

Slaná voda, bílkoviny a pražský rodák Franz Hofmeister

Voda se často nazývá životodárnou kapalinou nebo „matricí“ pro život [1]. Tento termín poprvé použil nositel Nobelovy ceny za fyziologii a medicínu z r. 1937 Albert Szent-Györgii. Tomu samému badateli je ale také přisuzován výrok „V příliš čisté vodě ryby nežijí,“ který odkazuje na skutečnost, že životní procesy se neodehrávají v sladké, ale ve slané vodě. Poeticky řečeno si v tělních tekutinách neseme vzpomínku na počátky života na Zemi v mořích, i když nikdo přesně neví, zda život opravdu v moři vznikl a jak bylo před více než třemi miliardami slané. Faktem ale zůstává, že fyziologické podmínky, odpovídající zhruba 150 mM solnému roztoku (což je asi třetinová slanost oproti současným mořím), jsou podmínkou fungování většiny živých organizmů. Výjimku tvoří například halofilní bakterie, které k životu potřebují zvýšený obsah soli a dokáží tak přežít i v téměř nasycených roztocích v solných jezerech. Dalším pozoruhodným faktem je, že slanost krve a dalších tělních tekutin je dána zejména chloridem sodným (tedy obyčejnou kuchyňskou solí), zatímco uvnitř buněk je prakticky veškerý sodík vyměněn za draslík. Na udržení této nerovnováhy pracují v buněčné membráně selektivní iontové pumpy, na jejichž pohon pomocí adenosintrifosfátu (ATP) spálíme asi třetinu veškeré dostupné energie.

Prvním badatelem, který se začal systematicky zabývat vlivem solí na bílkoviny byl slavný pražského rodák, Němec Franz Hofmeister (1850-1922). Profesor Hofmeister působil koncem 19. stol. na německé části pražské univerzity, kde se v roce 1885 stal řádným profesorem a později i děkanem lékařské fakulty. V roce 1896 pak přijal profesorské místo na Štrasburské univerzitě a stal se spolu s Emilem Fisherem spoluobjevitelem peptidické vazby, kterou se k sobě pojí aminokyseliny v bílkovinách. Během svého pražského působení provedl se svými spolupracovníky sérii převratných pokusů zaměřených na vysolování bílkovin. Konceptně šlo o jednoduchý experiment, kdy do vyčištěného vaječného bílku přidával definované množství dané soli, až se roztok zakalil, což signalizovalo precipitaci bílkovin. Hofmeisterovou silnou stránkou byla jeho systematická, díky níž prozkoumal celou řadu solí a zjistil, že jsou v jejich vysolovací schopnosti dramatické rozdíly. Síranové soli například velmi dobře vysolují bílkoviny, zatímco kupříkladu dusičnany jsou naopak neefektivní a kuchyňská sůl se nachází někde uprostřed mezi těmito extrémy. Navíc měl Franz Hofmeister geniální nápad zkoumat sérii aniontů se společným kationtem a naopak, čímž dokázal separovat vliv aniontů a kationtů na bílkoviny. A to prakticky ve stejné době, kdy Swante

Arrhenius teprve zjišťoval, že soli se ve vodě rozkládají na kationty a anionty. Výsledkem jeho práce je tzv. lyotropní (dnes Hofmeisterovu) řada iontů, srovnaná podle jejich schopnosti vysolovat bílkoviny z vodného roztoku [2,3].

Purifikace bílkovin z roztoku pomocí vysolování je dnes, kdy máme k dispozici mnohem sofistikovanější techniky, více méně historickou záležitostí. Stejně by to bylo i s Hofmeisterovou řadou, kdyby se ovšem postupně neukázalo, že se uplatňuje v mnoha dalších biologických, chemických a fyzikálních procesech ve vodných roztocích. Experimenty prokázaly, že vliv iontů solí se řídí Hofmeisterovou řadou pro široké spektrum procesů, jako je denaturace bílkovin, aktivita enzymů, krystalizace bílkovin, iontová výměna, povrchové napětí roztoků a další. Přesto dodnes neexistuje molekulový model, který by ji plně vysvětlil. Biochemici a fyzikální chemici často používají Hofmeisterovu řadu jako “zaklínadlo” k označení specifického chování iontů, bez hlubší snahy pochopit její podstatu a tedy bez schopnosti předpovídat specifické iontové efekty. To je nejlépe vidět v ne zcela výjimečných případech, kdy se pozorovaný jev Hofmeisterovou řadou neřídí, popřípadě se ionty solí řadí obráceně. Vědci pak hovoří o nemonotónní nebo inverzní Hofmeisterově řadě, i když by bylo asi férovější říci, že danému jevu ještě pořádně nerozumíme.

S rozvojem nových experimentálních a výpočetních technik, umožňujících studovat interakce iontů solí s biomolekulami ve vodě na molekulové úrovni, lze v současné době pozorovat obnovený zájem o Hofmeistera a jeho výzkum. Někdy se proto dokonce hovoří o Hofmeisterovské renesanci [4]. V r. 2004 zorganizoval profesor Werner Kunz v Řezně první moderní konferenci o Hofmeisterově řadě a v témže roce také vyšlo zvláštní číslo časopisu *Current Opinion in Colloid and Interface Science* s titulem „Hofmeisterův fenomén“ [5]. V jeho rodišti a působišti, tj. v Praze, však byly donedávna dílo a památka tohoto světoznámého pražského rodáka zanedbávány. Abychom tuto situaci napravili, zorganizovali jsme v pražské Lannově vile s kolegy z univerzity v Řezně v říjnu 2010 mezinárodní vědecké symposium k 160. výročí narození tohoto slavného vědce s názvem Hofmeisterfest. Během této konference byla také na budově 1. Lékařské fakulty UK, kde Franz Hofmeister prováděl své experimenty s vysolováním bílkovin, odhalena dvojjazyčná pamětní deska (viz Obr. 1), obsahující mimo jiné původně navrženou Hofmeisterovu řadu iontů. Na jednu stranu se mi zdá, že z pamětní desky na nás Franz Hofmeister shlíží potěšen, neboť problematika, kterou otevřel, je stále aktuální. Na druhou stranu vypadá pobaven tím, že jsme stále ještě nedokázali zcela objasnit fyzikální podstatu Hofmeisterovy řady iontů. Z průběhu loňské konference a z přednášek na ní vyslovených vyplývá, že se pochopení specifických iontových efektů blížíme a že vysvětlení úzce souvisí s rozpouštěním iontů ve vodě, s jejich přímou interakcí s

bílkovinami a s iontovým párováním v roztoku. Ukazuje se nakonec, že samotná Hofmeisterova řada je určitým (byť takřka geniálním) zjednodušením, a že výjimky z její platnosti poukazují na komplexní charakter těchto interakcí, které si Franz Hofmeister koncem 19. století mohl představovat jen v hrubých obrysech.

Pavel Jungwirth

Literatura:

- [1] Szent-Gyorgyi, A. v *Cell-Associated Water*; Drost-Hansen, W, Clegg, J. S., Eds.; Academic Press: New York, 1979.
- [2] F. Hofmeister, Arch. Exp. Pathol. Phatrmakol (Leipzig) 1888, 24, 247.
- [3] W. Kunz, J. Henle, B. W. Ninham, Current Oppinion Colloid Interface Sci. 2004, 9, 19.
- [4] E. K. Wilson, Chemistry & Engineering News 2007, 85, 47.
- [5] W. Kunz, P. Lo Nostro, B. W. Ninham, Current Oppinion Colloid Interface Sci. 2004, 9, 1.

Obr. 1: Hofmeisterova pamětní deska, odhalená 14. 10. 2010 na budově 1. LF UK v ulici U nemocnice 2 v Praze 2. Desku podle návrhu akad. sochaře Milana Knoblocha odlil Oldřich Hejtmánek se spolupracovníky (foto Karel Meister).

