

VYUŽITÍ ZEOLITŮ PŘI CHOVU RYB A JEJICH VLIV NA CHEMICKÉ A MIKROBIOLOGICKÉ ASPEKTY VODY

KATEŘINA SKLENIČKOVÁ^a, DAVID KOLOUŠEK^b, IVETA RUŽIČKOVÁ^a a EVA ŠVIRÁKOVÁ^c

^a Ústav technologie vody a prostředí, FTOP, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6, ^b Ústav chemie pevných látek, FCHT, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6, ^c Ústav konzervace potravin, FPBT, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6
eva.svirakova@vscht.cz

Došlo 13.8.19, přijato 12.11.19.

Rukopis byl zařazen k tisku v rámci placené služby urychleného publikování.

Klíčová slova: zeolity, chov ryb, recirkulační systémy vody, nitrifikační bakterie

Úvod

Zeolity jsou přírodní minerály, jež mají otevřenou hlinitokřemičitanovou strukturu s malými dutinami, ve kterých jsou umístěny kationty Me^+ (Na^+ , K^+) a Me^{2+} (např. Ca^{2+}) (cit.¹). Vnitřní apertury komunikují s povrchem těchto minerálů, a proto existují cesty pro výměny iontů a adsorpce jiných molekul². Mikroporézní hlinitokřemičitanový skelet zeolitů nese formální negativní náboj, díky němuž na sebe dokáže vázat kationty. Původně přítomné kationty mohou být vyměnitelné za jiné kationty přítomné v roztocích. Iontová výměna je široce používána v praxi, např. při změkčování vody nebo při odstraňování těžkých kovů z odpadních vod³. Mezi praktické aplikace zeolitů spadá jejich využití zejména v chemickém a potravinářském průmyslu, zemědělství a medicíně. V akvaristice se zeolity využívají při čištění akvarijních vod od kationtů NH_4^+ (cit.³). Běžná akvarijní ryba vyprodukuje 2,0–3,0 $\mu\text{g l}^{-1}$ N_{amon} za den (cit.⁴). Při této produkci N_{amon} několika rybami v akváriu se iontově výměnná kapacita bude pohybovat na úrovni desetin mikrogramů NH_4^+ na gram zeolitu. Důvodem nevýhody využití zeolitových filtrů v rybochovných systémech je poměrně rychlé nasycení iontově výměnné kapacity zeolitu, a proto musí docházet k neustálému převádění zeolitů do původního stavu (pomocí cyklu kationtů Na^+) (cit.⁵).

Toxicita N_{amon} v rybochovných vodách

Většina sladkovodních ryb vylučuje odpadní dusíkaté látky ve formě NH_4^+ , což představuje přibližně 90 % s tím, že zbývajících 10 % připadá na močovinu⁶. Zvýšené kon-

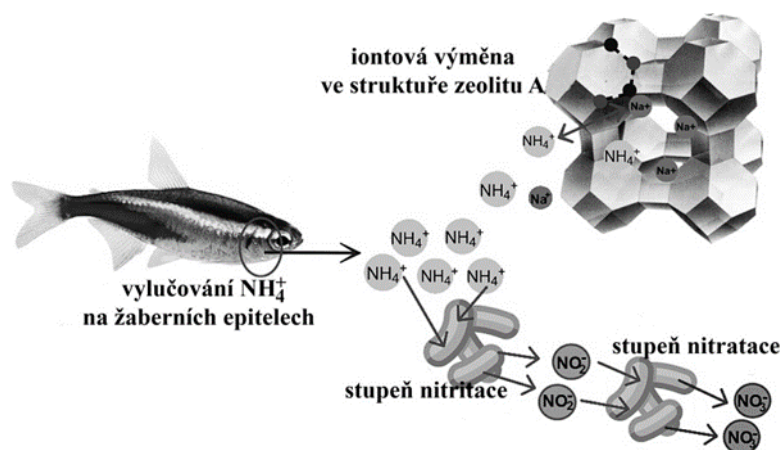
centrace amoniaku (NH_3) představují v podmínkách českých chovů ryb nejčastější příčinu poškození a úhynu ryb⁷. Prahová koncentrace nedisociované formy amoniakálního dusíku (N-NH_3) se pro většinu živočichů chovaných v akváriích pohybuje v rozmezí hodnot 0,3–1,0 mg l^{-1} při teplotě 15 °C (cit.⁸). Ve vodě se amoniakální dusík nachází jak ve formě nedisociované (NH_3), tak ve formě disociované (NH_4^+). Poměr nedisociované a disociované formy amoniakálního dusíku závisí na teplotě a pH vody⁹. Veškerá výměna amonného kationtu (NH_4^+) mezi vnitřním prostředím a okolní vodou probíhá u ryb přes žaberní epitel. Pro NH_4^+ je stěna žaberních buněk nepropustná, proto mohou tyto kationty přecházet z krve ryb do vnějšího prostředí pouze prostřednictvím iontové výměny¹⁰. Bohužel, nedisociovaný amoniak (NH_3) může přecházet skrze epitel bez procesu iontové výměny z vnějšího prostředí do krve a naopak. Pokud je hodnota pH vody neutrální až mírně zásaditá ($\text{pH} \leq 8$), nachází se většina N_{amon} v disociované formě¹¹. Nervová soustava vykazuje afinitu k amoniaku, proto se u ryb při zvýšení koncentrace formy NH_3 objevují nervové poruchy⁷.

Vliv nitrifikace při chovu ryb

Nitrifikace je důležitým procesem probíhajícím při chovu ryb, a to jak v podmínkách domácích akvárií, tak i v systémech komerčních akvakultur. V obou případech proces fyzicky probíhá ve filtrech¹². Během nitrifikace dochází k přeměně amoniakálního dusíku (NH_3 a NH_4^+) na dusitany (NO_2^-) a dusičnany (NO_3^-), které jsou považovány za relativně neškodné pro ryby, ovšem závisí to mimo jiné i na toleranci jednotlivých druhů a vývojových stádií ryb⁸. Nitrifikace je biochemický proces vykonávaný chemolitotrofními mikroorganismy, které se dělí na nitrifikační bakterie (jež oxidují amoniakální dusík N_{amon} na anionty NO_2^-) a nitratační bakterie (jež oxidují anionty NO_2^- na NO_3^-). Nitrifikační bakterie jsou taxonomicky řazeny do čeledi Nitrosomonadaceae¹². Na evropském trhu existuje mnoho komerčních preparátů na bázi nitrifikačních bakterií, které jsou akvaristy využívány pro jejich schopnost odbourávat amoniakální dusík, který je vylučován rybami. Pro dobrý růst nitrifikačních bakterií je nutno udržovat teplotu vody v akváriu v rozmezí 20–25 °C a pH v rozmezí hodnot 6,0–8,5 (cit.¹³).

Aplikace přírodních zeolitů při chovu ryb

Schopnost mordenitu snižovat obsah NH_4^+ ve vodě byla testována v akváriích o objemu vody 20 litrů. Voda o přibližné koncentraci NH_4^+ 3,0 mg l^{-1} byla promíchávána cirkulací vody přes filtr. Konkrétní zeolitový materiál z vody odstraňoval pouze 0,3 mg l^{-1} NH_4^+ (cit.¹⁴). Jiná publikovaná data potvrdila, že zeolitové filtry účinněji odstraňovaly NH_4^+ z vody zejména, pokud byl průtok vody filtrem pomalý¹⁵. Zeolity by mohly být také přidávány přímo do krmiva pro ryby¹⁶. Zmiňuje se o tom studie Khodanazary a spol., která potvrdila, že přídavek zeolitů do krmiv zlepšoval využití živin a podporoval růst ryb¹⁷. Další odborná studie poukázala na vliv zeolitů z hlediska roz-



Obr. 1. Kompetice o NH_4^+ , uskutečňovaná mezi zeolitem a nitrifikačními bakteriemi, probíhající ve filtru v systému laboratorního akvária (přepřacováno podle cit.¹⁴)

voje nitrifikačních bakterií. Při experimentech byla stanovována koncentrace NH_4^+ v uzavřeném systému kapřích farem, s následným využitím odpadních vod v zemědělství, a to při jejich konkrétní aplikaci na pole s vojtěškou se zjištěním její vyšší výtěžnosti. Výsledky této studie ukázaly, že použití zeolitových materiálů a nitrifikačních bakterií významně snižovalo hladiny NH_4^+ (cit.¹⁸). Ve filtru docházelo ke kompetici o NH_4^+ , a to mezi nitrifikačními bakteriemi a zeolitem ve formě náplně do akvarijního filtru, jak je znázorněno na obr. 1 (cit.¹⁴).

Experimentální část

Měření kinetiky sorpce NH_4^+ u zeolitových materiálů

Kinetika iontové výměny NH_4^+ u čtyř testovaných preparátů byla měřena tak, že do roztoku NH_4Cl (200 ml) o přibližné koncentraci $60,0 \text{ mg l}^{-1} \text{ N}_{\text{amon}}$ byl přidán testovaný zeolitový materiál (0,2 g). Suspenze byla intenzivně míchána po dobu 30 min a následně zfiltrována přes papírový filtr o porozitě $0,45 \mu\text{m}$ (Munktell & Filtrak GmbH, DEU); ve filtrátu byla určena Nesslerovou metodou zbytková koncentrace N_{amon} (cit.¹⁹).

Inokulace akvária rybami a příprava filtru

Týden před umístěním rybí populace do akvária musela být akvarijní voda inokulována nitrifikačními bakteriemi. Každý den bylo do akvária o objemu 150 l vody přiléváno 15 ml preparátu Nitridac (Product International, ITA). Zeolitové náplně (215,0–220,0 g) byly vloženy do silonového obalu a první komory filtru (viz obr. 2). Do druhé komory filtru byl umístěn molitan jakožto nosič pro nitrifikační bakterie. Každý zeolitový preparát byl testován po dobu 1 týdne. Po ukončení cyklu byla v akváriu vyměněna polovina používaného objemu vody. Vždy po 24 h

byly z akvarijní vody odebírány vzorky vody pro analýzy koncentrace N_{amon} , NO_3^- a pH. Po ukončení jednotýdenního pokusu byl filtr vyjmut a vzorky pro molekulárně biologickou analýzu FISH byly odebírány z jeho následujících částí: z části silonového nosiče (kterým byl obalen zeolitový materiál) a molitanového nosiče (který nebyl po dobu experimentu z filtru vyměňován). Důvodem ponechání molitanového nosiče byla skutečnost, že nitrifikační bakterie potřebovaly pro svůj rozvoj a adaptaci přibližně 14 dnů. Z každého vysušeného zeolitového materiálu byl odebrán 1 g, u kterého byla zjišťována koncentrace kationtů N_{amon} při zpětné iontové výměně (v cyklu Na^+). Zpětná iontová výměna probíhala v intenzivně promíchávaném 3M roztoku NaCl (zahřátém na teplotu 60°C po dobu 30 min). Koncentrace N_{amon} byla zjišťována z filtrátu prostřednictvím Nesslerovy spektrofotometrické metody¹⁹.



Obr. 2. Dvoukomorový filtr RP-600 s molitanovým filtrem (nacházející se v levé části obrázku) s konkrétním zeolitem umístěným v silonovém obalu

Identifikace nitrifikačních bakterií metodou FISH

Metoda FISH, tj. fluorescenční *in situ* hybridizace, je metoda principem cílená na ribozomy, konkrétně na jejich podjednotky 16S rRNA. Jelikož se v každé prokaryotické buňce nachází větší množství ribozomů, může být posléze dosaženo viditelného signálu fluorescenčním barvivem, kterým jsou označeny genové sondy, které byly komerčně syntetizovány dle publikované studie Nielsen a spol.²⁰

Výsledky a diskuse

Stanovení difrakčních charakteristik zeolitových materiálů

Pro účely experimentu byly vybrány čtyři typy zeolitových materiálů. Analýza XRD poskytla data o přibližném mineralogickém složení jednotlivých preparátů. Konkrétní difrakční záznamy byly získány z práškového rentgenového difraktometru D2 Phaser (Brucker, USA). Difrakční záznam geopolymerního zeolitu A potvrdil přítomnost zeolitu A a křemene, které se vyskytovaly v majoritním zastoupení. V minoritní fázi se ve vzorku také nacházely hydroxysodalit, muskovit (illit) a amorfní složka. Geopolymerní zeolit A byl připraven smícháním hlinitanu sodného (s vhodným poměrem $\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3$) s destilovanou vodou a Smeta-kaolinem (Sedlecký kaolin a.s., CZE). Zahříváním této směsi při teplotě 95 °C byl urychlen proces krystalizace zeolitu A. Difrakční záznam pro zeolitový materiál Klinomangan (Geoproduct Kft., HUN) charakterizoval obsah křemene, draselného živce (sanidinu) a zeolitu klinoptilolitu.

Z difrakčního záznamu pro materiál BBC (Geoproduct Kft., HUN) bylo určeno, že se preparát skládal z křemene, zeolitu klinoptilolitu a draselného živce (sanidinu).

Záznam analýzy XRD posledního testovaného materiálu MHZ (Geoproduct Kft., HUN) v něm objasnil výskyt zeolitu mordenitu a draselného živce.

Zrychlené testy iontové výměny NH_4^+ u testovaných zeolitových materiálů

Během chemicko-fyzikálních experimentů byly testovány následující čtyři zeolitové materiály: geopolymerní zeolit A, MHZ, BBC a Klinomangan. V první fázi experimentů byla testována účinnost zeolitů při zachytu N_{amon} . Z tohoto důvodu byly provedeny zrychlené testy iontové výměny v destilované vodě; do vody (200 ml) byl při laboratorní teplotě přidán zeolitový materiál (cca 0,2 g). Nejvyšší účinnost iontové výměny vykázal geopolymerní zeolit A. Po 0,5h kontaktu se snížila původní koncentrace N_{amon} ($61,7 \text{ mg l}^{-1}$) téměř na polovinu (viz tab. I). Nejnižší účinnost, která byla zjištěna za stejných experimentálních podmínek, vykázal preparát Klinomangan obsahující nejnížší podíl účinné zeolitové složky.

Testování zeolitových materiálů při chovu ryb

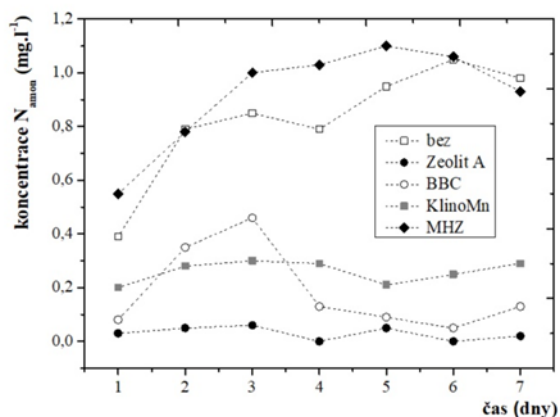
V akváriu (o objemu vody 150 l), osázeném 250 kusy akvarijních ryb druhu neonka obecná (*Paracheirodon innesi*), byly sledovány základní parametry, mezi které patřily především pH a koncentrace N_{amon} (viz obr. 3), a také NO_3^- (koncentrace byly stanovovány pomocí testovací soupravy Spectroquant[®], Merck, DEU).

Každý z konkrétních testovaných zeolitových preparátů, který byl umístěn do akvarijního filtru, udržoval hladinu koncentrace N_{amon} v rozmezí 0,05–1,10 mg l^{-1} . Ovšem, geopolymerní zeolit A snižoval koncentrace N_{amon} nejvíce, a to až do takové míry, že během 4. a 6. dne experimentu koncentrace dosáhly hodnot pod mez detekce. Nevýhodou při použití geopolymerního zeolitu A jako náplně do filtru byl vzestup pH akvarijní vody, které bylo následně pro život ryb méně vhodné. U preparátu MHZ bylo překvapivé, že koncentrace N_{amon} byly vyšší než za situace, kdy filtr obsahoval pouze molitanový nosič. Jedním z vysvětlení vyšších koncentrací N_{amon} při aplikaci zeolitu je, že se na molitanovém nosiči nenacházelo predikované množství biomasy nitrifikačních bakterií. Důvodem byl fakt, že se tyto bakterie začaly rozmnožovat teprve poté, kdy do akvarijního systému byly přeneseny prostřednictvím ryb – konkrétně na jejich povrchích. Literární studie Motesharezadeh a spol.¹² se zabývala problematikou měření závislosti kinetiky iontové výměny kationtů NH_4^+ za pomalého průtoku akvarijní vody filtrem. Testované

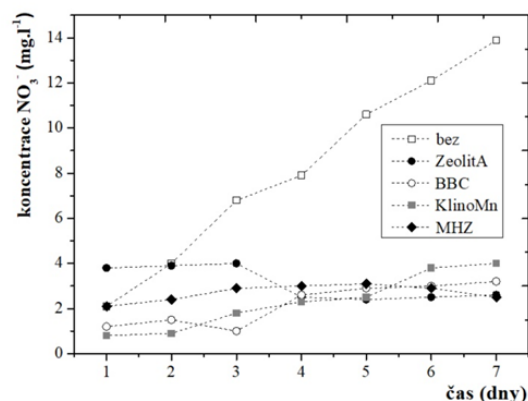
Tabulka I

Přehled zbytkových koncentrací N_{amon} v roztocích NH_4Cl po 30 min kontaktu s konkrétními zeolitovými materiály a množství NH_4^+ , které bylo vyměněno do struktury zeolitů

Označení zeolitového preparátu	Navážka zeolitového preparátu [g]	Zbytková koncentrace N_{amon} ve filtrátu [mg l^{-1}]	Množství sorbovaného N_{amon} [mg g^{-1}]	Miliekvivalent [meq g^{-1}]
MHZ	0,2	42,8	18,9	1,0
BBC	0,2	53,3	8,3	0,5
KlinoMn	0,2	51,1	10,5	0,4
Zeolit A	0,2	35,0	26,7	1,4



Obr. 3. Koncentrace N_{amon} , které vznikly činností akvarijních ryb v průběhu 7 denního experimentu



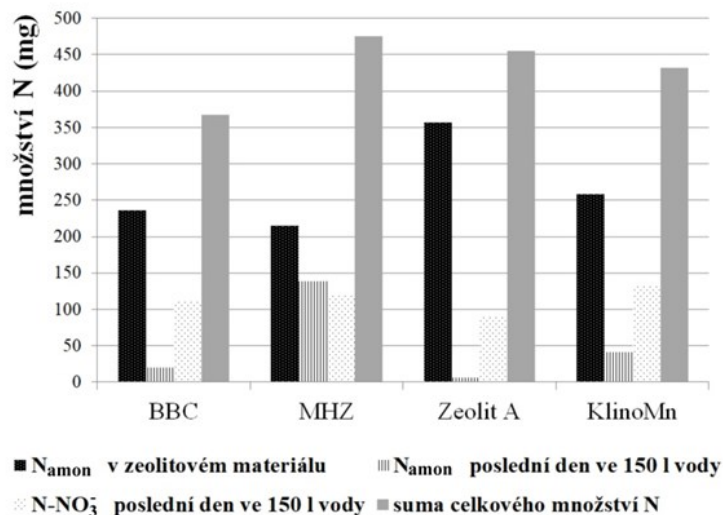
Obr. 4. Koncentrace aniontů NO_3^- , které vznikly činností nitrifikačních bakterií v průběhu 7 denního experimentu

filtry se zeolitovou náplní v této studii byly schopné iontové výměny kationtů NH_4^+ i při rychlejších průtocích akvarijní vody filtrem (průtok vody až 300 l h^{-1}). Při záchytu NH_4^+ dvoukomorovým filtrem mohly hrát svou roli nitrifikační bakterie, a proto mohl být zvýšen účinek filtru.

Počáteční koncentrace aniontů NO_3^- v přítokové vodě v akváriu (přiváděné z vodovodního řadu) byla $12,4 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3^-$; tato hodnota byla odečtena od dalších naměřených koncentrací NO_3^- z důvodu větší přehlednosti. V akvarijním systému bez použití filtru vzrůstaly koncentrace NO_3^- rychleji, a to při každém odběru vzorku vody o téměř $2,0 \text{ mg l}^{-1}$. Při použití filtru s náplní různých zeolitových materiálů došlo ke kompetici o kationty NH_4^+ mezi zeolitem a nitrifikačními bakteriemi. Tento účinek se hlav-

ně projevil při aplikaci geopolymerního zeolitu A do filtru. V tomto případě došlo po třetím dnu prováděného experimentu k poklesu koncentrace aniontů NO_3^- . Příčinou snížení koncentrace NO_3^- byla výměna poloviny objemu vody v akváriu, protože pH převyšovalo hodnotu 8,0, která už by mohla být nebezpečná pro zdraví ryb (viz obr. 4).

Nejnižší celkový obsah kationtů N_{amon} byl zjištěn ve struktuře Klinomanganu ($258,0 \text{ mg } N_{\text{amon}}$) a naopak nejvyšší u geopolymerního zeolitu A ($357,2 \text{ mg } N_{\text{amon}}$). Uvedená hodnota celkového obsahu N_{amon} v geopolymerním zeolitu A neodpovídala sumární koncentraci stanovené v akvarijní vodě. Celkový průběh experimentu byl komplikován okolností, že během třetího dne byla z nutnosti, kvůli zvyšování pH vody, vyměněna polovina objemu



Obr. 5. Grafické znázornění bilance dusíku v systému laboratorního akvária s filtrem plněným různými tektosilikáty (BBC, MHZ, geopolymerním zeolitem A a Klinomanganem)

vody akvária (cca 75 l). Zjištěná hodnota pH se pohybovala na hranici hodnoty pH 8,0, při které by mohlo dojít k tvorbě toxické nedisociované formy NH_3 . Během měření docházelo rovněž k úniku jemných částic geopolymerního zeolitu A do akvarijní vody, díky čemuž došlo k jejímu zátaku. Kinetika iontové výměny kationtů NH_4^+ na jemných částicích zeolitu A mohla být výrazně rychlejší, než tomu bylo v celém objemu filtru. To znamená, že i tento efekt přispěl k vyšší iontové výměnné kapacitě tohoto materiálu. Při výměnách vody nebyl obsah kationtů NH_4^+ v jemné frakci zohledněn. Z celkové bilance obsahu N forem jak ve vodě akvária, tak v zeolitových materiálech vyplynulo, že celkové množství N se pohybovalo v rozmezí hodnot 367,0–475,5 mg dusíku (viz obr. 5). Pokud by geopolymerní zeolit A nezvyšoval pH vody, pak by pravděpodobně vykazoval nejlepší výsledky sorpce N_{amon} . Geopolymerní zeolit A tedy v největší míře odebíral nitrifikačními bakteriemi N_{amon} .

Identifikace nitrifikačních bakterií metodou FISH

U preparátu Nitridac (Product International, ITA), určeného pro inokulaci biologických filtrů akvárií před osídlením akvárií rybí populací, deklaroval jeho výrobce obsah nitrifikačních bakterií ve vysokém množství, a to $4,0 \cdot 10^7$ buněk v 1 ml preparátu. Preparát byl do laboratorního akvária před našimi experimenty dle instrukcí výrobce přidáván každý den, a to po dobu 7 dnů, ještě před osídlením akvarijními rybami. Bohužel, nitrifikační bakterie nebyly z vody akvária po 7 inokulačních dnech identifikovány s využitím molekulárně biologické metody FISH. Jedním z vysvětlení může být fakt, že preparát Nitridac neobsahoval tak vysoké množství nitrifikačních bakterií, jaké jeho výrobce deklaroval. Ovšem, v době po osazení akvária rybami bylo možno nitrifikační bakterie v dvoukomorovém filtru identifikovat (opět za pomoci metody FISH); majoritně zde byly zastoupeny β -proteobakterie oxidující amoniak. Bakterie rodů *Nitrospira* a *Nitrobacter*, které se běžně v akvarijních vodách vyskytují, nebyly v našich testovaných vzorcích akvarijní vody zjištěny s použitím specifických sond FISH.

Závěr

Výsledky z uskutečněných experimentů představují originální výsledky získané v laboratorním systému akvária, jehož voda byla primárně inokulována nitrifikačními bakteriemi a sekundárně osídlena populací akvarijních ryb druhu neonka obecná (*Paracheirodon innesi*). Do takto designovaného akvária byl implementován dvoukomorový filtr, kde v první komoře byl umístěn molitanový nosič biomasy a druhá komora byla postupně plněna čtyřmi různými zeolitovými preparáty (přírodními zeolity: BBC, MHZ, Klinomanganem a syntetickým geopolymerním zeolitem A). Ve filtru s náplní různých zeolitů docházelo k reálnému „soutěžení“ o kationty NH_4^+ , a to mezi konkrétním zeolitem a nitrifikačními bakteriemi. Nejlepší výsledky z hlediska kinetiky iontové výměny kationtů

NH_4^+ vykazoval geopolymerní zeolit A; po 7 dnech působení byla zjištěna koncentrace sorbovaného kationtu NH_4^+ o hodnotě $357,2 \text{ mg l}^{-1}$. Nicméně, syntetický zeolit nevytvářel pro ryby optimální životní podmínky z důvodu postupně se zvyšujícího pH, byť bylo mírně nad hodnotou 8,0. Z experimentů vyplynulo, že nevhodnějším preparátem pro plnění druhé komory filtru byl materiál Klinomangan. Ten totiž udržoval velmi nízké hladiny N_{amon} , přispíval ke stabilnímu pH vody a udržoval ji čistou bez zátaku. Klinomangan se dá tedy považovat za optimální zeolitovou náplň do filtrů používaných v akvaristice. Při aplikacích jednotlivých zeolitových materiálů do filtrů bylo zjištěováno, že přítomné nitrifikační bakterie v biologickém filtru (molitanovém nosiči) disponovaly daleko nižší koncentrací kationtů N_{amon} při svých biochemických procesech, což se projevilo méně intenzivním nárůstem jejich populace. V biologickém filtru byly stanoveny v majoritním množství β -proteobakterie oxidující amoniak, identifikované molekulárně biologickou metodou FISH, která poskytla průkazné kvalitativní výsledky. Bakterie rodů *Nitrospira* a *Nitrobacter*, představující v akváriích často se vyskytující populaci nitrifikačních bakterií, nebyly však ve vzorcích z filtru zjištěny. Výsledky získané z této práce mohou být aplikovány do sfér různých oblastí průmyslu či zemědělství, včetně oblasti ochrany životního prostředí. Přírodní i syntetické zeolity je možno vhodně aplikovat zejména tam, kde nedochází k účinnému biologickému čištění vod či průmyslových tekutin, čehož se využívá např. v potravinářském průmyslu při výrobě nealkoholických i alkoholických nápojů.

Tato práce byla podpořena Ministerstvem zemědělství, Národní agenturou pro zemědělský výzkum, projektem QK1710156 (02/2017–12/2021, MZE/OK), v programu "ZEMĚ" (2017–2025).

Seznam zkratk

BBC	Bear Blanked Clinoptilolite
FISH	fluoresceční <i>in situ</i> hybridizace
KlinoMn	Klinomangan
MHZ	Mordenit Harsh Zeolite
N_{amon}	amoniakální dusík (N-NH_4^+ a N-NH_3)
XRD	prášková rentgenová difrakce
RNA	ribonukleová kyselina

LITERATURA

- Greenwood N., Earnshaw A., v knize: *Chemie Prvků I*; (Jursík F., ed.), kap. 9. Informatorium, Praha 1993.
- Miesel S. L., McCulloch J. P., Leachthaler C. H., Weisz P. B.: *J. Catal.* 83 (2), 480 (1983).
- Mumpton F. A.: *Proceeding Natl. Acad. Sci. United States Am.* 96, 3463 (1999).
- Hoar W. S., Randall D. J., Brett J. R., v knize: *Fish Physiology*, 1. vyd., str. 117. Academic Press, New York 1979.
- Silapajarn O., Silapajarn K., Claude E. B.: *J. World Aquac. Soc.* 37, 136 (2006).

6. Auerbach S. M., Carrado K. A., Dutta P. K., v knize: *Handbook of Zeolite Science and Technology*, 1. vyd., str. 65. CRC Press Taylor & Francis Group USA, New York 2003.
7. Svobodová Z., v knize: *Veterinární Toxikologie v Klinické Praxi* (Svobodová Z., ed.), kap. 14. Profi Press, Praha 2008.
8. Smutná M., Vorlová L., Svobodová Z.: *Acta Vet. Brno* 71, 169 (2002).
9. Pitter P., v knize: *Hydrochemie*, 5. vyd., kap. 4. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2015.
10. Wilkie M. P., Wood C. M.: *Comp. Biochem. Physiol.* 113, 665 (1996).
11. Evans D. H., Piermarini P. M., Potts W. T. W.: *J. Exp. Zool.* 652, 641 (1999).
12. Moteszarezaee B., Arasteh A., Pourbabaee A. A., Rafiee G. R.: *Int. J. Environ. Res.* 9, 553 (2015).
13. *Nitridac preparát*: <http://www.prodacinternational.it/en-us/batteri-gb-asia/biological-activator/nitridac.html>, staženo 12. 8. 2019.
14. Ghasemi Z., Sourinejad I., Kazemian H., Rohani S.: *Rev. Aquac.* 10, 75 (2016).
15. Rhodes C. J.: *R. Soc. Chem.* 103, 287 (2007).
16. Edsall D. A., Smith C. E.: *J. Prog. Fish-Cult.* 51, 98 (1989).
17. Khodanazary A., Boldaji F., Tatar A., Dastar B.: *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.* 13, 495 (2013).
18. Zhou L., Boyd C. E.: *Aquaculture* 432, 252 (2014).
19. Horáková M., Lischke P., Grünwald A., v knize: *Chemické a fyzikální metody analýzy vod*, str. 144. SNTL Praha, Praha 1989.
20. Nielsen P. H., Daims H., Lemmer H.: *FISH Handbook for Biological Wastewater Treatment: Identification and Quantification of Microorganisms in Activated Sludge and Biofilms by FISH*. IWA Publishing Company, London 2009.

K. Skleničková^a, D. Koloušek^b, I. Růžičková^a, and E. Šviráková^c (^a *University of Chemistry and Technology Prague, Faculty of Environmental Technology, Department of the Water Technology and Environmental Engineering, Prague*, ^b *University of Chemistry and Technology, Faculty of Chemical Technology, Department of Solid State Chemistry, Prague*, ^c *University of Chemistry and Technology, Faculty of Food and Biochemical Technology, Department of Food Preservation, Prague*): **Using Zeolites in Fish Breeding and Their Influence on Chemical and Microbiological Aspects of Water**

The sustainability of water quality in fish farming is a global problem, especially in terms of the content of ammonium ions naturally produced by fish. The production of ammonium ions is unfavourable for the fish population kept in tanks and requires frequent water exchange. The aim of this work is to minimize the concentration of ammonium ions in water by the application of zeolite filters, thereby reducing the operating costs mainly due to lower water consumption. Four zeolite materials (BBC, MHZ, Clinomanganese and the geopolymeric zeolite A) were tested with respect to their ammonium cations exchange kinetics. Each of the sorbents was individually put into the inner filter, through which aquarium water was circulated in weekly cycles. None of these natural materials had any negative effect on the fish life. The synthetic geopolymeric zeolite A had a negative effect because it slightly increased pH in aquarium water; this phenomenon occurred due to the ion exchange of sodium cations. Of all tested materials, Clinomanganese proved to be the most suitable material. This sorbent can therefore be used for long-term filtration of aquarium water. The effect of bacteria present in the laboratory biological aquarium system was not insignificant, as they contributed to decrease the ammoniacal nitrogen concentration. β -proteobacteria able to oxidize ammonium were found to be main bacterial representatives in the tested samples.

Keywords: zeolites, fish breeding, water recirculating systems, nitrifying bacteria

Acknowledgements

This work was supported by the Ministry of Agriculture, by the National Agency for Agriculture Research, by the project QK1710156 (02/2017–12/2021, MZE/OK), in the programme 'ZEME' (2017–2025).