 1,5 °C) uvede do varu a vaří se 15 až 20 minut. Po povaření se pomalu vrátí do vystírací pánve za chodu míchadla a celková teplota rmutu ve vystírací pánvi se zvýší na 62 až 65 °C. Druhý rmut se po krátké prodlevě se spustí do rmutovacího kotle a zahřeje na cukrotvornou teplotu okolo

72 až 74 °C a vaří po dobu 15 minut. Následně se pomalu vrátí zpět do vystírací pánve, kde dosáhne teplota celkového rmutu 75 až 78 °C [1, 2].

Třímrtový postup se vyznačuje velkou časovou a energetickou náročností, proto není často využíván. Vystírá se při teplotě 37 °C, kdy je do rmutovacího kotle spuštěn hustý rmut (1/3) a je zahříván postupně na peptonizační, nižší cukrotvornou, vyšší cukrotvornou teplotu až do dokonalého zcukření. Poté je rmut povařen po dobu 10-20 minut (30-45 minut u tmavých piv) a vrácen k celkovému rmutu ve vystírací nádobě a teplota se zvýší na 50-53 °C. Druhý rmut je ošetřen stejným způsobem jako první a teplota celkového rmutu po navrácení se zvýší na 62 až 67 °C. Třetí řídký rmut je vyhřát na cukrotvornou teplotu, poté se povaří 5 až 10 minut. Po vrácení se získá odrmutovací teplota 76 až 78 °C. Celková doba postupu je 3,5 až 5,5 hodiny dle druhu piva [1, 2].

Během rmutování dochází převážně k enzymovým, ale i k mechanickým, chemickým, fyzikálním dějům. Činnost enzymů je závislá hlavně na teplotě (se stoupající teplotou se zvyšuje aktivita enzymů, až do specifické hodnoty určitého enzymu, poté při dalším vzrůstu teploty aktivita klesá, až je enzym inaktivován), pH a celkové době působení. U enzymových reakcí se jedná o činnosti amylolytických, proteolytických, kyselinotvorných a oxidačně-redukčních sladových enzymů. Nejvýznamnějším procesem rmutování je enzymatická degradace škrobů na zkvasitelné cukry. Škrob je složitý polysacharid, jehož základní stavební jednotkou je molekula maltózy. Obsahuje 20-25 % amylosy a 75-80 % amylopektinu. Amylosa je tvořena dlouhými nerozvětvenými řetězci, se strukturou šroubovice, složenými z molekul glukosy vzájemně spojených α -1,4 glykosidovou vazbou. Amylopektin obsahuje také D-glukosu vázanou α -1,4 glykosidovou vazbou a po každých 20 až 25 glukózových jednotkách se větví, kdy nový řetězec je vázán α -1,6 glykosidovou vazbou [1, 2, 3, 4, 20].

2.4 Scezování sladiny

Následující proces po odrmutování je scezování. Jedná se o fyzikální proces (filtrace), při které se nejdříve oddělí roztok, ve kterém jsou obsaženy extraktivní látky sladu, od zbytků sladového šrotu. Vyslazením horkou vodou se získá zředěná sladina, tzv. výstřelky. Po spojení předku s výstřelky je získán objem sladiny pohromadě, ten se dále zpracovává při chmelovaru. Cílem scezování je získání čiré sladiny a získání maxima z extraktu z přidaných

surovin. Oproti rmutování se vyznačuje scezování převážně fyzikálně-chemickými procesy. Celý proces scezování a vyslazování a je velmi časově náročný a je ve velké míře ovlivněn jakostí sladu, mechanickým složením šrotu, způsobem rmutování, vlastnostmi sladiny, stejně jako zatížením scezovacího dna a strukturou mláta, technikou scezování úrovní štěpení škrobu a k nízké viskozitě sladiny. Velmi významná při vyslazování je teplota použité vody, která by neměla překročit hodnotu 78 °C, kdy je inaktivována zbytková aktivita α -amylasy, a také by neměla být nižší než 75 °C, kdy by mohlo dojít k vyšším ztrátám extraktu v mlátu. Pro vzdušnění předku a výstřelků je důležité minimalizovat tak, aby nedocházelo ke zvýšené míře oxidačních reakcí [1, 2].

Scezování sladiny se provádí v co nejkratším časovém úseku, jelikož dlouhé doby scezování ovlivňují sensorickou kvalitu a stabilitu piva a napomáhají tvorbě různých druhů karbonylových sloučenin. Rychlost stékání předku je odvozena od teploty, viskozitě, hustoty a chemického složení sladiny (obsah β -glukanů), odporu filtrační vrstvy mláta, techniky scezování, běžně stéká okolo 75-105 minut [1, 2].

2.5 Vaření sladiny s chmelem – chmelovar

Cílem chmelovaru je převod hořkých látek obsažených v chmelu do roztoku, který nastává povařením sladiny s chmelem. Samotným procesem chmelovaru se zabezpečuje koloidní, biologická, chuťová stabilita, trvanlivost pěny a s tím spojené ovlivnění hořkosti, vůně a barvy. Sladina získaná scezováním se v mladinové pánvi vaří s chmelem či chmelovými výrobky celkově 70 až 120 minut dle druhu a kvality použité suroviny a technologického postupu chmelovaru [1, 2, 22].

Během varu sladiny s chmelem probíhá řada významných procesů:

- odpaření přebytečné vody
- inaktivace enzymů a sterilizování mladiny
- koagulace dusíkatých látek
- rozpuštění a isomerace hořkých látek chmele
- upravení dalších složek chmele a chmelových produktů

- tvorba redukujících látek
- snížení hodnoty pH a nárůst barvy

V první fázi je zcela nutné odpařit přebytečnou vodu a těkavé látky, jako jsou oxidační produkty, chmelové silice, a tím získat potřebnou koncentraci mladiny. Množství odpařené vody je závislé na teplotě, době a tlaku při chmelovaru. Těkavé látky v mladině pocházející převážně ze sladu a chmele, případně vytvořené během chmelovaru, se z větší části snadno vyloučí odparem. Chmelové silice při chmelovaru z větší části vytékají a do piva přejde přibližně jedna čtvrtina, kde společně s produkty kvašení přispívají k typickému aroma piva [1, 2, 22].

Inaktivace enzymů a sterilizace mladiny nastává při ohřevu sladiny při pH 5,3 až 5,7 po dobu 15 minut při teplotě okolo 95 °C. Při těchto podmínkách jsou inaktivovány veškeré bakteriální a plísňové enzymy. Umrtnění veškerých mikroorganismů, jako jsou bakterie, plísňe či kvasinky nastává sterilizací mladiny varem při sníženém pH a aseptickým působením hořkých látek chmele. Sterilizace mladiny je důležitá hlavně u várek, u kterých bylo sníženo pH biologickým okyselením [1, 2].

Rozsah izomerizace závisí na více faktorech:

- množství α -hořkých kyselin (čím více kyselin, tím vyšší efekt isomerace).
- doba chmelovaru (optimální doba varu je 90 minut, maximální je 120 minut).
- rozpustnost α -hořkých kyselin (lepší rozpustnost chmele je u mletého či chmelového extraktu).
- stáří chmele.

Z celkového množství α -hořkých kyselin je během chmelovaru izomerováno 40-60 % a 5 až 15% zůstává zachováno v původní formě. Čím je použitý chmel starší, tím více se podíl α -hořkých kyselin vylučuje lomem [1, 2].

Z oxidačních produktů α -hořkých kyselin jsou v mladině přítomny *abeo*-isohumulony, látky málo hořké, ale pozitivně ovlivňující pěnivost piva. β -hořké kyseliny se během chmelovaru z velké části vyloučí z mladiny a vyznačují se malou rozpustností. Naopak další produkty β -hořkých kyselin (lupdoly, lupdepy, lupoxy a lupdopy) jsou v mladině velmi dobře rozpustné, jejich hořkost je na úrovni 33 až 50 % hořkosti isohumulonů a přechází do hotového piva [1, 2].

Z dalších složek extraktivních látek chmele a chmelových produktů při chmelovaru řadíme dusíkaté látky, látky lipidové povahy, polyfenoly, minerální látky a dusičitany [1, 2].

Hlavním měřítkem dávkování chmelu byla dříve dávka na 1 hl studené mladiny, poté na 100 kilogramů sypání a následně na 1 hektolitr piva k výstavu. V dnešní době se dávka chmele a chmelových přípravků stanovuje podle obsahu α -hořkých kyselin jednotlivých produktů. Nejpoužívanější chmelové přípravky používané při chmelovaru jsou chmelové granuláty, extrakty a izomerizované chmelové přípravky. Použití redukovaných izomerizovaných extraktů má pozitivní vliv na lepší pěnivost a stabilitu barvy piva. Celková dávka α -hořkých kyselin na várku je určována žadáním množstvím isosloučenin v pivu a předpokládanou výtěžností hořkých látek chmele a chmelových přípravků ovlivněného druhem chmelení a technologickým postupem. Výtěžnost hořkých látek se obvykle pohybuje v rozmezí 25 až 35 %, kdy obsah izosloučenin je v rozmezí 26 až 34 mg.l⁻¹. Negativní vliv na výtěžnost mají krátká doba chmelovaru, intenzivní chlazení mladiny, teplé kvašení či dlouhé dokvašování [1, 2, 22].

Množství dávky chmele a chmelových výrobků je rozdílné dle druhu a kvality používaného produktu a zejména dle technologického postupu při chmelovaru. Tradiční doba chmelovaru při použití hlávkového chmelu je 90 až 120 minut, což dostatečně zajišťuje rozpuštění a izomerace α -hořkých kyselin. Při použití granulovaného chmele postačí doba 70 až 90 minut, při použití chmelového extraktu 90 minut [1, 2, 22].

Chmelení je prováděno v nejčastěji nadvakrát či natříkrát, ve výjimečných případech v jedné dávce, kdy je přidávána hned na začátku nebo po 15 minutách po zavaření. To se týká nízkochmelených piv, u kterých je potlačeno chmelové aroma. Při chmelení na dvě dávky je vhodné 70 až 80 % z celkového množství použít na začátku chmelovaru, avšak nejpozději do 10 minut po zavaření a druhou dávku 20 až 30 % přidat cca 20 minut před koncem chmelovaru. Takovéto rozložení dávek poskytne mladině hlavní podíl hořkosti (v případě první dávky) a chmelové aroma (druhá dávka). Pokud je použito chmelení na tři dávky, tak je první dávka aplikována na začátku chmelovaru (50 %), další dávka (35 %) cca 50 až 60 minut před koncem varu a poslední dávka (15 %) 20 minut před koncem chmelovaru. Dávkování je prováděno přímo do varních pánví nebo při uzavřených či tlakových pánvích se chmelové preparáty vyplavují z chmelových zásobníků automaticky horkou mladinou do vařící mladiny [1, 2].

Chmelovar v tradiční varní pánvi probíhá při teplotě 100 °C za běžného atmosférického tlaku po dobu nejdéle 90 až 100 minut s odparem 8 až 10 %, což zvýší obsah extraktu o 2,5 až 3 % [1, 2].

Tvorba redukujících látek (reduktonů) vzniká při chmelovaru. S rostoucí koncentrací se zvyšuje zejména koloidní a chuťová stabilita piva. Tyto látky navazují kyslík a tím brání složky extraktu hotového piva proti oxidaci. K reduktonům patří melanoidy, některé polyfenoly, bílkoviny obsahující sulfhydrylové skupiny a hořké látky chmele [1, 2].

V průběhu chmelovaru se zvýší acidita roztoku a hodnota pH klesá o 0,15-0,25, což příznivě ovlivňuje koagulaci bílkovin. Toto snížení způsobuje tvorba melanoidů, v malém měřítku i reakce vápenatých a hořečnatých solí vyslazovací vody s hydrogenfosforečnanu sladu a chmelovými hořkými kyselinami. Růst barvy při chmelovaru je podmíněna termickým působením, při kterém nastává oxidace polyfenolů, Maillardovy reakce a karamelizace cukrů. Tmavnutí podporuje vyšší teplota a doba varu i vyšší hodnoty pH [1, 2].

2.6 Chlazení mladiny

Poslední fáze výroby mladiny před zakvašováním je zchlazení na zákvasnou teplotu, její provzdušnění a částečné vyloučení jemných a hrubých kalů. Při chlazení mladiny by měla být dodržena požadovaná zákvasná teplota, jejíž hodnoty jsou 5-6 °C u spodně kvašených piv, nebo teploty 12-18 °C u svrchně kvašených piv. Jemné kaly (chladové kaly) se odstraňují z mladiny pouze částečně, jelikož by mohlo nastat pomalejší kvašení piva z důvodu nedostatečného množství nenasyčených mastných kyselin. K částečnému odstranění jemných kalů se používají sedimentační kádě, odstředivky, naplavovací filtry či flotační tanky. U hrubých kalů je důležité jejich maximální odstranění z mladiny. Ponechání části hrubých kalů by negativně ovlivnilo pěnivost, filtrovatelnost piva a kvašení znečišťováním kvasnic. Stejně jako u odstraňování jemných kalů se využívá sedimentace, rotační sedimentace, odstředování a filtrace. Ochlazením a odpařením se zmenší objem mladiny zhruba o 7 až 10 %, hodnota extraktu je zvýšena u 10% mladiny o 0,4 až 0,8 %, u 12% mladiny o 0,5 až 1 % [1, 2].

3 BIOCHEMICKÉ ZMĚNY PŘI VAŘENÍ PIVA

3.1 Látky sacharidické povahy

3.1.1 Škrob

Štěpení škrobu probíhá ve třech stupních: bobtnání a zmazovatění, ztekucení a zcukření. Jedná se o fyzikálně chemické děje, které se odvíjejí od rychlosti a teploty zahřívání a druhu ječmene použitého k výrobě sladu. Škrob, dle druhu, obvykle mazovává při teplotách od 50 až 57 °C. Ztekucení škrobu probíhá enzymovou cestou, kdy jsou postupně zkracovány řetězce molekul amylosy a amylopektinu, až dojde ke zcukření. Kvalita ztekucení a zcukření je ovlivněna pomaleji stoupající teplotou a intenzivnějším provařováním rmutů, což napomáhá uvolňovat škrobová zrna ze sladového škrobu. Produktem hydrolytického štěpení amylosy je směs glukosy a maltosy s hemiacetalovými hydroxyly uvolněnými jako α -anomery [1, 2, 5].

Působící enzymy:

1. Amylytický komplex – je tvořen α -amylasou a β -amylasou, přičemž β -amylasa kvantitativně převládá nad α -amylasou. Při společném působení obou amylas je hydrolyza škrobu mnohem účinnější než při samotném působení jednoho z enzymů a produkce maltosy dosahuje 75 až 80 %. Zcukřování amylosy a koncových skupin amylopektinu zahajuje β -amylasa od konců řetězců, naopak α -amylasa napadá molekuly substrátu uvnitř řetězců. Rozdílných optimálních teplot se využívá k regulaci vzájemného působení obou enzymů tím, že se volbou vhodné teploty podporuje činnost jednoho či druhého enzymu. Tyto enzymy mají základní význam v procesu vystírání a rmutování a lze je ovlivňovat varným postupem [1, 2, 5].

α -amylasa je extracelulární endoenzym, který katalyzuje štěpení α -1,4-D-glykosidovou vazbou nesespecificky uprostřed řetězců amylosy a mezi větveními amylopektinu. Štěpnými produkty α -amylasy jsou oligosacharidy se šesti až sedmi glukosovými jednotkami, které se při delším působení enzymu na substrát dále dělí na glukosu, disacharid maltosu, trisacharid maltotriosu obsahující tři glukosové jednotky vázané vazbami α -1,4 a oligosacharidy obsahující α -1,6 větvení pocházející z amylopektinu. Ke štěpení větveného polysacharidu amylopektinu je třeba spolupráce α -amylasy s dalšími enzymy – limitní dextrinasa a R-enzym, které

přerušují vazby α -1,6. Jejich společným účinkem vzniká směs maltosy a glukosy [1, 2, 5, 25].

Činnost α -amylasy katalyzují chloridové a vápenaté ionty. Vyskytují se dva druhy α -amylas – zkapalňující a zcukřující. Zkapalňující α -amylasa degraduje oligomery, obsahující více jak 15 glukosových jednotek, zcukřující α -amylasa štěpí již tetramer glukosy. Optimální hodnota pH α -amylasy ve rmutu je 5,6 až 5,8 a teplota rmutu mezi 70 až 75 °C, inaktivuje se při teplotách nad 80 °C. Při nižším pH probíhají katalyzované reakce α -amylasou pomaleji. Okyselením na pH3 při teplotě 0 °C nebo při teplotě 20 °C a pH 4,2 je α -amylasa inaktivována [1, 2, 5, 20].

β -amylasa je exoenzym, ke zcukření dochází působením β -amylasy, která pravidelně štěpí 1,4- α -D glykosidové vazby od neredukujícího konce polysacharidového řetězce za vzniku převážně maltosových jednotek. Amylosa je hydrolyzována β -amylasou téměř celá. Společně s maltosou vzniká z posledních tří glukosových jednotek maltotriosa, která je dále štěpena na maltosu a glukosu. Amylopektin je také štěpen od neredukujícího konce, celkově asi z poloviny, neboť štěpení ustává již před místem větvení za vzniku dextrinů. Dextrin vzniklý při takové hydrolyze amylopektinu je nazýván limitním (hraničním) dextrinem. Amylopektin se štěpí také z neredukujícího řetězce až k větvení 1,6- α -D, které enzym štěpit nemůže. Optimální pH pro působení β -amylasy ve rmutu je 5,4-5,6 při teplotě okolo 60 až 65 °C. Enzym β -amylasy je termolabilní a nad 60 °C je brzy inaktivován. Stěžejní aktivita β -amylasy se vyskytuje v aleuronové vrstvě a snižuje se směrem od středu zrna [1, 2, 25].

2. Enzym limitní dextrinasa (amylopektin-6-glukanogydrolasa) štěpí v limitních dextrinech vazbu α -1,6 vazbu a umožňuje pokračování činnosti amylas za vzniku konečných zbytků s 2-4 glukosovými jednotkami. Toto je především na počátku ztekuování škrobu, při nižších teplotách v rozmezí 50 až 60 °C, poté je nad 65 °C inaktivován. Optimální je pH 5,1. Jeho působením vznikají maltosa, maltotriosa a maltotetrosa. Slad vyráběný standartním postupem vykazuje poměrně nízkou aktivitu limitní dextrinasy, jelikož požaduje ke své aktivaci redukční prostředí podmíněné účinností cysein endoproteinas, které optimálně působí při nízkých hodnotách pH okolo 3,8. Aktivitu limitní dextrinasy je možno zvýšit použitím sladů vyráběných za anaerobních podmínek, kdy se vytváří kyselina mléčná, která

sníží hodnoty pH sladu a aktivuje cystein proteinasy. Za těchto podmínek je zvýšeno redukční prostředí, které vytváří optimální podmínky pro konverzi neaktivních limitních dextrinů na aktivní formu. Tím je možno docílit snížení podílu nezkvasitelných dextrinů v mladině a zvýšit obsah zkvasitelných sacharidů [1, 2, 5].

3. Enzym maltasa, který štěpí disacharid maltosu na dvě molekuly glukosy, které jsou konečným produktem hydrolytického odbourávání. Optimální pH je 6, teplota optimálního působení je mezi 35 až 40 °C, poté se rychle inaktivuje [1, 2, 5].
4. Sacharasa štěpí sacharosu na glukosu a fruktosu, kdy optimální pH pro aktivitu enzymu je 5,3 a teplota do 50 °C, při vyšší dochází k inaktivaci [1, 2, 5].
5. R-enzym (oligo-1,6-glukosidasa) štěpí vazby α -1,6 hraničních dextrinů a amylopektinu. Význam při rmutování je malý z důvodu jeho nízkého teplotního optima (40 °C), což vylučuje aktivitu tohoto enzymu při ztekucování škrobu během rmutování. Optimální pH je 5,3 [1, 2].

3.1.2 Neškrobové polysacharidy

K významným látkám polysacharidové povahy patří β -glukany, pentosany, hemicelulosa, gumovité látky a melanoidy. Tyto látky zvyšují plnost chuti a viskozitu sladiny. Zvyšování obsahu těchto látek není zcela vhodné a může se projevit zvýšenou viskozitou sladiny a piva, prodlouženou dobou svezování a špatnou filtrovatelností piva, na kterém se podílí i vyšší obsah arabinoxylanů [1, 2, 7].

β -glukany mají hlavní řetězec tvořený glukosou vázanou β -1,3 glykosidovou vazbou a podle původu jsou více či méně větveny vazbou β -1,6. Obsah β -glukanů je ovlivněn druhem sladu, podmínkami sladovacího procesu, stejně tak i jeho aktivitou endo- β -glukanasy a β -glukansolubilasy. Mladina připravená z dobře rozluštěných sladů má nižší obsah β -glukanů než ze špatně rozluštěných. Nižší obsah β -glukanů a gumovitých látek převážně ovlivňuje exterosová aktivita β -glukansolubilasy, která způsobuje vzrůst viskozity roztoku v rozmezí teplot 55 až 70 °C. Výrazně vyšší obsah β -glukanů v mladinách a pivech se vyskytuje ve várkách, které byly vyrobeny ze sladu z ozimých ječmenů nebo várek vyrobených z náhrad sladu z nesladových obilnin [1, 2, 21, 28].

Štěpení β -glukanů je uskutečňováno enzymy endo- β -1,4-glukanasou a nespecificky působící endo- β -glukanasou v rozmezí teplot 35 až 50 °C, kdy teplotní optimum je mezi 40 až 45 °C, optimální hodnoty pH jsou mezi 4,7 až 5,0. Při teplotách nad 50 °C nastává inaktivace. Při teplotách 45 až 55 °C se extrakt dále rozpouští a působením enzymů se tak uvolňují další β -glukany, kdy z důvodů klesající aktivity enzymů je degradace pomalá. V menší míře působí další enzym endo- β -1,3-glukanasa s teplotním optimem okolo 60 °C a optimálním pH 4,6 až 5,5. Při teplotách mezi 60 až 70 °C je uvolňováno velké množství β -glukanů, z nichž se malé množství rozštěpí působením endo- β -1,3-glukanasy, která při teplotách nad 65 °C rychle inhibuje. Vyšší poměr uvolňování β -glukanů je během infuzního rmutování než při dekokčním rmutování, při vyšším pH a vyšších teplotách vystírky. Nad 70 °C se hodnoty rozpuštěných β -glukanů nemění [1, 2].

Pentosany (arabinoxylany) spolu s β -glukany tvoří hlavní podíl neškrobových polysacharidů sladu, stejně jako mladině. Jsou složeny z hlavních řetězců tvořených D-xylanopyranosovými jednotkami vázanými vazbami β -1,4. Ve větším množství se vyskytují především v buněčných stěnách aleuronových buněk a v buňkách endospermu, kde tvoří podíl zhruba 20 %. V obilce ječmene je obsah arabinoxylanů různý, v průměru okolo 4 až 10 %. Toto množství je ovlivněno především technologií zpracování sladu. Mají vysokou schopnost vázat vodu, a to až v poměru 100 g vody na 1 g sušiny. Průměrně je zastoupeno v arabinoxylanech 50 až 60 % xylosy, 35 až 45 % arabinosy a 1,5 až 5% glukosy. Množství arabinoxylanů přecházejících do sladiny je ovlivněno intenzitou rmutování [1, 2, 7, 27].

Gumovité látky a hemicelulosity jsou neškrobové a necelulosové polysacharidy typu β -glukanů a arabinoxylanů a jsou obsaženy v endospermu a pluchách ječmenného zrna. Buněčné stěny endospermu jsou tvořeny asi ze 75 % β -glukany a z 20 % arabinoxylany. V pluchách je naopak více arabinoxylanů. Hemicelulosity jsou ve vodě nerozpustné, jejich štěpené produkty gumovité látky jsou ve vodě rozpustné. Gumovité látky pozitivně ovlivňují pěnivost a chuťové vlastnosti piva, ale také tvoří především nižší β -glukany, které nepříznivě zvyšují viskozitu sladiny, mladiny i piva a především zpomalují scezování sladiny a filtraci piva. Pro výrobu sladu je proto vhodné použití ječmenů s minimálním obsahem β -glukanů [1, 2, 7, 27].

3.2 Látky peptidické povahy

Bílkoviny se vyskytují ve sladovém zrně v aleuronové vrstvě, na povrchu endospermu a přímo v buňkách endospermu a jejich obalech. Z vysokomolekulárních bílkovin jsou ve sladince nerozpustné gluteliny a prolaminy a přímo rozpustné albuminy, část globulinů a štěpné produkty bílkovin [1, 2, 3].

Gluteliny tvoří asi 30 % ječmenných bílkovin a jsou lokalizovány v buňkách endospermu ječmene a prochází beze změn do mláta. Gluteliny jsou rozpustné v alkalických rozpouštědlech a jejich hydrofobní charakter způsobuje adsorpci lipidů, pentosanů a komplexů β -glukanů [1, 2, 3].

Prolamin ječmene se nazývá hordein a tvoří asi 37 % ječmenných bílkovin. Rozpouští se v 80 % alkoholu (ve vodě a roztocích soli jsou nerozpustné) a část z něj přechází do mláta. Hordeiny se vytvářejí v obilce v pozdějších stádiích zrání zrna, první výskyt byl prokázán 22 dní po odkvětu. Hordeiny jsou členěny podle velikosti a složení aminokyselin na čtyři frakce – A-hordein, B-hordein, C-hordein, D-hordein. B-hordein tvoří 80 % všech hordeinů a je zařazován do nízkomolekulární frakce. C a D-hordein jsou zahrnuty do vysokomolekulárních frakcí [1, 2, 3, 26].

Albuminy ječmene se nazývají leucosiny, jsou rozpustné ve vodě, ve zředěných roztocích solí, kyselin i hydroxidů. Tvoří asi 11 % ječmenných bílkovin. Jsou značně rezistentní vůči vyšším teplotám i vůči proteolytickému štěpení a jsou důležité pro optimalizaci pěnnotvorných vlastností piva [1, 2, 3].

Globuliny ječmene se nazývají edestiny. Rozpouští se ve zředěných roztocích solí a tvoří asi 15 % ječmenných bílkovin. Dělí se na čtyři frakce, α -globulin, β -globulin, γ -globulin, δ -globulin, které mají velmi rozdílné molekulové hmotnosti. Zásadní význam se přisuzuje β -globulinu, který se při pH 4,9 díky vysokému obsahu cysteinu podílí na tvorbě nebiologických zákalů piva [1, 2, 3].

Ve sladu se vyskytují také proteolytické enzymy endopeptidasy, karboxypeptidasy, aminopeptidasy a dipeptidasy. Během rmutování jsou štěpeny bílkoviny a polypeptidy na nízkomolekulární štěpy, čímž se zvyšuje podíl rozpuštěného dusíku. Optimální složení dusíkatých látek v mladince je závislé na kvalitě sladu, enzymové aktivitě proteas při rmutování, které je ovlivňováno teplotou, pH a koncentrací rmutu. Štěpení dusíkatých látek je nejefektivnější při rmutování mezi 40 až 60 °C. Na optimální působení proteas při

rmutování má významný vliv doba bílkovinného odpočinku, hodnota pH a koncentrace rmutu [1, 2, 5].

Endopeptidasy štěpí proteiny, polypeptidy, oligopeptidy na určitých místech uprostřed řetězců za vzniku nízkomolekulárních skupin, konce řetězců nenapadají. Specifikum proteinas se vyznačuje tím, že na rozdíl od většiny ostatních enzymů nejsou proteinasy přísně specifické vůči určitým substrátům, ale jsou specifické vůči určitým strukturním znakům peptidového řetězce. Uvnitř peptidového řetězce dochází ke štěpení jen na určitých místech, to je před nebo za určitými aminokyselinovými zbytky [1, 2, 5].

Endopeptidasovou aktivitu způsobuje pět enzymů, z nichž z 90 % to jsou dva sulfhydrylové enzymy s optimální hodnotou pH 3,9 až 5,5 a tři enzymy s aktivitou závislou na kovových iontech s optimální hodnotou pH 5,5 až 8,5. Optimální teplota pro působení endopeptidas je 45 až 50 °C, při vyšších teplotách (nad 60 °C) jejich aktivita klesá. Mezi nejdůležitější proteasy sladu patří cysteinové proteasy, které uvolňují aminokyseliny při klíčení z hordeinu. Tyto proteasy používají jako katalytickou skupinu thiolovou skupinu zbytku cysteinu, která je aktivována činností imidazolového kruhu histidylu. Cysteinové proteasy jsou poměrně termostabilní, v usušeném sladu zůstává až 90 % jejich aktivity. Během rmutování uplatní pouze 1 % z jejich možné aktivity, jelikož nepodpoří zvýšení volných aminokyselin ve rmutu [1, 2, 5]

Exopeptidasy jsou charakteristické tím, že štěpí koncovou aminokyselinu peptidického řetězce. Působí převážně na menší štěpy, oligopeptidy a polypeptidy. Podle specifčnosti se rozlišují na karboxypeptidasy, které působí od C-konce a na aminopeptidasy, které působí od N-konců peptidů. Karboxypeptidasy sladu jsou složeny ze čtyř enzymů. Mají optimální aktivitu při hodnotě pH 4,8 až 5,6 a jsou nejvíce teplotně rezistentní ze všech proteolytických enzymů. Optimální teplota je mezi 40 až 50 °C, při 70 °C nastává inaktivace. Optimální hodnota pH je podobná pH rmutu, z tohoto důvodu je 80 % uvolněných aminokyselin během rmutování zajištěno těmito enzymy [1, 2, 5].

Ve sladu jsou přítomné čtyři neutrální aminopeptidasy, jedna alkalická leucin aminopeptidasa a dipeptidasa, která štěpí dipeptidy na aminokyseliny. Optimální podmínky pro působení aminopeptidas je pH 7,2 a teplotou 40 až 50 °C a inaktivují se při teplotách 50 °C. Optimální podmínky pro působení dipeptidas je pH 7,8 až 8,2 při teplotách 40 až 50 °C. Exopeptidasy se vyskytují v ječmenném zrně v místech růstu

nových částí zrna, kam difundují dusíkaté látky z endospermu. Exopeptidasy působí zejména při klíčení ječmene, v menší míře při rmutování [1, 2, 5].

Vyloučení vysokomolekulárních bílkovin a tvorba lomu je důležitým čiřícím prvkem pivovarské technologie, která ovlivňuje chuť a koloidní stabilitu piva. Koagulace bílkovin probíhá ve dvou fázích. V první fázi, spíše chemické povahy, bílkoviny denaturují, tím ztrácejí svoji prostorovou strukturu, ale jsou však nadále rozpustné. V druhé fázi, spíše fyzikálně-chemické povahy, nastává vysrážení bílkovin v izoelektrickém bodě, kdy se pozitivní a negativní skupiny v amfoterních dusíkatých látkách vzájemně neutralizují a vylučují se do viditelných vloček. Jako optimální hodnota pro příznivé vyloučení bílkovin je 5,2 pH. Na změny koagulovatelných dusíkatých látek v průběhu vaření mladiny má velký vliv teplota a doba varu. Proto je nutné volit kompromis mezi optimální teplotou a dobou varu tak, aby bylo docíleno nejlepší kvality mladiny a následně i piva [1, 2].

Koagulace dusíkatých látek při chmelovaru je fyzikálně-chemický děj, který je ovlivněn teplotou, časem, tlakem, pohybem, pH a složením mladiny. Původně průhledná sladina se po zahájení varu zakalí a začnou se vytvářet jemné vločky, ze kterých se postupně vytváří objemné shluky označované jako lom mladiny. Při nedokonalém lomu zůstává v mladině rozpuštěno velké množství vysokomolekulárních sloučenin, které jsou vyloučeny snížením pH v průběhu hlavního kvašení. Tyto sloučeniny je nutné odstranit, jelikož znečišťují kvasinky a jsou tak příčinou nižšího stupně prokvašení, nebo jako rozpuštěné ztěžují filtraci piva a způsobují dřívější výskyt koloidních zákalů [1, 2].

3.3 Ostatní důležité látky

3.3.1 Produkty izomerace, hydrolýzy a oxidace hořkých kyselin

Rozpuštění a izomerace hořkých látek chmele propůjčuje mladině hořkou chuť a chmelové aroma, které vytváří specifické aroma a vlastnosti piva a zároveň podporuje vylučování bílkovin. Hořké látky jsou základní a specifickou složkou chmele. Jejich využití ovlivňuje celkový obsah polyfenolů, které zabraňují vylučování hořkých látek do roztoku. Rozpuštění a další změny hořkých látek obsažených v chmelu jsou závislé na pH mladiny. Hodnota pH mladiny ovlivňuje čírost, pěnivost, izomerace a koloidní a mikrobiologickou stabilitu. Za optimální pH mladiny se považuje hodnota mezi 5,2-5,5. S poklesem pH se snižuje rozpustnost α - a β - hořkých kyselin, což má za následek vzrůst podílu koloidní formy hořkých látek, které udělují pivu jemnou a vyrovnanou hořkost. Rozpustnost α -hořkých kyselin, je při pH 5,9 přibližně 480 mg.l⁻¹ a při pH 5,2 jen 84 mg.l⁻¹ a při pH 5 pouze 60 mg.l⁻¹. Rozpustnost β -hořkých kyselin je i při pH 5,9 velmi nízká, pouze 12 mg.l⁻¹, při pH 5,2 je to pouze 8 mg.l⁻¹ [1, 2, 9].

Nejvíce hořkosti udělují pivu α -hořké kyseliny (humulony), humulon, kohumulon a adhumulon, jež jsou z hlediska hořkosti piva nejvýznamnější a při varu mladiny se částečně izomerují [1, 2, 9, 22].

Obvykle se obsah α -hořkých kyselin pohybuje okolo 3-10 %. Při isomeraci přechází šestičlenná jádra na jádra pětičlenná a vznikají rozpustné iso- α -hořké kyseliny (isohumulony). Tyto látky mají vysoký účinek na hořkost piva (přibližně 70 % hořkosti piva), ovlivňují zejména prvotní sensorický vjem a jsou rozpustnější při nižším pH kvasící mladiny oproti α -hořkým kyselinám. Zbývající část hořkosti piva způsobují vedlejší produkty isomerační reakce, jako jsou allo-, anti-, a abeo-iso- α -hořké kyseliny [1, 2, 9, 22].

Allo-iso- α -hořké kyseliny mají podobnou sensorickou hořkost jako iso- α -hořké kyseliny. Abeo-iso- α -hořké kyseliny nemají výraznou sensorickou hořkost, zato mají pozitivní vliv na pěnivost piva a přilnavost pивní pěny [1, 2, 9, 22].

Anti-iso- α -hořké kyseliny (derivát iso- α -hořké kyseliny se změněnou konfigurací řetězců na centrálním pětiuhlíkatém jádru) vykazují dvakrát vyšší hořkost než iso- α -hořké kyseliny [1, 2, 9, 22].

3.3.2 Polyfenolové látky piva

Polyfenolové sloučeniny jsou významnými antioxidanty, které jsou v pivu přítomné v široké škále. Složky o nižší molekulové hmotnosti, zejména aromatické kyseliny, jsou přítomny v menší míře a uplatňují se v menší míře než složitější flavonoidy. Převážná část (70 až 80 %) pochází ze sladu a zbývající část (20 až 30 %) z chmele. Polyfenoly ve sladu se vyskytují především v obalových částech zrn a v aleuronové vrstvě, ve které jsou přítomny flavonoidní látky, jejichž nosičem je bílkovina hordein. Mají výrazné antioxidační účinky, které se projevují v inhibici oxidačních přeměn lipidických složek, a tím přispívají k blokování procesů stárnutí chuti piva [1, 2].

Mezi další pozitivní vlastnosti polyfenolových látek patří schopnost asociovat s polypeptidy a vylučovat kaly během chlazení mladiny. Polyfenoly také přispívají k plnosti chuti piva a podporují vlastnosti piva (pitelnost). Negativně působící oxidované a kondenzované formy polyfenolů ovlivňují barvu sladiny, mladiny i piva, zhoršují chuťové vlastnosti a přispívají k tvorbě nebiologických zákalů ve stočeném pivu. Během rozpouštění extraktu na začátku varního procesu se uvolňují ze sladového šrotu polyfenolové sloučeniny, které přešly do rozpustné formy během sladování. Ostatní polyfenoly ve vázané formě se během rmutování neuvolňují [1, 2, 11, 23].

Rozpustnost polyfenolů je dána poměrem polárních a nepolárních skupin v molekule. Rozpustnost fenolových kyselin stoupá společně s jejich vzrůstající disociační konstantou a hodnotou pH prostředí. Rozpustnost flavonoidních látek klesá s rostoucím počtem methoxylových skupin a stoupá s vyšším počtem hydroxylových skupin v molekule [1, 11].

Mezi hlavní představitele polyfenolů sladu se řadí flavonoidy a fenolové kyseliny, kumariny a chinony. Mezi fenolové kyseliny lze zařadit deriváty kyseliny benzoové a deriváty kyseliny skořicové. Flavonoidy patří do rozsáhlé skupiny rostlinných fenolů obsahujících v molekule dvě benzenová jádra spojená tříuhlíkatým řetězcem. Ty se dále dělí na flavany (flavanoly a prokyanidiny), anthokyany a flavonoly [11].

Flavonolové glykosidy jsou při chmelovaru extrahovány z 90 %, jejich konečná koncentrace v mladině, stejně tak i v pivu je velmi nízká. Kumarinové deriváty jsou obsaženy přímo ve chmelu, ječmeni i ve sladu. Vyskytují se buď jako volné aglykony nebo jako glykosidy, obvykle β -D-glukosidy [11].

Chinony a ubichinony přecházejí do piva z ječmene a sladu pouze jako minoritní složky a jejich funkce je spojena s oxidoredukčními přeměnami [1, 11].

Během celého procesu rmutování se rozpustné polyfenoly uvolňují, oxidují, polymerují a srážejí z roztoku. Nejvíce polyfenolových sloučenin přechází do roztoku z velmi jemně zpracovaného sladového šrotu. Během zvyšující se teploty obsah polyfenolů stoupá, ale také v menší míře vypadává z roztoku. Složení polyfenolů během rmutování významně ovlivňuje i míra provzdušnění podporující chemické a enzymové oxidace [1, 2, 11].

Negativní změny polyfenolových sloučenin při oxidaci ve rmutu jsou zvýšením intenzity barvy a zákalu. Během rmutování a další výroby piva hladiny polyfenolových látek postupně klesá až od 30 % [1, 2].

Rozpustnost chmelových polyfenolů je mnohem lepší, než sladových. Tak jako u sladu jde o širokou skupinu hydrolyzovatelných sloučenin. Chmelové polyfenoly jsou rozpustné ve vodě a během chmelovaru přecházejí do mladiny. V mladině jsou obsaženy monomerní i polymerní polyfenolové látky. Monomerní polyfenoly nemají žádnou srážecí schopnost vůči dusíkatým látkám, ale vytvářejí s nimi za nízkých teplot za pomoci vodíkových můstků poměrně stabilní sloučeniny. Polymerní polyfenolové látky mohou obsahovat až 10 molekul monomeru. Nejvíce jsou uplatněny polyfenoly s nízkým oxidačním a polymeračním stupněm v mladině a pivu dimery a trimery, označované jako tannoidy. Vyšší polymery jsou méně aktivní, zůstávají v mladině, zvyšují barvu a vylučují se později ve formě tríslobilkovinných komplexů. V průběhu chmelovaru polyfenolové látky podléhají oxidačním, kondenzačním, hydrolytickým a polymeračním reakcím, které mění podíly jednotlivých skupin sladových a chmelových polyfenolů v roztoku. Nepozměněné polyfenolové látky podporují plnost chuti a zlepšují chuťovou stabilitu, oxidační a polymerační produkty způsobují zvýšení barvy mladiny [1, 2].

ZÁVĚR

Cílem práce je stručné shrnutí a vyjádření biochemických změn při výrobě mladiny, jakožto první a velmi důležité části při výrobě piva.

První kapitola detailně pojednává o jednotlivých surovinách potřebných k vaření piva, jejich chemických složeních a vlivu na výsledný produkt.

Ve druhé kapitole se zaměřuji na technologii výroby mladiny a její jednotlivé části, jako jsou mletí sladu, vystírání a zapařování, rmutování, scezování sladiny, vaření sladiny s chmelem a chlazení mladiny.

Třetí kapitola pojednává o biochemických a enzymatických změnách při vaření piva, o jednotlivých látkách sacharidické, peptidické povahy, které vznikají, či se aktivně podílí na kvalitě piva, stejně, tak jako na produkty isomerace, hydrolýzy či oxidace hořkých kyselin. Neméně významnou úlohu mají polyfenolové sloučeniny, které jsou významnými antioxidanty.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. BASAŘOVÁ, Gabriela. *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010, ISBN 978-80-7080-734-7
2. KOSAŘ, Karel. *Technologie výroby sladu a piva: teorie a praxe výroby piva*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 2000, ISBN 80-902-6586-3.
3. STEINER, Elisabeth, GASTL, Martina, BECKER, Thomas. *Protein changes during malting and brewing with focus on haze and foam formation: a review*. European Food Research and Technology. 232(2), 191-204. ISSN 14382377
4. GUPTA, Mahesh, ABU-GHANNAM, Nissreen, GALLAGHAR, Eimear. *Barley for Brewing: Characteristic Changes during Malting, Brewing and Applications of its By-Products*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 9, 318-328. ISSN 1541-4337
5. HAVLOVÁ, Pavla. *Hydrolytické a oxidoredukční enzymy ječného sladu: (studijní zpráva) = Hydrolytic and oxidoreduction enzymes of barley malt : (review)*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1999, Studijní informace. ISBN 80-727-1040-0.
6. CEPAC, Morava. *Speciální potravinářská technologie – Technologie výroby piva*. 2007
7. BŘEZINOVÁ, Natálie, EHRENBERGEROVÁ, Jaroslava, FEČKOVÁ, Eva, MACUHOVÁ, Simona, VACULOVÁ, Kateřina. *Chemické listy: Přítomnost neškrobových polysacharidů v zrně ječmene*. Praha: Česká společnost chemická, 2008, roč. 102, č. 9. ISSN 1213-7103.

8. FIDLER, Martin, KOLÁŘOVÁ, Lenka. *Chemické listy: Analýza antioxidantů v chmelu a pivu*. Praha: Česká společnost chemická, 2009, roč. 103, č. 3. ISSN 1213-7103.
9. KARABÍN, Marcel, BRÁNYIK, Tomáš, KRULIŠ, Radim, DVOŘÁKOVÁ, Markéta, DOSTÁLEK, Pavel. *Chemické listy: Využití chemicky modifikovaných hořkých látek v pivovarnictví*. 103. vyd. Praha: Česká společnost chemická, 2009, roč. 103, č. 9. ISSN 1213-7103.
10. HOFTA, Pavel, DOSTÁLEK, Pavel, BASAŘOVÁ, Gabriela, KOLÁŘOVÁ, Lenka. *Chemické listy: Xanthohumol - chmelová pryskyřice nebo polyfenol?*. Praha: Česká společnost chemická, 2004, roč. 98, č. 9. ISSN 1213-7103.
11. ČEPIČKA, Jaroslav, KARABÍN, Marcel. *Chemické listy: Polyfenolové látky piva - přirozené antioxidanty*. Praha: Česká společnost chemická, 2002, roč. 96, č. 2. ISSN 1213-7103.
12. BRIGGS, D. *Brewing: science and practice*. Cambridge, England: Woodhead Pub. Ltd., 2004, 881 s. ISBN 08-493-2547-1.
13. ŠTRANC, Přemysl. *Řez chmele odrůdy Žatecký poloraný červeňák v podmínkách ČR*. Vyd. 1. Praha: Pro katedru rostlinné výroby, FAPPZ, ČZU v Praze vydalo vydavatelství Kurent, 2007, 48 s. ISBN 978-80-87111-03-1.
14. STRAKOVÁ, Lenka, PRŮCHA, Pavel. Sledování změn obsahu hořkých látek při peletizaci chmele, jeho skladování a během stárnutí piva. *Technologie pěstování chmele: sborník přednášek ze semináře konaného dne 15. 2. 2006, Žatec = Technology of hop cultivation : proceedings of a workshop held at Žatec February 15, 2006*. Editor Petr Svoboda. Žatec: Petr Svoboda, 2006. ISBN 80-86836-08-8.

15. KOSAŘ, Karel. *Kvalita sladovnického ječmene a technologie jeho pěstování*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1997, Metodiky pro zemědělskou praxi. ISBN 80-861-5302-9.
16. POLÁK, Bohumil, ONDERKA, Miroslav, VÁŇOVÁ, Marie. *Základy pěstování a zpracování sladovnického ječmene*. 1. Vydání. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1998, Rostlinná výroba. ISBN 80-710-5166-7.
17. GREGOR, Tomáš. *Stanovení extraktu v zrně ječmene enzymatickou cestou: certifikovaná metodika*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010, 26 s. ISBN 978-80-7375-433-4 (BROŽ.).
18. *"Sladovnický ječmen - regulace tvorby výnosu a kvality": nový výzkum a komplexní poznatky pro uplatnění v praxi : konference : 9.-13. 2. 2009 : Libčany 9. 2. 2009, Praha Suchdol 10. 2. 2009, Vsisko 11. 2. 2009, Levice, SR 12. 2. 2009, MZLU v Brně 13. 2. 2009*. 1. vyd. Velká Bystřice: Sdružení pro ječmen a slad. ISBN 978-80-213-1890-8.
19. ZOUFALÝ, Tomáš, BRYNYCH, Petr. *Chemické listy: České pivo - každodenní fenomén*. Praha: Česká společnost chemická, 2006, roč. 100, č. 8. ISSN 1213-7103.
20. ZAJONCOVÁ, Ludmila, ŠEBELA, Marek. *Chemické listy: Amylasy - význam stanovení jejich aktivity*. Praha: Česká společnost chemická, 2007, roč. 101, č. 1. ISSN 1213-7103.
21. ČÍŽKOVÁ, Hana, DOSTÁLEK, Pavel, FIALA, Jaromír, KOLOUHOVÁ, Irena. *Chemické listy: Význam bílkovin z hlediska pěnivosti a stability piva*. Praha: Česká společnost chemická, 2006, roč. 100, č. 7. ISSN 1213-7103.

22. CVENGROŠCHOVÁ, Mariana, ŠMOGROVIČOVÁ, Daniela. *Chemické listy: Chmel'ové preparáty a faktory ovplyvňujúce priebeh chmel'ovaru*. Praha: Česká společnost chemická, 2007, roč. 101, č. 7. ISSN 1213-7103.
23. NÁDASKÝ, Pavol, ŠMOGROVIČOVÁ, Daniela. *Chemické listy: Senzorická stabilita piva*. Praha: Česká společnost chemická, 2010, roč. 104, č. 9. ISSN 1213-7103.
24. ŠÁRKA, Evžen, BUBNÍK, Zdeněk. *Chemické listy: Morfolgie, chemická struktura, vlastnosti a možnosti využití pšeničného B-škrobu*. Praha: Česká společnost chemická, 2010, roč. 104, č. 5. ISSN 1213-7103.
25. VODRÁŽKA, Zdeněk, KÁŠ Jan, RAUCH, Pavel. *Enzymologie*. 3. přeprac. vyd. Praha: VŠCHT, 1998. ISBN 80-708-0330-4.
26. HULÍN, Petr, DOSTÁLEK, Pavel, HOCHÉL, Igor. *Chemické listy: Metody stanovení lepkových bílkovin v potravinách*. Praha: Česká společnost chemická, 2008, roč. 102, č. 5. ISSN 1213-7103.
27. SYNYTSYA, Andriy, LHOTÁKOVÁ, Eva, ČOPÍKOVÁ, Jana, KVASNIČKA, František. *Chemické listy: Enzymová a fluorescenční analýza polysacharidů izolovaných z ječmenu: Vliv plísňové infekce a rozdíly odrůd*. Praha: Česká společnost chemická, 2010, roč. 104, č. 7. ISSN 1213-7103.
28. SYNYTSYA, Andriy, ČOPÍKOVÁ, Jana. *Chemické listy: Polysacharidy, jejich význam a uplatnění*. Praha: Česká společnost chemická, 2005, roč. 99, č. 9. ISSN 1213-7103.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SEZNAM OBRÁZKŮ

SEZNAM TABULEK

SEZNAM PŘÍLOH