

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Výskyt *Aeromonas hydrophila* v potravinách živočišného
původu**

Bakalářská práce

**Kateřina Olexová
Výživa a potraviny**

Ing. Hana Šubrtová Salmonová, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Výskyt *Aeromonas hydrophila* v potravinách živočišného původu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3. 5. 2021

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala mé vedoucí bakalářské práce Ing. Haně Šubrtové Salmonové, Ph.D. za poskytnutí materiálů, trpělivost a rady, jež mi při vypracování této práce velmi pomohly. Také bych chtěla poděkovat své rodině a přáteli, kteří mi po celou dobu studia poskytovali oporu.

Výskyt *Aeromonas hydrophila* v potravinách živočišného původu

Souhrn

Aeromonas hydrophila je gramnegativní bakterie, která se běžně vyskytuje ve vodním prostředí. Tato bakterie není indikátorem fekálního znečištění, i přesto se však vyskytuje v odpadních a znečištěných vodách. Odtud se může dostávat do půdy a dále pak na rostliny. Bakterie *A. hydrophila* se mohou podobným způsobem dostávat také do rostlinných produktů (např. do krmiv či do potravin rostlinného původu). Přenosem kontaminovanou vodou, půdou, rostlinami či krmivem se také dostávají do trávicího traktu živočichů. Skrze infikovaná zvířata se mohou šířit do potravin živočišného původu a způsobovat alimentární otravy. Taková onemocnění však nejsou příliš častá. U zdravých osob způsobuje *A. hydrophila* gastroenteritidu, kožní infekce a infekce měkkých tkání. U pacientů s oslabenou imunitou může tato bakterie způsobovat meningitidu, peritonitidu, septikemii, hemolyticko-uremický syndrom a další invazivní infekce. Výskyt nemocí, které jsou způsobené bakterií *Aeromonas hydrophila*, může souviset se špatnými hygienickými návyky v rozvojových zemích, které jsou v Africe, Asii nebo Jižní Americe. Během posledních padesáti let došlo ke zvýšení produkce ryb v celosvětovém měřítku. Tento trend byl zapříčiněn nárůstem populace a rozsáhlým rozvojem chovu ryb. *A. hydrophila* u ryb je jednou z nejčastějších příčin onemocnění a kontaminovány jsou pak i rybí produkty. Intenzivní chov ryb je doprovázen velkým množstvím bakteriálních onemocnění, což má za následek zvýšené používání antimikrobiálních léků. Používání antibiotik přispívá k rozvoji bakterií (včetně *A. hydrophila*), které jsou rezistentní na velké množství antibiotik, a léčba případných infekcí tak může způsobovat nepříjemné komplikace.

Klíčová slova: bakteriální gastroenteritidy, cytotoxický enterotoxin, mikrobiální kontaminace potravin, psychrofilní bakterie, *Enterobacteriaceae*

Occurance of *Aeromonas hydrophila* in food of animal origin

Summary

Aeromonas hydrophila is a Gram-negative bacterium which commonly occurs in the aquatic environment. Even though this bacterium is not an indicator of faecal contamination, it occurs in wastewater and polluted water. From there, the bacteria can be spread into the soil and subsequently on plants. Similarly, *A. hydrophila* can be transmitted to plant products, for example to feed or foods of plant origin. The bacteria can be also transferred into the digestive system of animals through contaminated water, soil, plants, or feed. From the infected animals these bacteria can contaminate foods of animal origin and cause foodborne illnesses. However, these diseases are not very common. In healthy individuals, *A. hydrophila* causes gastroenteritis, skin infections and soft tissue infections. In immunocompromised patients, this bacterium can cause meningitis, peritonitis, septicemia, hemolytic-uraemic syndrome, and other invasive infections. The incidence of diseases caused by *Aeromonas hydrophila* may be related to the poor hygiene in developing countries in Africa, Asia or South America. Worldwide, fish production has increased over the last fifty years. The increase was caused by population growth and extensive development of fish farming. *A. hydrophila* is one of the most common causes of fish diseases and subsequently contamination of fish products. Intensive fish farming is accompanied by many bacterial diseases, which results in an increased use of antimicrobial drugs. The antibiotics that are frequently used contribute to the development of bacteria (including *A. hydrophila*) that are resistant to a large number of antibiotics, and the treatment of possible infections can cause unpleasant complications.

Keywords: bacterial gastroenteritis, cytotoxic enterotoxin, microbial contamination of food, psychrophilic bacterium, *Enterobacteriaceae*

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Taxonomická kategorie	10
3.2	Charakteristika rodu	10
3.2.1	<i>Aeromonas hydrophila</i>	11
3.2.1.1	<i>Aeromonas hydrophila</i> subsp. <i>anaerogenes</i>	11
3.2.1.2	<i>Aeromonas hydrophila</i> subsp. <i>dhakensis</i>	11
3.2.1.3	<i>Aeromonas hydrophila</i> subsp. <i>hydrophila</i>	11
3.2.1.4	<i>Aeromonas hydrophila</i> subsp. <i>proteolytica</i>	12
3.2.1.5	<i>Aeromonas hydrophila</i> subsp. <i>ranae</i>	12
3.3	Přirozený výskyt	12
3.3.1	Voda	12
3.3.2	Půda	13
3.3.3	Rostliny	13
3.3.4	Živočichové	14
3.3.4.1	Ryby	14
3.3.4.2	Ostatní vodní živočichové	14
3.3.4.3	Ptáci	14
3.3.4.4	Hospodářská zvířata	15
3.3.5	Výskyt v potravinách	15
3.3.5.1	Mléko a mléčné výrobky	15
3.3.5.2	Mořské plody	16
3.3.5.3	Maso	16
3.3.5.4	Zelenina	16
3.4	Onemocnění	17
3.4.1	Onemocnění zvířat	17
3.4.2	Onemocnění lidí	18
3.4.2.1	Gastrointestinální infekce	18
3.4.2.2	Extraintestinální infekce	20
3.5	Virulence	21
3.5.1	Faktory virulence	22
3.5.1.1	Struktury asociované s buňkou	22
3.5.1.2	Extracelulární produkty	23

3.6	Rezistence.....	25
3.7	Citlivost na antibiotika	26
4	Závěr	28
5	Literatura.....	29

1 Úvod

Aeromonas hydrophila je gramnegativní tyčinkovitá pohyblivá bakterie, která je prakticky všudypřítomná. Největší množství těchto bakterií se vyskytuje ve vodním prostředí. Odtud se mohou dostat do živočichů a způsobovat různá onemocnění. Bakterie *A. hydrophila* se také nacházejí v potravinách živočišného původu (ryby, měkkýši, maso, mléko a mléčné výrobky). *A. hydrophila* je převládající druh aeromonád, který se vyskytuje v masu a masných výrobcích. Kontaminace masa touto bakterií je připisováno špatné hygieně při zpracování, krájení a mletí masa. Další způsob kontaminace může být špatné vykrvení zvířat při porážkách nebo mytí jatečně upravených těl kontaminovanou vodou (Stratev & Odeyemi 2016). Vynikajícím prostředkem pro růst mikroorganismů (včetně *A. hydrophila*) je mléko. To je způsobeno díky svému vysokému obsahu vlhkosti, velkému množství živin a téměř neutrálnímu pH. Aeromonády jsou obecně citlivé na vysoké teploty a dají se zničit pasterizací. Přesto se *A. hydrophila* může nacházet v pasterovaném mléce a v sýru. Přítomnost těchto bakterií může být zapříčiněno kontaminací během dalšího zpracování nebo špatnou hygienou (Freitas et al. 1993). *A. hydrophila* může být přítomna i v trávicím traktu člověka a může způsobovat alimentární onemocnění (Igbinsa et al. 2012). U lidí nejběžněji způsobuje septikémii a gastrointestinální infekce. Ty se často vyskytují u imunokompromitovaných nebo jinak vnímavých jedinců. *A. hydrophila* spojená s gastroenteritidou způsobuje nevolnost, zvracení, průjem, horečku a křeče v břiše. Gastroenteritida způsobená těmito bakteriemi je problémem především u dětské populace, ale může se vyskytovat i u osob s častým cestováním do rozvojových zemí (Hasan 2006). Bakterie je vybavena celou řadou virulentních faktorů, které umožňují vstup do hostitelských tkání a následné množení (Martínez-Murcia et al. 2012). Během posledního desetiletí se vyvinula rezistence na antibiotika u různých patogenů, které se přenáší potravinami. Tento přenos je pravděpodobně důsledkem dlouhodobého podávání léků u zvířat, které byly určeny ke konzumaci (Elbehiry et al. 2019). Bakterie *A. hydrophila* jsou rezistentní vůči antibiotikům a léčivům a způsobují nebezpečí pro životní prostředí. V léčbě se proto postupně využívají i jiné, alternativní přístupy (Gobi et al. 2018).

2 Cíl práce

Aeromonas hydrophila je patogenní bakterie, která se v poslední době stala vážnou zdravotní hrozbou lidí jak v rozvojových, tak rozvinutých státech světa. Za hlavní zdroje nálezů jsou považovány potraviny a suroviny zejména živočišného původu.

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření literárního přehledu o bakterii *Aeromonas hydrophila*, jejím výskytu a významu v potravinách živočišného původu. Dále bylo cílem popsat a zhodnotit zdravotní rizika, která jsou s touto bakterií spojená.

3 Literární rešerše

3.1 Taxonomická kategorie

Doména: Bacteria

Kmen: Proteobacteria

Třída: Gammaproteobacteria

Řád: Aeromonadales

Čeleď: *Aeromonadaceae*

Rod: *Aeromonas*

Druh: *Aeromonas hydrophila*

Poddruhy:

Aeromonas hydrophila subsp. *anaerogenes*¹

Aeromonas hydrophila subsp. *dhakensis*²

Aeromonas hydrophila subsp. *hydrophila*

Aeromonas hydrophila subsp. *proteolytica*³

Aeromonas hydrophila subsp. *ranae*

(LPSN 2020)

3.2 Charakteristika rodu

Buňky bakterií rodu *Aeromonas* jsou $0.3\text{--}1.0 \times 1.0\text{--}3.5$ μm velké, gramnegativní, rovné, kokobacily nebo krátké tyčinky se zaoblenými konci. Vyskytují se samostatně, v párech, zřídka ve velmi krátkých řetězcích nebo ve vláknitých formách. Většina druhů je pohyblivá. Pohyb je zprostředkován pomocí jednoho polárně umístěného bičíku, peritrichálních bičíků, které se mohou vytvářet při růstu na pevných médiích v mladých kulturách anebo pomocí postranních bičíků, které se mohou také vyskytovat u některých druhů. Aeromonády rostou v širokém teplotním rozmezí (0–45 °C), přičemž mezofilní kmeny rostou mezi 10 a 35 °C. Optimální růstová teplota je 22–37 °C. Na standardních laboratorních médiích mají kolonie pohyblivých mezofilních aeromonád průměr 1–3 mm, jsou hladké, pravidelně ohraničené, kruhové, konvexní, průsvitné a šedavě bílé. Po 24–48 hodinách inkubace se někdy objevují s máslovou konzistencí. Starší kolonie mohou vyvinout nazelenalý odstín a poněkud silný zápach (Garrity et al. 2010).

Jsou to organismy fakultativně anaerobní a chemoorganotrofní. Oxidují a fermentují D-glukózu na kyselinu nebo kyselinu s plynem. Hlavními produkty fermentace jsou vždy butylenglykol, ethanol, kyselina mléčná, kyselina octová a stopové množství kyseliny jantarové (Stanier & Adams 1944). Co se enzymů týče, mají oxidázu a katalázu. Redukují dusičnany na dusitany, ale nenedinitrifikují je. Obecně lze říci, že jsou enzymaticky velmi aktivní (Garrity et al. 2010).

Aeromonády jsou prakticky všudypřítomné. Vyskytují se ve sladkých, brakických i mořských vodách. Bývají nalézány ve vodovodní, studniční a chlorované vodě, ale také

¹ Od roku 1984 je platný název *Aeromonas caviae*.

² Od roku 2015 je platný název *Aeromonas dhakensis*.

³ Od roku 1982 je platný název *Vibrio proteolyticus*.

v odpadních a povrchových vodách, biofilmech a sedimentech. Některé z těchto druhů jsou spojovány s onemocněním u celé řady teplokrevných a chladnokrevných živočichů, včetně lidí, domácích zvířat, žab, sladkovodních ryb, mořských ryb a bezobratlých. *Aeromonas* tedy mohou být izolovány z ryb, potravin, vody a klinických vzorků (zejména fekálií) na různých kultivačních médiích (Garrity et al. 2010).

3.2.1 *Aeromonas hydrophila*

Bakterie *A. hydrophila* jsou gramnegativní, nesporotvorné, tyčinkovité pohyblivé bakterie, které jsou běžně izolovány ze sladkých a mořských vod, nemocných ryb, poikilotermických vodních živočichů a teplokrevných zvířat (Gómez-Garcés et al. 2011; Citterio & Biavasco 2015). Jsou fakultativně anaerobní a chemoorganotrofní. Velikost bakterií je přibližně 1,0-3,5 x 0,3-1,0 µm. Optimální růstová teplota je 28 °C a optimální pH se pohybuje mezi 6–7. Mají enzymy oxidázu a katalázu (Štětina 2014). Zástupci druhu *A. hydrophila* jsou pohyblivé a mají jeden polární bičík. Kvůli své struktuře je jejich bičík pro většinu organismů značně toxický (Popoff & Veron 1976). Lze se setkat s názvy pěti různých poddruhů, platné jsou pouze dva.

3.2.1.1 *Aeromonas hydrophila* subsp. *anaerogenes*

V roce 1964 popsal Schubert *Aeromonas hydrophila* subsp. *anaerogenes* jako poddruh *Aeromonas hydrophila*. Později, v roce 1984, byl reklasifikován na *Aeromonas caviae* (Miñana-Galbis et al. 2013). *Aeromonas hydrophila* má silnou β-hemolytickou aktivitu (kompletní rozklad červených krvinek), zatímco *A. caviae* se většinou projevuje jen částečnou hemolýzou (Callister & Agger 1987).

3.2.1.2 *Aeromonas hydrophila* subsp. *dhakensis*

Tento poddruh byl popsán v roce 2002 Huysem. Na základě fylogenetické analýzy, Beaz-Hidalgo et al. v roce 2013 zjistili, že tento poddruh a *Aeromonas aquariorum* představují stejný taxon. Následně proběhla synonymizace obou druhů a ustanovení druhu *A. dhakensis* (Carriero et al. 2016).

Chen et al. (2014) prokázali, že *A. dhakensis* byl nejvirulentnějším druhem *Aeromonas* v tropických a subtropických oblastech. *A. dhakensis* je na rozdíl od *A. hydrophila* negativní na produkci kyselin z fermentace L-arabinosou a současně pozitivní u fermentace ze salicinu a sacharózy (Pu et al. 2019).

3.2.1.3 *Aeromonas hydrophila* subsp. *hydrophila*

Aeromonas hydrophila subsp. *hydrophila* byla původně izolována z „plechovky mléka s rybím zápachem“. Tento poddruh je rezistentní vůči bicyklomicinu, fosmidomycinu, aminoglykosidům, antimikrobiálním peptidům a další třídám antibiotik a toxinů (Seshadri et al. 2006).

Optimální růst pro tyto bakterie nastává po 24 h při 28 °C na TSA (trypton – sójový agar) médiu. Na médiu TSA se nevytváří žádný, ve vodě rozpustný, hnědý pigment.

Neprodukuje ureázu, tryptofan deaminázu, ornitinové dekarboxylázy nebo H₂S (Huys et al. 2002).

3.2.1.4 *Aeromonas hydrophila* subsp. *proteolytica*

Poddruh *Aeromonas hydrophila* subsp. *proteolytica* byl v roce 1982 reklasifikován na *Vibrio proteolyticus* (Euzéby & Kudo 2001). Bakterie fermentuje cukry za aerobních i anaerobních podmínek a současně produkuje kyseliny, ale neprodukuje plyny (Merkel et al. 1964).

3.2.1.5 *Aeromonas hydrophila* subsp. *ranae*

Bakterie *Aeromonas hydrophila* subsp. *ranae* vykazuje vlastnosti, které jsou charakteristické pro druh *A. hydrophila*. Tento poddruh byl izolován z jater a ledvin septikemických žab v Thajsku (Huys et al. 2003).

3.3 Přirozený výskyt

Bakterie *Aeromonas hydrophila* jsou díky své odolnosti a vysoké adaptabilitě prakticky všudypřítomné. Vyskytují se celosvětově ve vodě, v půdě, na rostlinách i v živočiších. Největší množství *A. hydrophila* se vyskytuje ve vodním prostředí, včetně podzemních i povrchových vod, ústí řek a mořských vod. Sporadicky se mohou vyskytnout i v pitné (chlorované, nechlorované) nebo balené vodě. Nevyskytuje se v termálních pramenech, hypersalinních jezer a v extrémně znečištěných vodách. Velké množství těchto bakterií můžeme nalézt také v odpadních a málo znečištěných vodách. Odtud se mohou přenést do půdy a následně na rostliny. Touto cestou se mohou dostat i do rostlinných produktů, jako jsou krmiva a potraviny rostlinného původu. Přenosem přes vodu, půdu i rostliny mohou tyto bakterie způsobovat různá onemocnění živočichů, nebo být dokonce přítomny v potravinách živočišného původu, jako jsou ryby, vodní měkkýši, maso, mléko a mléčné výrobky. *A. hydrophila* může být přítomna i v trávicím traktu člověka, a může tak způsobit alimentární onemocnění. Tyto bakterie nejsou považovány za fekální bakterie, nicméně jsou přítomny ve stolici zdravých zvířat a lidí, patrně v důsledku požití potravy a vody obsahující tyto organismy (Hasan 2006; Igbinsosa et al. 2012)

3.3.1 Voda

Výskyt a množství *A. hydrophila* ve vodě závisí na množství živin, které jsou všudypřítomné. Čím více organických živin ve vodách je, tím lépe se těmto bakteriím ve vodách daří. Obecně je známo, že vysoké počty těchto bakterií můžeme nalézt v mořské vodě nebo v odpadních vodách (Hasan 2006). Počty *A. hydrophila* závisí také na teplotě vody. Toto tvrzení potvrzuje analýza Světové zdravotnické organizace z roku 2002. Omezení růstu *A. hydrophila* způsobují teploty pitné vody pod 14 °C, zbytkové množství chloru (0,1-0,2 mg/l) a snížená koncentrace živin. Avšak tyto podmínky výskytu *A. hydrophila* ve vodě nezabraňují (Pablos et al. 2009). Bylo také zjištěno, že při snižující se teplotě u odpadních vod se počet *A. hydrophila* zvyšuje a v mořské vodě naopak klesá. Při zvyšování teploty u těchto vod můžeme sledovat opačný trend. Je předpokládáno, že počty *A. hydrophila* mohou být ovlivněny

i zákalem a pronikáním slunečního záření do vody. Čím více slunečního záření do vody proniká, tím méně aeromonád se ve vodách vyskytuje (Hasan 2006).

Aeromonas hydrophila byla nalezena v nádržích chlorované pitné vody po celém světě. Tato bakterie vykazuje nižší citlivost vůči chloru než ostatní mikroorganismy, a to jak v rámci celého rodu, tak i v porovnání s koliformními bakteriemi (Bottarelli 1999). V podzemních vodách nejsou tak běžné, přestože mohou kolonizovat špatně vybudované studny (Igbinsosa et al. 2012). Počty bakterií *A. hydrophila* v podzemních vodách byly nižší než v neošetřené povrchové vodě a vykazovaly malé sezónní kolísání. Toto kolísání, zejména ve vodě z podzemních zdrojů, souviselo se změnami hladin volného chloru (Burke et al. 1984). Velké množství aeromonád přítomných v distribuční vodě ukazuje, že vodní podmínky podporují růst těchto bakterií a produkci biofilmu. Biofilm může odolávat dezinfekci a přetrvávat po dlouhou dobu (Igbinsosa et al., 2012). Biofilm vytvořený *A. hydrophila* přispívá ke zvýšené odolnosti vůči antibiotické léčbě (Hasan 2006). Bal'a et al. (1999) zkoumali účinky chloru a tepla na inaktivaci biofilmu *A. hydrophila* na různé povrchy z nerezové oceli. Tito vědci zjistili, že starší biofilmy byly tepelně odolnější než méně rozrostlé biofilmy (Isonhood & Drake 2002). I přes tyto skutečnosti nebyly dosud zaznamenány žádné nákazy těmito bakteriemi po požití, inhalaci nebo kontaktu kůže s upravovanou pitnou vodou. Epidemiologické důkazy spojující požití vody s gastrointestinálním onemocněním jsou tak omezeny pouze na zdroje neošetřené pitné vody (Hasan 2006). Podle Vědeckého výboru pro potraviny v rámci Evropské komise (Scientific Committee on Food of the European Commission) nepředstavuje přítomnost *A. hydrophila* v minerálních vodách potenciální riziko (Bottarelli 1999). Vysoká infekční dávka a rozdíly v teplotním optimu naznačují, že propuknutí gastrointestinálních onemocnění po požití ošetřené vody je velmi nepravděpodobné (Hasan 2006).

3.3.2 Půda

Existuje několik studií, které ukazují, že se aeromonády vyskytují i v půdě, a to nezávisle na její vlhkosti. Gray a Stickler (1989) také uvádějí přítomnost aeromonád na pastvinách, kam se pravděpodobně dostaly z hnoje (Hasan 2006). Jak zjistili Parker et al. (1982), aeromonády mohou v půdě přežívat po dlouhou dobu, množit se a zároveň si zachovat vlastnosti virulence. Přežití *A. hydrophila* v půdní matrici je také značně ovlivněno přirozenou mikrobiotou, která může růst této bakterie inhibovat. Z půdy se přenášejí na vnímavé jedince buď nepřímo (přes kontaminované ruce, zeleninu nebo pitnou vodu) nebo přímo (otevřené rány). To znamená, že půda může představovat důležitý rezervoár pro *A. hydrophila*, a proto může představovat potenciální zdravotní riziko (Brandi et al. 1996).

3.3.3 Rostliny

Povrch rostlin, jakožto i zeleniny a ovoce, může být kontaminován různými mikroorganismy v závislosti na mikrobiální populaci půdního prostředí, stavu rostlin, způsobu zpracování, době skladování a podmínkách (Hasan 2006). K rozšíření těchto bakterií může také přispět špatné zpracování zeleniny (Stratev & Odeyemi 2016).

Zelenina i ovoce mohou být kontaminovány *A. hydrophila* během růstu, během sklizně, posklizňové manipulace nebo během distribuce. Bylo prokázáno, že tyto bakterie izolované ze zeleniny představují potenciální riziko pro zdraví spotřebitele. Krovacek et al. (1998) uvedli zvýšený výskyt těchto bakterií během letních měsíců ve vodě a ve vzorcích lidských výkalů. Tím se ukazuje vzájemný vztah mezi letní sezonou, zvýšenou úrovní kontaminace vody a zvýšeným počtem případů gastroenteritidy, způsobený částečně se zvýšenou spotřebou minimálně zpracované nebo syrové zeleniny v salátech. Někteří lidé považují organickou zeleninu za důležitou z hlediska zvýšeného rizika pro veřejné zdraví v důsledku způsobu pěstování a zpracování, při kterém se používají přírodní hnojiva, jako je zvířecí hnůj, a kde se nepoužívají žádná chemická ošetření ke snížení mikrobiologické zátěže surového produktu nebo k prodloužení jeho trvanlivosti (McMahon & Wilson 2001).

3.3.4 Živočichové

Přenos aeromonád na živočichy může být důsledkem požití kontaminované potravin rostlinného i živočišného původu, vody, ale též přímým kontaktem s infekčními zvířaty. Některé bakterie rodu *Aeromonas* byly označeny jako primární patogeny pro chladnokrevné (poikilotermní) nebo teplokrevné (homoiotermní) druhy zvířat a jako příležitostné lidské patogeny (Huys et al. 2003). *A. hydrophila* byla izolována z nemocných ryb, želv, aligátorů, hadů nebo žab. (Hasan 2006; Igbinosa et al. 2012).

3.3.4.1 Ryby

Aeromonas hydrophila je převládající ve vodních stanovištích s kosmopolitní distribucí (Sedláček et al. 2012). Stresovaná zvířata jsou náchylnější k infekci. Stres u ryb je důsledkem mnoha různých faktorů, mezi které patří zvýšení teploty vody, špatná kvalita vody, nadměrné zacházení, nesprávná výživa či přeprava ryb (M. Randy White 1991; Beaz-Hidalgo & Figueras 2013).

3.3.4.2 Ostatní vodní živočichové

A. hydrophila může vytvářet u vodních živočichů chovaných na farmě epidemiologická ohniska, což vede k vysoké úmrtnosti. Pasquale et al. (1994) objevili v obchodě s domácími mazlíčky v italském Neapoli ohnisko infekce *A. hydrophila* s vysokou mírou úmrtnosti u želv. Studie prokázala, že želvy mohou fungovat jako rezervoáry. U žab se tyto bakterie vyskytovaly příležitostně a způsobovaly onemocnění tzv. „červená noha“, které bylo pozorováno ve svalech nohou nemocných zvířat (Huys et al. 2003). Bakterie *A. hydrophila* byla také nalezena u tuleně šedého ve Švédských teritoriálních vodách Baltského moře (Xanthopoulos et al. 2010).

3.3.4.3 Ptáci

Aeromonády byly izolovány z výkalů divokých a domácích ptáků (Ramadan et al. 2018). Garcia et al. (1992) izolovali *A. hydrophila* z papouška (Daskalov 2006).

3.3.4.4 Hospodářská zvířata

Bylo zjištěno, že se *A. hydrophila* vyskytuje v kravských výkalech nemocných i zdravých zvířat (Hasan 2006). Bakterie byly také izolovány z trusu, podestýlky a pitné vody koní, prasat, ovcí a krav (Igbinsosa et al. 2012). V případě hospodářských zvířat je nejčastějším zdrojem infekce bakterií *A. hydrophila* potrava nebo voda (Hasan 2006). Moro et al. (1999) izolovali *A. hydrophila* z býků plemene Hereford se semennou vesikulitidou v Jižní Brazílii. Forga-Martel et al. (2000) uvádějí případ infekčního potratu spojeného s *A. hydrophila* u klisny (Daskalov 2006).

3.3.5 Výskyt v potravinách

Aeromonády se běžně vyskytují v různých potravinách. Ibrahim & MacRae (1991) objevili *A. hydrophila* ve vzorcích hovězího, jehněčího a vepřového masa a mléka. Krovacek et al. (1992) našli *A. hydrophila* u náhodných vzorků z maloobchodních prodejen potravin ve Švédsku. Walker & Brooks (1993) izolovali tyto bakterie z ryb, mořských plodů, čerstvých salátů, jehněčího masa, sýra a syrového mléka. Agarwal et al. (2000) je také izolovali z hlemýžďů, křepelčích vajec, buvolího mléka a kozího masa – všechny tyto potraviny živočišného původu pocházely z Indie (Hasan 2006). Většina případů onemocnění je spojena s produkty akvakultury nebo dlouhodobě chlazenými potravinami, které jsou určeny k přímé spotřebě (Daskalov 2006). Bakterie *A. hydrophila* mohou přežít a růst v chladničkách, v důsledku čehož mohou dosáhnout infekční dávky při nesprávném zacházení s potravinami. V rozvojových zemích s horkým počasím mívají obchody a chladničky obvykle teplotu vyšší než 10 °C, což je potenciální riziko pro růst těchto bakterií. Byla vytvořena studie, která ukázala významný rozdíl mezi skladováním jogurtu kontaminovaného *A. hydrophila* při 4 °C a 12 °C. Ačkoli *A. hydrophila* přežila při obou teplotách během 14denního skladování, pokles počtu při 4 °C byl významnější než při 12 °C (Hasan 2006; Tahoun et al. 2016).

A. hydrophila je také často spojována s kažením chlazených živočišných produktů včetně kuřecího, hovězího, vepřového, jehněčího masa, ryb, ústřic, krabů a mléka (Callister & Agger 1987). Majeed et al. (1989) uvedli výskyt *A. hydrophila* v jatečně upravených tělech jehňat, která byla zpracovaná na jatkách. Kelley et al. (1998) našli *A. hydrophila* v halách na výkrm brojlerů v oblasti Severní Georgie. Melas et al. (1999) zkoumali syrové mléko a jiné mléčné výrobky v severním Řecku a zjistili, že ve srovnání s jinými druhy aeromonád byla bakterie *A. hydrophila* nejčastějším izolátem z potravin živočišného původu. Villari et al. (2000) ve studii provedené v Itálii objevili *A. hydrophila* na potravinách připravených k přímé spotřebě, jako je například zelenina, sýr, masné výrobky a zmrzlina (Daskalov 2006; Sedláček et al. 2012).

3.3.5.1 Mléko a mléčné výrobky

Mikrobiální kontaminace syrového mléka závisí na zdravotním stavu zvířat, hygieně stájí a dojíren, metodách čištění a dezinfekce dojících techniky. Mléko je vynikajícím prostředkem pro růst mikroorganismů (včetně *A. hydrophila*). To je způsobeno díky svému vysokému obsahu vlhkosti, téměř neutrálnímu pH a velkému množství živin. Výskyt *A. hydrophila* byl potvrzen v syrovém mléce, pasterovaném mléce a mléčných výrobcích. Avšak nejvíce se tyto

bakterie vyskytují v sýrech. Přítomnost *A. hydrophila* v pasterizovaném mléce a sýru je známkou špatné hygieny produkce (Stratev & Odeyemi 2016b). Během pasterizačního procesu, který je prováděn při 71–75 °C po dobu 15–20 sekund, jsou bakterie usmrceny. Přítomnost *A. hydrophila* v pasterizovaném mléce a v sýru je tedy způsobena kontaminací během dalšího zpracování nebo špatnou hygienou (Freitas et al. 1993).

Aeromonády jsou obecně citlivé na vysoké teploty a dají se zničit pasterizací. Melas et al. (1999) zkoumali syrové kravské a ovčí mléko, pasterizované kravské mléko, sýry Anthotyros, Manouri, Feta a rýžový pudink. Pasterizované mléko, sýr Feta a rýžový pudink *A. hydrophila* neobsahovaly. Kravské mléko, sýry Anthotyros a Manouri obsahovaly *A. hydrophila*. Přítomnost těchto bakterií v sýrech Anthotyros a Manouri ukazuje, že ke kontaminaci mohlo dojít během výroby. Časové a teplotní podmínky pro výrobu těchto sýrů (82 až 92 °C po dobu 15 až 30 minut) jsou pro *A. hydrophila* letální. *A. hydrophila* také nepřežila během zrání sýru Feta kvůli nízkému pH produktu (Martínez-Murcia et al. 2012). Tyto bakterie byly také nalezeny v brazilském bílém sýru a sýru Villalon, který byl vyroben z pasterizovaného mléka, zjevně jako důsledek kontaminace po pasteraci. Existují také zprávy, že i jiné mléčné výrobky mohou být kontaminovány těmito bakteriemi, jako byla šlehačka v Dánsku a zmrzlina ve Velké Británii (Melas et al. 1999).

3.3.5.2 Mořské plody

Přes množství průzkumů o přítomnosti *A. hydrophila* u ryb, existuje jen málo studií o prevalenci těchto mikroorganismů u měkkýšů. Vivekanandhan et al. (2002) izolovali tyto bakterie z kolonií slávek středomořských v Jaderském moři ve střední Itálii. Studie Vivekanandhan et al. (2002) poskytla první přímé důkazy o přítomnosti těchto bakterií v mušličích, které jsou získány z italského mořského prostředí. Bakterie *A. hydrophila* byly také izolovány z mořských plodů v Mexiku a Malajsii. Vzhledem k vysokému výskytu těchto bakterií se předpokládá riziko rozvoje lidských infekcí způsobené konzumací syrových nebo nedostatečně tepelně upravených slávek (Ottaviani et al. 2006).

3.3.5.3 Maso

Aeromonas hydrophila je převládajícím druhem aeromonád, který bývá izolován z masa a masných výrobků. Kontaminace masa bakterií *A. hydrophila* se připisuje špatné hygieně při zpracování, krájení a mletí masa. V domácnostech jsou příčinou křížové kontaminace masa mikrobiálními patogeny živočišného původu z prkénka nebo špatné vykrvení zvířat při porážkách (Stratev & Odeyemi 2016). Maso může být také infikováno mytím jatečně upravených těl kontaminovanou vodou. *A. hydrophila* často napadají kuřecí maso, které je pro světovou populaci denním zdrojem živočišných bílkovin (Palumbo et al. 1989).

3.3.5.4 Zelenina

Vzhledem k tomu, že je bakterie *A. hydrophila* v přírodě považována za všudypřítomnou, není divu, že byla izolována také z čerstvé zeleniny. V poslední době mnoho spotřebitelů upřednostňuje potraviny, které jsou méně zpracované a obsahují méně

konzervantů. Taková zelenina si po minimálním zpracování zachovává většinu původní mikrobioty (Sahoo et al. 2016). Vzhledem k tomu, že se zelenina běžně konzumuje v syrovém stavu, může přítomnost *A. hydrophila* na těchto potravinách představovat významné zdravotní riziko (Isonhood & Drake 2002). Bakterie *A. hydrophila* byla izolována z většiny zkoumaných druhů zeleniny, kromě nakrájené mrkve, zeleniny cibulového typu, zelí a brambor. Také byla izolována z čekanky, řeřichy, salátu a z růžičkové kapusty. (Krovacek et al. 1998). Velazquez et al. (1998) prokázali, že *A. hydrophila* přežila a rostla na površích rajčat nebo také v čerstvých nasekaných rajčatech při klasických teplotách chlazení (Isonhood & Drake 2002).

Buchanan et al. (1985) zkoumali účinky skladování zeleniny v řízené atmosféře. Jednalo se o čerstvý chřest, brokolici, květák a byl monitorován růst a přežití *A. hydrophila*. Takto skladovaná zelenina po delší dobu může představovat zdravotní riziko, pokud jsou přítomny potenciálně patogenní mikroorganismy (včetně *A. hydrophila*). Čím déle je zelenina skladována, tím více se tato bakterie na zelenině pomnoží. Teplota chlazení by neměla být využívána jako jediná konzervační technika, a to z toho důvodu, že může docházet ke zneužití ze strany distributorů, maloobchodníků a spotřebitelů (Berrang et al. 1989).

3.4 Onemocnění

Než byly bakterie *A. hydrophila* uznány jako lidské patogeny, byly považovány za patogeny poikilotermických zvířat, zejména obojživelníků, plazů a ryb. Jednou z prvních nemocí připisovaných aeromonádám bylo onemocnění „červených nohou“ u žab. Bakterie *A. hydrophila* také často způsobují různé typy nemocí u ptáků a domácích zvířat, včetně pneumonie, peritonitidy a dalších lokalizovaných infekcí. U ryb se často vyvíjí hemoragické onemocnění, ulcerózní onemocnění, furunkulóza a septikémie (Garrity et al. 2010). Důležitým faktem je, že *A. hydrophila* je příčinou zoonotických chorob (nemoce, které se mohou šířit ze zvířat na člověka a naopak) (Daskalov 2006).

3.4.1 Onemocnění zvířat

Rod *Aeromonas* je považován za zvířecí patogen od první izolace ze septikemických žab a nemocných ryb (Fernández-Bravo & Figueras 2020). Významný patogen vodních živočichů je právě *A. hydrophila*, který způsobuje vředy, krvácení, septikémii, ulcerózní onemocnění či furunkulózu. *A. hydrophila* je tedy běžnou příčinou onemocnění nejen u teplovodních ryb, jako jsou sumci, sumečci tečkovaní, tilapie a Aju východní, ale také u studenovodních ryb a vyšších obratlovců (Elbehiry et al. 2019). Infekce způsobená *A. hydrophila* vytváří významné finanční ztráty v odvětví akvakultury (Fernández-Bravo & Figueras 2020). Tato bakterie je známá jako nejpravděpodobnější příčina onemocnění kapra obecného. Také zlaté rybky a kapr koi jsou náchylné k infekci *A. hydrophila* během léta, kdy je infekce výsledkem vysokého výskytu parazitů. *A. hydrophila* je také primární bakterie způsobující onemocnění na farmách amerických úhořů. Tyto bakterie mohou být primárními i sekundárními patogeny, způsobující systémové a kožní infekce ryb, zejména pak v době tření, při vystavení tepelnému stresu nebo stresu z nízkého obsahu kyslíku (Elbehiry et al. 2019).

Během posledních padesáti let došlo ke zvýšení produkce ryb v celosvětovém měřítku. Tento růst je způsoben růstem populace, urbanizací a také i rozsáhlým rozvojem chovu ryb. Intenzivní chov ryb je doprovázen velkým množstvím bakteriálních onemocnění, což má za následek zvýšené používání antimikrobiálních léků. Prevence a léčba onemocnění ryb prostřednictvím rozsáhlé aplikace antimikrobiálních látek přispívá k rozvoji bakteriálních kmenů, které jsou rezistentní na antibiotika (Stratev & Odeyemi 2016). Infekce způsobené *A. hydrophila* s relativně vysokou odolností vůči antibiotikům patří mezi nejčastější a nejběžnější onemocnění ryb chovaných v rybnících s recirkulačními systémy (Elbehiry et al. 2019).

3.4.2 Onemocnění lidí

U lidí může *A. hydrophila* způsobovat septikémie a následný rozvoj sekundárních systémových onemocnění jako jsou cirhóza, biliární onemocnění, cukrovka, onemocnění vedoucí ke gastrointestinálním perforacím, meningitidu či endokarditidu (Igbinosa et al. 2012). K infekci dochází skrze kontaminované potraviny nebo rány. Gastrointestinální i extraintestinální infekce se nejčastěji vyskytují u imunokompromitovaných nebo jinak vnímavých jedinců. *A. hydrophila* může vzácně způsobovat zánět plic, ale ten je obvykle spojován s aspirací, například při tonutí. Bylo zjištěno, že výskyt nemocí, které jsou způsobené aeromonádami, se liší podle geografické polohy a může souviset se špatnými hygienickými návyky v rozvojových zemích v Africe, Asii nebo Jižní Americe (Fernández-Bravo & Figueras 2020).

Infekce způsobené bakteriemi *A. hydrophila* se nejčastěji vyskytují u čtyř skupin pacientů:

- A. Osoby se sníženou imunitou nebo jiným vážným onemocněním (cirhóza nebo hematologická malignita).
- B. Osoby s pooperačními infekcemi, které získaly v nemocnici nebo jiných zdravotnických zařízeních.
- C. Osoby s infekcí získanou po traumatu nebo po kontaktu s kontaminovanou vodou.
- D. Osoby, zejména děti, které přijímaly kontaminované potraviny a následně se u nich objevily gastrointestinální onemocnění (Hasan 2006).

3.4.2.1 Gastrointestinální infekce

Běžné cesty gastrointestinální infekce způsobenou *A. hydrophila* jsou požití kontaminované vody nebo potravin (Pablos et al. 2009). Byla prokázána vysoká schopnost kolonizovat gastrointestinální trakt tím, že se *A. hydrophila* drží na slizničních receptorech střevních buněk (Daskalov 2006). Gastrointestinální infekce způsobené aeromonádami jsou obvykle samolimitující a antibiotická léčba je vyžadována pouze v dlouhodobých případech u imunokompromitovaných hostitelů (Igbinosa et al. 2012).

3.4.2.1.1 Gastroenteritida

Gastroenteritida je zánět trávicí soustavy postihující jak žaludek, tak tenké střevo, který způsobuje zažívací poruchy jako např. diareu (neboli v klasické české neodborné terminologii průjem) (Fernández-Bravo & Figueras 2020). Diarea spojená s aeromonádami je celosvětový

problém, který se vyskytuje v průmyslových i rozvojových zemích, a zahrnuje tak všechny věkové skupiny. Přestože se vyskytuje hlavně u zdravých osob, můžeme jej nalézt také u osob trpících jinými chorobami, jako jsou poruchy imunity (Janda & Abbott 2010). Aeromonády spojené s gastroenteritidou způsobují nevolnost, zvracení, horečku a křeče v břiše. Tyto projevy se vyskytují pouze u zlomku pacientů, zatímco kolitida se vyskytuje až u třetiny případů průjmu způsobených *A. hydrophila*. Gastroenteritida způsobená těmito bakteriemi je problémem především dětské populace. Vyskytuje se hlavně u dětí do tří let v zemích jako jsou Tchaj-wan a Nigérie. Bravo et al. (2005) prokázali výskyt *A. hydrophila* v průměrné stolici u dětí také ve Španělsku. U většiny infikovaných dětí došlo k rozvoji onemocnění a pouze pár z nich bylo asymptomatickými přenašeči. Výskyt u dospělých se pohyboval od 2 % hlášených ve Švédsku, 6,9 % v Hongkongu u zdravých lidí a 13 % u pacientů se sníženou imunitou (Fernández-Bravo & Figueras 2020).

Jak je již zmíněno v textu výše, mezi nejčastější symptomy doprovázející gastroenteritidu patří tedy horečky a bolesti břicha; jedna studie zaznamenala vysokou frekvenci zvracení (60 %) u batolat ve věku kolem 1–2 let. Dehydratace je obvykle mírná až střední. V bangladéšské studii existují určité nepřímé důkazy, že děti s krevní skupinou AB a 0 mohou být náchylnější k průměrným onemocněním než děti s jinými krevními skupinami. Běžné příznaky jsou spojené s úplavicí nebo kolitidou a způsobují křeče v břiše a hlen ve stolici. Tento projev průjmu často vyžaduje kvůli závažnosti příznaků hospitalizaci. Může se stát, že osoby s hematologickou rakovinou, nádorem gastrointestinálního traktu nebo s jinými patologickými anomáliemi zažívacího traktu jsou náchylnější k infekcím způsobenými *A. hydrophila*. Ve velmi vzácných případech byly tyto bakterie spojovány s onemocněním podobným choleře (Janda & Abbott 2010).

Gastroenteritida je onemocnění spojené s globálním cestováním, zejména pak cestováním do rozvojových zemí. Hlášená inkubační doba u těchto cestovatelských průjmů je 1 až 2 dny. Mezi nejčastější příznaky, které cestující zaznamenali, patřil vodnatý průjem a horečka s bolestmi břicha (Janda & Abbott 2010).

3.4.2.1.2 Atypické gastrointestinální projevy

Existuje celá řada neobvyklých projevů a komplikací, které mohou být výsledkem působení aeromonád. Ve většině případů doprovází gastroenteritidu závažné záchvaty kolitidy nebo úplavice. Tyto projevy mohou vést až k rozvoji dlouhodobých chronických stavů, jako je ulcerózní kolitida nebo pankolitida, jejichž trvání se pohybuje v rozmezí od měsíců do více než roku. V některých případech je nezbytné k vyléčení kromě protizánětlivých léků také chirurgická resekce (Janda & Abbott 2010). Dalším vzácným stavem příležitostně spojeným se střevní infekcí způsobené bakteriemi *A. hydrophila* je segmentální kolitida. Ta se projevuje jako ischemická kolitida nebo Crohnova choroba (Janda & Abbott 2010).

3.4.2.1.3 Infekce jater

Jaterní abscesy způsobené *Aeromonas hydrophila* jsou obvykle u imunokompromitovaných jedinců, kteří trpí chorobami, jako jsou onemocnění jater, rakovina, alkoholismus nebo zablokované žlučové cesty. Infekce, jako jsou tyto, mohou vést k hnisavé cholangitidě a empyému (Hasan 2006; Parker & Shaw 2011).

3.4.2.2 Extraintestinální infekce

Mimostřevní infekce vznikají buď při kontaktu s půdou nebo vodou, nebo požitím a bakteriálním rozšířením aeromonád z gastrointestinálního traktu. U imunokompromitovaných osob je možné, že infekce kostí jsou důsledkem šíření dalších infekcí prostřednictvím krevního oběhu. Infekce na ostatních částech těla se vyskytují zejména u pacientů s leukémií, malignitou, cirhózou jater nebo s případy imunosuprese (Igbinosa et al. 2012).

3.4.2.2.1 Zánět pobřišnice

Peritonitida je zánět pobřišnice, serózní membrány lemující břišní dutinu (Janda & Abbott 2010). Peritonitida se někdy vyskytuje jako sekundární infekce po kolonizaci střevního traktu a je také spojena s intestinální perforací. Většina infekcí se vyskytuje u pacientů s chronickým onemocněním jater. Tsoufa et al. (2000) popsali případ peritonitidy způsobené aeromonádami, ke kterému došlo po perforaci střeva v důsledku chirurgického zákroku (Hasan 2006). Vzácnější formou je primární peritonitida, která je výsledkem šíření infekce z krve nebo lymfy do pobřišnice. Peritonitida způsobená aeromonádami se může také projevit jako důsledek peritoneální dialýzy (Janda & Abbott 2010).

3.4.2.2.2 Infekce krve, kůže a měkkých tkání

Klíčovým invazivním onemocněním spojeným s *Aeromonas hydrophila* je septikémie (Janda & Abbott 2010). Toto onemocnění je spojeno hlavně s imunokompromitovanými pacienty s predispozičními zdravotními stavy, jako je zhoršená funkce jater a malignita. Ve vzácných případech se může vyskytnout u zjevně zdravých dospělých, obvykle se do krve dostanou z těžkých infekcí rány (Parker & Shaw 2011). Janda et al. (2010) uvádí, že mezi nejčastější příznaky patří horečka, zimnice, žloutenka, průjem, bolesti břicha, septický šok a dušnost (Parker & Shaw 2011; Fernández-Bravo & Figueras 2020). Nejčastější choroby zjištěné v případech septikémie byly malignita, hepatobiliární onemocnění a cukrovka (Hasan 2006). S bakterií *A. hydrophila* je spojeno mnoho dalších komplikací, mezi něž patří problémy s ledvinami, srdeční anomálie a různé další hematologické stavy, včetně aplastické anémie, mnohočetného myelomu a makroglobulinemie (Janda & Abbott 2010). *Aeromonas* byly izolovány z krve, žluči, moči, infekce chirurgických ran a jaterního abscesu. Nejčastěji byla izolována *A. hydrophila* (68 %), následovaná *A. veronii*, *A. sobria* a *A. caviae* (Hasan 2006).

Bylo prokázáno, že *Aeromonas* může způsobovat infekce při popáleninách (často v případech, kdy byla při první pomoci použita kontaminovaná voda), v chirurgických ranách, ve zlomeninách, při zranění způsobených rozdrcením a při kousnutí zvířat (Parker & Shaw 2011). Další možnosti nákazy vznikají při vniknutí infikovaných cizích těles (půda, dřevo nebo kov) do hlubších tkání (Janda & Abbott 2010). Infekce způsobené těžkými dopravními nehodami či jinými vážnými úrazy, otevřené zlomeniny nebo těžké popáleniny s vážným poškozením tkání a svalů, mohou vést k osteomyelitidě, myonekróze nebo gangréně (Hasan 2006; Janda & Abbott 2010). Popáleniny jsou často chlazeny částečným nebo úplným ponořením poškozených tkání do vody kontaminované *A. hydrophila* z vodovodů, odtoků nebo potoků. Takové činy mohou vést ke kolonizaci aeromonád nebo k infekci poškozených tkání (Janda & Abbott 2010). Infekce ran způsobené *A. hydrophila* mohou také způsobovat nekrotizující fasciitidu, a to obvykle u pacientů s oslabenou imunitou (Fernández-Bravo & Figueras 2020). Ta může způsobovat vážné

poškození svalové tkáně (tzv. myonekróza). Toto onemocnění může vést k amputaci končetiny. Další následky infekce ran mohou být také záněty kloubů a kostí (septická artritida). Nejčastěji postiženými místy na těle jsou ruce, nohy a paže (Janda & Abbott 2010).

3.4.2.2.3 Oční infekce

Oční infekce způsobené bakteriemi *A. hydrophila* jsou poměrně vzácné a obvykle jsou výsledkem kontaktu zranění oka s infikovanou vodou nebo půdou (Hasan 2006). V mnoha případech ale žádné předchozí poškození oka nebo kontakt s prostředím, které by aeromonády obsahovalo, zjištěny nebyly. Příčinou by mohly být například kontaktní čočky (Janda & Abbott 2010). Zatímco infekce oka způsobené některými druhy *Aeromonas* jsou poměrně mírné, druhy *A. hydrophila* mohou způsobit závažné oční onemocnění jsou endoftalmitida, keratitida a ulcerace rohovky (Janda & Abbott 2010; Parker & Shaw 2011).

3.4.2.2.4 Infekce dýchacích cest

Bakterie *A. hydrophila* se obvykle nepovažují za respirační patogeny, ale existují případy, kdy byly respirační infekce spojeny s aeromonádami, nebo byly touto bakterií přímo způsobeny. Tato onemocnění byla pozorována u zdravých jedinců i u osob se zdravotními problémy. Infekce dýchacích cest jsou často způsobeny topením nebo inhalací vody při plavání. Tyto případy jsou extrémně vzácné u pneumonií spojených s *Aeromonas* a plicních abscesů, obvykle v důsledku zhoršeného zdravotního stavu (kardiovaskulární onemocnění, alkoholismus) (Parker & Shaw 2011). Zdaleka nejčastější respirační komplikací spojenou s *A. hydrophila* je pneumonie. Případy bakteriální pneumonie se obvykle vyskytují u osob s dýchacími obtížemi nebo posttraumatických syndromů spojenými s tonutím v sladkých i mořských vodách. Nedávné výzkumy ukázaly, že znatelný podíl na přenosu infekce má i vodní fauna a písek (Hasan 2006; Janda & Abbott 2010).

3.5 Virulence

Aeromonády mají řadu virulenčních faktorů, které jsou předmětem mnoha lékařských či mikrobiologických výzkumů (Parker & Shaw 2011). Tyto faktory zprostředkovávají adhezi a invazi hostitelských tkání. Patří mezi ně bičíky, fimbrie (pili), lipopolysacharidy (LPS), extracelulární produkty, toxiny a siderofory, které všechny mohou přispívat k patogenitě (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013). Mateos et al. (1993) zjistili, že teplota prostředí značně ovlivňuje míru exprese virulenčních faktorů. U druhů *A. hydrophila* izolovaných z prostředí byla zjištěna výrazně nižší exprese enterotoxinů při teplotě 37 °C než při 28 °C. V případě klinických izolátů, naopak produkovaly druhy více enterotoxinů při teplotě 37 °C oproti 28 °C (Igbinosa et al. 2012). To značí o velké adaptabilitě těchto bakterií na různá prostředí. Virulence je velice komplexní kvůli velkému množství faktorů virulence, které jsou do patogenity zapojeny. Řada toxinů ovlivňuje expresi jiných, či mají synergický efekt.

Vytváření virulentních faktorů závisí na mnoha vlivech prostředí, jako je teplota, hodnoty pH, hladiny solí a další. Tsai et al. (1997) studovali účinky teploty, pH, obsahu solí a rozpuštěného kyslíku na produkci hemolysinu a cytotoxinu *A. hydrophila*. Pokusy ukázaly, že bakterie *A. hydrophila* produkovaly toxiny rychleji při 28 °C a produkce hemolysinu a cytotoxinu byla zjevně snížena v přítomnosti 1–5% NaCl. Maximální exprese nastává při pH

7.2. Vyšší množství rozpuštěného kyslíku stimulovalo produkci toxinů. Braun et al. (2001) testovali lipolytickou schopnost *A. hydrophila* při teplotách od +2 °C do 7 °C po dobu 38 dnů. Pokles skladovací teploty byl spojen s významným snížením aktivity enzymu, ale ani při +2 °C nebyla lipolytická aktivita zcela inhibována; počáteční reakce lipolytické schopnosti nastaly po 3 dnech (Daskalov 2006).

3.5.1 Faktory virulence

3.5.1.1 Struktury asociované s buňkou

3.5.1.1.1 Adheziny

Adheziny jsou proteiny odpovědné za první kontakt mezi hostitelem a patogenem (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013). Adheze bakterií k hostitelským tkáním je kritickým krokem v počáteční fázi infekcí mnoha mikroorganismů. Bakterie se drží na hostitelských tkáních a buňkách a mění své obranné mechanismy, čímž iniciují kolonizaci (Fernández-Bravo & Figueras 2020). U aeromonád existují dva typy adhezínů, vláknité (tj. bičíky a fimbrie) a nefilamentární, které zahrnují lipopolysacharidy, kapsuli a S – vrstvu (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013).

3.5.1.1.2 Pili

Pili neboli fimbrie jsou kratší než bičíky (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013). Pili jsou vláknité struktury nacházející se na povrchu bakterií s podjednotkami známými jako pilin (Fernández-Bravo & Figueras 2020). Mohou být polární nebo laterální a pomáhají zvyšovat přilnavost bakterií k pevným povrchům nebo k hostitelským tkáním (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013). Kromě toho, že jsou adhezní organelou, podílí se na dalších funkcích, jako je přenos DNA, tvorba biofilmu, agregace buněk a invaze do hostitelských buněk (Fernández-Bravo & Figueras 2020). Del Corral et al. (1990) zjistili, že pohyblivé druhy aeromonád mají fimbrie a také mají schopnost adheze vůči různým buněčným liniím bez ohledu na to, zda jsou virulentní pro ryby, či nikoliv. U gramnegativních bakterií existují čtyři typy pilů (I – IV), přičemž typ IV nejvíce souvisí s adherencí a virulencí hostitele. Pili typu IV jsou nezávislé na bičících a podílejí se na adherenci epiteliálních buněk, kolonizaci, buněčné invazi, tvorbě biofilmů a virulenci (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013).

3.5.1.1.3 Bičíky

Bičíky jsou orgány odpovědné za bakteriální pohyb. Skládají se z vlákna, háčku a bazálního tělíska. Rod *Aeromonas* má polární a boční bičíky. Přítomnost bočních bičíků umožňuje bakteriím rychlý nebo „rojivý“ typ mobility, který jim umožňuje pohybovat se na pevných površích a vytvářet biofilmy. Polární bičík umožňuje pohyb „plaváním“ v kapalném prostředí (Fernández-Bravo & Figueras 2020).

Stejně jako jiné proteobakterie mají *A. hydrophila* dva typy bičíků (polární a laterální), díky kterým se mohou pohybovat. Nedávné studie prokázaly, že všechny pohyblivé druhy *A. hydrophila* produkují jeden polární bičík, který jim umožňuje pohyb v kapalném prostředí. Jestliže bakterie rostou na viskózním prostředí nebo površích, vyvine se více laterálních bičíků, které zvyšují přilnavost a tvorbu biofilmu (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013).

3.5.1.1.4 Lipopolysacharidy

Lipopolysacharid je hlavní imunomodulační struktura přítomná ve vnější membráně gramnegativních bakterií a je zodpovědná za zánětlivou aktivitu (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013). Lipopolysacharidy (LPS) mají tři podjednotky: polysacharid O (O antigen), který indukuje produkci specifických protilátek, jádro LPS (centrální polysacharid) a lipid A, který je připojen k vnější bakteriální membráně bakterie (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013; Fernández-Bravo & Figueras 2020). Ty hrají důležitou roli v organizaci vnější membrány (Fernández-Bravo & Figueras 2020).

3.5.1.1.5 Kapsula

Kapsula je vrstva polypeptidů a polysacharidů, která pokrývá vnější membránu bakterií. Tato struktura je důležitá pro přežití bakterií, protože zvyšuje odolnost vůči nespecifické imunitní obraně (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013; Fernández-Bravo & Figueras 2020). Kapsule je popisována jako důležitý faktor virulence, který je odolný vůči fagocytóze a systému komplementu (Fernández-Bravo & Figueras 2020). Zda však bakterie vytváří kapsuli, závisí na vhodném složení kultivačního média. Figueras et al. (2011) zjistili, že bakterie s kapsulemi jsou schopny lépe přilnout a napadnout rybí buněčné linie než ty bez kapsulí (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013).

3.5.1.1.6 S-vrstva

S-vrstva je povrchová proteinová vrstva, která je produkována širokou škálou bakterií a tvoří nejvzdálenější buněčný obal. Kromě toho je tato vrstva spojena s několika funkcemi souvisejícími s patogenitou (Fernández-Bravo & Figueras 2020). S-vrstva je spojena s infekcemi aeromonád u ryb, kdy se shodně s kapsulou podílí na odolnosti proti systému hostitelského komplementu a umožňuje bakteriím přilnout k hostitelským buňkám, což usnadňuje kolonizaci (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013).

3.5.1.2 Extracelulární produkty

Vzájemný vztah patogenních bakterií *A. hydrophila* a hostitelských buněk je zprostředkován extracelulárními složkami a toxiny, které se vylučují do extracelulárního prostoru. Těmito produkty jsou proteázy, lipázy, enterotoxiny, hemolyziny nebo toxiny (Fernández-Bravo & Figueras 2020).

3.5.1.2.1 Enzymy

A. hydrophila produkuje proteázy (metaloproteáza, acetylcholinesteráza a serinové proteázy), lipázy, β -laktamázy, chitinázy, nukleázy a různé degradační enzymy (kolagenáza a enoláza). Lipázy bakteriálním buňkám zprostředkovávají živiny a působí jako hydrolázy na membránové lipidy hostitelských buněk. Důležitou lipázou u *A. hydrophila* je glycerolfosfolipid-cholesterol acyltransferáza (GCAT), která má schopnost trávit membrány erytrocytů a způsobovat jejich lýzu (Fernández-Bravo & Figueras 2020).

Obecně proteázy přispívají k patogenitě, protože podporují invazi přímým poškozením hostitelské tkáně nebo proteolytickou aktivací toxinů. Kromě toho mohou také přispět k vytvoření infekce, která převyšuje počáteční obranyschopnost hostitele, deaktivuje systém komplementu, nebo poskytuje živiny pro buněčnou proliferaci. Aeromonády produkují

nejméně tři typy proteáz: metaloproteázu, acetylcholinesterázu a serinové proteázy (Fernández-Bravo & Figueras 2020).

β -laktamázy jsou kovalentně vázané na β -laktamový kruh, hydrolyzují jej a způsobují deaktivaci β -laktamová antibiotika. Podílejí se tedy značnou měrou na antimikrobiální rezistenci. DNasy poskytují bariéru pro vstup cizí DNA do hostitelské buňky. Toto provádějí buď periplazmatickými nebo extracelulárními DNázami (Pemberton et al. 1997). Mezi další extracelulární enzymy podílející se na virulenci patří kolagenáza a enoláza. Kolagenáza je cytotoxická v buněčných liniích Vero. Enoláza je glykolytický enzym vylučovaný a exprimovaný na povrchu. Byla identifikována jako faktor virulence, který se účastní degradace proteinů krevní plazmy (Fernández-Bravo & Figueras 2020).

3.5.1.2.2 Toxiny

Aeromonády vylučují toxiny, které mohou ovlivnit hostitelské buňky a mohou být důležitými faktory virulence (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013). U bakterie *A. hydrophila* byly popsány cytotonické a cytotoxické enterotoxiny (Fernández-Bravo & Figueras 2020).

Cytotoxický enterotoxin inhibuje fagocytickou aktivitu hostitelských buněk, způsobuje hemolýzu a zvyšuje hladiny faktoru nádorové nekrózy (TNF) a interleukinu v buněčných liniích (Fernández-Bravo & Figueras 2020). Cytotonické enterotoxiny přispívají k patogenезi schopností aktivovat systém cAMP (Cyklický adenosinmonofosfát) (Keusch & Donta 1975). Granum et al. (1998) potvrdili, že optimální růstová teplota pro produkci toxinu byla spíše 30 °C než 37 °C, zatímco Mateos et al. (1993) uvedli, že aeromonády izolované z člověka vykazovaly vyšší hladiny produkce toxinu při 37 °C (Wang et al. 2003). Existují dvě skupiny cytotonických enterotoxinů. Prvním je termolabilní cytotonický enterotoxin Alt, který je inaktivován již při 56 °C po dobu 10 minut a nereaguje s cholerovým antitoxinem. Druhým je termostabilní cytotonický enterotoxin Ast, který je inaktivován až teplotou 100 °C po dobu 30 minut a nereaguje s cholerovým antitoxinem (Fernández-Bravo & Figueras 2020). Dalším enterotoxinem je cytotoxický Act, který aktivuje protizánětlivé cytokininy v makrofázích a způsobuje poškození tkáně sekrecí tekutin (Sha et al. 2002).

U bakterie *A. hydrophila* jsou definovány dva typy hemolyzinů (α -hemolyzin a β -hemolyzin), které mají fyziologické a funkční rozdíly. Tyto hemolyziny jsou však schopny vytvářet póry v membráně cílové buňky a způsobit tak jejich lýzu (Fernández-Bravo & Figueras 2020). Bylo zjištěno, že β -hemolytické izoláty *Aeromonas* způsobují podstatně více hromadění tekutin v ileálních smyčkách experimentálně infikovaných králíků než α -hemolytické a nehemolytické izoláty, bez ohledu na jejich druhové označení (Wang et al. 2003). Hemolyzin produkovaný aeromonádami má jak hemolytickou, tak enterotoxickou aktivitu. Burke et al. (1982) zjistili, že 97 % druhů *Aeromonas* produkujících hemolysin bylo schopno vylučovat enterotoxiny (Ghenghesh et al. 2008).

Shiga toxin (Stx) je jedním z nejúčinnějších známých bakteriálních toxinů. Způsobuje akumulaci tekutin v ileálních smyčkách králíků, poškození ledvin u myši a králíků (Melton-Celsa 2014). V poslední době byly toxiny shiga detekovány pouze u aeromonád získaných z potravin. Funkce shiga toxinu je inaktivace ribozomů (zastavení syntézy bílkovin) vaskulárních endoteliálních buněk, což vede k buněčné smrti. Jsou také kódovány v bakteriofágu, které jsou integrovány do bakteriálního chromozomu. Když je indukován lytický cyklus, uvolní se ve velkém množství a jsou schopni infikovat další bakterie (Fernández-Bravo & Figueras 2020).

3.5.1.2.3 Mechanismy získávání železa

Železo je základní živinou pro většinu bakterií. Kovové ionty jsou nezbytné pro správné fungování biologických procesů. Mnoho patogenních bakterií závisí na získávání železa proto, aby přežily v hostiteli. Tato vlastnost významně přispívá k jejich virulenci a hraje důležitou roli ve vývoji infekce a interakci hostitel-patogen. U bakterie *A. hydrophila*, stejně jako u jiných bakteriálních patogenů, může být mechanismus získávání železa závislý na sideroforech nebo nezávislý na sideroforech (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013; Fernández-Bravo & Figueras 2020). Siderofory jsou peptidy, které na sebe vážou železo. Vyvazují ho z komplexnějších sloučenin a činí to tak dostupným pro bakterie. Existuje i mechanismus pro získávání železa, který je na sideroforech nezávislý. Ten se skládá z bakteriálního proteinu vnější membrány, který váže železo (Beaz-Hidalgo & Figueras 2013; Fernández-Bravo & Figueras 2020).

3.6 Rezistence

V průběhu posledního desetiletí se vyvinula antimikrobiální rezistence mezi patogeny, které se přenáší potravinami. Tento přenos je pravděpodobně důsledkem dlouhodobého podávání léků u zvířat, které jsou určeny ke konzumaci, což vedlo ke komplexnímu zvýšení rezistence vůči antibiotikům mezi patogenními bakteriemi (Vivekanandhan et al. 2002). Vysoká míra rezistence vůči antimikrobiálním látkám je běžná u *A. hydrophila*, které byly izolovány z ryb v rozvojových zemích, zejména v Indii a dalších oblastech jihovýchodní Asie (Ghenghesh et al. 2008; Kaskhedikar & Chhabra 2010). Antimikrobiální látky se hojně používají v rybích farmách k léčbě a prevenci chorob ryb. Tyto látky se též využívají jako přísady do krmiv.

Lze pozorovat rozdíly v míře rezistence *A. hydrophila* na různé antimikrobiální látky v různých rozvojových zemích. Tyto rozdíly mohou souviset se zdrojem izolátů, jejich četností a typem antimikrobiálních látek předepsaných pro léčbu infekcí způsobenou *A. hydrophila* (Ghenghesh et al. 2008). Infekční choroby ve světové produkci akvakultury představují celosvětově velký problém, který vede k úplné nebo částečné ztrátě produkce. Vysoká koncentrace ryb spolu s laxním přístupem k hygieně usnadňuje šíření patogenů a způsobuje tak vysokou úroveň úmrtnosti. Jako prevence vysokých ekonomických ztrát ve vodním průmyslu se využívá v rámci akvakultury několik veterinárních léčiv (Harikrishnan & Balasundaram 2005; Ali et al. 2016).

Antimikrobiální rezistence je většinou připisována zneužívání antimikrobiálních léků jako způsob léčby, profylaktika nebo stimulatory růstu. V tomto ohledu je produkce β -laktamázy (enzymů, které inaktivují β -laktamy) zdaleka nejběžnější mechanismus rezistence na léčiva v bakteriích *A. hydrophila* (Stratev & Odeyemi 2016; Ramadan et al. 2018). U těchto bakterií byly popsány tři β -laktamázy:

- metalo- β -laktamázy třídy B,
- cefalosporinázy třídy C,
- penicilináza třídy D.

A. hydrophila vykazuje rezistenci na syntetická antibiotika trichlorfon nebo praziquantel, která vedla k rozvoji rezistence (Ali et al. 2016). Bakterie byly také rezistentní na methicilin a rifampicin, následované bacitracinem a novobiocinem (Daskalov 2006). Tyto bakterie byly

dále rezistentní na ampicilin, bacitracin, cefalothin, tetracyklin a streptomycin (Abbott et al. 1992; Albarral et al. 2016).

K léčbě infekcí jsou zapotřebí inovativní alternativní nebo kombinované metody (Cao et al. 2020), které zahrnují přírodní a ekologické způsoby léčby (např. probiotika nebo imunostimulanty) (Gobi et al. 2018). Probiotika se v poslední době široce používají v akvakultuře, protože produkují bakteriociny a další chemické sloučeniny, které inhibují růst patogenních bakterií (Harikrishnan & Balasundaram 2005). Podávání probiotik způsobuje také mimo jiné přísun živin a enzymů. Probiotika narozdíl od antibiotik nemění kvalitu vody, mohou potlačit růst patogenů, nebo zvýšit vrozenou imunitu ryb (Gobi et al. 2018).

Dalším nastupujícím trendem je výzkum léčivých rostlin, který celosvětově vzrostl, protože byliny používané v tradiční medicíně mají malé vedlejší účinky, jsou snadno biologicky odbouratelné a hojně dostupné v zemědělských oblastech. Některé byliny, které mají silnou antibakteriální aktivitu proti krevetám a bakteriálním patogenům, hrají klíčovou roli při zvládnání nemocí. Aplikace probiotik a bylin v akvakultuře může také snížit náklady na zvládnání nemocí tím, že se v budoucnu odstraní výdaje spojené s používáním antibiotik, chemikálií a očkování (Harikrishnan & Balasundaram 2005).

Konvenční přístupy, jako je použití dezinfekčních prostředků a antimikrobiálních léků, nebyly příliš úspěšné v prevenci nebo léčbě vodních chorob (Chu & Zhu 2010). Bakterie *A. hydrophila* jsou citlivé na chlornan sodný, kvartérní amonné soli, jodoform, 2-chlorfenol a glutaraldehyd. Tyto látky se zpravidla vyskytují v dezinfekčních prostředcích. Dalšími účinnými antimikrobiálními látkami jsou např. alkoholy. Tyto látky vykazují rychlou a širokospektrální antimikrobiální aktivitu proti vegetativním formám bakterií, virů a hub. Alkoholy však nemají sporicidní účinky. Podle McDonnella & Russella (1999) je glutaraldehyd klíčovým dialdehydem používaným k dezinfekci. Vyznačuje se vysokou aktivitou proti bakteriím a jejich sporám, houbám a virům. Formaldehyd je vysoce reaktivní chemická látka interagující s proteiny, DNA a RNA, benzalkonium chlorid je širokospektrální dezinfekční prostředek používaný v akvakultuře. Gottardi (1991) objevil, že jód vykazuje rychlý baktericidní, fungicidní, tuberculocidní, virucidní a sporicidní účinek. Rychle proniká do mikrobů a napadá klíčové skupiny bílkovin (Stratev 2014).

3.7 Citlivost na antibiotika

Aeromonas hydrophila je citlivá na velké množství antibiotik (Pal 2018). Castro-Escarpulli et al. (2003) prokázali, že největší antimikrobiální účinek vůči *A. hydrophila* měly chinolony první generace a cefalosporiny druhé a třetí generace (Daskalov 2006). Cefalosporiny, fluorchinolony a aminoglykosidy třetí generace jsou účinnou léčbou u pacientů s intestinálními infekcemi, ale nikoli u mimostřevních infekcí (Zhou et al. 2019).

Chinolony jsou syntetická antibiotika používaná v léčbě infekce *A. hydrophila* u lidí. Také se používají při léčbě bakteriálních chorob u ryb (Dias et al. 2012).

Cefalosporiny čtvrté generace, včetně cefepimu a cefpiromu, vykazují vyšší aktivitu proti všem druhům ve srovnání s cefalosporiny třetí generace (cefotaxim a ceftazidim). Avšak u některých izolátů byla prokázána vyšší citlivost na cefalosporiny třetí generace, což dokazuje, že *A. hydrophila* má variabilní citlivost na cefalosporiny (Albarral et al. 2016; Elbehiry et al. 2019). Kaskhedikar et al. (2010) izolovali *A. hydrophila* ze vzorků ryb v indickém městě Mhow

(Igbiosa et al. 2012). Ukázalo se, že tato bakterie vykazovala 100% citlivost na ciprofloxacin, cefuroxim, ceftriaxon a cefuroxin (Jun et al. 2010; Pal 2018).

Aminoglykosidy (gentamicin, amikacin, netilmicin a isepamicin) vykazovaly vynikající aktivitu proti *A. hydrophila* (Elbehiry et al. 2019). Nejúčinnější antimikrobiální látka vůči této bakterii je amikacin (jen 6 % rezistence). Testy citlivosti na gentamicin odhalily nejvyšší procento rezistence (28 %) (Dias et al. 2012).

Mezi další širokospektrá bakteriostatická antibiotika patří tetracykliny (oxytetracykliny, chloramfenikol, chloromycetin). Oxytetracyklin se využívá pro léčbu septikémie u ryb. Chloramfenikol (chloromycetin) byl úspěšně použitý k léčbě žab s onemocněním červených končetin. Chloromycetin byl podobně jako oxytetracyklin účinný při léčbě ryb, pokud byl podáván orálně (Cipriano et al. 1984).

4 Závěr

Bakterie *Aeromonas hydrophila* je běžnou environmentální bakterií, která se vyskytuje především ve vodách. Patří mezi významné patogeny vodních živočichů a lidí. Nejčastěji způsobuje septikémii a gastroenteritidu. Výskyt nemocí, které jsou způsobené *A. hydrophila* může souviset se špatnými hygienickými návyky v rozvojových zemích.

A. hydrophila se běžně vyskytuje v různých potravinách. Mnohé studie ji izolovaly z masa, mléka, mléčných výrobků a salátů. Nejvíce se nacházejí v potravinách živočišného původu (ryby, měkkýši, maso, mléko a mléčné výrobky). Většina případů onemocnění byla spojena s chlazenými potravinami, protože *A. hydrophila* přežívá a roste v nízkých teplotách. Z tohoto důvodu jsou chladničky (zejména v rozvojových zemích) vhodným prostředím pro docílení infekční dávky při nesprávném zacházení s potravinami. Během posledních desetiletí se vyvinula rezistence na antibiotika u patogenů, které se mohou přenášet potravinami. To je zapříčiněno dlouhodobým podáváním léčiv živočichům, kteří jsou určeni ke konzumaci.

Proto je nutné monitorovat výskyt této bakterie v potravinách a sledovat vývoj antimikrobiální rezistence. Zároveň je potřeba se zaměřit na vývoj nových metod a strategií pro prevenci a léčbu infekcí způsobených *A. hydrophila*.

5 Literatura

- Abbott SL, Cheung WKW, Kroske-Bystrom S, Malekzadeh T, Janda JM. 1992. Identification of *Aeromonas* strains to the genospecies level in the clinical laboratory. *Journal of Clinical Microbiology* **30**:1262–1266.
- Albarral V, Sanglas A, Palau M, Miñana-Galbis D, Fusté MC. 2016. Potential pathogenicity of *aeromonas hydrophila* complex strains isolated from clinical, food, and environmental sources. *Canadian Journal of Microbiology* **62**:296–306.
- Ali SS, Shaaban MT, Abomohra AEF, El-Safety K. 2016. Macroalgal activity against multiple drug resistant *Aeromonas hydrophila*: A novel treatment study towards enhancement of fish growth performance. *Microbial Pathogenesis* **101**:89–95. Elsevier Ltd. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.micpath.2016.10.026>.
- Beaz-Hidalgo R, Figueras MJ. 2013. *Aeromonas* spp. whole genomes and virulence factors implicated in fish disease. *Journal of Fish Diseases* **36**:371–388.
- Berrang ME, Brackett RE, Beuchat LR. 1989. Growth of *Aeromonas hydrophila* on fresh vegetables stored under a controlled atmosphere. *Applied and Environmental Microbiology* **55**:2167–2171.
- Bottarelli O. 1999. Meningitis due to *Aeromonas hydrophila*. Available from https://www.researchgate.net/publication/6195346_Meningitis_due_to_Aeromonas_hydrophila (accessed February 26, 2021).
- Brandi G, Sisti M, Schiavano GF, Salvaggio L, Albano A. 1996. *Aeromonas sobria* in soil:439–444.
- Burke V, Robinson J, Gracey M, Peterson D, Partridge K. 1984. Isolation of *Aeromonas hydrophila* from a metropolitan water supply: Seasonal correlation with clinical isolates. *Applied and Environmental Microbiology* **48**:361–366.
- Callister SM, Agger WA. 1987. Enumeration and characterization of *Aeromonas hydrophila* and *Aeromonas caviae* isolated from grocery store produce. *Applied and Environmental Microbiology* **53**:249–253.
- Cao Y, Li S, Han S, Wang D, Zhao J, Xu L, Liu H, Lu T. 2020. Characterization and application of a novel *Aeromonas* bacteriophage as treatment for pathogenic *Aeromonas hydrophila* infection in rainbow trout. *Aquaculture* **523**:735193. Elsevier. Available from <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735193>.
- Carriero MM, Mendes Maia AA, Moro Sousa RL, Henrique-Silva F. 2016. Characterization of a new strain of *Aeromonas dhakensis* isolated from diseased pacu fish (*Piaractus mesopotamicus*) in Brazil. *Journal of fish diseases* **39**:1285–1295.
- Chu WH, Zhu W. 2010. Isolation of bdellovibrio as biological therapeutic agents used for the treatment of *aeromonas hydrophila* infection in fish. *Zoonoses and Public Health* **57**:258–264.
- Cipriano RC, Bullock GL, Pyle SW. 1984. DigitalCommons @ University of Nebraska - Lincoln AEROMONAS HYDROPHILA AND MOTILE AEROMONAD.
- Citterio B, Biavasco F. 2015. *Aeromonas hydrophila* virulence. *Virulence* **6**:417–418.
- Daskalov H. 2006. The importance of *Aeromonas hydrophila* in food safety. *Food Control* **17**:474–483.
- Dias C, Mota V, Martinez-Murcia A, Saavedra MJ. 2012. Antimicrobial resistance patterns of

- Aeromonas* spp. Isolated from ornamental fish. *Journal of Aquaculture Research and Development* **3**.
- Elbehiry A, Marzouk E, Abdeen E, Al-Dubaib M, Alsayeqh A, Ibrahem M, Hamada M, Alenzi A, Moussa I, Hemeg HA. 2019. Proteomic characterization and discrimination of *Aeromonas* species recovered from meat and water samples with a spotlight on the antimicrobial resistance of *Aeromonas hydrophila*. *MicrobiologyOpen* **8**:1–14.
- Euzéby JP, Kudo T. 2001. Corrigenda to the validation lists. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* **51**:1933–1938.
- Fernández-Bravo A, Figueras MJ. 2020. An update on the genus *Aeromonas*: Taxonomy, epidemiology, and pathogenicity. *Page Microorganisms*.
- Freitas AC, Nunes MP, Milhomem AM, Ricciardi ID. 1993. Occurrence and Characterization of *Aeromonas* Species in Pasteurized Milk and White Cheese in Rio De Janeiro, Brazil. *Journal of Food Protection* **56**:62–65.
- Garrity G, Bell J, Lilburn T. 2010. Family I. Pseudomonadaceae. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, vol 2B:323–379. Available from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20697963>.
- Ghenghesh KS, Ahmed SF, El-Khalek RA, Al-Gendy A, Klena J. 2008. *Aeromonas*-associated infections in developing countries. *Journal of infection in developing countries* **2**:81–98.
- Gobi N, Vaseeharan B, Chen JC, Rekha R, Vijayakumar S, Anjugam M, Iswarya A. 2018. Dietary supplementation of probiotic *Bacillus licheniformis* Dabh1 improves growth performance, mucus and serum immune parameters, antioxidant enzyme activity as well as resistance against *Aeromonas hydrophila* in tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Fish and Shellfish Immunology* **74**:501–508. Elsevier Ltd. Available from <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.12.066>.
- Gómez-Garcés JL, Saéz D, Almagro M, Fernández-Romero S, Merino F, Campos J, Oteo J. 2011. Osteomyelitis associated to CTX-M-15-producing *Aeromonas hydrophila*: First description in the literature. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease* **70**:420–422. Elsevier Inc. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2011.03.004>.
- Harikrishnan R, Balasundaram C. 2005. Modern trends in *Aeromonas hydrophila* disease management with fish. *Reviews in Fisheries Science* **13**:281–320.
- Hasan J. 2006. EPA Office of Water *Aeromonas* : Human Health Criteria Document. *Science And Technology*.
- Huys G, Kämpfer P, Albert MJ, Kühn I, Denys R, Swings J. 2002. *Aeromonas hydrophila* subsp. *dhakensis* subsp. nov., isolated from children with diarrhoea in Bangladesh, and extended description of *Aeromonas hydrophila* subsp. *hydrophila* (Chester 1901) stanier 1943 (approved lists 1980). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* **52**:705–712.
- Huys G, Pearson M, Kämpfer P, Denys R, Cnockaert M, Inglis V, Swings J. 2003. *Aeromonas hydrophila* subsp. *ranae* subsp. nov., isolated from septicaemic farmed frogs in Thailand. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* **53**:885–891.
- Igbinosa IH et al. 2012a. *Aeromonas* spp. whole genomes and virulence factors implicated in fish disease. *Journal of Food Safety* **92**:5599–5611. King Saud Bin Abdulaziz University for Health Sciences. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiph.2015.10.006>.

- Igbinosa IH, Igumbor EU, Aghdasi F, Tom M, Okoh AI. 2012b. Emerging *Aeromonas* species infections and their significance in public health. *The Scientific World Journal* **2012**.
- Isonhood JH, Drake M. 2002. *Aeromonas* species in foods. *Journal of Food Protection* **65**:575–582.
- Janda JM, Abbott SL. 2010. The genus *Aeromonas*: Taxonomy, pathogenicity, and infection. *Clinical Microbiology Reviews* **23**:35–73.
- Jun JW, Kim JH, Gomez DK, Jr CHC, Han JE, Shin P, Park SC. 2010. Occurrence of tetracycline-resistant *Aeromonas hydrophila* infection in Korean cyprinid loach (*Misgurnus anguillicaudatus*). *African Journal of Microbiology Research* **4**:849–855.
- Kaskhedikar M, Chhabra D. 2010. Multiple drug resistance in *Aeromonas hydrophila* isolates of fish. *Veterinary World* **3**:76–77.
- Keusch GT, Donta ST. 1975. Classification of enterotoxins on the basis of activity in cell culture. *Journal of Infectious Diseases* **131**:58–63.
- Krovacek K, Huang K, Sternberg S, Svenson SB. 1998. *Aeromonas hydrophila* septicaemia in a grey seal (*Halichoerus grypus*) from the Baltic Sea: A case study. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* **21**:43–49.
- LPSN. 1997. LPSN - List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature Available from <https://lpsn.dsmz.de/species/aeromonas-hydrophila> (accessed November 2020)
- M. Randy White DVM. 1991. Diagnosis and Treatment of “*Aeromonas Hydrophila*” Infection of Fish. *Aquaculture Extension*:6: 91–2. Available from <http://www.extension.purdue.edu/extmedia/AS/AS-461.pdf>.
- Martínez-Murcia A et al. 2012. Antimicrobial resistance of *Aeromonas hydrophila* isolated from different food sources: A mini-review. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* **2**:417–418. Elsevier B.V. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.bios.2010.08.030> (accessed February 11, 2021).
- McMahon MAS, Wilson IG. 2001. The occurrence of enteric pathogens and *Aeromonas* species in organic vegetables. *International Journal of Food Microbiology* **70**:155–162.
- Melas DS, Papageorgiou DK, Mantis AI. 1999. Enumeration and confirmation of *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas caviae*, and *Aeromonas sobria* isolated from raw milk and other milk products in northern Greece. *Journal of Food Protection* **62**:463–466.
- Melton-Celsa AR. 2014. Shiga Toxin (Stx) Classification, Structure, and Function.
- Merkel JR, Traganza ED, Mukherjee BB, Griffin TB, Prescott JM. 1964. Proteolytic activity and general characteristics of a marine bacterium, *Aeromonas proteolytica* sp. N. *Journal of Bacteriology* **87**:1227–1233.
- Miñana-Galbis D, Farfán M, Albarral V, Sanglas A, Lorén JG, Fusté MC. 2013. Reclassification of *aeromonas hydrophila* subspecies *anaerogenes*. *Systematic and Applied Microbiology* **36**:306–308.
- Ottaviani D, Santarelli S, Bacchiocchi S, Masini L, Ghittino C, Bacchiocchi I. 2006. Occurrence and characterization of *Aeromonas* spp. in mussels from the Adriatic Sea. *Food Microbiology* **23**:418–422.
- Pablos M, Rodríguez-Calleja JM, Santos JA, Otero A, García-López ML. 2009. Occurrence of motile *Aeromonas* in municipal drinking water and distribution of genes encoding

- virulence factors. *International Journal of Food Microbiology* **135**:158–164. Elsevier B.V. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.08.020>.
- Pal M. 2018. Is *Aeromonas hydrophila* a potential pathogen of food safety concern ? *Journal Food Microbioloy* **2**:3–4.
- Palumbo SA, Bencivengo MM, Del Corral F, Williams AC, Buchanan RL. 1989. Characterization of the *Aeromonas hydrophila* group isolated from retail foods of animal origin. *Journal of Clinical Microbiology* **27**:854–859.
- Parker JL, Shaw JG. 2011. *Aeromonas* spp. clinical microbiology and disease. *Journal of Infection* **62**:109–118. Elsevier Ltd. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.jinf.2010.12.003>.
- Pemberton JM, Kidd SP, Schmidt R. 1997. Secreted enzymes of *aeromonas*. *FEMS Microbiology Letters* **152**:1–10.
- Popoff M, Veron M. 1976. A taxonomic study of the *Aeromonas hydrophila* *Aeromonas punctata* group. *Journal of General Microbiology* **94**:11–22.
- Pu W, Guo G, Yang N, Li Q, Yin F, Wang P, Zheng J, Zeng J. 2019. Three species of *Aeromonas* (*A. dhakensis*, *A. hydrophila* and *A. jandaei*) isolated from freshwater crocodiles (*Crocodylus siamensis*) with pneumonia and septicemia. *Letters in Applied Microbiology* **68**:212–218.
- Ramadan H, Ibrahim N, Samir M, Abd El-Moaty A, Gad T. 2018. *Aeromonas hydrophila* from marketed mullet (*Mugil cephalus*) in Egypt: PCR characterization of β -lactam resistance and virulence genes. *Journal of Applied Microbiology* **124**:1629–1637.
- Sahoo PK et al. 2016. Detection of goldfish haematopoietic necrosis herpes virus (Cyprinid herpesvirus-2) with multi-drug resistant *Aeromonas hydrophila* infection in goldfish: First evidence of any viral disease outbreak in ornamental freshwater aquaculture farms in India. *Acta Tropica* **161**:8–17. Elsevier B.V. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.actatropica.2016.05.004>.
- Sedláček I, Krejčí E, Andělová A, Sedláčková M, Porazilová I, Holočová P. 2012. *Aeromonas hydrophila* subsp. *dhakensis* - A causative agent of gastroenteritis imported into the Czech Republic. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* **19**:409–413.
- Seshadri R et al. 2006. Genome sequence of *Aeromonas hydrophila* ATCC 7966T: Jack of all trades. *Journal of Bacteriology* **188**:8272–8282.
- Sha J, Kozlova E V., Chopra AK. 2002. Role of various enterotoxins in *Aeromonas hydrophila*-induced gastroenteritis: Generation of enterotoxin gene-deficient mutants and evaluation of their enterotoxic activity. *Infection and Immunity* **70**:1924–1935.
- Stanier RY, Adams GA. 1944. The nature of the *Aeromonas* fermentation. *Biochemical Journal* **38**:168–171.
- Stratev D. 2014. *Aeromonas Hydrophila* Sensitivity To Disinfectants. *Journal of FisheriesSciences.com* **8**:324–330.
- Stratev D, Odeyemi OA. 2016a. Antimicrobial resistance of *Aeromonas hydrophila* isolated from different food sources: A mini-review. *Journal of Infection and Public Health* **9**:535–544. King Saud Bin Abdulaziz University for Health Sciences. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiph.2015.10.006>.
- Stratev D, Odeyemi OA. 2016b. Antimicrobial resistance of *Aeromonas hydrophila* isolated

- from different food sources: A mini-review. *Journal of Infection and Public Health* **9**:535–544. King Saud Bin Abdulaziz University for Health Sciences. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiph.2015.10.006>.
- Štetina Jiří. 2014. Miniatlas mikroorganismů. Available from <http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/aero.htm> (accessed 2021)
- Tahoun ABMB, Ahmed HA, Abou Elez RMM, El-Gedawy AA, Elsohaby I, Abd El-Ghfar AE. 2016. Molecular characterisation, genotyping and survival of *Aeromonas hydrophila* isolated from milk, dairy products and humans in Egypt. *International Dairy Journal* **63**:52–58. Elsevier Ltd. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.07.011>.
- Vivekanandhan G, Savithamani K, Hatha AAM, Lakshmanaperumalsamy P. 2002. Antibiotic resistance of *Aeromonas hydrophila* isolated from marketed fish and prawn of South India. *International Journal of Food Microbiology* **76**:165–168.
- Wang G, Clark CG, Liu C, Pucknell C, Munro CK, Kruk TM a C, Caldeira R, Woodward DL, Rodgers FG. 2003. Detection and Characterization of the Hemolysin Genes in. *Society* **41**:1048–1054.
- Xanthopoulos V, Tzanetakis N, Litopoulou-Tzanetaki E. 2010. Occurrence and characterization of *Aeromonas hydrophila* and *Yersinia enterocolitica* in minimally processed fresh vegetable salads. *Food Control* **21**:393–398. Elsevier Ltd. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.06.021>.
- Zhou Y, Yu L, Nan Z, Zhang P, Kan B, Yan D, Su J. 2019. Taxonomy, virulence genes and antimicrobial resistance of *Aeromonas* isolated from extra-intestinal and intestinal infections. *BMC Infectious Diseases* **19**:1–9.