

LOS PILARES DE LA INMUNOLOGÍA EN SALMÓN DEL ATLÁNTICO

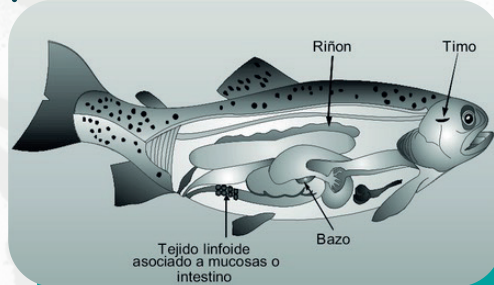
FARMACOLOGÍA EN ACUICULTURA VETERINARIA FAV S.A.

La inmunología de peces es un campo fascinante y de vital importancia para la acuicultura moderna. Los peces teleósteos, como el Salmón Atlántico (*Salmo salar*), poseen un sistema inmune altamente desarrollado, compuesto tanto por una inmunidad innata como adaptativa. Esta compleja red de defensa les permite combatir eficazmente una amplia gama de patógenos, incluyendo virus, bacterias y protozoos, que son una amenaza constante en su entorno acuático.

El salmón del Atlántico no es solo una especie de alto valor comercial y nutricional, sino también un modelo biológico clave para la investigación inmunológica. Su estudio nos proporciona una comprensión profunda de cómo los organismos acuáticos han evolucionado sofisticados mecanismos de defensa. La salud y la productividad en la acuicultura dependen en gran medida de un sistema inmune robusto, lo que subraya la necesidad de investigaciones continuas en este ámbito para desarrollar estrategias que mejoren la resistencia a enfermedades y optimicen las condiciones de crianza.

ÓRGANOS LINFOIDES CLAVE

Órganos linfoides en teleósteos (Vega-Ramirez, 2010)



RIÑÓN Y TIMO

Órganos linfoides primarios. Su principal función es la hematopoyesis.

BAZO

Filtración de la sangre y la activación de linfocitos.

TEJIDO LINFOIDE

Asociado a Mucosas (MALT)

HÍGADO

Posee melano-macrófagos lo que lo convierte en un sitio relevante para la presentación antigénica y la eliminación de patógenos.

MALT

GALT (GUT-ASSOCIATED LYMPHOID TISSUE)

Tejido linfoides asociado al intestino. Crucial para la defensa contra patógenos ingeridos y para el mantenimiento de la homeostasis con la microbiota intestinal.

SALT (SKIN-ASSOCIATED LYMPHOID TISSUE)

Inmunidad de la piel, una barrera vital en peces.

BALT (BRANCHIAL-ASSOCIATED LYMPHOID TISSUE)

Asociado a las branquias, dada su función respiratoria y de intercambio directo con el agua.

NALT (NASAL-ASSOCIATED LYMPHOID TISSUE)

Asociado a la cavidad nasofaríngea.

ÓRGANOS LINFOIDES ESPECIALIZADOS Y RESPUESTA MUCOSAL CLAVE:

La distribución y función de sus órganos linfoides, como el riñón anterior y el timo, junto con la relevancia del Tejido Linfoides Asociado a Mucosas (MALT) y el ILT branquial, subrayan la importancia de la inmunidad en las superficies de contacto directo con el agua. La inmunidad mucosal es una primera línea de defensa fundamental para la salud del salmón.

SISTEMA INMUNE ADAPTATIVO

COMPONENTES HUMORALES

Más allá de las células, el suero y los fluidos tisulares del salmón contienen una amplia gama de moléculas solubles que contribuyen a la inmunidad innata. Los péptidos antimicrobianos (AMPs) son pequeñas proteínas con actividad bactericida y viricida directa. Las proteínas de fase aguda, como la proteína C reactiva y la lectina de unión a manosa, se elevan durante la infección y ayudan a opsonizar patógenos, facilitando su eliminación por las células fagocíticas. El sistema del complemento también juega un rol vital en la lisis directa de bacterias y en la amplificación de la respuesta inmune.

LA EVOLUCIÓN DE LA INMUNIDAD ADAPTATIVA EN SALMO SALAR

Mientras que la inmunidad innata proporciona una defensa inmediata, la inmunidad adaptativa ofrece una respuesta altamente específica y duradera, crucial para la protección a largo plazo contra patógenos. En el *Salmo salar*, este brazo del sistema inmune es tan sofisticado como el de los vertebrados terrestres, con algunas adaptaciones únicas.

La característica distintiva de la inmunidad adaptativa es la presencia de linfocitos B y T, cada uno equipado con receptores específicos capaces de reconocer una inmensa diversidad de antígenos patógenos. Cuando un patógeno es detectado, estas células se expanden clonalmente, generando una respuesta potente y una memoria inmunológica que permite una respuesta más rápida y eficaz en exposiciones futuras al mismo patógeno.

RESPUESTA INMUNE LOCALIZADA

En las mucosas del *Salmo salar*, se organiza una respuesta inmune única. Las células B y T presentes en estos tejidos están adaptadas a este microambiente particular, respondiendo de manera eficaz a los desafíos locales.

La inmunoglobulina T es la protagonista de la inmunidad mucosal en peces. A diferencia de la IgM, que predomina en la sangre, la IgT se encuentra en altas concentraciones en el mucus de la piel, las branquias y el intestino. Su especialización permite una respuesta inmune específica y muy eficiente contra patógenos que intentan establecerse en estas superficies, desempeñando un papel crítico en la primera línea de defensa.

SISTEMA INMUNE INNATO

La inmunidad innata es la primera y más rápida respuesta de defensa del *Salmo salar* frente a los patógenos. Es una forma de inmunidad inespecífica que no requiere exposición previa al agente patógeno y actúa como una barrera inmediata para prevenir infecciones.

BARRERAS MUCOSAS

La piel, branquias y el tracto gastrointestinal contiene una variedad de moléculas antimicrobianas, como lisozimas, lectinas y péptidos antimicrobianos, que atrapan y neutralizan patógenos antes de que puedan invadir el organismo.

SISTEMA INMUNE COMPLEJO Y ADAPTADO:

Hemos explorado cómo el *Salmo salar* cuenta con un sistema inmune robusto, que integra eficazmente componentes innatos y adaptativos para responder a una amplia gama de amenazas. Esta adaptación es crucial para su supervivencia en un hábitat dinámico y rico en microorganismos.

COMPONENTES CELULARES

El salmón posee una serie de células inmunes innatas que patrullan los tejidos y la sangre. Entre ellas destacan los macrófagos, los granulocitos y las células NATURAL KILLER, que son cruciales para iniciar una respuesta inflamatoria y eliminar la amenaza.

FACTORES ESTRESANTES EN ACUICULTURA

AMBIENTALES

Fluctuaciones de temperatura, niveles de oxígeno disuelto, cambios de salinidad y calidad del agua (amonio, nitritos).

SOCIALES

Alta densidad de población en tanques o jaulas, jerarquías y agresiones entre individuos.

MANEJO

Procesos como clasificación, transporte, vacunación y manipulación general que generan una respuesta de estrés significativa en los peces.

EFFECTOS DEL ESTRÉS EN LA INMUNIDAD

El estrés crónico o severo tiene un impacto negativo directo en la eficacia del sistema inmune del *Salmo salar*. La liberación de hormonas del estrés, como el cortisol, puede suprimir la función de las células inmunes (linfocitos, macrófagos), reducir la producción de anticuerpos y disminuir la capacidad de los peces para combatir patógenos. Esto resulta en una mayor susceptibilidad a enfermedades, incrementando la morbilidad y mortalidad en las granjas acuícolas.

USO DE INMUNOESTIMULANTES

Para contrarrestar los efectos inmunosupresores del estrés y mejorar la resistencia del salmón a las enfermedades, se utilizan inmunoestimulantes. Estos compuestos, a menudo derivados de paredes celulares bacterianas (beta-glucanos), levaduras o extractos de plantas, actúan potenciando componentes específicos de la respuesta inmune innata y adaptativa. Su administración puede mejorar la actividad fagocítica de macrófagos. La producción de citocinas. La proliferación de linfocitos y La resistencia general a infecciones bacterianas y virales.

INMUNOGLOBULINAS CON FUNCIONES DIFERENCIADAS:

La presencia de IgM e IgT, con sus roles sistémicos y mucosales especializados, respectivamente, destaca la capacidad del *Salmo salar* para orquestar respuestas inmunes adaptadas a diferentes compartimentos del organismo.

IMPACTO DEL ESTRÉS Y ROL DE LOS INMUNOESTIMULANTES:

Es innegable que el estrés, inherente a los sistemas de acuicultura, puede comprometer seriamente la respuesta inmune del salmón. Sin embargo, el uso estratégico de inmunoestimulantes ofrece una herramienta valiosa para mitigar estos efectos y fortalecer las defensas naturales de los peces.

DIVERSIDAD Y FUNCIÓN

IG

Las inmunoglobulinas (Ig), también conocidas como anticuerpos, son componentes cruciales de la inmunidad adaptativa. En el salmón se han identificado tres isotipos principales que desempeñan funciones distintivas en la protección contra patógenos. La coexistencia de estos diferentes isotipos de inmunoglobulinas resalta la complejidad y adaptabilidad del sistema inmune del *Salmo salar*, permitiéndole montar respuestas inmunes diferenciadas y efectivas tanto a nivel sistémico como en las barreras mucosas.

T

Es una inmunoglobulina especializada en las respuestas inmunes mucosales.

D

Su rol en peces es menos comprendido que en mamíferos, donde principalmente actúa como receptor de antígenos en linfocitos B inmaduros.

M

Es el isotipo más abundante en el suero de los peces y se considera la inmunoglobulina ancestral en vertebrados.