

K problému vzniku siričitanu a sírovodíka v mladých vínach

663.253
546.221 546.224

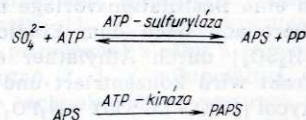
Doc. Ing. E. MINÁRIK, CSc. - Ing. A. NAVARA, CSc., Výskumný ústav vinohradnícky a vinársky, Bratislava

Do redakcie došlo 12. března 1976

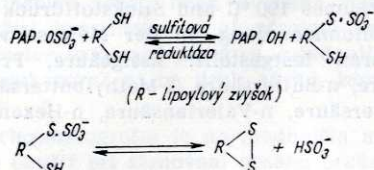
V predchádzajúcich prácach sme poukázali na možnosť vzniku kyseliny siričitej redukciou síranu počas alkoholického kvasenia hroznových muštov vinnými kvasinkami (Minárik 1972, 1973) a na možnosti regulácie tohoto procesu (Minárik a Navara 1974a, 1974b). V tomto príspevku by sme chceli rozviesť podrobnejšie, ako dochádza k enzymatickej redukcii sulfátu a na príčiny vzniku sírovodíka v mladých vínach a možnostiach jeho prevencie.

Redukcia sulfátu prebieha v dvoch stupňoch, v ktorých sa tento napred aktivuje (prvý stupeň) a potom redukuje (druhý stupeň). Celý sled redukcie sulfátu má štyri fázy.

V prvom stupni sa sulfát aktivuje ATP-sulfurylázou na adenozin-5'-fosfosulfát (APS) a ATP-kinázou na 3'-fosfo-adenozin-5'-fosfosulfát (PAPS), ako to uvádza Bandurski, Wilson a Squires (1956) a Bernstein a Mc Gilverty (1952):



V druhom stupni sa PAPS redukuje 3'-fosfoadenozin-5'-fosfosulfátovou reduktázou na sulfit:

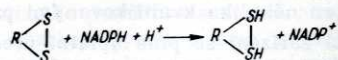


Hydrosulfit sa napokon redukuje na sulfid redukovanou formou nikotínamidnukleotidu:

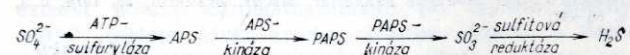


NADPH je štyrikrát účinnejší ako NADH (redukovaná forma nikotínamidnukleotidu).

Regenerácia sulfitovej reduktázy sa uskutočňuje takto:



Zjednodušene môžeme sled enzymatických redukčných pochodov písať aj takto:

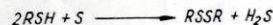


Kvasinkové bunky využívajú sulfid na syntézu sírnych aminokyselín metionínu a cysteínu. Ak je v kvasnom substráte dostatok uvedených aminokyselín, bunky ich nesyntetizujú vôbec, alebo len v malej miere podľa uvedeného pomerne zložitého a energiu vyžadujúceho sledu enzymatickej redukcie sulfátu.

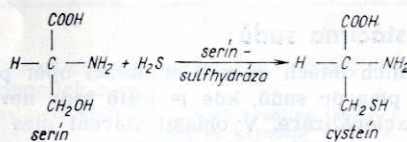
Ako uvádza de Vito a Dreyfuss (1964) ATP-sulfuryláza, ktorá aktivuje sulfát substrátu na APS, sa reprimuje metionínom a sulfitová reduktáza, ktorá redukuje sulfit na sulfid, sa reprimuje cysteínom. Vplyv metionínu na využívanie sulfátu kvasinkami možno vysvetliť ako represiu ATP-sulfurylázy. Potlačenie aktivácie sulfátu má za následok zníženie produkcie sulfitu.

Metionín teda potláča prvý stupeň redukcie sulfátu na APS: kým je v prostredí dostatočná koncentrácia metionínu, k novej syntéze APS nedochádza. Nemôže sa teda tvoriť ani sulfit ani sulfid. Cysteín potláča posledný stupeň redukčného sledu sulfátu, totiž redukciu sulfitu na sulfid. To by malo teoreticky viesť k akumulácii sulfitu v prostredí. Opak však je pravda. Aj cysteín totiž silne brzdí a znižuje tvorbu sulfitu. Túto zdánlivú anomáliu možno vysvetliť tak, že cysteín neovplyvňuje len redukciu sulfátu, ale aj využívanie sulfátu kvasinkami. Utilizácia sulfátu je u rôznych mikroorganizmov aktívny a regulovateľný proces. Dostačujúca hladina cysteínu v kvasnom prostredí teda znižuje premenu sulfátu na redukované formy (sulfit, sulfid). Kumulačný účinok metionínu a cysteínu možno vysvetliť tak, že cysteín znižuje utilizáciu sulfátu bunkami kvasiniek a metionín zase aktiváciu sulfátu na APS.

Pri tvorbe sulfidu z elementárnej síry nejde o enzymatickú reakciu, ale o redukciu síry cez tiolovú formu, napr. cez glutatión:



Zo sírovodíka sa však môžu enzymatickou cestou vytvárať ďalšie tiolové zlúčeniny (Schlossman a Lynen 1957). Napríklad zo serínu vzniká cysteín takto:



Výskyt kvasiniek produkujúcich SO_2 v kvasiacich muštach má z hľadiska pivničného hospodárstva nezanedbateľný význam. Dôležitá je najmä otázka, ako často sa takéto kmene vyskytujú na prírodných a druhotných stanovištiach (napr. v prevádzkach vinárskych závodov). Würdig a Schlotter (1968, 1971) dokázali hojný výskyt týchto kvasiniek v moselskej vinohradníckej oblasti a poukázali na význam tzv. „domácej“ (lokálnej) mikro-

flóry na výrobnom zariadení vinárskych prevádzok. *Dittrich* [1973] najskôr pochyboval o význame SO_2 -produktujúcich kvasiniek, keď dokazoval, že v inej vinohradníckej oblasti NSR sú takéto kmene vzácné. Neskôr však svoj názor revidoval, keď zistil, že pri prieskume zbierkových kmeňov kvasiniek našiel rad kmeňov *Saccharomyces* sp. produkujúcich 50 až 155 mg/l celkového SO_2 . I keď sa nejednalo o technologicky relevantné percento kmeňov, predsa sa nazdávala, že výskyt týchto kmeňov vo viniciach a vinárskych prevádzkach by mohol byť vyšší. Podobné skúsenosti uviedli aj *Mayer* a *Pause* [1968]. Naše výsledky pokusov [*Minárik* 1974, *Minárik* a *Navara* 1974b] ukázali, že početnosť výskytu SO_2 -produktujúcich kvasiniek v mikroflore, ani ich aktivitu v kvasiacich muštach, nemožno v žiadnom prípade zanedbať alebo celkom ignorovať. Ako typický príklad možno označiť kmeň 729 (*S. cerevisiae*), o ktorom je známe, že neprodukuje žiadny sírovodík. Ako sa ukázalo, produkuje síce zanedbateľné množstvo H_2S , za to však značnejšie množstvá sulfitu (do 80 mg/l SO_2). Z tohoto úkazu odvodili vzťah, že medzi tvorbou SO_2 a H_2S existuje u kvasiniek nepriama závislosť. Tzv. SO_2 -produktujúce kmene označil *Dittrich* a *Staudenmayer* [1970] za mutanty, u ktorých zrejme enzýmy zodpovedné za metabolizmus SO_2 nepracujú vôbec alebo len nedokonale so zníženou aktivitou. Nazdávali sa, že kvasenie bez vzniku H_2S je možné len za cenu vyššej produkcie SO_2 . Táto hypotéza sa však plne nepotvrdila ani v praxi, ani za experimentálnych podmienok. Je síce pravda, že SO_2 -produktujúce kmene tvoria spravidla menej H_2S , no za prítomnosti cysteínu alebo zmesi metionínu a cysteínu môže byť produkcie H_2S značná [*Minárik* 1974].

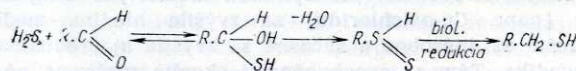
Eschenbruch [1972a, 1972b] poukázal, že tvorba SO_2 a H_2S kvasinkami *S. cerevisiae* je závislá od zloženia substrátu, najmä od prítomnosti dostatočného množstva sírnych aminokyselín. Podľa autora sa ani SO_2 a konzekventne ani H_2S netvorí kvasinkami dotiaľ, pokiaľ je v substráte dostatočná koncentrácia metionínu. Cystein potláča posledný stupeň sledu redukcie sulfátu od sulfitu po sulfid, čo by malo viesť zásadne k obohateniu substrátu kyselinou siričitou. V skutočnosti, ako sme už uviedli, cysteín značne znižuje produkciu SO_2 . Stáva sa to zrejmejším ak predpokladáme, že cysteín značne ovplyvňuje nielen redukciu sulfátu, ale aj jeho utilizáciu bunkami kvasiniek.

Zásadne však zostáva nezodpovedaná otázka, prečo niektoré kmene kvasiniek tvoria za rovnakých podmienok kvasenia viac SO_2 ako iné. Súčasne je však tiež zrejme, že v blízkej budúcnosti asi nebude možné upravovať hladinu sírnych aminokyselín muštu. Preto treba hľadať riešenie problému prevencie vzniku SO_2 a najmä sírky v inej rovine než sa dosiaľ predpokladalo, totiž nastolíť problém nie ako chemický, ale biologický, t. j. ako problém kmeňa.

Ak je problematika tvorby sulfitu zo sulfátu posudzovaná pomerne jednoznačne, je problém genézy sulfidu a tvorby sírky v mladom víne doteraz interpretovaný dosť nejednotne a často diametrálne odlišne. Je známe, že síрку netvorí len sírovodík, ale aj iné prchavé zlúčeniny, hlavne merkaptány. Ukázalo sa, že napr. v pive vzniká z metionínu v zmysle Ehrlichovho mechanizmu odbúrania aminokyselín merkaptopropanol, ktorý je o. i. príčinou sírovočkového pachuti i vône piva. Inými slovami mohol by byť aj metionín zdrojom vzniku sírky:

Plynovou chromatografiou sa podarilo dokázať metylmerkaptopropanol-(1). U vína sa, žiaľ, ešte priamy dôkaz merkaptopropanolu nepodaril, je však predpoklad, že H_2S nie je, a ani nemôže byť, jedinou príčinou vzniku sírky, pretože zdrojov sírnych zlúčenín je vo víne viac ako v pive.

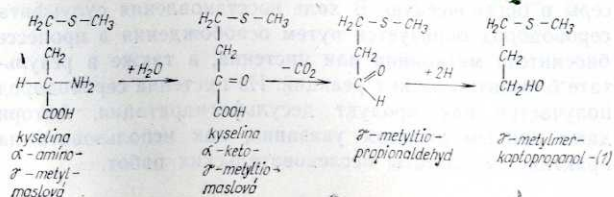
Tvorba merkaptánov zo sírovodíka a alkoholu prebieha teoreticky pri vyššej teplote a za prítomnosti katalyzátorov. Premena H_2S na merkaptány prebieha pomerne ľahko cez tioaldehydy, ktoré sa v kyslých roztokoch (napr. vo víne) vyskytujú v trimérnej forme [*Neuberg* a *Grauer* 1952]:



Ako najdôležitejší zdroj vzniku sírovodíka vo víne sa považuje elementárna síra, sulfát a sulfit. Niektorí autori vylučujú sírne aminokyseliny a sulfát ako potenciálny zdroj vzniku H_2S . Jednoznačne sme však tieto domnienky vyvrátili v pokusoch, kde sme ako jediný zdroj síry použili síran draselný: v syntetickom prostredí s asparagínom ako jediným zdrojom N sa vytvorili podľa pokusných podmienok rôzne, často značné množstvá H_2S .

Rankine [1963] poprvé vyzdvihol význam pH muštu a teploty počas kvasenia ako dôležité faktory pre vznik sírky. Ukázalo sa však, že pH muštu nemá podstatnejší vplyv na tvorbu H_2S . Teplota kvasenia ovplyvňuje vznik H_2S tým, že pri vyšších teplotách je intenzita kvasenia potenciálnym faktorom pre vyššiu produkciu H_2S . Len tak si možno vysvetliť, prečo pri kvasení vo veľkoobjemových nádobách, kde sú teplotné pomery odlišné od menších kvasných nádob (vysoké teplotné špičky počas búrlivého kvasenia), sa sírka tvorí častejšie. Iným zdrojom vzniku sírky by mohla byť samotná kvasničná bunka [*Rankine* 1964], v ktorej sa v autotrobných proteínov môžu odbúrať 4 frakciami proteolytických enzýmov. Medzi medziproduktmi tohoto procesu sú nesporné metionín a cysteín, ktoré môžu byť zdrojom vzniku sírovočkového pachuti vína. Teoretickými aspektmi biogenézy a biochemizmu sírnych aminokyselín sme sa podrobnejšie zaoberali skôr [*Minárik* a *Navara* 1974b]. Uvedme však, že k autolýze buniek dochádza tesne pred dokvasením a po ňom, t. j. v čase, kedy sa sírka v mladom víne aj najčastejšie objavuje. T. č. však niet uspokojujúceho vysvetlenia, ktoré faktory indukujú alebo stimulujú autolýzu kvasiniek počas kvasenia muštu. Ak však berieme do ohľadu známu skutočnosť, že sa kvasinky rozlišujú v schopnosti akumulovať v bunke aminokyseliny a vytvárať pooly aminokyselín, a že pri hľadovaní dochádza k znovorozdeleniu a k preskupeniu aminokyselín vnútri buniek, potom je zjavný význam včasného stáčania mladého vína z kvasníc po dokvasení, pretože takéto podmienky hladovania buniek sa dostávajú koncom kvasenia alebo po ňom.

Nedostatok metionínu alebo cysteínu v mušte spôsobuje zvýšenú redukciu síranu kvasinkami. Inými slovami, ak kvasinky musia uvedené aminokyseliny syntetizovať náhle, treba počítať aj s tvorbou H_2S . Na druhej strane, ak je koncentrácia oboch sírnych aminokyselín v mušte dostačujúca, kvasinky nemusia tieto syntetizovať, a sírovodík by sa zo sulfátu nemal tvoriť vôbec alebo len v nepatrnej miere. Značkovanosť ^{35}S sa dokázalo, že prídavok metionínu a cysteínu naozaj úplne zabráni tvorbe H_2S zo síranu, nie však zo siričitanu. Takto sa majú chovať tzv. normálne i tzv. SO_2 -produktujúce kmene kvasiniek. Naše výsledky pokusov to však nepotvrdili [*Minárik* a *Navara* 1974a], naopak, poznatok, že cysteín značne zvyšuje tvorbu H_2S a metionín túto produkciu skôr inhibuje, sa vcelku potvrdila. Brzdzenie



tvorby sirovodíka metionínom má však len podružný význam, nakoľko sa metionín kvasinkami metabolizuje na γ -metylmerkaptoopropanol, prípadne príslušný aldehyd alebo ester. Tieto zlúčeniny ovplyvňujú negatívne chuť vína — vznik merkaptánovej príchuti. SO_2 má však výraznejší inhibičný vplyv na tvorbu H_2S , ale len za prítomnosti prebytočného metionínu alebo cysteínu. Nie je však známe, ktorý stupeň redukčného sledu vzniku H_2S sa brzdí: redukcia sulfátu či konverzia cysteínu.

Ukázalo sa, že elementárna síra, sírne amínokyseliny, sulfát a sulfit sú potenciálnymi zdrojmi vzniku sirovodíka. Zdá sa však, že aj Cu-ióny majú istý vplyv na produkciu sirovodíka. Pri aplikácii mednatých fungicídov (napr. Cu-oxichloridu) sa zvýšila hladina medi v mušte až 4násobne a súčasne sa zvýšila aj produkcia sirovodíka. Tým sa spochybňovali skoršie rozšírené názory o výhode posledného postreku viniča mednatými prípravkami, podľa ktorých Cu-ióny z reziduí postrekov viniča mali údajne viazať H_2S vo forme nerozpustného sírnika mednatého.

Tvorba H_2S počas kvasenia muštu má aj ekonomický aspekt, pretože odstraňovanie sírky z mladého vína je vždy spojené s nákladmi na prepracovanie, s faktorom neistoty atp., ktoré sú pre veľkovýrobné podmienky neúnosné. Treba uviesť, že napriek veľkému úsiliu výskumu sa doposiaľ nepodarilo uspokojivo a jednoznačne vysvetliť vznik H_2S počas kvasenia. Preto t. č. ešte nie je možné vzniku sirovodíka úplne zabrániť, resp. predpovedať jeho vytvorenie v mladom víne. Faktorov, ktoré by tvorbu H_2S kvasinkami počas kvasenia mohli stimulovať, je veľa. Napriek tomu, jeden z týchto faktorov, totiž schopnosť kmeňa vytvárať sirovodík, možno regulovať predovšetkým vhodným výberom samotného kmeňa. Existujú kmene s minimálnou produkciou sirovodíka aj za nepriaznivých podmienok kvasenia. Ďalšia možnosť regulácie či zabránenia vzniku H_2S je v úprave muštu živinami, ktoré kvasinky inak musia syntetizovať. Pretože zloženie muštu je pomerne premenlivé podľa aplikovanej technológie, odrrody viniča, ročníka atď., nie je také jednoduché nájsť vhodnejšiu formu ochrany mladého vína pred sírkou ako používanie selektovaného kmeňa kvasiniek netvoriaceho H_2S , napríklad kmeň 729 (*S. cerevisiae*) izolovaný Rankinom. V zbierke kvasiniek VÚVV máme niekoľko tzv. H_2S -neproduktujúcich kmeňov *Saccharomyces* sp., ktoré možno úspešne využívať pri kvasení muštu, najmä obsahujúcich zvyšky síry alebo sírnych zlúčenín po postrekoch viniča proti oidiu a pod.

Existujú aj prostriedky, napr. Sulfidex alebo Ercofid (oba na báze chloridu strieborného), ktorými sa v zahraničí odstraňuje sirovodík z vína. Aj klasická oxidácia H_2S kyslíčnikom siričitým býva vo vinárskej praxi väčšinou úspešná. Treba však podčiarknúť, že prevencia sírky zostáva aj naďalej nejbezpečnejšou zárukou zdravotného stavu i kvality budúceho vína. Komplexnosť problému sírneho metabolismu kvasiniek však poukazuje na to, že sa tomuto problému bude treba venovať aj v budúcnosti.

Literatúra

- BANDURSKI, R. S., WILSON, L. G., SQUIRES, C. L.: The mechanism of „active sulfate“ formation. J. Am. Chem. Soc. **78**, 1956, s. 6908—6909.
- BERNSTEIN, S., Mc GILVERTY, R. W.: Substrate activation in the synthesis of phenyl sulfate. J. biol. chem. **199**, 1952, s. 745—748.
- DITTRICH, H. H.: Die Entstehung von „schwefel“ — bindenden und „schwefel“ — haltigen Hefe-Stoffwechselprodukten Allg. Dtsch. Weintz. 1973, č. 1—2, s. 37—42.
- DITTRICH, H. H., STAUDENMAYER, TH.: Über die Zusammenhänge zwischen der Sulfid-Bildung und der Schwefelwasserstoff-Bildung bei *Saccharomyces cerevisiae*. Zentralbl. Bakt. II. Abt. **124**, 1970, s. 113—123.
- ESCHENBRUCH, R.: Zur Substratabhängigkeit der H_2S -und SO_2 -Bildung bei *Saccharomyces cerevisiae*. Wein-Wiss. **27**, 1972a, s. 40—44.

- ESCHENBRUCH, R.: Sulphate uptake and sulphite formation related to the methionine and/or cysteine content of grape must during the fermentation by strains of *Saccharomyces cerevisiae*. Vitis **11**, 1972b, s. 222—227.
- MAYER, K., PAUSE, G.: Ueber die Bildung von schwefliger Säure und Schwefelwasserstoff während der Weingärung. Mitt. Lebensmitt. Unters. Hyg. **59**, 1968, s. 387—392.
- MINÁRIK, E.: Tvorba kyseliny siričitej redukcíou síranov počas kvasenia hroznového muštu. Kvas. prŕm. **18**, 1972, s. 104—107.
- MINÁRIK, E.: Redukcia sulfátu na sulfit u vinnych kvasiniek. Kvas. prŕm. **19**, 1973, s. 180—182.
- MINÁRIK, E.: Effect of sulphur amino acids in sulphite and sulphide formation by wine yeasts. Proc. 4th Int. Symp. Yeasts, B 20, s. 115, Vienna 1974.
- MINÁRIK, E., NAVARA, A.: Vplyv sírnych a minokyselin na využívanie sulfátu a tvorbu sulfitu a sulfidu u vinnych kvasiniek. Kvas. prŕm. **20**, 1974a, s. 15—17.
- MINÁRIK, E., NAVARA, A.: Effect of sulphate and sulphur amino acid levels on sulphite and sulphide formation by wine yeasts. Ann. Microbiol. Enzim. **24**, 1974b, s. 21—36.
- NEUBERG, C., GRAUER, A.: Biosynthese von Mercaptanen. Ztschr. Physiol. Chem. **289**, 1952, s. 253—256.
- RANKINE, B. C.: Nature, origin and prevention of hydrogen sulphide aroma in wines. J. Sc. Fd. Agric. **14**, 1963, s. 79—91.
- RANKINE, B. C.: Hydrogen sulfide production by yeasts. J. Sc. Fd. Agric. **15**, 1964, s. 872—877.
- SCHLOSSMANN, K., LYNEN, F.: Biosynthese des Cysteins aus Serin und Schwefelwasserstoff. Biochem. Ztschr. **328**, 1957, s. 591—594.
- VITO, DE P. C., DREYFUSS, J.: Metabolic regulation of adenosine triphosphate sulphurylase in yeast. J. Bacteriol. **88**, 1964, s. 1341—1346.
- WÜRDIG, G., SCHLOTTER, H.: SO_2 -Bildung durch Sulfatreduktion während der Gärung. I. Mitt. Versuche und Beobachtungen aus der Praxis. Wein-Wiss. **23**, 1968, s. 356—371.
- WÜRDIG, G., SCHLOTTER, H.: Über das Vorkommen SO_2 -bildender Hefen in natürlichen Hefegemischen des Traubenmostes. Dtsch. Lebensm. Rdsch. **67**, 1971, s. 86—91.

Minárik, E. - Navara, A.: K problému vzniku siričitanu a sirovodíka v mladých vínach. Kvas. prŕm. **22**, 1976, č. 10, s. 234—237.

V práci sa zhrňujú poznatky o tvorbe sulfitu a sulfidu počas kvasenia hroznového muštu činnosťou kvasiniek. Poukazuje sa na možné zdroje vzniku sirovodíka, ktorými býva sulfát, sulfit, cysteín a elementárna síra. Vznik H_2S z elementárnej síry prebieha redukčnými reakciami neenzymatickej povahy. Zo sulfátu a sulfitu sa H_2S tvorí kvasinkami ako konečný produkt enzymatických anorganických redukčných procesov, pomocou ktorých anorganická síra prechádza na organickú formu. Sirovodík sa na redukčnej dráhe sulfátu tvorí buď uvoľňovaním pri biosyntéze metionínu alebo cysteínu, alebo ako výsledok zablokovanej biosyntetickej reakcie. Z cysteínu sa sirovodík tvorí enzymatickou desulfhydráciou. Praktické aspekty vyplývajúce pre výrobu vína sa diskutujú.

Минарик, Э., Навара, А.: К проблематике образования сульфита и сероводорода в молодом вине. Квас. прѕм., **22**, 1976, № 10, стр. 234—237

В статье приведены новейшие результаты изучения механизма образования в сбраживаемом виноградном сусле сульфитов и сульфидов в результате деятельности дрожжей. Источниками сероводорода могут быть сульфат, сульфит, цистеин и элементарная сера. Элементарная сера превращается в сероводород вследствие восстановительных реакций не ферментативного характера. Из сульфата и сульфита в результате деятельности дрожжей получается сероводород, являющийся конечным продуктом ферментативных, неорганических восстановительных процессов, превращающих неорганическую серу в органическую. В ходе восстановления сульфита сероводород образуется путем освобождения в процессе биосинтеза метионина или цистеина, а также в результате биосинтетических реакций. Из цистеина сероводород получается как продукт десульфогидратации. Авторы дают винным заводом указания, как использовать на практике результаты исследовательских работ.

Minárik, E. - Navara, A.: The problem of sulphite and sulphide formation in young wines. Kvas. prům 22, 1976, No. 10, pp. 234—237.

Recent knowledge on sulphite and sulphide formation by yeasts during the fermentation of grape must is summarized. The potential sources of hydrogen sulphide formation including sulphate, sulphite, cysteine and elemental sulphur are pointed out. Hydrogen sulphide formation from elemental sulphur proceeds by non-enzymatic reduction. Hydrogen sulphide is formed from sulphate and sulphite by yeasts as an end product of enzymatic inorganic reduction processes by which inorganic sulphur may turn into organic form. Hydrogen sulphide is formed in the course of the reduction pathway of sulphate either by release during the biosynthesis of methionine and/or cysteine, or as the result of a blocked reaction of biosynthesis. Hydrogen sulphide is formed from cysteine by desulphhydration. Practical aspects for winemaking are shortly discussed.

Minárik, E. - Navara, A.: Zum Problem der Sulfit- und Schwefelwasserstoff-Bildung in Jungweinen. Kvas. prům. 22, 1976, No. 10, S. 234—237.

Bisherige Erkenntnisse über die Sulfit- und Sulfidbildung während der Mostgärung durch Hefen werden zusammengefasst. Es wird auf mögliche Ursachen der H_2S -Bildung, zu denen Sulfat, Sulfit, Cystein und elementarer Schwefel gehören, hingewiesen. Die H_2S -Bildung aus elementarem Schwefel verläuft durch Reduktionsreaktionen nichtenzymatischer Natur. Schwefelwasserstoff wird durch Hefen aus Sulfat und Sulfit als Endprodukt enzymatischer anorganischer Reduktionsprozesse gebildet, mit Hilfe welcher anorganischer Schwefel in organische Form übergeht. Schwefelwasserstoff wird auf dem Reduktionsweg des Sulfats entweder durch Freigabe bei der Biosynthese von Methionin bzw. Cystein, oder als Ergebniss einer blockierten biosynthetischen Reaktion, gebildet. Aus Cystein entsteht Schwefelwasserstoff durch Desulphhydratung. Praktische Aspekte, die sich aus diesen Betrachtungen für die Weinbereitung ergeben, werden erläutert.