

Probioticele în nutriția peștilor: beneficii și aplicabilitate

Probiotics in fish nutrition: benefits and applicability

Folescu Mihai, Dumitrescu Eugenia, Orășan A. Sergiu, Florin Muselin, Doma Alexandru Octavian, Stoichescu Caius, Cocos Daiana, Cristina Romeo Teodor.
FMV Timișoara

Correspondance to: mikefolescu@gmail.com

Cuvinte cheie: probiotice, nutriție, acvacultura, antibiorezistentă, industria alimentară, imunomodularea.

Key words: probiotics, nutrition, aquaculture, antibiotic resistance, food industry, immunomodulation.

Rezumat

Probioticele joacă un rol esențial în nutriția peștilor, contribuind semnificativ la sănătatea și creșterea acestora în acvacultură. Prin includerea tulpinilor bacteriene benefice în furaje, cum ar fi *Lactobacillus* și *Bacillus subtilis*, se îmbunătățesc valorile nutritive ale furajelor, se optimizează digestia enzimatică și se inhibă microorganismele patogene. Probioticele stimulează răspunsul imunitar, cresc diversitatea microbiană intestinală și au efecte anti-mutagenice și anti-carcinogene. Metodele moderne de administrare includ bioîncapsularea și utilizarea alimentelor vii, asigurând astfel supraviețuirea și colonizarea eficientă a probioticelor în tractul digestiv al peștilor. Astfel, utilizarea probioticelor în alimentația peștilor nu doar îmbunătățește performanța de creștere și sănătatea acestora, ci și promovează o acvacultură sustenabilă și eficientă din punct de vedere ecologic.

Abstract

Probiotics play an essential role in fish nutrition, significantly contributing to their health and growth in aquaculture. By incorporating beneficial bacterial strains such as *Lactobacillus* and *Bacillus subtilis* into feed, the nutritional value of the feed is enhanced, enzymatic digestion is optimized, and pathogenic microorganisms are inhibited. Probiotics stimulate the immune response, increase intestinal microbial diversity, and have anti-mutagenic and anti-carcinogenic effects. Modern administration methods include bioencapsulation and the use of live foods, thus ensuring the probiotics' survival and effective colonization in the fish's digestive tract. Therefore, using probiotics in fish nutrition not only improves growth performance and health but also promotes sustainable and ecologically efficient aquaculture.

1. Metode moderne de administrare a probioticelor în hrana peștilor

Conceptul din spatele compoziției probioticelor din furaje este de a aplica tulpinile bacteriene benefice în furaje folosind agenți de legătură precum ouă și ulei de ficat de cod, pentru a obține efecte microbiene benefice cu mai multă eficiență și un cost de mediu redus.

Majoritatea preparatelor comerciale conțin fie *Lactobacillus*, fie *Saccharomyces cerevisiae*, bacterii nitrificatoare, Streptococi, *Roseobacter* și *Bacillus* sp.

Efectele benefice ale utilizării regulate a probioticelor în furajele pentru pești din Marea Britanie și alte țări europene au fost raportate [3].

În acvacultură, probioticele pot fi și încapsulate în furaje sau în alimente vii, cum ar fi rotiferele și crustaceele *Artemia* [36].



Fig.1. Crevetele *Artemia*

Sursa: <https://tropical-fish-keeping.com/wp-content/uploads/2018/10/Brine-Shrimp-Artemia.jpg> [60]

O altă aplicare eficientă a probioticelor pentru animalele acvatice este prin bioîncapsulare sau infuzii în diete.

Organismele probiotice utilizate în alimentație trebuie să fie capabile să supraviețuiască trecerii prin tractul digestiv, ele trebuie să reziste sucurilor gastrice și expunerii la bilă. În plus, probioticele trebuie să fie capabile să se prolifereze și să colonizeze tractul digestiv pentru a fi sigure, eficiente și pentru a-și menține eficacitatea și potența pe durata de valabilitate a produsului [5].



Fig. 2. *Euchlanis dilatata* – Rotifer

Sursa: <https://www.canadiannaturephotographer.com/rotifers.html> [61]

Beneficiile includerii tulpinilor bacteriene în ingredientele furajere includ îmbunătățirea valorilor furajelor, contribuția la digestia enzimatică, inhibarea microorganismelor patogene, activitate anti-mutagenică și anti-carcinogenă, factori de promovare a creșterii și răspuns imunitar îmbunătățit. În ceea ce privește efectele probioticelor

Bacillus subtilis asupra diversității microbiene intestinale și imunității grupului de pești *Epinephelus coioides* s-a dovedit ca răspunsul celular înăscut și activitatea respiratorie ale grupurilor suplimentate au fost semnificativ mai ridicate comparativ cu grupul de control la 10 și 20 de zile după hrănire și chiar mai semnificative la 30 de zile [7].



Fig. 3. Codul de estuar - *Epinephelus coioides*

Sursa: <https://indiabiodiversity.org/species/show/232208> [62]

Probioticul *B. subtilis* crește diversitatea microbiană intestinală prin stimularea populațiilor bacteriene de *Paenibacillus* sp., *Lactobacillus* oeni, tulpina 59b și *Methylococcus* inferorum, tulpina V4, care sunt benefice pentru *E. coioides*. Cea mai bună doză de probiotic *B. subtilis*, pe baza performanței de creștere, răspunsurilor celulare înăscute și profilului microbian al intestinelor peștilor, este de 0,1%, care a arătat o eficacitate egală cu dieta de 1%. Astfel, utilizarea probioticelor din furaje în acvacultură a deschis posibilitatea unei acvaculturi comerciale durabile [18].

2. Utilizarea probioticelor pentru creșterea eficienței furajelor în acvacultură

Anumite probiotice și prebiotice pot promova o digestie corespunzătoare, pot crește răspunsul imunitar, pot menține calitatea apei și pot acționa ca promotori ai creșterii, supraviețuirii și sănătății animalelor acvatice.

În acvacultură, intestinalele, branhiile, mucusul de pe pielea animalelor acvatice și habitatul acestora, sau chiar colecțiile de culturi și produsele comerciale de probiotice și prebiotice pot fi Gram-pozitive și Gram-negative, precum și non-bacteriene, cum ar fi bacteriofagii, microalgele și drojdia.

În cele din urmă, aplicațiile probiotice pot include multiple tulpini sau chiar o combinație de prebiotice, sinbiotice și spume vii [47].

Utilizarea probioticelor poate crește productivitatea în acvacultură, având efecte ecologice benefice ce pot rezista unei game largi de agenți patogeni și pot controla infecțiile.

Cercetările actuale privind probioticele pentru acvacultură, datorită suplimentării alimentare cu microorganisme vii, arată îmbunătățiri ale digestibilității intestinale și ale sistemului imunitar la animale. Probioticele pot combate bacterii patogene precum *Lactobacillus* sp., *Bifidobacterium*, *Lactococcus* și *Streptococcus* sp. [10].

Proteinele de origine animală acvatică contribuie cu 43% la aprovizionarea globală cu proteine animale, iar importanța acvaculturii în evaluarea și deciziile legate de producția de

pești, moluște și crustacee este bine recunoscută.



Fig. 4. Somn (*Silurus glanis*)

Sursa: <https://naturescu.com/wp-content/uploads/2021/06/Tipuri-de-pestesomn> [63]

Probioticele, cum ar fi bacteriile acidolactice și *Bacillus* sp., reprezintă suplimente ecologice în hrana animalelor, reducând nivelurile patogene fără efecte secundare și îmbunătățind digestibilitatea și creșterea organismelor cultivate [11].

Vibrio parahaemolyticus afectează dezvoltarea acvaculturii, iar aditivii alimentari au demonstrat că fructele de mare sunt o sursă de probiotice ce acționează împotriva bacteriilor Gram-pozitive și Gram-negative. Diverse microorganisme, precum *Streptomyces panacagri* și *Streptomyces flocculus*, îmbunătățesc digestibilitatea și acționează ca probiotice antagoniste împotriva agenților patogeni alimentari, oferind o alternativă la antibiotic [6].

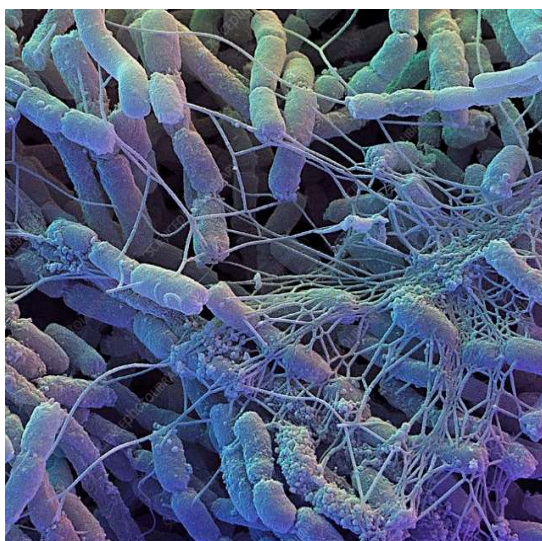


Fig. 5. *Streptomyces* spp.

Sursa: David Scharf / Science photo library [64]

Intestinul peștilor marini sănătoși conține bacterii cu efecte antimicrobiene și un spectru larg de activitate antimicrobiană în tulpinile de bacterii acidolactice, cum ar fi *Lactococcus lactis* sp. *lactis*, două *Enterococcus* sp., *Lactobacillus plantarum* și *Leuconostoc mesenteroides* sp. *mesenteroides*, care sunt eficiente împotriva agenților patogeni din acvacultură, inclusiv *Vibrio harveyi*, *V. splendidus* și *Photobacterium damsela*. *Actinomyces* sp. izolat din sedimente marine a demonstrat proprietăți similare probioticelor în mai multe teste in vitro [9].

Deși probioticele conțin și bacteriocină, un compus bioactiv, acesta a fost colectat de la animale marine și conține peptide antibiotice care luptă împotriva agenților patogeni [23].

Mediul marin oferă o varietate largă de *Streptomyces* care pot fi utilizate ca probiotice în acvacultură. Mecanismul MSU3IR al *Lactococcus graviae* și *Lactobacillus* sp. a crescut nivelul de bacteriocină, inhibând astfel patogenul *Listeria monocytogene* în creveți.

Subtilomicina, un compus bioactiv cu spectru larg de activitate antimicrobiană, a fost confirmată ca fiind produsă de *Haliclona simulans*, ce poate genera *Bacillus subtilis* tulpina MMA7 izolat din buretele marin [19].



Fig. 6. *Haliclona simulans*

Sursa: https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/71649?lq=en [65]

2.1. Cele mai utilizate probiotice în furaje

Microorganismele probiotice au efecte benefice asupra tractului gastrointestinal al animalelor acvatice, ajutând la digestia

nutrienților din alimentație și la producerea de energie.

Cele mai comune preparate probiotice folosite în acest scop sunt bacteriile acidolactice [22].

Îmbunătățirea digestibilității nutrienților se datorează nivelului crescut de enzime digestive (protează, amilază, celulază, fitază etc.) produse de comunitatea microbiană intestinală modificată de probiotice în gazdă. De exemplu, unele bacterii (*Rhodobacter sphaeroides* și *Bacillus* sp.) contribuie eficient la procesele de digestie prin activarea semnificativă a enzimelor protează, lipază, amilază și celulază la creveții albi (*Litopenaeus vannamei*) și la bivalve [8].



Fig. 7. *Litopenaeus vannamei*

Sursa: https://euimg.eworldtrade.com/uploads/user_products/4/8/product-680338-g-0-t-1561046610-o.jpg

[66]

În plus, studii recente au arătat că probioticele pot stimula absorbția nutrienților prin creșterea suprafeței tractului gastrointestinal al gazdei, bazându-se pe modificări cantitative în măsurătorile histologice ale zonei pliurilor intestinale, celulelor enterochromaffine și microvililor [59].

Până în prezent, mai multe bacterii (*Pseudomonas* sp., *Brevibacterium* sp., *Microbacterium* sp., *Agrobacterium* sp. și *Staphylococcus* sp.) au fost raportate că ajută la fiziologia nutrițională și metabolică la păstrăvul de Arctic (*Salvelinus alpinus*) [44].

Diferite tulpini bacteriene sub formă de probiotice contribuie semnificativ și prin modularea populației microbiene intestinale a organismelor gazdă, în special prin sintetizarea acizilor grași, mineralelor, vitaminelor și aminoacizilor esențiali [37].



Fig. 8. Pastrav arctic (*Salvelinus alpinus*)

Sursa: <https://www.flickr.com/photos/72616463@N00/3798548888/> [67]

2.2. Bioencapsularea probioticelor în furaje

Encapsularea este un proces care permite trecerea moleculelor mici, formând un strat continuu în jurul unei matrici interne complet conținută în peretele capsulei ca un nucleu de material încapsulat.

Bioîncapsularea sau bioîmbogățirea este un proces care poate îmbunătăți starea nutrițională a organismelor de hrană vie, fie prin hrănirea lor, fie prin incorporarea împreună cu diverse tipuri de nutrienți [35].

Tehnologia de încapsulare a probioticelor are potențialul de a proteja microorganismele și de a le livra în intestin.

Cu toate acestea, inocularea probioticelor prin bioîncapsulare în hrană vie, cum ar fi microalgele, rotiferele și Artemia, este o abordare interesantă, deși procesul de administrare prin hrană vie îmbogățită nu pare a fi viabil din punct de vedere economic și este dificil de realizat în practicile de acvacultură la scară largă.

Este fezabilă utilizarea culturilor de microalge ca vectori pentru introducerea antagonistilor bacterieni în combaterea agenților patogeni bacterieni din acvacultură [55].

Totusi influența bacteriilor aduse de organismele de hrană vie a fost deosebit de dramatică în timpul primei hrăniri. În urma unui studiu s-au evaluat efectele diferitelor concentrații de *Bacillus* spp. probiotic la diferite intervale de bioîncapsulare asupra performanței de creștere și ratei de supraviețuire a larvelor de sturion persan (*Acipenser persicus*).



Fig. 9. Sturion persan (*Acipenser persicus*)

Sursa: <https://animalesenpeligrodeextincion.eu/wp-content/uploads/Acipenser-persicus1.jpg> [68]

Acest studiu a demonstrat un raport semnificativ de eficiență a conversiei, o rată specifică de creștere, un raport de conversie a hranei, un factor de condiție și un coeficient zilnic de creștere ($p < 0,05$). Cu toate acestea, supraviețuirea tuturor grupurilor nu a fost semnificativ diferită după 28 de zile [46].

O alternativă ar fi tehnica transferului controlat al imunostimulanților prin încorporarea de Artemia și rotifere în hrana vie. După 12-24 de ore de îmbogățire a *A. franciscana* nou eclozate cu o sursă de lipide, se detectează o creștere semnificativă a conținutului de acizi grași nesaturați (HUFA). Asadar s-a raportat că *Bacillus subtilis* și *Lactobacillus plantarum* bioîncapsulate în Artemia au obținut rezultate bune împotriva vibriosisului [33].

Lactobacillus rhamnosus GG de origine umană a fost folosită pe tilapia (*Oreochromis niloticus*) pentru a studia performanța de creștere, imunitatea mucoasei intestinale și răspunsul imun umoral și celular, iar un experiment de hrănire a fost realizat prin încorporarea directă a bacteriilor în pelete comerciale uscate, având rezultate favorabile asupra dezvoltării și reproducției acestora [12].



Fig. 10. Tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Sursa: https://fish-commercial-names.ec.europa.eu/fish-names/species/oreochromis-niloticus_ro [69]

3. Îmbunătățirea performanței creșterii și sănătății peștilor prin administrarea probioticelor

Mediul intestinal oferă un habitat favorabil microorganismelor indigene, furnizându-le spațiu, locuri de atașare și nutriție. Comunitățile microbiene echilibrate sunt foarte importante pentru menținerea sănătății intestinului. În timpul bolilor, comunitățile microbiene naturale din intestin sunt perturbate, ceea ce duce la diverse probleme de sănătate.

Peștii trăiesc într-un mediu înconjurat de o populație vastă de bacterii patogene, fungi și viruși mortali. Restaurarea comunităților microbiene intestinale prin suplimentarea dietei cu probiotice este o metodă eficientă de a îmbunătăți sănătatea peștilor [43].

Cu toate acestea, selecția probioticelor variază semnificativ de la o specie de pește la alta pentru a menține corect raportul dintre bacteriile bune și cele rele la nivelul mucoasei intestinale. Până în prezent, mai mulți candidați bacterieni au fost testați pentru potențialul probiotic; totuși, câțiva candidați din genurile *Bacillus*, *Micrococcus*, *Enterococcus*, *Phaeobacter*, *Shewanella*, bacterii acidolactice și *Pseudomonas* au câștigat popularitate în manipularea florei intestinale la pești. Într-un studiu, s-au raportat efectele benefice ale trei probiotice (*Shewanella* sp. AFG21, *Bacillus* sp. AHG22 și *Alcaligenes* sp. AFG22) în *Tor tambroides*, care sunt capabile să modifice compoziția microbiană în favoarea populațiilor bacteriene benefice [27].



Fig. 11. O specie de crap (*Tor tambroides*).

Sursa: <https://laukkancra.blogspot.com/2012/12/red-mahseer-tor-tambroides.html> [70]

Mai multe surse au raportat că probioticele au efecte pozitive asupra performanțelor de creștere. De exemplu, un probiotic autohton al tulpinii LAB a fost amestecat în hrană, în timp ce o altă tulpină autohtonă de *Bacillus* a fost adăugată în sistemul de creștere, iar ambele probiotice au fost combinate pentru testare în cultura de tilapia. Această abordare a dus la o greutate finală mai mare a pestelui, o rată de creștere absolută și o rată de creștere specifică mai ridicate decât în grupul de control. În plus, s-a raportat că probioticele potențiale produc o eficiență ridicată în dietele cu conținut scăzut de proteine, ceea ce poate reduce costurile de producție [15].

Mai mult, diferitele proprietăți probiotice (aderență ridicată și aderență scăzută) au arătat efecte diferite asupra raportului de conversie a hranei și asupra creșterii în greutate a tilapiei hibride. Efectele negative ale probioticelor includ rapoarte despre o creștere mai redusă în stadiul de puiet al tilapiei. În alte studii, s-a raportat că suplimentarea hranei pentru peștele pangasius (*Pangasianodon hypophthalmus*) cu probioticul *S. cerevisiae* în formă microîncapsulată liofilizată a avut efecte favorabile majore asupra raportului de conversie a hranei, iar performanțele de creștere au fost semnificativ îmbunătățite [2].



Fig. 12. Pangasius (*Pangasianodon hypophthalmus*).
Sursa: <https://www.fishhobbyist.net/2022/01/getting-to-know-pangasianodon.html> [71]

Probioticul *Acinetobacter* KU011TH, utilizat ca aditiv în hrană, a produs îmbunătățiri ale performanței de creștere și o rată de supraviețuire mai bună la somnul cu cap mare (*Clarias macrocephalus*) [14].

Un studiu anterior a raportat că dieta suplimentată cu probiotice la păstrăvul curcubeu a fost foarte eficientă în creșterea

populației de bacterii benefice *Bacillus subtilis* [25].



Fig. 13. Pastrav-curcubeu (*Oncorhynchus mykiss*).

Sursa: <http://underwater-fish.blogspot.com/2011/11/rainbow-trout-oncorhynchus-mykiss.html> [72]

De asemenea, s-a raportat că colonizarea *B. subtilis* pe suprafața epitelială intestinală a conferit protecție (creșterea imunității, reducerea stresului oxidativ, creșterea concentrației de lizozim seric și îmbunătățirea activității fagocitare a celulelor specializate) împotriva tulpinilor patogene de *Aeromonas* sp [42].

Un studiu unde s-a folosit produsul probiotic comercial (Bioplus) conținând un amestec de *B. subtilis* și *Bacillus licheniformis*. În aceeași direcție, un studiu efectuat pe patru specii de pești (*Poecilia sphenops*, *Xiphophorus maculatus*, *Poecilia reticulata* și *Xiphophorus helleri*) hrăniți cu dietă conținând *B. subtilis* a raportat creșterea populației de *B. subtilis* pe suprafața mucoasei intestinale [38].



Fig. 14. Peste molly-negru (*Poecilia sphenops*)

Sursa: <https://aquaria.pro/product/poecilia-sphenops>. [73]

Recent, efectele a două tulpini probiotice *Bacillus subtilis* și *Rhodococcus* sp. au fost

evaluate asupra microbiotei intestinale a speciei *Oreochromis niloticus*.

Rezultatele studiului au indicat o schimbare semnificativă a comunității microbiene intestinale (creșterea procentului de proteobacterii și bacteroidete) la peștii hrăniți cu probiotice comparativ cu cei din grupul de control. Studiul a mai raportat că bacteriile aparținând familiei de proteobacterii sunt membri importanți, deoarece sunt implicate în mineralizarea compușilor organici și în procesul de reciclare a nutrienților la pești [19].

Capacitatea de restaurare a microbiotei intestinale de către două probiotice a fost testată și la peștele molly negru (*Poecilia sphenops*) tratat cu antibiotic. Rezultatele studiului au indicat că ambii candidați probiotici (*Phaeobacter inhibens* S4Sm și *Bacillus pumilus* RI06-95Sm) au reușit să restabilească comunitatea microbiană la normal [14].

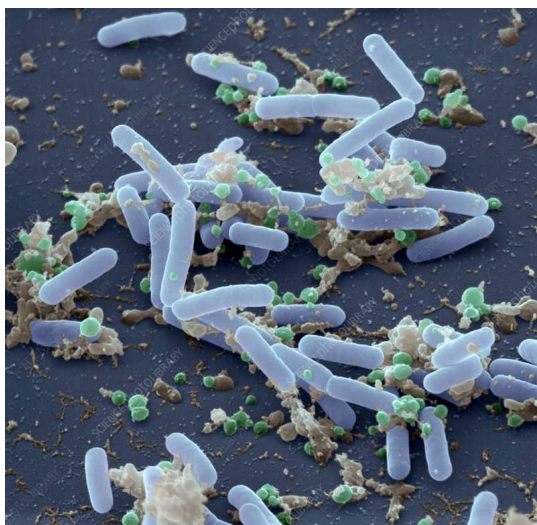


Fig. 15. *Bacillus pumilus* RI06-95Sm

Sursa: <https://www.sciencephoto.com/media/12402/view> [74]

Printre numeroasele tulpini probiotice, grupurile de lactobacili ca probiotice în acvacultură au fost studiate pe larg. Este bine stabilit că lactobacili au o mare capacitate de colonizare și, astfel, se mențin pentru o perioadă mai lungă pe suprafața epitelială a intestinului, conferind efecte benefice mai mari gazdei și microbiotei intestinale [48].

Cercetările pe modele de pești germ-free au indicat că probioticele împreună cu factorii de mediu au un impact mare asupra modulației

microbiotei intestinale în ceea ce privește producția de anticorpi, eliberarea stresului și colonizarea rezistentă.

Capacitatea probioticelor de a manipula microbiota intestinală depinde de mai mulți factori externi/ambientali (calitatea apei, temperatura și pH-ul) și interni (vârsta peștelui, puterea de legare a probioticelor, durata dietei suplimentate cu probiotice, sistemul de administrare etc.). Modificarea oricăruia dintre acești factori poate afecta eficiența probioticelor [13].

3.1. Rolul probioticelor în îmbunătățirea imunității peștilor de acvacultură

Probioticele joacă un rol benefic ca imunostimulatoare, ajutând la protecția speciilor de acvacultură prin reducerea impactului bolilor și împiedicarea intrării agenților patogeni [20].

Astfel, utilizarea acestora ca imunostimulatoare este o abordare foarte practică pentru a îmbunătăți succesul în acvacultură. Mulți autori au confirmat utilizarea probioticelor pentru a crește răspunsul imunitar, rezistența la boli și pentru a reduce malformațiile la speciile de crap [17].

Mecanismul posibil al acțiunii lor include răspunsuri imune celulare și umorale, iar expresia IL-1b, TNFα și lizozim-C crește atunci când peștii sunt hrăniți cu o dietă îmbogățită cu *Aeromonas veronii*, *Vibrio lentus* și *Flavobacterium sasangense* [30].

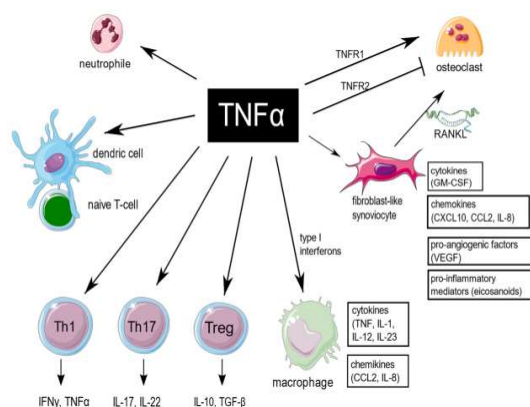


Fig. 16. TNFα (factorul de necroza tumorală) este o citokină pleiotropă, care este implicată în funcția diferitelor celule

Sursa: <https://encyclopedia.pub/entry/20537> [75]

Un raport experimental a susținut că probioticele, suplimentate la 10 CFU/g dietă timp de 2 săptămâni, acționează ca imunomodulatori prin legarea MAMP-urilor (modele moleculare asociate microorganismelor) de receptorii de recunoaștere a pattern-urilor patogene (PRR) pe celule imunogenice precum celulele dendritice și macrofage, declanșând o cascadă de semnalizare intracelulară, care duce la eliberarea unor citokine și interleukine specifice de către celulele T activate pentru a exercita efecte antivirale, pro- sau antiinflamatorii. Din păcate, rolul specific al suplimentării cu probiotice asupra exprimării parametrilor imunologici nu este încă pe deplin înțeles. [21].

3.2. Proprietățile antivirale asupra peștilor de acvacultură

Deși datele indică faptul că inactivarea virusurilor poate avea loc prin intermediul unor extracte din diferite tulpini bacteriene probiotice în acvacultură, mecanismul exact prin care acestea își exercită acțiunea nu este cunoscut. Este bine stabilit că probioticele precum *Pseudomonas sp.* și *Vibrios sp.* sunt foarte eficiente împotriva virusului necrozei hematopietice infecțioase (IHNV) [31].

Aetiological agent

Agent strains

The fish rhabdovirus, IHNV, has a bullet-shaped virion containing

- ❖ a non-segmented,
- ❖ negative-sense,
- ❖ single-stranded RNA genome

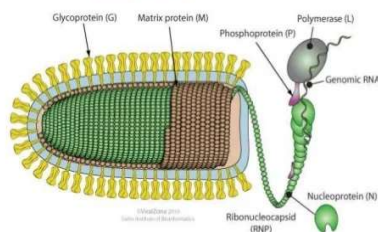


Fig. 17. Virusului necrozei hematopietice infecțioase
Sursa: <https://www.slideshare.net/slideshow/infectious-heamopietic-necrosis-virus/69788210> [76]

Mai mult, *Paralichthys olivaceus* hrănit cu alimente suplimentate cu Sporolac (*Lactobacillus sp.*) dezvoltă rezistență împotriva virusului bolii limfocistice (LCDV).

Experimente similare au demonstrat, de asemenea, puterea crescută de rezistență la virusuri la peștele grouper hrănit cu tulpina probiotică *Bacillus subtilis* E20 [22].



Fig. 18. O specie de halibut (*Paralichthys olivaceus*)
Sursa: http://www.fishbiosystem.ru/PLEURONECTIFO/RMES/Paralichthyidae/Paralichthys_olivaceus2.html [77]

4. Probioticele și diversitatea microbiană intestinală la pești

Funcția principală a tractului gastro-intestinal (GI) constă în procesele de digestie și absorbție a nutrienților prezenți în lumenul intestinal. Pe lângă acești nutrienți proveniți din alimente, în intestin pot pătrunde și microorganisme exogene, precum bacterii, fungi, paraziti și virusi.

Abundența celulelor imune innăscute și a celulelor imune adaptive care coabitează cu trilioanele de microorganisme comensale benefice în tractul gastrointestinal impune necesitatea unei bariere eficiente. Această barieră are rolul de a regla interacțiunile gazdă-microbiom și de a menține homeostazia tisulară.

4.1. Stimulent pentru flora intestinală

Mai mulți cercetători au raportat că probioticele stimulează semnificativ microbiota intestinală să producă mai mulți metaboliți, inclusiv acizi grași volatili cu lanț scurt, care joacă un rol vital în menținerea sănătății intestinului la pești.

De asemenea, cercetările au arătat că modularea microbiotei intestinale de către probiotice nu este limitată de vârsta și maturitatea peștilor, deoarece probioticele conferă efecte benefice tuturor grupelor de vârstă, de la larve până la adulți [40].

5. Eficacitatea tulpinilor probiotice în combaterea patogenilor din acvacultură

5.1. Bacterii Gram-pozitive

5.1.1. Bacterii producătoare de acid lactic

Intr-un experiment s-a suplimentat dieta creveților albi indieni (*Penaeus indicus*) cu o doză unică (5×10^6 CFU g⁻¹) de diferite probiotice, inclusiv *Lb. acidophilus*, *S. cremoris*, *Lb. bulgaricus* 56 sau *L. bulgaricus* 57, timp de 4 săptămâni. La finalul perioadei de hrănire, creveții au fost expuși experimental la infecția cu *Vibrio alginolyticus*.

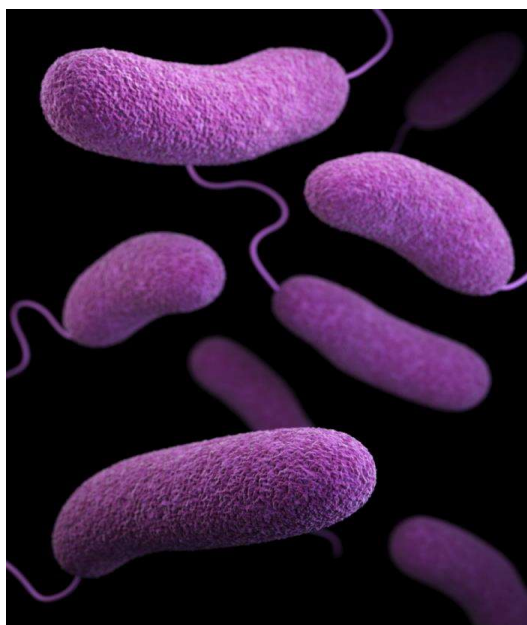


Fig. 19. *Vibrio alginolyticus*

Sursa: <https://kswfoodmicro.com/category/vibrio-albensis/> [78]

Rezultatele au arătat o rezistență semnificativ mai mare (56–72%) comparativ cu grupul de control (20%). De asemenea, suplimentarea dietei cu 10^{10} CFU kg⁻¹ de *Lb. plantarum* a crescut expresia genelor proPO și PE, a îmbunătățit activitățile PO și SOD, precum și rezistența împotriva *V. alginolyticus* la creveții albi [1]. În plus, un *Lactobacillus* sp. a fost raportat pentru îmbunătățirea supraviețuirii (72%) și performanței scoicii perlate, *P. mazatlanica* [50].



Fig. 20. Scoica de perla (*Pinctada Mazatlanica*)
Sursa: <https://www.pearl-guide.com/threads/a-review-the-history-of-pearls-in-the-gulf-of-california-mexico-part-3.453033/> [79]

Într-un studiu cu creveți tigrăți tineri (*Penaeus monodon*), *Lb. acidophilus* 04 (10^5 CFU g⁻¹) administrat timp de o lună a crescut rezistența (80% supraviețuire) după expunerea la *V. alginolyticus* pathogen [4].



Fig. 21. Creveți tigrăți (*Penaeus monodon*)
Sursa: https://animaldiversity.org/accounts/Penaeus_monodon/ [80]

Hrănirea cu *E. faecium* MC13 și *Lactococcus garvieae* B49 a protejat creveții post-larvari, *P. monodon*, împotriva provocărilor cu *V. harveyi* și *V. parahaemolyticus*.

În mod similar, hrănirea creveților albaștri (*Litopenaeus stylirostris*) cu probioticul *P. acidilactici* a crescut protecția împotriva *V. nigripulchritudo* SFn1; mortalitatea în grupul probiotic și în grupul de control a fost de 25% și, respectiv, 41,7% [29].



Fig. 22. Crevete albastru (*Litopenaeus stylirostris*)

Sursa: <https://theoceaninsider.com/seafood-guide/blue-shrimp-everything-you-need-to-know-about-genus-neocaridina/> [81]

5.1.2. *Bacillus*

Pentru a studia efectele protectoare ale *Bacillus subtilis* BT23, Vaseeharan și Ramasamy (2003) au tratat creveții tigrati negrii cu 10^6 - 10^8 CFU ml⁻¹ probiotic timp de 6 zile și apoi i-au provocat infecția cu *V. harveyi*. Rezultatele au arătat o mortalitate semnificativ mai mică în grupurile tratate [41].

Printr-un studiu s-a încercat administrarea combinată a două tulpini probiotice (*B. subtilis* L10 și G1) la creveții tineri albi, care au fost hrăniți cu două niveluri de 10^5 și 10^8 CFU g⁻¹ de probiotice selectate timp de 8 săptămâni.

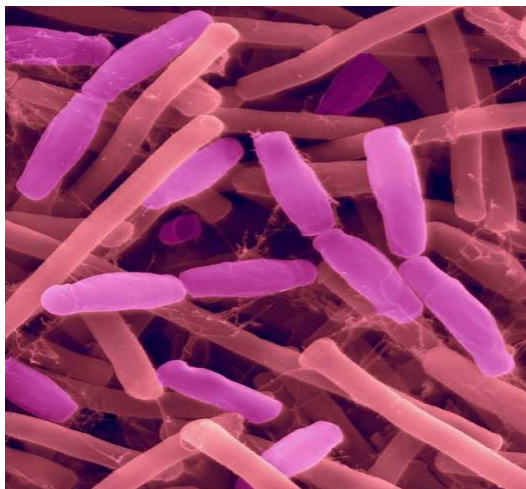


Fig. 23. *Bacillus subtilis* BT23

Sursa: Dennis Kunkel Microscopy/science Photo Library [82]

La sfârșitul perioadei de hrănire s-au observat performanțe crescute de creștere, activitate enzimatică digestivă, gene legate de imunitate reglate în sus, precum și rezistență împotriva *V. harveyi* [53].

5.2. Bacteriile Gram-negative

5.2.1. *Vibrio*

Cercetările in vitro au demonstrat inhibarea creșterii patogenilor creveților de către probioticul *V. gazogenes* NCIMB 2250. Hrănirea creveților albi cu o dietă suplimentată cu *V. gazogenes* NCIMB 2250 a îmbunătățit performanțele și starea de sănătate, precum și a redus numărul de *Vibrio* sp. în microbiota intestinală. De asemenea, *Vibrio* NE17 izolat din probele de ouă a îmbunătățit performanța și parametrii imuni ai creveților de apă dulce, *Macrobrachium rosenbergii* [58].

În plus, la molustele gastropode marine, administrarea combinată a trei probiotice (*Vibrio* sp. C21-UMA, *Agarivorans albus* F1-UMA și *Vibrio* sp. F15-UMA) folosind macroalga *M. integrifolia* ca vector a crescut semnificativ supraviețuirea pe o perioadă de 210 zile [51].



Fig. 24. Alga *Macrocystis integrifolia*

Sursa: <https://www.inaturalist.org/taxa/528651-Macrocystis-integrifolia> [83]

5.2.2. *Streptomyces*

Utilizarea tulpinilor marine de *Streptomyces* (CLS-28, CLS-39) în cultura de *Artemia*, a crescut semnificativ rezistența adulților de *Artemia* împotriva speciilor *V. harveyi* și *V. proteolyticus*, iar adăugând 1% *Streptomyces* în dieta postlarvelor de creveți

tigrati negri timp de 15 zile, a dus la îmbunătățirea rezistenței împotriva lui *V. harveyi* și a performanței de creștere la creveții hrăniți cu probiotice [52].

6. Probioticele ca Strategie pentru Acvacultura Sustenabilă

Creșterea viitoare a industriei acvaculturii va întâmpina numeroase provocări, inclusiv provocări biologice și presiuni legislative, iar sustenabilitatea va fi sprijinită prin utilizarea aditivilor naturali în hrana animalelor, asigurând profitabilitate pe termen lung.

În acest context, cultura algelor este înaintea de toate o metodă de producție care contribuie la soluții potențiale și la sustenabilitatea acvaculturii, având un rol benefic pentru ecosistemul sănătos.

Există modalități de a îmbunătăți practicile de acvacultură, reducând riscul pierderii peștilor, scurtând perioadele de creștere accelerată, stabilind obiective pentru dimensiunea peștilor, facilitând accesul la piețele urbane și promovând investiții cu costuri reduse. Se preconizează că Asia Pacific va deține cea mai mare cotă din piața globală, cu țări precum China ocupând o poziție de lider.

În India și Japonia, producția de aditivi pentru hrana animalelor a înregistrat o creștere constantă. De asemenea, acvacultura multitrofică integrată prezintă avantaje ecologice și socioeconomice, reciclând co-producția diferitelor specii de pești pentru a avea un impact nutrițional și o valoare economică crescută [16].

În 2020, pandemia globală cauzată de coronavirus (COVID-19) s-a răspândit la nivel mondial, iar majoritatea țărilor au impus carantine și distanțare socială ca noi norme. Malaysia a implementat o ordonanță de control al recuperării pentru sectorul fructelor de mare, reprezentând o sursă importantă de proteine, sprijinită de sectorul acvaculturii, implicând activități de pescuit la scară mică și mare [24].

Un studiu a evaluat eficiența costurilor producției de pește prin suplimentarea dietei cu anumiți aditivi, cum ar fi probioticele (bactocell), antibioticele (oxytetracycline) și vitaminele (C și E); de asemenea, s-a analizat adăugarea de

puiet de culturi comune în anumite proporții în termeni de eficiență a costurilor, rezultatele arătând o creștere mai mare a peștilor și un preț mai scăzut comparativ cu utilizarea puietului de tilapia de Nil, comun în Egipt [35].



Fig. 25. Probioticele comerciale Bactocell

Sursa: <https://khasmart.pk/product/bactocell-sachets/> [84]

Deciziile de politică publică de restricționare și eliminare a impacturilor economice ale gestionării fermelor de acvacultură, împreună cu utilizarea aditivilor naturali pentru hrana animalelor, au contribuit la un raport bun cost-eficiență și la controlul poluării fermelor.

7. Concluzii

Cercetările actuale se concentrează pe optimizarea utilizării probioticelor în industria acvaculturii, având în vedere cererea în creștere pentru aceste produse.

Viitoarea aplicație promițătoare implică identificarea și selecția celor mai potrivite tulpini probiotice pentru sistemul de creștere a animalelor acvatice, cu scopul de a îmbunătăți calitatea și funcționalitatea acestuia.

De asemenea, cercetarea vizează înțelegerea efectelor și mecanismelor de

acțiune ale probioticelor asupra performanței reproductive și dezvoltării în mediul industrial de incubație.

Deși bacteriile probiotice aduc multiple beneficii gazdei, există limitări deoarece anumite compuși antimicrobieni produși de acestea nu sunt specifici pentru anumite specii de bacterii patogene.

Astfel, îmbunătățirea tulpinii este necesară pentru a spori eficiența probioticelor. Tehnici moderne de biologie moleculară, cum ar fi tehnologia recombinantă, pot fi aplicate pentru a modifica genetic tulpinile probiotice, însă acestea sunt limitate în cazul candidaților probiotici utilizați în acvacultură.

Investigațiile viitoare sunt necesare pentru a aborda aceste probleme și pentru a dezvolta probiotice mai eficiente pentru industria acvaculturii.

Bibliografie

1. **Anik MH, Sudirdjo A, Soemarno M (2011)** The effect of con- sortia bacteria on accumulation rate of organic matter in Tiger shrimp, *Penaeus Monodon* culture. *J Biol Environ Sci* 1:592–596.
2. **Atira NJ, Aryantha INP, Kadek IDG (2012)** The curative action of *Lactobacillus plantarum* FNCC 226 to *Saprolegnia parasitica* A3 on catfish (*Pangasius hypophthalmus*, Sauvage). *Int Food Res J* 19(4):1723–1727.
3. **Azimirad, M., Meshkini, S., Ahmadifard, N., and Hoseinifar, S. H. (2016)**. The effects of feeding with synbiotic (*Pediococcus acidilactici* and fructooligosaccharide) enriched adult *Artemia* on skin mucus immune responses, stress resistance, intestinal microbiota and performance of angelfish (*Pterophyllum scalare*). *Fish Shellfish Immun.* 54, 516–522. doi: 10.1016/j.fsi.2016.05.001.
4. **Balcázar, J. L., De Blas, I., Ruiz-Zarzuela, I., Cunningham, D., Vendrell, D., and Múzquiz, J. L. (2006)**. The role of probiotics in aquaculture. *Vet. Microbiol.* 114, 173–186. doi: 10.1016/j.vetmic.2006.01.009.
5. **C.C. Lazado, C.M.A. Caipang, M.F. Brinchmann, V. Kiron**, In vitro adherence of two candidate probiotics from Atlantic cod and their interference with the adhesion of two pathogenic bacteria, *Vet. Microbiol.* 148 (2) (2011) 252–259.
6. **Chabrilón, M., Rico, R., Arijó, S., Díaz-Rosales, P., Balebona, M., and Morínigo, M. (2005)**. Interactions of microorganisms isolated from gilthead sea bream, *Sparus aurata* L., on *Vibrio harveyi*, a pathogen of farmed Senegalese sole, *Solea senegalensis* (Kaup). *J. Fish. Dis.* 28, 531–537. doi: 10.1111/j.1365-2761.2005.00657.x.
7. **Chiu, C. H., Cheng, C. H., Gua, W. R., Guu, Y. K., and Cheng, W. (2010)**. Dietary administration of the probiotic *Saccharomyces cerevisiae* P13, enhanced the growth, innate immune responses, and diseases resistance of the grouper (*Epinephelus coioides*). *Fish Shellfish Immun.* 29, 1053–1059. doi: 10.1016/j.fsi.2010.08.019.
8. **Chiu, C. H., Guu, Y. K., Liu, C. H., Pan, T. M., and Cheng, W. (2007)**. Immune responses and gene expression in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, induced by *Lactobacillus plantarum*. *Fish Shellfish Immun.* 23, 364–377. doi: 10.1016/j.fsi.2006.11.010.
9. **Cremon C., Barbaro M.R., Ventura M., Barbara G.** Pre- and probiotic overview. *Curr. Opin. Pharmacol.* 2018;43:87–92. doi: 10.1016/j.coph.2018.08.010.
10. **Cruz, P. M., Ibáñez, A. L., Hermosillo, O. A. M., & Saad, H. C. R. (2012)**. Use of probiotics in aquaculture. *ISRN Microbiology*, 916845.
11. **Dawood, M. A. O., and Koshio, S. (2016)**. Recent advances in the role of probiotics and prebiotics in carp aquaculture: a review. *Aquaculture* 454, 243–251. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.12.033.
12. **El-Haroun, E., Goda, A. S., and Chowdhury, K. (2006)**. Effect of dietary probiotic Biogen R© supplementation as a growth promoter on growth performance and feed utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquac. Res.* 37,

- 1473–1480. doi: 10.1111/j.1365-2109.2006.01584.x.
13. **Eslami M., Bahar A., Keikha M., Karbalaee M., Kobyliak N.M., Yousefi B.** Probiotics function and modulation of the immune system in allergic diseases. *Allergol. Immunopathol.* **2020**;48:771–788. doi: 10.1016/j.aller.2020.04.005.
 14. **Fanning S., Hall L.J., Cronin M., Zomer A., MacSharry J., Goulding D., Motherway M.O.C., Shanahan F., Nally K., Dougan G., et al.** Bifidobacterial surface-exopolysaccharide facilitates commensal-host interaction through immune modulation and pathogen protection. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **2012**;109:2108–2113. doi: 10.1073/pnas.1115621109.
 15. **Ferreira, G. S., Bolívar, N. C., Pereira, S. A., Guertler, C., do Nascimento Vieira, F., Mouriño, J. L. P., et al. (2015).** Microbial biofloc as source of probiotic bacteria for the culture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 448, 273–279. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.06.006.
 16. **Fraga-Corral, M., Ronza, P., Garcia-Oliveira, P., Pereira, A. G., Losada, A. P., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2022).** Aquaculture as a circular bio-economy model with Galicia as a study case: How to transform waste into revalorized by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 23–35.
 17. **Gildberg, A., Mikkelsen, H., Sandaker, E., and Ringø, E. (1997).** Probiotic effect of lactic acid bacteria in the feed on growth and survival of fry of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Hydrobiologia* 352, 279–285. doi: 10.1023/A:1003052111938.
 18. **Gobeli, S., Goldschmidt-Clermont, E., Frey, J., and Burr, S. E. (2009).** *Pseudomonas chlororaphis* strain JF3835 reduces mortality of juvenile perch, *Perca fluviatilis* L., caused by *Aeromonas sobria*. *J. Fish. Dis.* 32, 597–602. doi: 10.1111/j.1365-2761.2009.01021.x.
 19. **Han, B., Long, W. Q., He, J. Y., Liu, Y. J., Si, Y. Q., and Tian, L. X. (2015).** Effects of dietary *Bacillus licheniformis* on growth performance, immunological parameters, intestinal morphology and resistance of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to challenge infections. *Fish Shellfish Immun.* 46, 225–231. doi: 10.1016/j.fsi.2015.06.018.
 20. **Hansen I.S., Baeten D.L.P., den Dunnen J.** The inflammatory function of human IgA. *Cell. Mol. Life Sci.* **2018**;76:1041–1055. doi: 10.1007/s00018-018-2976-8.
 21. **Harikrishnan R, Kim MC, Kim JS, Balasundaramb C, Heo MS (2011)** Protective effect of herbal and probiotics enriched diet on haematological and immunity status *Oplegnathus fasciatus* (Temminck & Schlegel) against *Edwardsiella tarda*. *Fish Shellfish Immunol* 30:886–893.
 22. **Heo, W. S., Kim, Y. R., Kim, E. Y., Bai, S. C., and Kong, I. S. (2013).** Effects of dietary probiotic, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* I2, supplementation on the growth and immune response of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture* 376, 20–24. doi: 10.1016/j.aquaculture.2012.11.009.
 23. **Hevia A., Delgado S., Sánchez B., Margolles A.** Molecular players involved in the interaction between beneficial bacteria and the immune system. *Front. Microbiol.* **2015**;80:1363–1376. doi: 10.3389/fmicb.2015.01285.
 24. **Hollenberg M.D., Epstein M.** The innate immune response, microenvironment proteinases, and the COVID-19 pandemic: Pathophysiologic mechanisms and emerging therapeutic targets. *Kidney Int. Suppl.* **2022**;12:48–62. doi: 10.1016/j.kisu.2021.12.001.
 25. **Hoseinifar, S. H., Mirvaghefi, A., Amoozegar, M. A., Sharifian, M., and Esteban, M. Á. (2015).** Modulation of innate immune response, mucosal parameters and disease resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) upon synbiotic feeding. *Fish Shellfish Immun.* 45, 27–32. doi: 10.1016/j.fsi.2015.03.029.
 26. **Kelly, C., & Salinas, I. (2017).** Under pressure: Interactions between commensal microbiota and the teleost immune system. *Frontiers in Immunology*, 8, 559.

27. **Kesarcodi-Watson, A., Miner, P., Nicolas, J. L., and Robert, R. (2012).** Protective effect of four potential probiotics against pathogen-challenge of the larvae of three bivalves: pacific oyster (*Crassostrea gigas*), flat oyster (*Ostrea edulis*) and scallop (*Pecten maximus*). *Aquaculture* 344, 29–34. doi: 10.1016/j.aquaculture.2012.02.029.
28. **Kim Y.-K., Shin C.** The Microbiota-Gut-Brain Axis in Neuropsychiatric Disorders: Pathophysiological Mechanisms and Novel Treatments. *Curr. Neuropharmacol.* **2018**;1 6:559–573. doi:10.2174/1570159X156661709151410 36.
29. **Kogut M.H., Lee A., Santin E.** Microbiome and pathogen interaction with the immune system. *Poult. Sci.* **2020**;99:1906–1913. doi: 10.1016/j.psj.2019.12.011.
30. **Korkea-aho, T. L., Heikkinen, J., Thompson, K. D., von Wright, A., and Austin, B. (2011).** *Pseudomonas* sp. M174 inhibits the fish pathogen *Flavobacterium psychrophilum*. *J. Appl. Microbiol.* 111, 266–277. doi: 10.1111/j.1365-2672.2011.05044.x.
31. **Leyva-Madrigal, K. Y., Luna-González, A., Escobedo-Bonilla, C. M., Fierro-Coronado, J. A., and Maldonado-Mendoza, I. E. (2011).** Screening for potential probiotic bacteria to reduce prevalence of WSSV and IHNV in whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under experimental conditions. *Aquaculture* 322, 16–22. doi: 10.1016/j.aquaculture.2011.09.033.
32. **Li A., Wang Y., Li Z., Qamar H., Mehmood K., Zhang L., Liu J., Zhang H., Li J.** Probiotics isolated from yaks improves the growth performance, antioxidant activity, and cytokines related to immunity and inflammation in mice. *Microb. Cell Fact.* **2019**;18:112. doi: 10.1186/s12934-019-1161-6.
33. **Li H., Liu F., Lu J., Shi J., Guan J., Yan F., Li B., Huo G.** Probiotic Mixture of *Lactobacillus plantarum* Strains Improves Lipid Metabolism and Gut Microbiota Structure in High Fat Diet-Fed Mice. *Front. Microbiol.* **2020**;11:512. doi: 10.3389/fmicb.2020.00512.
34. **Liu K.** Dendritic Cells. *Encycl. Cell Biol.* 2016;3:741–749.
35. **Liu, W., Ren, P., He, S., Xu, L., Yang, Y., Gu, Z., et al. (2013).** Comparison of adhesive gut bacteria composition, immunity, and disease resistance in juvenile hybrid tilapia fed two different *Lactobacillus* strains. *Fish Shellfish Immun.* 35, 54–62. doi: 10.1016/j.fsi.2013.04.010.
36. **Lone Høj, David G. Bourne, Michael R. Hall,** Localization, abundance and community structure of bacteria associated with *Artemia*: Effects of nauplii enrichment and antimicrobial treatment, *Aquaculture*, Volume 293, Issues 3–4, **2009**, Pages 278–285, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.024>.
37. **Markowiak-Kopeć P., Śliżewska K.** The Effect of Probiotics on the Production of Short-Chain Fatty Acids by Human Intestinal Microbiome. *Nutrients.* **2020**;12:1107. doi: 10.3390/nu12041107.
38. **Marteau, E. (2001)** Prebiotics and probiotics for gastrointestinal health. *Clin. Nutr.*, 20, 41–45.
39. **Marteau, P. and Shanahan, F. (2003)** Basic aspects and pharmacology of probiotics: an overview of pharmacokinetics, mechanisms of action and side-effects *Best Pract. Res. Clin. Gastroenterol.*, 17, 725–740.
40. **Marteau, P., Seksik, P. and Jian, R. (2002)** Probiotics and health: new facts and ideas. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 13, 486–489.
41. **Mazziotta C, Tognon M, Martini F, Torreggiani E, Rotondo JC.** Probiotics Mechanism of Action on Immune Cells and Beneficial Effects on Human Health. *Cells.* **2023** Jan 2;12(1):184. doi: 10.3390/cells12010184. PMID: 36611977; PMCID: PMC9818925.
42. **Ménard O., Gafa V., Kapel N., Rodriguez B., Butel M.J., Waligora-Dupriet A.J.** Characterization of immunostimulatory CpG-rich sequences from different *Bifidobacterium* species. *Appl. Environ.*

- Microbiol. **2010**;76:2846–2855. doi: 10.1128/AEM.01714-09.
43. **Merrifield, D. L., and Carnevali, O. (2014).** Probiotic Modulation of the Gut Microbiota of Fish. *Aquaculture Nutrition: Gut Health, Probiotics and Prebiotics*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, Ltd.
 44. **Merrifield, D. L., Dimitroglou, A., Foey, A., Davies, S. J., Baker, R. T., Børgwald, J., et al. (2010).** The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids. *Aquaculture* 302, 1–18. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.02.007.
 45. **Mörbe U.M., Jørgensen P.B., Fenton T.M., von Burg N., Riis L.B., Spencer J., Agace W.W.** Human gut-associated lymphoid tissues (GALT); diversity, structure, and function. *Mucosal Immunol.* **2021**;14:793–802. doi: 10.1038/s41385-021-00389-4.
 46. **P van Baarlen, Wells JM, Kleerebezem M.** Regulation of intestinal homeostasis and immunity with probiotic lactobacilli. *Trends Immunol.* **2013** May; 34 (5):208-15. doi: 10.1016/j.it.2013.01.005. Epub 2013 Feb 26. PMID: 23485516.
 47. **Padmavathi, P., Sunitha, K., & Veeraiah, K. (2012).** Efficacy of probiotics in improving water quality and bacterial flora in fish ponds. *African Journal of Microbiology Research*, 6(49), 7471–7478.
 48. **Peng X., Ed-Dra A., Song Y., Elbediwi M., Nambiar R.B., Zhou X., Yue M.** Lactaseibacillus rhamnosus alleviates intestinal inflammation and promotes microbiota-mediated protection against Salmonella fatal infections. *Front. Immunol.* **2022**;13:973224. doi: 10.3389/fimmu.2022.973224.
 49. **Ranjha M.M.A.N., Shafique B., Batool M., Kowalczewski P.Ł., Shehzad Q., Usman M., Manzoor M.F., Zahra S.M., Yaqub S., Aadil R.M.** Nutritional and Health Potential of Probiotics: A Review. *Appl. Sci.* **2021**;11:11204. doi: 10.3390/app112311204
 50. **S.T. Tapia-Paniagua, S. Vidal, C. Lobo, M.J. Prieto-Alamo, J. Jurado, H. Cordero, R. Cerezuela, I. García de la Banda, M.A. Esteban, M.C. Balebona, M.A. Moriñigo,** The treatment with the probiotic *Shewanella putrefaciens* Pdp11 of specimens of *Solea senegalensis* exposed to high stocking densities to enhance their resistance to disease, *Fish Shellfish Immunol.* 41 (2) **(2014)** 209–221.
 51. **Sánchez B., Delgado S., Blanco-Míguez A., Lourenço A., Gueimonde M., Margolles A.** Probiotics, gut microbiota, and their influence on host health and disease. *Mol. Nutr. Food Res.* **2017**;61:1600240. doi: 10.1002/mnfr.201600240
 52. **Silva-Brito, F., Alexandrino, D. A., Jia, Z., Mo, Y., Kijjoa, A., Abreu, H., & Magnoni, L. (2021).** Fish performance, intestinal bacterial community, digestive function and skin and fillet attributes during cold storage of gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed diets supplemented with *Gracilaria* by-products. *Aquaculture*, 541, 736808.
 53. **Stein, K., Borowickia, A., Scharlaua, D., Schettlera, A., Scheub, K., Obstb, U. and Gleia, M. (2012)** Effects of synbiotic fermentation products on primary chemoprevention in human colon cells. *J. Nutritional Biochem.*, 23, 777–784.
 54. **Thursby E., Juge N.** Introduction to the human gut microbiota. *Biochem. J.* **2017**;474:1823–1836. doi: 10.1042/BCJ20160510.
 55. **Vamanu E., Gatea F.** Correlations between Microbiota Bioactivity and Bioavailability of Functional Compounds: A Mini-Review. *Biomedicines.* **2020**;8:39. doi: 10.3390/biomedicines8020039.
 56. **Vijay K.** Toll-like receptors in immunity and inflammatory diseases: Past, present, and future. *Int. Immunopharmacol.* **2018**;59:391–412. doi: 10.1016/j.intimp.2018.03.002.
 57. **Vlasova A.N., Takanashi S., Miyazaki A., Rajashekara G., Saif L.J.** How the gut microbiome regulates host immune responses to viral vaccines. *Curr. Opin. Virol.* **2019**;37:16–25. doi: 10.1016/j.coviro.2019.05.001.
 58. **Yadav M.K., Kumari I., Singh B., Sharma K.K., Tiwari S.K.** Probiotics, prebiotics and

synbiotics: Safe options for next-generation therapeutics. Appl. Microbiol. Biotechnol. **2022**;106:505–521. doi: 10.1007/s00253-021-11646-8.

59. Zheng, C. C., Wu, J. W., Jin, Z. H., Ye, Z. F., Yang, S., Sun, Y. Q., & Fei, H. (2020). Exogenous enzymes as functional additives in finfish aquaculture. Aquaculture Nutrition, 26(2), 213–224.

Web sites:

60. <https://tropical-fish-keeping.com/wp-content/uploads/2018/10/Brine-Shrimp-Artemia.jpg>
61. <https://www.canadiannaturephotographer.com/rotifer>.
62. <https://indiabiodiversity.org/species/show/232208>.
63. <https://naturescu.com/wp-content/uploads/2021/06/Tipuri-de-pestesomn>
64. David Scharf / Science photo library
65. https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/71649?lg=en
66. https://euimg.eworldtrade.com/uploads/user_products/4/8/product-680338-g-0-t-1561046610-o.jpg
67. <https://www.flickr.com/photos/72616463@N00/3798548888/>
68. <https://animalesenpeligrodeextincion.eu/wp-content/uploads/Acipenser-persicus1.jpg>
69. https://fish-commercial-names.ec.europa.eu/fish-names/species/oreochromis-niloticus_ro
70. <https://laukkancra.blogspot.com/2012/12/red-mahseer-tor-tambroides.html>
71. <https://www.fishhobbyist.net/2022/01/getting-to-know-pangasianodon.html>
72. <http://underwater-fish.blogspot.com/2011/11/rainbow-trout-oncorhynchus-mykiss.html>
73. <https://aquaria.pro/product/poecilia-sphenops>
74. <https://www.sciencephoto.com/media/12402/view>
75. <https://encyclopedia.pub/entry/20537>
76. <https://www.slideshare.net/slideshow/infectious-heamopoietic-necrosis-virus/69788210>
77. http://www.fishbiosystem.ru/PLEURONECTIFORMES/Paralichthyidae/Paralichthys_olivaceus2.html
78. <https://kswfoodmicro.com/category/vibrio-albensis/>
79. <https://www.pearl-guide.com/threads/a-review-the-history-of-pearls-in-the-gulf-of-california-mexico-part-3.453033/>
80. https://animaldiversity.org/accounts/Penaeus_monodon/
81. <https://theoceaninsider.com/seafood-guide/blue-shrimp-everything-you-need-to-know-about-genus-neocaridina/>
82. Dennis Kunkel Microscopy/science Photo Library
83. <https://www.inaturalist.org/taxa/528651-Macrocytis-integrifolia>
84. <https://khasmart.pk/product/bactocell-sachets/>