

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 06/12/2024.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

Meta-análise: β -glucanos no desempenho produtivo e saúde de tilápias (*Oreochromis*
spp)

Paulo Incane Ito

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação
em Zootecnia como parte
dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em
Zootecnia

BOTUCATU – SP
DEZEMBRO – 2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

Meta-análise: β -glucanos no desempenho produtivo e saúde de tilápias (*Oreochromis*
spp.)

PAULO INCANE ITO

ORIENTADORA: Prof^ª. Dra. Margarida Maria Barros

COORIENTADOR: Dr Pedro Luiz Pucci Figueiredo de Carvalho

COORIENTADOR: Prof^º. Gustavo do Valle Polycarpo

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação
em Zootecnia como parte
dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em
Zootecnia

BOTUCATU – SP

DEZEMBRO – 2022

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSANGELA APARECIDA LOBO-CRB 8/7500

Ito, Paulo Incane.

Meta-análise : β -glucanos no desempenho produtivo e saúde de tilápias (*Oreochromis spp*) / Paulo Incane Ito. - Botucatu, 2022

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

Orientador: Margarida Maria Barros

Coorientador: Pedro Luiz Pucci Figueiredo de Carvalho

Coorientador: Gustavo do Valle Polycarpo

Capes: 50603043

1. Aditivos. 2. Tilápia-do-Nilo. 3. Prebióticos.
4. Beta-glucanas. 5. Meta-análises.

Palavras-chave: Aditivos; Desafio bacteriano; *Oreochromis*; Prebióticos.

BIOGRAFIA

Paulo Incane Ito, filho de João Yuji Ito e Regina Sampaio Incane, nasceu no município de São Paulo, no dia 29 de fevereiro de 1996.

Ingressou no curso de graduação em Medicina Veterinária na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Botucatu em março de 2014, concluindo-se em 01 de dezembro de 2019.

Em julho de 2020, ingressou no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Curso de Mestrado, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Botucatu, concentrando seus estudos na área de Nutrição e Saúde de Peixes, realizando uma meta-análise de β -glucanos no desempenho produtivo e saúde de tilápias.

Na vida, não vale tanto o que temos nem tanto importa o que somos. Vale o que realizamos com aquilo que possuímos e, acima de tudo, importa o que fazemos de nós.

Chico Xavier

Dedicatória

Aos meus pais João Yuji Ito e Regina Sampaio Incane,

por todo apoio durante toda minha formação e que me permitiram chegar até aqui!

À meu irmão Alexandre Incane Ito,

por ter sido meu melhor amigo desde o meu nascimento, e que me incentivou nos momentos mais difíceis nessa etapa da vida.

À meu avô Akira Ito (*in memoriam*),

por cultivar todo meu amor por peixes e que hoje resulta nesse trabalho! E que mesmo não estando fisicamente entre nós, esteve sempre ao meu lado, seja em pensamento ou em inspirações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela dádiva da vida, que me abençoou com a família que tenho e com tantas oportunidades.

À minha família, que me apoiou tanto durante os anos de pós-graduação, onde os desafios foram dobrados devido a pandemia do Covid-19. Obrigado pela chance de crescer e evoluir!

Ao meu irmão, Alexandre Incane Ito, que me incentivou sendo exemplo como pessoa e como profissional, provando sempre do que somos capazes. Obrigado pelas tantas conversas e jogatinas, aguentando sempre minhas oscilações de humor!

Ao meu pequeno irmão João Emanuel, por toda risadinha, abraço apertado e fofura. Você foi minha fonte de esperança nesses dois anos longe de casa.

À minha orientadora, Profa. Dra. Margarida Maria Barros, por toda oportunidade concedida desde a graduação até aqui e também por ser essa mulher inspiradora. Obrigado por todos os puxões de orelha!

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Gustavo do Valle Polycarpo, por toda paciência e auxílio nesse projeto totalmente novo para a equipe AquaNutri.

Ao meu segundo co-orientador, Dr. Pedro Pucci Figueiredo de Carvalho, por toda a ajuda no desenvolvimento dos projetos da pós-graduação, sendo sempre um exemplo em nosso laboratório.

Aos meus colegas e amigos do AquaNutri (Matheus Gardim, William Xavier, Edgar Damasceno e Gabriel Alighieri), por todo o conhecimento, trabalho, risada e lembranças compartilhadas. Todo o resultado só foi possível alcançar graças ao trabalho em equipe!

Aos laços de amizades que Botucatu permitiu aprofundar nesse período (Roberto Biffi, Enzo Takashi, Rebeca Mayara, Gabriela Vieira, Julia Franco e Jaine Scheffer), por tantas noites rindo, chorando ou filosofando sobre tudo possível. A alegria é muito maior quando compartilhada e graças a vocês meus dias aqui foram mais leves e melhores!

À Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia- UNESP, Botucatu e o Programa de Pós-graduação em Zootecnia, por toda a estrutura que tornou minha formação possível.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq (Processo: 1300095/2021-4) pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Sumário

RESUMO	12
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
Capítulo I	14
1.1 O sistema imunológico dos peixes	15
1.2 Sistema antioxidante em peixes.....	21
2. Prebióticos.....	23
3. β -glucanos	26
4. O uso de β -glucanos na tilapicultura	28
5. Referências.....	29
Capítulo II	36
ABSTRACT.....	37
RESUMO	38
1. Introdução	39
2. Material e métodos	42
2.1 Busca de dados na literatura.....	42
2.2 Sistematização das informações	42
2.3 Análise de dados.....	44
3. Resultados	45
3.1 Ganho de peso	45
3.2 Sobrevivência pós desafio bacteriano	45

3.3 Parâmetros hematológicos antes e após desafio	46
4. Discussão	47
5. Agradecimentos.....	57
6. Referências.....	57
Capítulo III.....	68
Implicações	69

FIGURAS

Capítulo I

Figura 1. Conceito do sistema imune dos peixes, adaptado de Biller-Takahashi e Urbinati (2014).....	21
Figura 2. Visão geral dos benefícios de prebióticos e monossacarídeos imunoestimulantes, adaptado de Song et al. (2014).....	25

Capítulo II

Figura 1. Fluxograma das informações em um processo de revisão sistemática de meta-análise (Moher et al., 2009).....	63
Figura 2. Efeito do β -glucano no ganho de peso em tilápias em comparação ao tratamento controle	64
Figura 3. Efeito do β -glucano na sobrevivência em tilápias submetidas a desafio bacteriano.....	64
Figura 4. Parâmetros hematológicos de tilápias que receberam β -glucano antes e após desafio.....	65
Figura 5. Parâmetros imunológicos de tilápias que receberam β -glucano antes e após desafio.....	66

TABELAS

Capítulo II

Tabela 1. Análise descritiva de genes expressados em tilápias suplementadas com β -glucano com ou sem desafio.....	67
--	----

RESUMO

Meta-análise: β -glucanos no desempenho produtivo e saúde de tilápias (*Oreochromis spp.*)

O objetivo do presente estudo foi desenvolver uma meta-análise sobre os efeitos do uso de β -glucano em tilápias (*Oreochromis spp.*) no desempenho produtivo, perfil hematológico, sistema imune e expressão de genes em tilápias. Para a realização da pesquisa, foi feita a busca de artigos científicos publicados na base de dados Scopus e Web of Science com os termos “tilápia” + “beta glucan” ou sinônimos sem restrição de tempo de publicação, totalizando 31 estudos cujos dados foram sistematizados em planilhas eletrônicas para realização de análises por meio do software SAS OnDemand. Os dados foram divididos entre tratamento controle e grupo suplementado com β -glucano antes e após desafio (bacteriano, químico, físico ou mais de um) para então analisar o ganho de peso, sobrevivência após desafio bacteriano, parâmetros hematológicos, imunológicos e análise descritiva da expressão dos genes HSP70, TNF- α , IL-1 β , CAT e SOD. Foi observado efeito positivo na suplementação de β -glucano em 3,49% no ganho de peso, e nos parâmetros hematológicos e imunológicos analisados, além do aumento de 62,5% na sobrevivência dos animais quando submetidos a desafio bacteriano. Esses resultados reforçam a capacidade imunomoduladora do β -glucano melhorando a saúde e apresentando-se como ferramenta importante na busca por alternativas ao uso de antimicrobianos.

Palavras-chave: Aditivos, desafio bacteriano *Oreochromis*, prebióticos

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O **Capítulo I** aborda a utilização de prebióticos na piscicultura como alternativa ao uso de antimicrobianos, os quais tem seu uso cada vez mais restrito devido ao risco ambiental e sanitário. O crescimento da piscicultura tem levado a novos desafios como manejos intensos, maior exposição a patógenos e águas de pior qualidade. Com isso, prebióticos com capacidade imunomoduladora vem sendo estudado para minimizar os danos causados, possibilitando a redução no uso de fármacos de forma sustentável e rentável. Dentre a classe dos prebióticos, o β -glucano tem sido amplamente estudado na aquicultura, com grande capacidade de modulação tanto do sistema imunológico inato quanto do adaptativo, podendo, ainda, melhorar o desempenho produtivo.

Com base nas informações apresentadas no Capítulo I, o **Capítulo II** busca sumarizar as pesquisas até então realizadas com o β -glucano em tilápias por meio da meta-análise intitulada: “Meta-análise: β -glucanos no desempenho produtivo e saúde de tilápias (*Oreochromis spp.*)”, o qual foi redigido de acordo com as normas do periódico “**Aquaculture**” (fator de impacto 5,135)

Sua ação no sistema imune inato abrange diversos parâmetros como o aumento na atividade da lisozima, óxido nítrico e explosão respiratória (Neamat- Allah et al., 2020; Koch et al., 2021). A suplementação também é capaz de promover melhoras no sistema antioxidante, como o aumento da atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e glutathione peroxidase (Dawood et al., 2020a) e, ainda, na expressão gênica de citocinas atuantes em respostas imunes como a IL-1 β , TNF- α e IL-8 (Abdelhamid et al., 2020; Dawood et al., 2020b; Reis et al., 2021).

Na prática, a modulação positiva dos parâmetros imunológicos resulta em animais mais resistentes a desafios, com aumento na taxa de sobrevivência. De fato, Koch et al. (2021) verificaram melhora de até 66% na sobrevivência de tilápias-do-Nilo arraçadas com dietas suplementadas com β -glucano e desafiadas com *Streptococcus agalactiae* e *Aeromonas sobria*. Efeitos positivos de β -glucanos também são observados frente a desafios químicos. El Murr et al. (2019) verificaram que peixes arraçados com dietas contendo 0,4% de β G (Best Choice Pharma[®]) não apresentaram alterações negativas em parâmetros imunológicos quando expostos a doses tóxicas de fipronil. Assim, evidencia-se a importância dos β -glucanos como potencial alternativa ao uso indiscriminado de antimicrobianos, promovendo impactos positivos na sobrevivência dos animais acometidos por patógenos tornando a produção de tilápias mais sustentável e viável economicamente.

5. Referências

- Abdelhamid, F. M., Elshopakey, G. E., Aziza, A. E., 2020. Ameliorative effects of dietary *Chlorella vulgaris* and β -glucan against diazinon-induced toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology*. v. 96, p.213-222. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.12.009>
- Ahmad, S., 1995. *Oxidative Stress and Antioxidant Defenses in Biology*. Chapman & Hall, New York.

- Akramiene, D., Kondrotas, A., Didziapetriene, J., Kevelaitis, E., 2007. Effects of β -glucans on the immune system. *Medicina*. v.43, n.8, p.597–606. <https://doi.org/10.4110/in.2011.11.4.191>
- Akira, S., Uematsu, S., Takeuchi, O., 2006. Pathogen recognition and innate immunity. *Cell*, v.124(4), p.783–801. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.02.015>.
- Alberts, B., Johnson, A., Walter, P., Raff, M., Roberts, K., Lewis, J., 2012. *Molecular biology of the cell*. Taylor & Francis.
- Atli, G., Canli, E. G., Eroglu, A., Canli, M., 2016. Characterization of antioxidant system parameters in four freshwater fish species. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 126, p. 30–37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.012>.
- Azevedo, R.V., Filho, J. C. F., Cardoso, L. D., Mattos, D. C., Júnior, M. V. V., Andrade, D. R., 2015. Economic evaluation of prebiotics, probiotics and symbiotics in juvenile Nile tilapia. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 1, p. 72-79. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902015000100009>
- Biller-Takahashi, J., D., Uurbinati, E., C., 2014. Fish Immunology. The modification and manipulation of the innate immune system: Brazilian studies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, n. 3, p. 1484-1506.
- Birnie-Gauvin, K., Constantini, D., Cooke, S. J., Willmore, W. G., 2017. A comparative and evolutionary approach to oxidative stress in fish: A review. *Fish and Fisheries*, v. 18, n. 5, p. 928–942. <https://doi.org/10.1111/faf.12215>
- Bly J. E., Quiniou S. M, Clem L. W., 1997. Environmental effects on fish immune mechanisms. *Developments in Biological Standardization*, 90, p.33-43.
- Bowden, T. J., Cook, P., Rombout, J.H., 2005. Development and function of the thymus in teleosts. *Fish Shellfish Immunol* v.19, p.413-427. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2005.02.003>.
- Bron, P. A., Van Baarlen, P., Kleerebezem, M., 2012. Emerging molecular insights into the interaction between probiotics and the host intestinal mucosa. *Nat Rev Microbiol*, v.10, p.66-78. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2690>
- Brown, G. D., Gordon, S., 2003. Fungal β -glucans and mammalian immunity. *Immunity*, Cambridge, v. 19, n. 3, p. 311-315. [https://doi.org/10.1016/S1074-7613\(03\)00233-4](https://doi.org/10.1016/S1074-7613(03)00233-4)
- Brown, G. D., Gordon, S., 2005. Immune recognition of fungal. *Cellular Microbiology*, Oxford, v. 7, n. 4, p. 471-479. <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2005.00505.x>
- Cadenas, E., 1995. Mechanisms of oxygen activation and reactive oxygen species detoxification. In: Ahmad, S. (ed.), *Oxidative Stress and Antioxidant Defenses in Biology*. Chapman & Hall, New York, p. 1–46.
- Carballo, C., Mateus, A. P., Maya, C., Mantecón, L., Power, D. M., Manchado, M., 2020. The protective role of spirulina and β -glucan in African catfish (*Clarias gariepinus*) against chronic toxicity of chlorpyrifos: hemato-biochemistry, histopathology, and oxidative stress traits. *Fish and Shellfish Immunology*. v.106, p.263-272. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09333-8>

- Chen, J., Wang, J., Meyers, K. R., Enns, C. A., 2009. Transferrin-directed internalization and cycling of transferrin receptor 2. *Traffic*, 10(10), 1488–1501. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0854.2009.00961.x>
- Chen, J., Sun, R., Pan, C., Sun, Y., Mai, B., Li, Q. X., 2020. Antibiotics and food safety in aquaculture. *J. Agric. Food Chem.* 68, 11908–11919. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c03996>
- Danilova N, Bussmann J, Jekosch K, Steiner, L. A., 2005. The immunoglobulin heavy-chain locus in zebrafish: identification and expression of a previously unknown isotype, immunoglobulin. *Nature Immunology* 6: 295-302. <https://doi.org/10.1038/ni1166>
- Dawood(a), M. A. O., Moustafa, E. M., Elbially, Z. I., Farrag, F., Lolo, E. E., Abdel-Daim, H. A., Abdel-Daim, M. M., Van Doan, H., 2020. Lactobacillus plantarum L-137 and/or β -glucan impacted the histopathological, antioxidant, immune-related genes and resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Aeromonas hydrophila*. *Research in Veterinary Science*. v. 130, p.212-221. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.03.019>
- Dawood(b), M. A. O., Abdo, S. E., Gewaily, M. S., MoustafaA, E. M., Saadallah, M. S., Abdel-Kader, M. F., Hamouda, A. H., Omar, A. A., Alwakeel, R. A., 2020. The influence of dietary β -glucan on immune, transcriptomic, inflammatory and histopathology disorders caused by deltamethrin toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology*. v. 98, p.301-311. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.01.035>
- Ellis, A. E., 2001. Innate host defense mechanism of fish against viruses and bacteria. *Developmental and Comparative Immunology* v.25, p.827–839. [https://doi.org/10.1016/S0145-305X\(01\)00038-6](https://doi.org/10.1016/S0145-305X(01)00038-6)
- El-Murr, A. I., Hakim, Y. A. E., Neamat-Allah, A. N. F., Baeshen, M., Ali, H. A. 2019. Immune-protective, antioxidant and relative genes expression impacts of β -glucan against fipronil toxicity in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish and Shellfish Immunology*. v.94, p.427-433. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.09.033>
- FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Firdaus-Nawi M., Saad, M. Z., 2016. Major Components of fish immunity: A review. *Tropical Agricultural Science*. v. 39, n. 4, p. 393-420.
- Gasque, P. H., 2004. Complement: A unique innate immune sensor for danger signals. *Molecular Immunology*, v.41, n.11, p.1089–1098, <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2004.06.011>
- Greenlee, A.R., Brown, R.A., Ristow, S.S., 1991. Nonspecific cytotoxic cells of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) kill YAC-1 targets by both necrotic and apoptic mechanisms. *Dev. Comp. Immunol.*, v.15, p.153-164. [https://doi.org/10.1016/0145-305X\(91\)90006-K](https://doi.org/10.1016/0145-305X(91)90006-K)
- Halliwell, B., Gutteridge, J. M. C., 2015. *Free Radicals in Biology and Medicine*, 5nd ed. Oxford University Press, New York, NY, 823p.
- Hansen J. D., Landis, E. D., Phillips, R. B., 2005. Discovery of a unique Ig heavy-chain isotype (IgT) in rainbow trout: implications for a distinctive B cell developmental

pathway in teleost fish. *Proc Natl Acad Sci USA*, v.102, p.6919-6924. <https://doi.org/10.1073/pnas.050002710>

Heinrichs, A. J., Jones, C. M., Heinrichs, B. S., 2003. Effects of mannan oligosaccharide or antibiotics in neonatal diets on health and growth of dairy calves. *J. Dairy Science* v.86, n.12, p.4064–4069. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74018-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74018-1)

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produtos de origem animal, por tipo de produto. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>. Acesso em: 18 de maio, 2022.

Kishawy, A. T. Y., Sewid, A.H., Nada, H. S., Kamel, M. A., El-Mandrawy, S. A. M., Abdelhakim, T. M. N., El-Murr, A. E. I., El Nahhas, N., Hozzein, W. N., Ibrahim, D., 2020. Mannan oligosaccharides as a carbon source in biofloc boost dietary plant protein and water quality, growth, immunity and *Aeromonas hydrophila* resistance in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animals* v.10, n.10, p.1–24. <https://doi.org/10.3390/ani10101724>

Koch, J. F. A., Oliveira, C. A. F., Zanuzzo, F. S., 2021. Dietary β -glucan (MacroGard®) improves innate immune responses and disease resistance in Nile tilapia regardless of the administration period. *Fish and Shellfish Immunology*. v.112, p.56-63. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.02.014>

Kumari, J., Sahoo, P. K. 2006. Dietary beta-1, 3 glucan potentiates innate immunity and disease resistance of Asian catfish, *Clarias batrachus* (L.). *Journal of Fish diseases*. v. 29, n.2, p.95-101. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2006.00691.x>

LeMorvan-Rocher, C., Troutaud, D., Deschaux, P., 1995. Effect of temperature on carp leukocyte mitogen-induced proliferation and nonspecific cytotoxic activity. *Dev. Comp. Immunol.*, v.19, p.87-95. [https://doi.org/10.1016/0145-305X\(94\)00057-M](https://doi.org/10.1016/0145-305X(94)00057-M)

Lukjanenko, V. I., 1971. *Immunobiology of fish*. Moscow: Pishchevaya Promyshlennost. p.364.

Magnadottir, B., 1998. Comparison of immunoglobulin (IgM) from four fish species. *Icelandic Agricultural Sciences*, v.12, p.47–59.

Magnadottir, B., Lange, S., Gudmundsdottir, S., Bogwald, J., Dalmo, R. A., 2005. Ontogeny of humoral immune parameters in fish. *Fish and Shellfish Immunology*, v.19, n.5, p.429–439. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2005.03.010>

Magnadottir, B., 2010. Immunological control of fish diseases. *Journal of Marine Biotechnology* 12, 361–37, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10126-010-9279-x>

Magnani, M., Castro-Goméz, R. J. H., 2008. β -glucana de *Saccharomyces cerevisiae*: constituição, bioatividade e obtenção. *Semina: Ciências Agrárias*. v.29, n.3, p.631-650.

Meena, D. K., Das, P., Kumar, S., Mandal, S. C., Prusty, A. K., Singh, S. K., Aaktar, M. S., Behera, B. K., Kumar, K., Pal, A. K., Mukherjee, S. C., 2013. Beta-glucan: an ideal immunostimulant in aquaculture (a review). *Fish Physiology and Biochemistry*, v.39, n.3, p.431-57. <https://doi.org/10.1007/s10695-012-9710-5>

Mokhbatly, A. A., Assar, D. H., Ghazy, E. W., Elbially, Z., Rizk, S. A., Omar, A. A., Gaafar, A. Y., Dawood, M. A. O., 2020. The protective role of spirulina and β -glucan in African catfish (*Clarias gariepinus*) against chronic toxicity of chlorpyrifos: hemato-

biochemistry, histopathology, and oxidative stress traits. *Environmental Science and Pollution Research*. v.27, p.31636-31651. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09333-8>

Mugwanya, M., Dawood, M. A. O., Kimera, F., Sewilam, H., 2022. Updating the Role of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics for Tilapia Aquaculture as Leading Candidates for Food Sustainability: A Review. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, v.14, p.130-157. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09852-x>

Nakao, M., Tsujikura, M., Ichiki, S., Vo, T. K., Somamoto, T., 2011. The complement system in teleost fish: Progress of post-homolog-hunting researches. *Developmental & Comparative Immunology*, v.35, n.12, p.1296–1308. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.03.003>

Neamat-Allah, A. N. F., Hakim, Y. A. E., Mahmoud, E. A., 2020. Alleviating effects of β -glucan in *Oreochromis niloticus* on growth performance, immune reactions, antioxidant, transcriptomics disorders and resistance to *Aeromonas sobria* caused by atrazine. *Aquaculture Research*. v. 00, p.1-12. <https://doi.org/10.1111/are.14529>

Pilarski, F., Oliveira, C. A. F., Souza, F. P. B. D., Zanuzzo, F. S., 2017. Different β -glucans improve the growth performance and bacterial resistance in Nile tilapia. *Fish and Shellfish Immunology*. v. 70, p.25-29. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.06.059>

Pisoschi, A. M., Pop, A., 2015. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, v. 97, p. 55–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.04.040>

Plyzycz, B.; Flory, C.M., Galvan, I., Bayne, C.J., 1989. Leucocytes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) pronephros: cell types producing superoxide anion. *Dev. Comp. Immunol.*, v.13, p.217-224. [https://doi.org/10.1016/0145-305X\(89\)90002-5](https://doi.org/10.1016/0145-305X(89)90002-5)

Pogue, R., Murphy, E. J., Fehrenbach, G. W., Rezoagli, E., Rowan, N. J. 2021. Exploiting immunomodulatory properties of β -glucans derived from natural products for improving health and sustainability in aquaculture-farmed organisms: Concise review of existing knowledge, innovation and future opportunities. *Environmental Science & Health*. v. 21, n. 100248. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100248>

Raa, J., 2000. The use of immune-stimulants in fish and shellfish feeds. In: Cruz-Suarez LE, Ricque-Marie D, Tapia-Salazar M, Olvera-Novoa MA, Civera-Cerecedo R (eds) *Advance en Nutricion Acuicola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrcion Acouicola*, vol Memorias. Merida, Yucatan, p. 47–56.

Reis, I. C., Fierro-Castro, C., Gonçalves, G. S., Moroizato, B. S., Tort, L., Biller, J. D., 2021. β -glucan mimics tissue damage signaling and generates a trade-off between head kidney and spleen to activate acquired immunity in vaccinated tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology*. v.117, p.179-187. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.08.003>

Ringø, E., Olsen, R. E., Gifstad, T. O., Dalmo, R. A., Amlund, H., Hemre, G.-I., Bakke, A.M., 2010. Prebiotics in aquaculture: a review. *Aquaculture Nutrition*. v.16, p. 117-136. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00731.x>

Rubio-Godog, M., 2010. Teleost fish immunology: Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. v.1, n.1, p. 47 –57.

- Sado, R. Y., Gimbo, R. Y., Salles, F. B., 2016. Routes of β -glucan administration affect hematological and immune responses of *Oreochromis niloticus*. *Archivos de Zootecnia*, v. 65, n. 252, p. 519-524.
- Salinas, I., Zhang, Y. A., Sunyer, J. O., 2011. Mucosal immunoglobulins and B cells of teleost fish. *Developmental and Comparative Immunology*, v.35, n.12, p.1346–1365. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.11.009>
- Santos, L., Ramos, F., 2016. Analytical strategies for the detection and quantification of antibiotic residues in aquaculture fishes: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 52, p. 16-30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.015>
- Saurabh, S., Sahoo, T. K., 2008. Lysozyme: An important defence molecule of fish innate immune system. *Aquaculture Research*, v.39, n.3, p.223–239. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01883.x>
- Secombes, C. J., 1990. Isolation of salmonid macrophages and analysis of their killing activity. *Techniques in Fish Immunology*, v.1, p.134–154.
- Secombes, C. J., 1996. The nonspecific immune system: Cellular defenses. In the fish immune system: Organism, pathogen and environment. (G. Iwama & T. Nakanishi Eds.). San Diego: Academic Press.
- Secombes, C.J., Flecher, T.C. 1992. The role of phagocytes in the protective mechanisms of fish. *Annu. Rev. Fish Dis.*, v.2, p.53-71. [https://doi.org/10.1016/0959-8030\(92\)90056-4](https://doi.org/10.1016/0959-8030(92)90056-4)
- Silva, L. P., Nörnberg, J. L., 2003. Prebióticos na nutrição de não ruminantes. *Cienc. Rural*, v.33, n.5. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000500029>
- Shoemaker, C.A., Klesius, P.H., Lim, C., 2001. Immunity and Disease Resistance in Fish. In: LIM, C., WEBSTER, C.D. *Nutrition and Fish Health*. New York: Food Products Press, p.149-162.
- Solem, S. T., Stenvik, J., 2006. Antibody repertoire development in teleosts—a review with emphasis on salmonids and *Gadus morhua* L. *Dev Comp Immunol* v.30, p.57-76. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2005.06.007>
- Song, K. S., Beck, B. R., Kim, D., Park, J., Kim, J., Kim, H. D., Ringo, E., 2014. Prebiotics as immunostimulants in aquaculture: A review. *Fish and Shellfish Immunology*, v.40, p.40-48. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2014.06.016>
- Spring, P, Wenk, C, Dawson, K. A., Newman, K. E., 2000. The Effects of dietary mannanoligosaccharides on cecal parameters and the concentrations of enteric bacteria in the ceca of Salmonella-challenged broiler chicks. *Poultry Science* v.79, n.2, p.205–211. <https://doi.org/10.1093/ps/79.2.205>
- Tizard, I. R., 2014. *Imunologia Veterinária*. 9.ed. Elsevier.
- Torroba M., Zapata A. G., 2003. Aging of the vertebrate immune system. *Microsc Res Technol*, v.62, p.477-481. <https://doi.org/10.1002/jemt.10409>
- Uribe, C., Folch, H., Enriquez, R., Moran, G., 2011. Innate and adaptive immunity in teleost fish: A review. *Veterinarni Medicina*, v.56, n.10, p.486–503. <https://doi.org/10.17221/3294-VETMED>

- Vetvicka, V., Vanucci, L., Sima, P., 2013. The Effects of β -Glucan on Fish Immunity. North American Journal of Medical Sciences. v. 5, n. 10, p. 580-588.
- Wee, W., Hamid, N. K. A., Mat, K. Khalif, R. I. A. R., Rusli, N. D., Rahman, M. M., Kabir, M. A., Wei, L. S., 2022. The Effects of mixed prebiotics in aquaculture: A review. Aquaculture and Fisheries. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.02.005>
- Whittington, R., Lim, C., Klesius, P. H., 2005. Effect of dietary β -glucan levels on the growth response and efficacy of *Streptococcus iniae* vaccine in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture. v.248, p.217-225. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.013>
- Whyte, S. K., 2007. The innate immune response of finfish – A review of current knowledge. Fish and Shellfish Immunology, v.23, n.6, p.1127–1151. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2007.06.005>
- Yadav, M, Schorey. J. S., 2006. The β -glucan receptor dectin-1 functions together with TLR2 to mediate macrophage activation by mycobacteria. Blood ,108: 3168e75. <https://doi.org/10.1182/blood-2006-05-024406>
- Yamamoto, F. Y., Sutili, F. J., Hume, M., Gatlin, D. M., 2018. The effect of β -1,3-glucan derived from *Euglena gracilis* (Algamune™) on the innate immunological responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Journal of Fish Diseases. v. 41, p.1579-1588. <https://doi.org/10.1111/jfd.12871>

sanitários, reduzindo a utilização de antimicrobianos que potencialmente trazem riscos ao consumo humano e meio ambiente.

5. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (130095/2021-4) pelo auxílio da bolsa de estudos.

6. Referências

- Ahmed, I., Reshi, Q. M., Fazio, F., 2020. The influence of the endogenous and exogenous factors on hematological parameters in different fish species: a review. *Aquaculture international* v.28, p.869-899. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00501-3>
- Ai, Q., Mai, K., Zhang, L., Tan, B., Xu, W., Li, H., 2007. Effects of dietary beta-1,3 glucan on innate immune response of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*. *Fish & Shellfish Immunology*, v.22, n.4, p.394-402. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2006.06.011>
- Akramiene, D., Kondrotas, A., Didziapetriene, J., Kevelaitis, E., 2007. Effects of β -glucans on the immune system. *Medicina*. v.43, n.8, p.597–606. <https://doi.org/10.4110/in.2011.11.4.191>
- Aramli, M. S., Kamangar, B., Nazari, R. M., 2015. Effects of dietary beta-glucan on the growth and innate immune response of juvenile Persian sturgeon, *Acipenser persicus*. *Fish & Shellfish Immunology*, v.47, n.1, p.606-610. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.10.004>
- Barros, M. M., Falcon, D. R., Orsi, R. O., Pezzato, L. E., Fernandes Jr., A. C., Guimaraes, I. G., Fernandes Jr., A., Padovani, C. R., Sartori, M. M., 2014. Non-specific immune parameters and physiological response of Nile tilapia fed beta-glucan and vitamin C for different periods and submitted to stress and bacterial challenge. *Fish & Shellfish Immunology*, v.39, p.188–195. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2014.05.004>
- Biller, J. D., Takahashi, L. S., 2018. Oxidative stress and fish immune system: phagocytosis and leukocyte respiratory burst activity. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.90, n.4, p.3403-3414. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170730>
- Bolhassani, Agi, E., 2019. Heat shock proteins in infection. *Clin. Chim. Acta* v.490, p.90–100. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2019.08.015>
- Brown, G. D., Gordon, S., 2003. Fungal β -glucans and mammalian immunity. *Immunity*, Cambridge, v. 19, n. 3, p.311-315. [https://doi.org/10.1016/S1074-7613\(03\)00233-4](https://doi.org/10.1016/S1074-7613(03)00233-4)
- Brown, G. D., Gordon, S., 2005. Immune recognition of fungal. *Cellular Microbiology*, Oxford, v.7, n.4, p.471-479. <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2005.00505.x>

- Burrige, L., Weis, J. S., Cabello, F., Pizarro, J., Bostick, K., 2010. Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*, v. 306, n. 1–4, p. 7–23. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.020>
- Chen, C. L., Sun, X. Y., Liao, L. J., Luo, S. X., Li, Z. Q., Zhang, X. H., Wang, Y. P., Guo, Q. L., Fang, Q., & Dai, H. P., 2013. Antigenic analysis of grass carp reovirus using single-chain variable fragment antibody against IgM from *Ctenopharyngodon idella*. *Science China Life Sciences*, v.56, n.1, p.59–65. <https://doi.org/10.1007/s11427-012-4425-5>
- Chen, J., Sun, R., Pan, C., Sun, Y., Mai, B., Li, Q. X., 2020. Antibiotics and food safety in aquaculture. *J. Agric. Food Chem.* v.68, p.11908–11919. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c03996>
- Citarasu, T., 2020. Herbal biomedicines: A new opportunity for aquaculture industry. *Aquaculture International*, v. 18, n. 3, p. 403–414. <https://doi.org/10.1007/s10499-009-9253-7>
- Ching, J. J., Shuib, A. S., Abdul Majid, N., Mohd Taufek, N., 2020. Immunomodulatory activity of β -glucans in fish: Relationship between β -glucan administration parameters and immune response induced. *Aquaculture Research*, v.52, n.5, p.1824–1845. <https://doi.org/10.1111/are.15086>
- Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., Berenjian, A., Ghasemi, Y., 2019. Prebiotics: Definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. *Foods*, v.8, n.3, p.92. <https://doi.org/10.3390/foods8030092>
- Dawood(a), M. A. O., Abdo, S. E., Gewaily, M. S., Moustafa, E. M., Saadallah, M. S., Abdel-Kader, M. F., Hamouda, A. H., Omar, A. A., Alwakeel, R. A., 2020. The influence of dietary β -glucan on immune, transcriptomic, inflammatory and histopathology disorders caused by deltamethrin toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology*. v. 98, p.301-311. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.01.035>
- Dawood(b), M. A. O., Abdel-Razik, N. I., Geaily, M. S., Swilam, H., Paray, B. A., Soliman, A. A., Abdelhiee, E. Y., Aboubakr, M., Van Doan, H., El-Sabagh, M., El Basuini, M. F., 2020. β -Glucan improved the immunity, hepato-renal, and histopathology disorders induced by chlpyrifos in Nile tilapia. *Aquaculture reports*, v.18, 1-100549. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100549>
- Dawood(c), M. A. O., Metwally, A. E., El-Sharawy, M. E., Atta, A. M., Elbially, Z. I., Abdel-Latif, H. M. R., Paray, B. A., 2020. The role of β -glucan in the growth, intestinal morphometry, and immune-related gene and heat shock protein expressions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under different stocking densities. *Aquaculture*, v.523, 735205. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735205>
- Dinarello, C. A., 2000. Proinflammatory cytokines. *Chest* v.118, p.503–508. <https://doi.org/10.1378/chest.118.2.503>
- Dinarello, C., Arend, W., Sims, J., Smith, D., Blumberg, H., O'Neill, L., Mansky, R. G., Pizarro, T., Hoffma, H., Bufler, P., Nold, M., Ghezzi, P., Mantovani, A., Garlanda, C., Boraschi, D., Rubartelli, A., Netea, M., van der Meer, J., Joosten, L., Mandrup-Poulsen, T., Donath, M., Lewis, E., Pfeilschifter, J., Martin, M., Kracht, M., Muehl, H., Novick, D., Lukic, M., Conti, B., Solinger, A., Kelk, P., Van de Veerdonk, F., Gabel, C., 2010.

IL1 family nomenclature. *Nat. Immunology*. v.11, n.11, p.973.
<https://doi.org/10.1038/ni1110-973>

El-Boshy, M. E., El-Ashram, A. M., AbdelHamid, F. M., Gadalla, H. A., 2010. Immunomodulatory effect of dietary *Saccharomyces cerevisiae*, β -glucan and laminaran in mercuric chloride treated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and experimentally infected with *Aeromonas hydrophila*. *Fish & Shellfish Immunology*, v.28, p. 802-808.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2010.01.017>

El-Murr, A. I., Hakim, Y. A. E., Neamat-Allah, A. N. F., Baeshen, M., Ali, H. A., 2019. Immune-protective, antioxidant and relative genes expression impacts of β -glucan against fipronil toxicity in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish and Shellfish Immunology*. v.94, p.427-433. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.09.033>

Engstad, R.E., 1993. Recognition of yeast cell wall glucan by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) macrophages. *Dev. Comp. Immunol.* v.17, n.4, p.319–330.
[https://doi.org/10.1016/0145-305X\(93\)90004-A](https://doi.org/10.1016/0145-305X(93)90004-A)

FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

Fazio, F., 2019. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: a review. *Aquaculture*. v.500, p.237-242. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.030>

Firdaus-Nawi M., Saad, M. Z., 2016. Major Components of fish immunity: A review. *Tropical Agricultural Science*. v. 39, n. 4, p. 393-420.

Ghaedi, G., Keyvanshokoh, S., Azarm, H. M., Akhlaghi, M., 2015. Effects of dietary β -glucan on maternal immunity and fry quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, v.441, p.78–83. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.023>

Halliwell, B., Gutteridge, J. M. C., 2007. *Free Radicals in Biology and Medicine*, 4th ed. Oxford University Press, Oxford 888p.

Harikrishnan, R., Kim, J.S., Kim, M.C., Balasundaram, C., Heo, M.S., 2011. *Prunella vulgaris* enhances the non-specific immune response and disease resistance of *Paralichthys olivaceus* against *Uronema marinum*. *Aquaculture*. v.318, p.61–66.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.020>

Hosseney, H. M., Abdel Motaal, S. M., Kamel, M. A., El-Murr, A. H. I., 2018. Ameliorative Effect of Betaglucan Diet In *Oreochromis Niloticus* Against *Aeromonas Hydrophila*. *Res. J. Pharma., Biological and Chem. Sci.*, v.9, n.6, p.391-404.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.12.009>

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produtos de origem animal, por tipo de produto. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>. Acesso em: 18 de maio, 2022.

Itami, T., Takahashi, Y., Nakamura, Y., 1989. Efficacy of vaccination against vibriosis in cultured kuruma prawns *Penaeus japonicus*. *J. Aquat. Anim. Health* v.1, n.3, p.238–242. [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(1989\)001<0238:EOVAVI>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8667(1989)001<0238:EOVAVI>2.3.CO;2)

Koch, J. F. A., Oliveira, C. A. F., Zanuzzo, F. S., 2021. Dietary β -glucan (MacroGard®) improves innate immune responses and disease resistance in Nile tilapia regardless of the

administration period. *Fish and Shellfish Immunology*. v. 112, p. 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.02.014>

Kofuji K, Aoki, A. Tsubaki, K., Konishi, M., Isobe T., Murata, Y., 2012. Antioxidant Activity of β -Glucan. *ISRN Pharm*, v.12. <https://doi.org/10.5402/2012/125864>

Kuebutornye, F. K. A., Abarike, E. D., Sakyi, M. E., Lu, Y., Wang, Z., 2020. Modulation of nutrient utilization, growth, and immunity of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: the role of probiotics. *Aquaculture International* v.28, n.1, p.277–291. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00463-6>

Lesser, M.P., 2006. Oxidative stress in marine environments: biochemistry and physiological ecology. *Annual Review of Physiology*. v.68, p.253–278. <https://doi.org/10.1146/annurev.physiol.68.040104.110001>

Limbu, S. M., Zhou, L., Sun, S. X., Zhang, M. L., Du, Z. Y., 2018. Chronic exposure to low environmental concentrations and legal aquaculture doses of antibiotics cause systemic adverse effects in Nile tilapia and provoke differential human health risk. *Environ. Int.* v.115, p.205–219. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.034>

Lu, D., Limbu, S. M., Lv, H., Ma, Q., Chen, L., 2019. The comparisons in protective mechanisms and efficiencies among dietary α -lipoic acid, β -glucan and L-carnitine on Nile tilapia infected by *Aeromonas hydrophila*. *Fish & Shellfish Immunology*, v.86, p. 785-793. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.12.023>

Magnadottir, B., 1998. Comparison of immunoglobulin (IgM) from four fish species. *Icelandic Agricultural Sciences*, v.12, p.47–59.

Magnadottir, B., Lange, S., Gudmundsdottir, S., Bogwald, J., Dalmo, R. A., 2005. Ontogeny of humoral immune parameters in fish. *Fish and Shellfish Immunology*, v.19, n.5, p.429–439. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2005.03.010>

Magnani, M., Castro-Goméz, R. J. H., 2008. β -glucana de *Saccharomyces cerevisiae*: constituição, bioatividade e obtenção. *Semina: Ciências Agrárias*. v. 29, n. 3, p. 631-650.

Meena, D. K., Das, P., Kumar, S., Mandal, S. C., Prusty, A. K., Singh, S. K., Aaktar, M. S., Behera, B. K., Kumar, K., Pal, A. K., Mukherjee, S. C., 2013. Beta-glucan: an ideal immunostimulant in aquaculture (a review). *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 39, n. 3, p.431-57. <https://doi.org/10.1007/s10695-012-9710-5>

Moher D, Liberati A., Tetzlaff J, Altman DG, The PG., 2009. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine* 6: e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

Moreira, I. do R. C., Barros, D. C. B. de, Lunardi, J. S., Orsi, R. de O., 2021. Effect of Protein Supplementation in the Bee *Apis mellifera* L. Exposed to the Agrochemical Fipronil. *Sociobiology*, v.68. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v68i3.5830>

Mountzouris, K. C., 2022. Prebiotics: Types. *Encyclopedia of dairy sciences* (3rd ed., pp. 352–358). Academic Press.

Mugwanya, M., Dawood, M. A. O., Kimera, F., Sewilam, H., 2022. Updating the Role of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics for Tilapia Aquaculture as Leading Candidates for Food Sustainability: A Review. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, v.14, p.130-157. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09852-x>

- Neamat-Allah(a), A. N. F., Hakim, Y. A. E., Mahmoud, E. A., 2020. Alleviating effects of β -glucan in *Oreochromis niloticus* on growth performance, immune reactions, antioxidant, transcriptomics disorders and resistance to *Aeromonas sobria* caused by atrazine. *Aquaculture Research*. v. 00, p.1-12. <https://doi.org/10.1111/are.14529>
- Neamat-Allah(b), A. N. F., Hakim, Y. A. E., Mahmoud, E. A., 2020. The potential benefits of dietary β -glucan against growth retardation, immunosuppression, oxidative stress and expression of related genes and susceptibility to *Aeromonas hydrophila* challenge in *Oreochromis niloticus* induced by herbicide pendimethalin. *Aquaculture Research*. v. 00, p.1-11. <https://doi.org/10.1111/are.14910>
- Paulsen, S. M., Engstad, R. E., Robertsen, B., 2001. Enhanced lysozyme production in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) macrophages treated with yeast beta-glucan and bacterial lipopolysaccharide. *Fish Shellfish Immunol*, v.11, n.1, p.23–37, <https://doi.org/10.1006/fsim.2000.0291>
- Pilarski, F., Oliveira, C. A. F., Souza, F. P. B. D., Zanuzzo, F. S., 2017. Different b-glucans improve the growth performance and bacterial resistance in Nile tilapia. *Fish and Shellfish Immunology*. v. 70, p.25-29. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.06.059>
- Pogue, R., Murphy, E. J., Fehrenbach, G. W., Rezoagli, E., Rowan, N. J. 2021. Exploiting immunomodulatory properties of b-glucans derived from natural products for improving health and sustainability in aquaculture-farmed organisms: Concise review of existing knowledge, innovation and future opportunities. *Environmental Science & Health*. v. 21, n. 100248. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100248>
- Quintana, F. J., Cohen, I. R., 2005. Heat shock proteins as endogenous adjuvants in sterile and septic inflammation, *J. Immunol.* v.175, p.2777–2782. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.175.5.2777>
- Reis, I. C., Fierro-Castro, C., Gonçalves, G. S., Moroizato, B. S., Tort, L., Biller, J. D., 2021. β -glucan mimics tissue damage signaling and generates a trade-off between head kidney and spleen to activate acquired immunity in vaccinated tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology*. v. 117, p.179-187. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.08.003>
- Ringø, E., Olsen, R. E., Gifstad, T. O., Dalmo, R. A., Amlund, H., Hemre, G.-I., Bakke, A.M., 2010. Prebiotics in aquaculture: a review. *Aquaculture Nutrition*. v.16, p.117-136. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00731.x>
- Sado, R. Y., Gimbo, R. Y., Salles, F. B., 2016. Routes of β -glucan administration affect hematological and immune responses of *Oreochromis niloticus*. *Archivos de Zootecnia*. v. 65, n. 252, p. 519-524.
- Sahan, A., Duman, S., 2010. Influence of β -1,3/1,6 glucan applications on some non-specific cellular immune response and haematologic parameters of healthy Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L., 1758). *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, v.34, n.1, p.75-81. <https://doi.org/10.3906/vet-0810-21>
- Salah, A. S., El Nahas, A. F., Mahmoud, S. 2017. Modulatory effect of different doses of b-1,3/1,6-glucan on the expression of antioxidant, inflammatory, stress and immune-related genes of *Oreochromis niloticus* challenged with *Streptococcus iniae*. *Fish & Shellfish Immunology*, v.70, p.204-213. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.09.008>

- Santos, L., Ramos, F., 2016. Analytical strategies for the detection and quantification of antibiotic residues in aquaculture fishes: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 52, p. 16-30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.015>
- Segner, H., Sundh, H., Buchmann, K., Douxfils, J., Sundell, K. S., Mathieu, C., Ruane, N., Jutfelt, F., Toften, H., Vaughan, L., 2012. Health of farmed fish: Its relation to fish welfare and its utility as welfare indicator. *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 38, n. 1, p. 85–105. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9517-9>
- Sies, H., 1985. Hydroperoxides and thiol oxidants in the study of oxidative stress in intact cells and organs. *Oxidative Stress* v.1, p.73–90. <https://doi.org/10.1098/rstb.1985.0168>
- Sneddon, L. U., Wolfenden, D. C. C., Thomson, J. S., 2016. *Stress Management and Welfare*. [s.l.] Elsevier Inc., v. 35.
- Souza, F. P., Lima, E. C. S., Pandolfi, V. C. F., Leite, N. G., Furlan-Murari, P. J., Leal, C. N. S., Mainardi, R. M., Suphoronski, S. A., Favero, L. M., Koch, J. F. A., Pereira, U. P., Lopera-Barrero, N. M., 2020. Effect of β -glucan in water on growth performance, blood status and intestinal microbiota in tilapia under hypoxia. *Aquaculture Reports*, v.17, 100369. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100369>
- Striz, I., Brabcova, E., Kolesar, L., Sekerkova, A., 2014. Cytokine networking of innate immunity cells: a potential target of therapy. *Clin. Sci.* v.126, p.593–612. <https://doi.org/10.1042/CS20130497>
- Suanyuk, N., Itsaro, A., 2011. Efficacy of inactivated *Streptococcus iniae* vaccine and protective effect of β -(1,3/1,6)-glucan on the effectiveness of vaccine in red tilapia *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*. *Songklanakarinn J. Sci. Technol.*, v.33, n.2, p. 143-149.
- Sung, H. H., Kou, G. H., Song, Y. L., 1994. Vibriosis resistance induced by glucan treatment in tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Fish Pathol.* v.29, n.1, p.11–17.
- Vetvicka, V., Vanucci, L., Sima, P., 2013. The Effects of β -Glucan on Fish Immunity. *North American Journal of Medical Sciences*. v. 5, n. 10, p. 580-588. DOI: 10.4103/1947-2714.120792
- Wee, W., Hamid, N. K. A., Mat, K. Khalif, R. I. A. R., Rusli, N. D., Rahman, M. M., Kabir, M. A., Wei, L. S., 2022. The Effects of mixed prebiotics in aquaculture: A review. *Aquaculture and Fisheries*. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.02.005>
- Xu, C., Suo, Y., Wang, X., Qin, J. G., Chen, L., Li, E., 2020. Recovery from Hypersaline-Stress-Induced Immunity Damage and Intestinal-Microbiota Changes through Dietary β -glucan Supplementation in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animals*, v.10, n.12, p.2243. <https://doi.org/10.3390/ani10122243>
- Yamashita, M., Yabu, T., Ojima, N., 2010. Stress Protein HSP70 in Fish. *Aqua-BioScience Monographs*, v. 3, n. 4, p. 111-141. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.175.5.2777>
- Zhang, J., Wang, P., Tan, C., Zhao, Y., Zhu, Y., Bai, J., Xiao, X., Zhang, L., Teng, D., Tian, J., Liu, L., Zhang, H., 2022. Effects of *L.plantarum* dy-1 fermentation time on the characteristic structure and antioxidant activity of barley β -glucan in vitro. *Current Research in Food Science*, v.5, p.125-130. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.12.005>