

N-nitrosaminy ve sladu - vznik a odstraňování

Ing. VLADIMÍR KELLNER, CSc., Ing. JIŘÍ ČULÍK, Prof. Ing. GABRIELA BASAŘOVÁ, DrSc., Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Lípová 15, Praha 2

1. ÚVOD

První pozitivní zprávy o přítomnosti N-nitrosaminů v pivě pocházejí od Walkera *et al.* [1, 2], kteří analyzovali 27 druhů pív a zjistili průměrný obsah 2 ppb ($\mu\text{g/kg}$) N-nitrosodimethylaminu (NDMA). Spiegelhalder *et al.* [3] udávali v roce 1979 průměrnou hodnotu 2,7 ppb NDMA v 70 % ze 158 analyzovaných vzorků pív. Sen *et al.* [4] uvádějí jako průměrnou koncentraci z 22 vzorků různých druhů pív hodnotu 1,5 ppb.

Vzhledem k těmto zjištěním byla zaměřena pozornost na sledování obsahu N-nitrosaminů v jednotlivých pivovarských surovinách. Výsledky jsou uvedeny v tab. 1.

Z tohoto důvodu bylo věnováno značné úsilí k objasnění příčin vedoucích ke vzniku N-nitrosaminů v pivovarských surovinách, avšak i přes značné pokroky zůstává dosud mnoho jevů ne zcela uspokojivě vysvětleno.

2. VZNIK N-NITROSAMINŮ VE SLADU A OSTATNÍCH PIVOVARSKÝCH SUROVINÁCH

Z tabulky 1 vyplývá, že nejvyšší obsah N-nitrosaminů (resp. NDMA) vykazoval slad, zatímco chmel a některé další pivovarské suroviny obsahovaly pouze nepatrná množství NDMA. Je však zřejmé, že do piva mohou být vneseny i N-nitrosaminy obsažené v některých dalších pomocných surovinách (algináty, karamel apod.), avšak pouze v nepatrných množstvích. Vzhledem k nízkému obsahu NDMA v ječmeni a zeleném sladu je jasné, že NDMA a popř. další N-nitrosaminy vznikají ve sladu během sladovacího procesu a že jejich vznik je ovlivněn mnoha faktory [5], z nichž se jako nejdůležitější jeví teplota a vlhkost sladu a dále obsah oxidů dusíku (NO_x) v sušicím vzduchu [5].

Faktory ovlivňující vznik N-nitrosaminů ve sladu lze tedy zhruba rozdělit

— na faktory exogenní: typ použitého hořáku (teplota plamene ovlivňuje obsah NO_x ve spalinách), obsah síry v použitém topivu [6], použití přímého či nepřímého ohřevu;

— faktory endogenní: obsah přirozených aminů ječmene jako možných prekurzorů N-nitrosaminů, obsah re-

Tabulka 1. Obsah NDMA (v ppb) v pivovarských surovinách [5]

	Počet odebraných vzorků	Koncentrace NDMA (ppb)
Technologická nebo pitná voda	18	0
Suchý ječmen	1	0
Čerstvý ječmen	2	0
Rýže	7	pod 0,5
Rýžová moučka	1	1,6
Kukuřičné vločky	5	pod 0,5
Cukerný sirup	3	0
Chmel	20	0—2
Slad a sladové směsi	10	2—79
Karamelový slad	1	pod 0,5
Vlhké kvasnice	7	0—2

Tabulka 2. Nitrosační činidla a podmínky pro nitrosaci

Látka	Prostředí
N_2O_3	voda, plyn, organ. rozpouštědlo
$\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$	voda, plyn, organ. rozpouštědlo
YNO	voda
H_2ONO^+	voda
NO	+ O_2 ; anaerobní, M^{n+} neaktivní
HONO či NO_2^-	
Y = Cl^- , Br^- apod. M^{n+} = Ag^+ , Cu^+ , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+}	

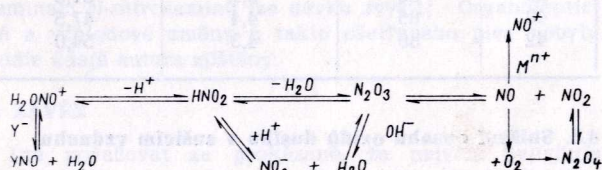
ziduí některých pesticidů, teplota a vlhkost sladu v různých fázích hvozdní atd.

Při sledování vzniku těkavých N-nitrosaminů ve sladu byly využívány zejména nepřímo vytápěné hvozdy, neboť obsah N-nitrosaminů ve sladu silně kolísá v závis-

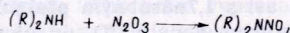
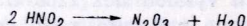
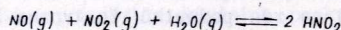
losti na dříve uvedených faktorech a zejména na obsahu oxidů dusíku a SO_2 v sušicím vzduchu [5, 7, 8, 9].

Ze skutečnosti, že slady vyrobené na přímo vytápěných hvozdech obsahují v průměru vyšší koncentrace N-nitrosaminů než slady z nepřímě vytápěných hvozdu vyplývá, že vznik N-nitrosaminů ve sladu způsobují nitrosací činidla [5] (tab. 2) přítomná v sušicím vzduchu [11].

Mezi jednotlivými nitrosacími činidly však existuje velké množství rovnovážných reakcí, které lze zhruba popsat takto [5]:

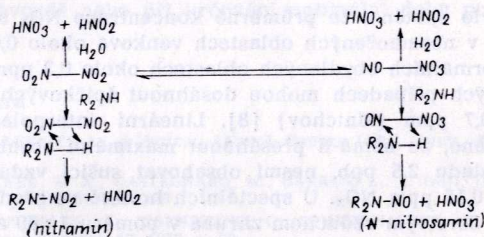


Vznik N-nitrosaminů probíhá přes N_2O_3 následujícím způsobem:



$$\text{kde rychlost reakce } r = k(\text{R}_2\text{NH}) \cdot (\text{HNO}_2)^2$$

V případě nitrosace působením N_2O_4 je situace poněkud složitější a bylo navrženo schéma nitrosace pomocí obou tautomerních forem N_2O_4 [12].



Ve většině případů je rovnováha posunuta ve prospěch vzniku N-nitrosaminů z nesymetrického tautomeru N_2O_4 .

Vznik N-nitrosaminů ve sladu působením oxidů dusíku v sušicím vzduchu byl potvrzen několika modelovými pokusy, při nichž byly oxidy dusíku nebo jejich směsi přidávány do proudu sušícího vzduchu na nepřímě vytápěných hvozdech [5].

Ze získaných výsledků vyplývají tyto závěry:

a) zvyšující se koncentrace NO_2 v počátečních stadiích hvozdní má za následek v první fázi zvýšení obsahu NDMA, avšak při překročení určité limitní koncentrace NO_2 (asi 10,5 ppm NO_2) může naopak prudce poklesnout obsah NDMA ve sladu. Tento fakt lze vysvětlit dvojitým způsobem reakce NO_2 . Při nižších koncentracích se NO_2 podílí na tvorbě NDMA, zatímco při vyšších koncentracích NO_2 reaguje s vodou na povrchu sladu za vzniku kyseliny dusičné. Tím klesá pH na povrchu sladu a následkem toho i množství volných bází přirozených aminů, tj. vlastních endogenních prekurzorů N-nitrosaminů;

b) podstatná množství N-nitrosaminů se tvoří teprve tehdy, jestliže vlhkost sladu poklesne pod 10 % a teplota vzduchu dosáhne 60–65 °C;

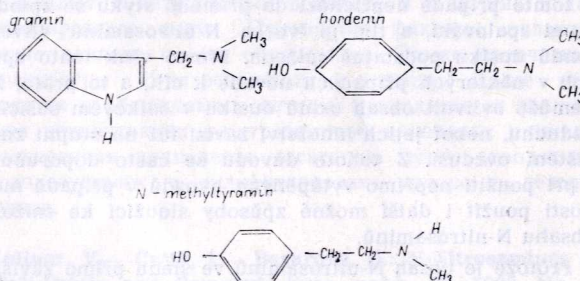
c) vzhledem k tomu, že přísadky NO k NO_2 podstatně zvyšují tvorbu N-nitrosaminů, lze říci, že N_2O_3 je podstatně silnějším nitrosacím činidlem než NO_2 .

3. PREKURSORY N-NITROSAMINŮ VE SLADU

Za prekursory N-nitrosaminů byla zpočátku pokládána zejména rezidua pesticidů [5]. Jejich význam byl, jak se zdá, přeceňován. V současné době nebyla jejich rozhodující role při tvorbě N-nitrosaminů potvrzena. N-nitrosaminy mohou být obsaženy v pesticidech buď přímo kontaminací finálního výrobku znečištěnými surovinami (např. při nitrosaci, popř. aminaci) [13, 14] nebo mohou vzniknout nitrosací „in situ“, tj. reakcí zbytků sekundárních a terciárních aminů či přímo některé aminosoli pesticidu (např. substituované močoviny apod.) s nitrosacím činidlem [15]. Protože při aplikaci pesticidů dochází k jejich velkému zředění, zdá se téměř vyloučeno, aby se tyto N-nitrosaminy podstatně podílely na celkovém obsahu N-nitrosaminů ve sladu, i když nelze jejich jistý příspěvek k celkovému obsahu N-nitrosaminů vyloučit. Bohužel je dnes prakticky nemožné získat vzorky ječmene vypěstovaných bez použití herbicidů, což značně ztěžuje možnosti výzkumu v této oblasti.

Výsledky sledování obsahu N-nitrosaminů (resp. NDMA) v různých částech zrna pokusně vyrobených sladů však přinesly překvapující poznatky (byl použit přímý ohřev, žádná síra, přírodní plyn) (tab. 3).

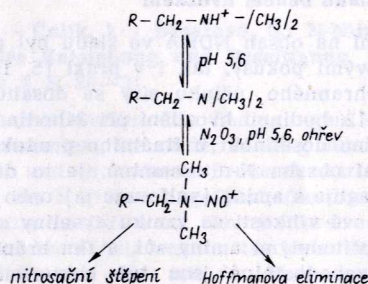
Jak bylo zjištěno, na tvorbě N-nitrosaminů se zejména zúčastňují sekundární a terciární aminy vznikající během klíčení [16].



Hordenin a N-methyltyramin vznikají methylací tyraminu během klíčení ječmene a jsou přítomny pouze v kořících. Hordenin však není přítomen v kořících naklíčené pšenice.

Gramin se tvoří z tryptofanu v klíčcích (střelce).

Na povrchu sladu (kde je pH = 5,6) jsou tyto aminy vzhledem k jejich vysokému pK_a (zhruba rovno 10) převážně přítomny v nereaktivní (tj. protonizované) formě. Jen malá část je díky rovnovážné reakci ve formě reaktivní (tj. neprotonizované). S N_2O_3 mohou reagovat podle schématu



Tato teorie byla ověřena pomocí modelových pokusů, při nichž skutečně pokles pH sladu měl za následek i pokles výskytu volných bází přirozených aminů, a tím i pokles výtěžku NDMA [5]. Současně probíhající výzkum v oblasti netěkavých N-nitrosaminů (N-nitrosoaminy, seliny, N-nitrosohydroxyaminy [17, 18] přináší nové pohledy na věc a zdá se, že otázka endogenních prekurzorů N-nitrosaminů ještě není zdaleka uzavřena.

Tabulka 3. Koncentrace NDMA v jednotlivých částech zrna [5]

Celkový slad	70 ppb
Pluchy	650—980 ppb
Kořínky	890 ppb
Endosperm	7,9—9,5 ppb

4. SNIŽOVÁNÍ KONCENTRACE N-NITROSAMINŮ V PIVĚ A SLADU

Na základě poznatků o mechanismu tvorby N-nitrosaminů ve sladu a ostatních pivovarských surovinách byly navrženy tyto způsoby jejich odstranění ze sladu a piva:

- využívání hvozdů s nepřímým ohřevem,
- síření sladu během hvozdění,
- snižování obsahu NO_x v sušicím vzduchu,
- snaha o snížení obsahu dusičnanů a dusitanů ve vodě, chmelu a dalších pivovarských surovinách,
- úpravy technologie výroby sladu,
- přímé odstranění N-nitrosaminů ze rmutu či hotového piva.

4.1. Použití nepřímě vytápěných hvozdů

Jedním ze základních a neúčinnějších způsobů snižování obsahu N-nitrosaminů ve sladu je použití moderních nepřímě vytápěných hvozdů [5, 8, 11, 19, 20]. Slad v tomto případě nepřichází do přímého styku se zplodinami spalování, a tím je tvorba N-nitrosaminů vlivem oxidů dusíku podstatně snížena. Přesto však tento způsob v některých případech nevede k cíli, a to proto, že nemůže ovlivnit obsah oxidů dusíku v celkovém sušicím vzduchu, neboť jejich množství závisí též na stupni znečištění ovzduší. Z tohoto důvodu se často doporučuje i při použití nepřímě vytápěných hvozdů v případě nutnosti použít i další možné způsoby sloužící ke snížení obsahu N-nitrosaminů.

Protože je obsah N-nitrosaminů ve sladu přímo závislý na obsahu NO_x v sušicím vzduchu, předpokládá úspěšný provoz nepřímě vytápěného hvozdů jeho perfektní stav, a to zejména neprodyšnost tepelných výměníků. Celkové výrobní náklady na 1 t sladu při nepřímém ohřevu jsou přibližně o 20 % vyšší, energetické náklady na 1 t sladu při nepřímém ohřevu jsou vyšší o 10 % oproti přímo vytápěným hvozdům (při použití zemního plynu či lehkého topného oleje). *Altemark et al.* [8] uvádějí, že v případě použití těžkého oleje se celkové výrobní náklady na výrobu 1 t sladu při použití obou způsobů vytápění zhruba rovnají.

4.2. Síření sladu během hvozdění

Vliv síření na obsah NDMA ve sladu byl prozkoumán jak modelovými pokusy, tak i v praxi [5, 19, 21]. Nejvyššího ochranného účinku síry se dosahuje sířením mezi 10. a 12. hodinou hvozdění při 24hodinovém cyklu, kdy je možno dosáhnout u finálního produktu více než 90% snížení obsahu N-nitrosaminů. Je to dáno tím, že SO_2 buď reaguje s aminy (sulfonuje je) nebo se rozpouští v povrchové vlhkosti za vzniku kyseliny siřičité, která tvoří s přítomnými aminy sůl, a tím brání jejich nitrrosaci. Nezanedbatelné jsou též baktericidní účinky SO_2 a jeho schopnost ničit nitrifikační bakterie a plísně.

Je svým způsobem paradoxní, že N-nitrosaminy vznikají ve sladu až při vyšších teplotách a nižší vlhkosti, jak vyplývá z tabulky 4, zatímco účinnost síření je podstatně vyšší v opačných podmínkách [5].

Používaná množství síry se pohybují v závislosti na technologickém postupu v rozmezí 200—1100 g/t ječmene [5, 19].

Tabulka 4. Vliv teploty a vlhkosti na tvorbu NDMA během hvozdícího cyklu (42hodinový cyklus, nesířeno, přímý ohřev, přírodní plyn) [5]

Hodiny cyklu	Teplota (°C)	Vlhkost (%)	NDMA (ppb)
0	—	46,9	0,3
8	49	46,9	0,4
18	60	9,4	10,0
28	60	7,4	23,0
38	66	5,1	31,0
40	85	4,4	47,5
42	86	4,3	54,0

4.3. Snížení obsahu oxidů dusíku v sušicím vzduchu

Dalším, dnes velmi rozšířeným způsobem snižování obsahu N-nitrosaminů ve sladu je používání speciálních hořáků se sníženým obsahem oxidů dusíku ve spalínách, pracujících na principu nestechiometrického spalování [8]. Využívá se zde poznatků, že tvorba NO_x probíhá zejména při teplotách vyšších než 1200 °C [22, 23, 24]. Snížení teploty plamene pod tuto mez lze dosáhnout např. spalováním asi s 1,7násobným přebytkem vzduchu [8, 25] nebo přidavkem vody a CO_2 do plynu [22].

K hořákům s omezenou tvorbou oxidů dusíku ve spalínách patří například hořáky firem Maxon (USA), Loi (NSR) a další. Tyto hořáky lze použít u obou systémů otopů, ale jsou výhodné zejména pro hvozdy s přímým ohřevem ve sladovnách, které nemají problémy s vyšší koncentrací NO_x v okolním ovzduší.

Bylo zjištěno, že průměrné koncentrace NO_x se pohybují v nezamořených oblastech venkova okolo 0,04 ppm, v normálních obydlených oblastech okolo 0,3 ppm. V některých případech mohou dosáhnout špičkových hodnot až 0,7 ppm (Mnichov) [8]. Lineární interpolací bylo zjištěno, že nemá-li přesáhnout maximální obsah NDMA ve sladu 2,5 ppb, nesmí obsahovat sušicí vzduch více než 0,15 ppm NO_x . U speciálních hořáků se zřetelují spaliny čerstvým vzduchem zhruba v poměru 1 : 40 až 1 : 50. Obsah NO_x ve spalínách nepřekračuje u těchto hořáků max. koncentraci asi 6 ppm NO_x , což činí maximálně 0,15 ppm NO_x v sušicím vzduchu (při teplotě hoření pod 1400 °C) [8, 10]. Teplotu plamene lze ovšem ještě snížit a použitím vhodné konstrukce a materiálů tak snížit koncentraci NO_x v sušicím vzduchu pod hranici 0,15 ppm NO_x , což znamená, že tyto hořáky (např. systém Aero-therm) snižují obsah NO_x v sušicím vzduchu oproti původní hodnotě o 0,04 až 0,07 ppm.

Kombinací síření a použitím speciálních hořáků lze snížit obsah N-nitrosaminů ve sladu až na 0,3 ppb (pouhým sířením na 4—5 ppb) [26]. Energetickou bilanci lze vylepšit i využíváním recirkulace v konečných fázích hvozdění, i když lze počítat s určitým nárůstem obsahu NO_x v sušicím vzduchu [8].

4.4. Snižování obsahu dusičnanů (popř. dusitanů) v ostatních pivovarských surovinách

Snížení obsahu dusičnanů (popř. dusitanů) v ostatních pivovarských surovinách [27] je velmi žádoucí a závisí zejména na vhodné aplikaci umělých hnojiv a pesticidů v zemědělství a na zamezení výskytu dalších zdrojů znečištění životního prostředí (exhalace atd.).

4.5. Úpravy technologie sladu

Aalbers et al. [28] uvádějí, že při aplikaci cukerného postřiku 24 hodin před počátkem hvozdění v koncentraci zhruba 0,8 % váhy ječmene lze snížit obsah N-nitros-

aminů ve sladu pod hodnotu 5 ppb. Podle později uveřejněného stanoviska Německého pivovarského svazu [29] však je tato metoda ve smyslu platných Západoněmeckých pivovarských předpisů nepřijatelná.

4.6. Přímé odstranění N-nitrosaminů ze rmutu nebo piva

Bärwald [30] uvádí jako velmi slibný postup oddělení N-nitrosaminů ze rmutu nebo piva použitím speciálního aktivního uhlí. Ekonomicky i technologicky nejvhodnější se jeví podle autora přidávek 300 g aktivního uhlí na 1 t sladu asi 15 minut před odrmutováním (při vyšší kontaminaci N-nitrosaminů lze dávku zvýšit). Organoleptické a vzhledové změny u takto ošetřeného piva nebyly podle údajů autora zjištěny.

5. ZÁVĚR

Lze považovat za prokázané, že nejvíce ovlivňuje obsah těkavých N-nitrosaminů (zejména NDMA) reakce mezi oxidy dusíku obsaženými ve spalínách, resp. v suchém vzduchu s přirozenými aminy graminem, hordeninem a N-methyltyraminem. V současné době zůstává otevřena otázka příspěvku ostatních prekurzorů těkavých nitrosaminů, tj. některých dalších aminů, aminokyselin či pesticidů, přítomných v obilce ječmene. Značná různorodost těchto látek brání vypracování multidetekčních metod a často vyžaduje speciální metody s použitím HPLC apod.

V současné době je věnována na VÚPS pozornost podmínkám, které ovlivňují průběh nitrosace během celé fáze hvozdní. Získané poznatky budou zveřejněny v některém dalším čísle Kvasného průmyslu a měly by být i určitým vodítkem při kontrole technologického postupu na hvozdně nebo při určování optimální doby pro síření.

Literatura

- [1] WALKER, E. A.: v knize: Annual Report IARC, Lyon, France 1978.
- [2] WALKER, E. A., CASTEGNARO, M., GARREN, L.: J. Natl. Cancer Inst. **63** (4), 1979, s. 947.
- [3] PREUSSMANN, R., EISENBRAND, G., SPIEGELHALDER, B.: Food Cosmet. Toxicol. **17**, 1979, s. 29.
- [4] SEN, N. P., SEAMAN, S., MCPHERSON, M.: J. Food Safety **2**, 1980, s. 13.
- [5] CHAPPEL, C.: Current Research on Nitrosamines in Beer. Toxicology Forum Arlington, Virginia, U. S. A. 1980.
- [6] Anonym: J. Inst. Brew. **2**, 1980, s. 96.
- [7] EISENBRAND, G.: N-nitrosoverbindungen in Nahrung und Umwelt, s. 64. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart 1981.
- [8] ALTEMARK, D., HESS, R., SOMMERS, H.: Mschr. Brauerei **33**, (11), 1980, s. 415.
- [9] HAKI, T., TAKAMURA, Y., SHIMAMURA, Y., KOSEKI, M., NISHIGAKI, S., NAOI, Y.: J. Hyg. Soc. (Japan), **21** (3), 1980, s. 184.
- [10] Anonym: Brauindustrie, **65** (18) 1980, s. 1202.
- [11] DOUGLAS, M. L., KABACOFF, B. L., ANDERSON, G. A., CHENG, M. C.: J. Soc. Cosmet. Chem. **29**, 1978, s. 581.
- [12] CHALLIS, B. C., EDWARDS, A., HUNMA, R. R., KYRTOPOULOS, S. A., OUTRAM, J. R.: IARC Sci. Publ. **19**, 1978, s. 127.
- [13] SPIEGELHALDER, B., EISENBRAND, G., PREUSSMANN, R.: Angew. Chem. **90** (5), 1978, s. 379, C. A. **88**, 189973.
- [14] SPIEGELHALDER, B., BRITTON, G. C.: Schweiz. Sci. Rev. **61** (214), 1979, s. 167.
- [15] COHEN, S. Z., ZWEIF, G., LAW, M., WRIGHT, D., BONTROYAN, W. R.: IARC Sci. Publ. **19**, 1978, s. 333.
- [16] McFARLANE, W. D.: Proc. Eur. Brew. Congr., str. 387, Stockholm 1985.
- [17] POLLOCK, J. R. A.: J. Inst. Brew. **87**, 1981, s. 356.
- [18] Citace 7, s. 70.
- [19] WALKER, E. A., CASTEGNARO, M., SCRIBAN, R.: Bios **11** (6), 1980, s. 66.
- [20] Anonym: Brew. Distill. Int. **11** (6), 1981, s. 22 a 28.
- [21] LUKES, B., O'BRIEN, T. J., SCANLAN, R. A.: J. Amer. Soc. Brew. Chem. **38** (4), 1980, s. 146.
- [22] Anonym: Brauwelt **119** (5) 1979, s. 137.
- [23] Anonym: Brauindustrie **64** (5), 1979, s. 313.
- [24] Anonym: Tagesztg. Brauerei **54**, 1980, s. 212.
- [25] Anonym: Brauindustrie **64** (17), 1979, s. 562.
- [26] Anonym: Brauindustrie **64** (40), 1979, s. 1462.
- [27] Anonym: Brauindustrie **65** (16), 1980, s. 551.
- [28] AALBERS, V. J., DROST, B. W., VONERDE, P.: Brauwelt **20**, 1980, s. 719.
- [29] Anonym: Brauwelt **120** (22), 1980, s. 817.
- [30] BÄRWALD, G.: Brauwelt **119** (12), 1979, s. 391.

Kellner V. - Čulík J. - Basařová G.: N-nitrosaminy ve sladu — vznik a odstraňování. Kvas. prům., **29**, 1983, č. 2, s. 28—31.

V práci jsou diskutovány okolnosti, za nichž vznikají N-nitrosaminy ve sladu a dalších pivovarských surovinách. Jsou uvedeny faktory, které vznik ovlivňují. Jsou rovněž zmíněny prekurzory N-nitrosaminů ve sladu. Dále jsou uvedeny a diskutovány metody vedoucí ke snížení koncentrace N-nitrosaminů ve sladech a pivech s důrazem na použití nepřímo vytápěných hvozdů a síření sladu během hvozdní.

Келлер, В., Чулик И., Басаржова, Г.: Н-нитрозамины в солоде — их образование и устранение. Квас. прум., **29**, 1983, № 2, стр. 28—31.

В работе обсуждаются обстоятельства, при которых возникают Н-нитроамины в солоде и в других видах пивоваренного сырья. Приводятся факторы, оказывающие влияние на их образование. Также отмечаются прекурсоры Н-нитроаминов в солоде. Далее приводятся и обсуждаются методы, приводящие к понижению концентрации н-нитроаминов в солодах и пивах, подчеркивая применение косвенным путем отопляемых солодосушилок и сульфитирование солода в течение сушки.

Kellner, V. - Čulík, J. - Basařová, G.: N-Nitrosamines in Malt-Origin and Removal. Kvas. prům., **29**, 1983, No. 2, p. 28—31.

The conditions which enable an origin of N-nitrosamines in malt and the other raw materials of brewing are discussed in the article. The factors influencing the origin of N-nitrosamines are described. Also precursors for N-nitrosamines in malt are mentioned. The procedures resulting in a decrease of the N-nitrosamines concentrations in malts and beers are discussed. As the most significant procedures from this standpoint the use of kilns with an indirect heating and the sulphurization of malt during kilning are described.

Kellner, V. - Čulík, J. - Basařová, G.: N-Nitrosamine im Malz — ihre Entstehung und Beseitigung. Kvas. prům., **29**, 1983, Nr. 2, S. 28—31.

In der Arbeit werden die Bedingungen und Voraussetzungen diskutiert, die zu der Bildung der N-Nitrosamine im Malz und in anderen Brauereirohstoffen führen. Es werden die Faktoren angeführt, die die Bildung der N-Nitrosamine beeinflussen. Im weiteren werden die Prekursoren der N-Nitrosamine im Malz erwähnt. Der Artikel befaßt sich auch mit den Methoden zur Herabsetzung der N-Nitrosaminekonzentration in Malz und Bier mit besonderer Betonung der Einführung indirekt beheizter Darren und der Schwefelung des Malzes während des Darrens.