

مانیتورینگ و پایش مداوم برای ارزیابی اثربخشی واکسن‌ها

در محافظت از سلامت ماهیان

حنانه میرزایی

دانشجوی دکتری دامپزشکی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده:

سلامت ماهیان یک جنبه حیاتی در آبی‌پروری است، زیرا ماهیان سالم برای موفقیت عملیات پرورش ماهی بسیار حائز اهمیت هستند. همانند حیوانات خشکی، ماهیان نیز قابلیت ابتلا به بیماری‌های مختلف ناشی از باکتری‌ها، ویروس‌ها، انگل‌ها و سایر میکروب‌ها را دارند. به منظور جلوگیری از وقوع بیماری‌ها و اطمینان از رفاه و سلامت جمعیت ماهیان، واکسن‌ها اغلب در آبی‌پروری استفاده می‌شوند. واکسن‌ها نقش حیاتی در حفاظت از ماهیان در برابر بیماری‌های عفونی ایفا می‌کنند، از طریق تحریک سیستم ایمنی برای تولید آنتی‌بادی‌ها علیه میکروب‌های خاص. با این حال، کارایی واکسن‌ها ممکن است بسته به عوامل مختلفی از قبیل نوع واکسن، گونه ماهی، وضعیت سلامت ماهی و شرایط زیست محیطی متفاوت باشد. بنابراین، پایش و ارزیابی پیوسته از کارایی واکسن‌ها در حفاظت از سلامت ماهیان بسیار اهمیت دارد. پایش وضعیت سلامت جمعیت ماهیان شامل بررسی‌های بهداشتی منظم، نظارت بر بیماری‌ها و آزمایش‌های تشخیصی می‌شود. با پایش ماهیان واکسینه برای علائم بیماری مانند رفتار غیرطبیعی، رشد نامناسب یا مرگ، اپراتوران آبی‌پروری می‌توانند کارایی واکسن‌ها را ارزیابی کرده و تنظیمات لازم را در پروتکل‌های واکسیناسیون خود انجام دهند. نظارت پیوسته امکان شناسایی زودهنگام بروز بیماری‌ها را فراهم می‌کند که می‌تواند به پیشگیری از گسترش میکروب‌ها و کاهش تأثیر بر جمعیت ماهیان کمک کند. به طور کلی، پایش و ارزیابی کارایی واکسن‌ها در حفاظت از سلامت ماهیان برای اطمینان از موفقیت و پایداری عملیات آبی‌پروری بسیار حیاتی است.

کلمات کلیدی: واکسیناسیون، آبیان، واکسن، ماهی

مقدمه:

واکسیناسیون یک ابزار حیاتی در جلوگیری و کنترل بیماری‌ها در جمعیت ماهیان است. همانطور که در انسان‌ها و سایر حیوانات، واکسین‌ها می‌توانند به سیستم ایمنی ماهیان کمک کنند و آن‌ها را از مختلف میکروب‌ها محافظت کنند. با این حال، اثربخشی واکسین‌ها در ماهیان می‌تواند بسته به چندین عامل مانند نوع واکسین استفاده شده، وضعیت سلامتی ماهیان و شرایط محیطی متغیر باشد. نظارت و پایش مداوم برای ارزیابی اثربخشی واکسین‌ها در حفظ سلامت ماهیان حیاتی است [1]. واکسیناسیون ماهیان به یک جنبه بسیار مهم از آبی‌پروری تبدیل شده است، زیرا نقش کلیدی در حفظ سلامت و رفاه جمعیت ماهیان دارد. واکسین‌ها برای ماهیان طراحی شده‌اند تا سیستم ایمنی را تحریک کنند تا آنتی بادی‌ها را در برابر میکروب‌های خاص تولید کند و از بیماری‌ها محافظت کند. انواع مختلف واکسین برای ماهیان وجود دارد، از جمله واکسین‌های غیرفعال شده، واکسین‌های ضعیف شده، واکسین‌های زیر واحد و واکسین‌های DNA. هر نوع واکسین مزایا و معایب خاص خود را دارد و انتخاب واکسین بستگی به عواملی مانند میکروب هدف، اندازه و گونه ماهیان و روش مصرف دارد [2].

یکی از چالش‌های واکسیناسیون ماهیان اطمینان حاصل کردن از اثربخشی واکسن در حفاظت از ماهیان در برابر بیماری‌ها است. عواملی نظیر سن و اندازه ماهی، وضعیت سلامتی ماهی و شرایط محیطی می‌توانند بر اثربخشی واکسن تأثیر بگذارند. علاوه بر این، اجرای صحیح واکسن و برخورد درست با آن برای اطمینان از اینکه واکسن به درستی تحویل داده شده و ماهی‌ها پاسخ ایمنی قوی‌ای ترغیب می‌کنند، بسیار حیاتی است. نظارت بر سلامت ماهیان واکسینه و انجام نظارت منظم بر بیماری‌ها برای ارزیابی اثربخشی واکسن و انجام تنظیمات لازم در برنامه واکسیناسیون اهمیت دارد [3].

واکسیناسیون ماهیان یک ابزار حیاتی برای جلوگیری و کنترل بیماری‌ها در آبی‌پروری است. با انتخاب نوع مناسب واکسن، اطمینان از اجرای صحیح واکسن و نظارت بر سلامتی جمعیت ماهیان، آبی‌پروران می‌توانند به حفاظت از ماهیان خود در برابر میکروب‌های مضر کمک کنند و رشد پایدار صنعت آبی‌پروری را ترویج دهند. پژوهش و توسعه مستمر در زمینه واکسیناسیون ماهیان اساسی خواهد بود برای بهبود کارایی و ایمنی واکسن‌ها برای ماهیان در آینده [4,5].

عوامل موثر بر کارایی واکسن در ماهیان:

۱. نوع واکسن: واکسن‌های مختلفی برای ماهیان وجود دارند که شامل واکسن‌های غیرفعال شده، واکسن‌های زنده ضعیف شده و واکسن‌های DNA می‌شوند. هر نوع واکسن دارای مزایا و معایب خود است و کارایی آن‌ها ممکن است بسته به پاتوژن خاص هدفمند و پاسخ ایمنی ایجاد شده، متفاوت باشد. واکسن‌های غیرفعال شده از میکروب‌های کشته شده تهیه شده‌اند [6] و به طور کلی ایمن تلقی می‌شوند، اما ممکن است نیاز به دزهای تقویتی داشته باشند تا ایمنی حفظ شود. واکسن‌های زنده ضعیف شده شامل اشکال ضعیف شده از میکروب هستند و می‌توانند با یک دز تکی ایمنی دائمی فراهم کنند [7]. اما خطر بازگشت میکروب به شکل واقعی وجود دارد. واکسن‌های DNA از مواد ژنتیکی میکروب برای تحریک پاسخ ایمنی استفاده می‌کنند و در حالی که ایمن و آسان برای تولید هستند، ممکن است در برخی از گونه‌های ماهی پاسخ ایمنی قوی ایجاد نکنند [8].

کارایی واکسن‌ها ممکن است بسته به نوع و سن ماهی که واکسن زده می‌شود، متفاوت باشد. برخی از انواع ماهی ممکن است به نوعی خاص از واکسن‌ها پاسخ ایمنی قوی‌تری داشته باشند، در حالی که دیگران ممکن است به برخی از میکروب‌ها حساس‌تر باشند. به علاوه، سن ماهی می‌تواند بر کارایی واکسن تأثیر بگذارد، زیرا ماهیان جوان ممکن است سیستم ایمنی کمتر توسعه یافته‌ای داشته باشند و احتمالاً نیاز به فرمول‌ها یا دوزهای واکسن متفاوتی داشته باشند [9,10]. اثربخشی واکسن‌ها در ماهیان نیز ممکن است تحت تأثیر عوامل محیطی مانند دمای آب، کیفیت آب و استرس قرار گیرد. ماهیانی که در شرایط غیر بهینه زندگی می‌کنند ممکن است سیستم ایمنی آن‌ها تخریب شده باشد و باعث کاهش واکنش آن‌ها به واکسن‌ها شود. علاوه بر این، عوامل استرس‌زا مانند دست‌وپنجه‌زدن، حمل و نقل و تراکم

می‌توانند با کاهش واکنش ایمنی، به اثربخشی واکسن‌ها تأثیر بگذارند. بنابراین، اهمیت دارد که این عوامل را در نظر بگیریم هنگام طراحی برنامه‌های واکسیناسیون برای ماهیان تا اطمینان حاصل کنیم که حفاظت بهینه در برابر عوامل پاتوژن فراهم شود [11].

۲. وضعیت سلامت ماهی: وضعیت کلی سلامت ماهی، از جمله عملکرد سیستم ایمنی و سطح استرس آنها، می‌تواند بر کارایی واکسن‌ها تأثیر بگذارد. ماهیانی که تحت استرس هستند یا دارای سیستم ایمنی ضعیف هستند ممکن است پاسخ ایمنی قوی‌ای به واکسن ندهند که منجر به کاهش حفاظت در برابر میکروب‌ها شود. وضعیت سلامت ماهیان یک عامل حیاتی است که باید در نظر گرفته شود هنگام اجرای برنامه‌های واکسن زنی در آبزیان. همانطور که هر ارگانیسم زنده دیگر، ماهیان نیز ممکن است به دلیل عوامل مختلفی مانند کیفیت آب نامناسب، تراکم بالا یا تغذیه نامناسب بیمار یا تنش داشته باشند [12]. زمانی که یک ماهی تنش داشت یا سیستم ایمنی آن ضعیف شود، سیستم ایمنی آن ممکن است به درستی عمل نکند و موجب افزایش حساسیت به بیماری‌ها شود. در چنین مواردی، واکسن‌ها ممکن است در ارائه حفاظت در برابر مسببات بیماری به اندازه کافی موثر نباشند [13].

استرس می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر پاسخ ایمنی ماهیان داشته باشد. هنگامی که یک ماهی استرس دارد، بدن آن هورمون‌های استرس را آزاد می‌کند که می‌تواند سیستم ایمنی را سرکوب کند و باعث می‌شود که ماهیان به راحتی با عفونت‌ها مقابله نکنند. این می‌تواند بر کارآمدی واکسن‌ها تأثیر بگذارد [14]، زیرا پاسخ ضعیف ایمنی ممکن است حفاظت کافی را در برابر بیماری‌ها فراهم نکند. بنابراین، اهمیت دارد که مطمئن شویم که ماهیان در وضعیت بهینه سلامتی هستند قبل از اینکه واکسن‌ها را تزریق کنیم. این شامل فراهم کردن محیط مناسب، تغذیه صحیح و کاهش عوامل استرس در سیستم آبی‌پروری می‌شود [15].

وضعیت کلی سلامت ماهیان، شامل هرگونه بیماری یا شرایط پایه‌ای سلامت، همچنین می‌تواند بر کارایی واکسن‌ها تأثیر بگذارد. ماهیانی که از پیش بیمار هستند یا سیستم ایمنی آن‌ها ضعیف است ممکن است نتوانند پاسخ ایمنی قوی به واکسن نشان دهند، که منجر به کاهش حفاظت در برابر میکروب‌ها می‌شود. برای پرورش‌دهندگان ماهی حائز اهمیت است که وضعیت سلامت ماهیان خود را به صورت منظم نظارت کرده و به هر مشکلی سریعاً پرداخته تا موفقیت برنامه‌های واکسیناسیون را تضمین کنند [16]. با حفظ شرایط بهداشتی بهینه و کاهش عوامل استرس، پرورش‌دهندگان ماهی می‌توانند کارایی واکسن‌ها را به حداکثر برسانند و ماهیان خود را از بیماری‌ها حفاظت کنند. شرایط زیست محیطی: عوامل زیست محیطی مانند کیفیت آب، دما و تراکم پرورش، می‌توانند تأثیرگذاری واکسن‌ها در ماهیان را نیز تحت تأثیر قرار دهند. کیفیت ضعیف آب یا تراکم بالای پرورش می‌تواند خطر شیوع بیماری‌ها را افزایش دهند و کارایی واکسن‌ها را کاهش دهند [17].

شرایط زیست محیطی نقش حیاتی در کارایی واکسن‌ها در ماهیان دارد. کیفیت آب یک عامل اصلی است که می‌تواند بر موفقیت واکسیناسیون تأثیر بگذارد. کیفیت ضعیف آب، مانند سطوح بالای آمونیاک یا نیتريت، می‌تواند ماهیان را تنش بدهد و سیستم ایمنی آن‌ها را ضعیف کند، آن‌ها را به بیماری‌ها حساس‌تر کند [18]. در چنین شرایطی، واکسن‌ها ممکن است به همان اندازه که در ماهیانی که در آب تمیز و نگهداری شده زندگی می‌کنند، موثر نباشند. بنابراین، برای پرورش‌دهندگان ماهی ضروری است که به طور منظم پارامترهای کیفیت آب را نظارت کرده و حفظ کنند تا موفقیت برنامه‌های واکسیناسیون تضمین شود [19].

دما یکی از عوامل محیطی است که می‌تواند بر کارایی واکسن‌ها در ماهیان تأثیر بگذارد. دما می‌تواند بر پاسخ ایمنی ماهی‌ها تأثیر بگذارد و با دماهای بهینه به طور کلی منجر به جذب بهتر و حفاظت در برابر بیماری‌ها شود. دماهای افراطی، چه خیلی بالا و چه خیلی پایین، می‌توانند به سیستم ایمنی ماهی‌ها آسیب بزنند و کارایی واکسن‌ها را کاهش دهند. بنابراین، برای مراعات موفقیت برنامه‌های واکسیناسیون، اهمیت دارد که پرورش‌دهندگان ماهی دمای پایدار و مناسبی را برای ماهیان خود فراهم کنند [20].

تراکم انبار کردن نیز یک عامل محیطی حیاتی است که می‌تواند بر کارایی واکسن‌ها در ماهی‌ها تأثیر بگذارد. تراکم بالا می‌تواند منجر به افزایش استرس در میان ماهی‌ها شود که آن‌ها را به بیماری‌ها حساس‌تر می‌کند. در شرایط شلوغ، ممکن است ماهی‌ها برای منابع رقابت

کنند که منجر به تغذیه نامناسب و بهداشت کلی آنها شود. به عبارت دیگر، واکسن‌ها نمی‌توانند حفاظت کافی را در جمعیت‌های با تراکم بالا فراهم کنند. برای پرورش دهندگان ماهی اهمیت دارد که تراکم انبار کردن را با دقت مدیریت کنند و فضای کافی برای ماهی‌ها فراهم کنند تا استرس را کمینه کنند و کارایی برنامه‌های واکسیناسیون را بهینه کنند. با در نظر گرفتن و رسیدگی به این عوامل محیطی، پرورش دهندگان ماهی می‌توانند موفقیت برنامه‌های واکسیناسیون را افزایش دهند و بهداشت و رفاه کلی جمعیت ماهی‌های خود را بهبود بخشند [21,22].

روش‌های نظارت و نظارت:

برای ارزیابی کارایی واکسن‌ها در حفاظت از سلامت ماهی‌ها، اجرای برنامه‌های نظارت و پایش بسیار حائز اهمیت است. این برنامه‌ها می‌توانند به ردیابی شیوع بیماری‌ها در جمعیت‌های ماهی، ارزیابی پاسخ ایمنی به واکسن‌ها و شناسایی هر گونه شکست واکسن کمک کنند. یکی از روش‌های رایج برای نظارت بر سلامت ماهیان از طریق جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها است [23]. این شامل گرفتن نمونه‌های خون، مخاط یا بافت از ماهیان و آزمایش آن‌ها برای حضور میکروب‌ها یا آنتی‌بادی‌ها است. با نظارت منظم بر این نمونه‌ها، محققان می‌توانند پاسخ ایمنی ماهیان به واکسن‌ها را پیگیری کرده و هرگونه علائم عفونت یا بیماری را در ابتدای ردیابی کنند [24].

یک جنبه مهم دیگر از نظارت و نظارت استفاده از نظارت محیطی است. این شامل آزمون دوره‌ای کیفیت آب و شرایطی است که ماهیان در آن پرورش می‌یابند است. کیفیت آب نامناسب می‌تواند ماهی‌ها را تنش بدهد و آن‌ها را به بیماری‌ها حساس‌تر کند، بنابراین نظارت بر پارامترهایی مانند دما، pH و سطوح اکسیژن می‌تواند کمک کند تا خطرات احتمالی برای سلامتی ماهیان شناسایی شوند. به علاوه، نظارت محیطی می‌تواند به ردیابی حضور میکروب‌ها در آب و ارزیابی وضعیت کلی اکوسیستم آبی کمک کند [25].

علاوه بر جمع‌آوری نمونه‌ها و نظارت بر محیط زیست، پژوهشگران می‌توانند از تکنیک‌های پیشرفته مانند توالی DNA و تشخیص مولکولی استفاده کنند تا میکروب‌های خاص را شناسایی کرده و منشأ آنها را پیگیری کنند. این روش‌ها می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد گسترش بیماری‌ها در جمعیت ماهیان فراهم کنند و کمک به شناسایی موثرترین استراتژی‌ها برای کنترل بیماری کنند. بطور کلی، برنامه‌های نظارت و پایش برای ارزیابی کارایی واکسن‌ها در ماهیان و اطمینان از سلامت و رفاه جمعیت‌های آبی بسیار ضروری است. با ترکیب روش‌ها و تکنیک‌های مختلف، پژوهشگران می‌توانند درک جامعی از وضعیت سلامت ماهیان پیدا کرده و تصمیمات اطلاع‌رسانی شده‌ای برای جلوگیری و کنترل بیماری‌ها در محیط‌های آبی‌پروری بگیرند [26].

نظارت بر بیماری: مانیتورینگ منظم جمعیت‌های ماهی برای حضور بیماری‌ها می‌تواند کمک کند تا بروز بیماری‌ها را زودتر شناسایی کرده و اثربخشی واکسن‌ها در پیشگیری از انتقال بیماری را ارزیابی کند. نظارت بر بیماری‌ها در جمعیت ماهیان، یک جزء حیاتی از مدیریت آبی‌پروری است. با مانیتور کردن منظم ماهیان برای حضور بیماری‌ها، آبی‌پروران می‌توانند به سرعت شیوع‌ها را شناسایی کرده و اقدامات لازم برای جلوگیری از گسترش بیشتر انجام دهند [27]. این رویکرد پیشگیرانه می‌تواند تأثیر اقتصادی و محیطی شیوع بیماری‌ها بر جمعیت ماهیان را به طور قابل توجهی کاهش دهد. یکی از مهمترین مزایای نظارت بر بیماری‌ها، توانایی ارزیابی اثربخشی واکسن‌ها در پیشگیری از انتقال بیماری است. با نظارت بر جمعیت‌های ماهیان واکسینه شده، پرورش‌دهندگان می‌توانند تعیین کنند که واکسن آیا حفاظت کافی را در برابر بیماری‌های رایج فراهم می‌کند یا خیر. این اطلاعات می‌تواند به راهنمایی استراتژی‌های واکسیناسیون آینده کمک کند و اطمینان حاصل شود که جمعیت‌های ماهی سالم و بدون بیماری باقی می‌مانند [28].

علاوه بر جلوگیری از شیوع بیماری‌ها، نظارت بر بیماری‌ها می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد وضعیت کلی جمعیت ماهیان ارائه دهد. با نظارت بر شاخص‌های کلیدی مانند نرخ مرگ و میر، شیوع بیماری و نرخ رشد، پرورش‌دهندگان می‌توانند مشکلات پتانسیلی در زمینه سلامت را قبل از گسترش آنها شناسایی کنند. این رویکرد پیش‌بینانه می‌تواند به حفظ پایداری بلندمدت جمعیت ماهیان کمک کرده و

تأمین یک تأمین غذایی پایدار برای مصرف انسانی و اهداف تجاری را تضمین کند. نظارت بر بیماری‌ها نقش حیاتی در مدیریت جمعیت ماهی در آبی‌پروری دارد. با نظارت بر بیماری‌ها، ارزیابی اثربخشی واکسن و پیگیری شاخص‌های کلیدی سلامت، آبی‌پروران می‌توانند به جلوگیری از شیوع بیماری‌ها، حفظ جمعیت‌های سالم و اطمینان از آینده پایدار صنعت آبی‌پروری کمک کنند [29].

آزمون‌های پاسخ ایمنی: آزمون‌های پاسخ ایمنی، مانند آزمون‌های ایمونوسوربنت آنزیمی متصل (ELISA) و آزمون زنجیره پلیمرز (PCR)، می‌توانند برای اندازه‌گیری سطوح آنتی‌بادی و پاسخ‌های ایمنی سلولی در ماهیان واکسینه استفاده شوند. آزمون‌های پاسخ ایمنی نقش حیاتی در ارزیابی کارایی واکسن‌ها در ماهیان دارند. یکی از آزمون‌های مورد استفاده، آزمون جذب ایمونوسوربنت آنزیمی (ELISA) است که سطح آنتی‌بادی‌های تولید شده به پاسخ واکسیناسیون را اندازه‌گیری می‌کند [30]. الایزاها می‌توانند آنتی‌بادی‌های خاص در برابر پاتوژن مورد نظر را تشخیص دهند و اطلاعات ارزشمندی در مورد پاسخ ایمنی تولید شده توسط واکسن ارائه دهند. این اطلاعات می‌توانند به محققین و اپیدمیولوژیست‌های آبی‌زبان کمک کنند تا تشخیص دهند که واکسن آیا پاسخ ایمنی قوی را ایجاد می‌کند و ماهیان را از عفونت محافظت می‌کند [31].

یکی از آزمون‌های پاسخ ایمنی مهم، آزمون زنجیره پلیمرز (PCR) است که می‌توان از آن برای شناسایی و اندازه‌گیری حضور مسیرچه‌های خاص در ماهیان واکسینه استفاده کرد. آزمون‌های PCR می‌توانند مواد ژنتیکی مسیرچه را شناسایی کنند، حتی در غلظت‌های پایین، که این امکان را به پژوهشگران می‌دهد تا وضعیت عفونت ماهیان را نظارت کنند و کارایی واکسن را ارزیابی کنند. با ترکیب آزمون‌های ELISA با آزمون‌های PCR، پژوهشگران می‌توانند درک جامعی از پاسخ ایمنی ایجاد شده توسط واکسن و تأثیر آن بر محافظت از ماهیان در برابر عفونت کسب کنند [32].

آزمون‌های پاسخ ایمنی مانند ELISAs و آزمون‌های PCR ابزارهای ارزشمندی برای ارزیابی کارایی واکسن‌ها در ماهی‌ها هستند. این آزمون‌ها اطلاعات مهمی درباره سطوح آنتی‌بادی، پاسخ‌های ایمنی سلولی و حضور پاتوژن در ماهیان واکسینه ارائه می‌دهند، که به محققان و کشاورزان آبی‌زبان امکان می‌دهند تصمیم‌های آگاهانه درباره توسعه واکسن و استراتژی‌های پیشگیری از بیماری‌ها بگیرند. با استفاده از این آزمون‌ها، ما می‌توانیم بهبود سلامت و رفاه جمعیت‌های ماهیان را ارتقاء دهیم و مزارع پرورش ماهی پایدار را ترویج دهیم [33].

آزمایش‌های کارآمدی واکسن: آزمایشات کنترل شده می‌توانند برای ارزیابی کارایی واکسن‌ها در محافظت از ماهیان در برابر مسیریب‌های خاص انجام شود. این آزمایش‌ها شامل واکسینه کردن یک گروه از ماهیان و سپس چالش دادن آن‌ها با مسیریب هدف است تا سطح محافظتی که توسط واکسن ارائه شده را تعیین کنند. آزمایشات کارایی واکسن ماهی برای توسعه و ارزیابی واکسن‌ها برای آبی‌پروری اساسی است. این آزمایشات به تعیین کارایی واکسن در پیشگیری از بیماری و کاهش نرخ مرگ و میر در جمعیت ماهی‌ها کمک می‌کنند. با واکسینه کردن یک گروه از ماهی‌ها و قرار دادن آن‌ها در معرض مسبب بیماری، محققان می‌توانند مشاهده کنند که واکسن چقدر خوب عمل می‌کند در حفاظت از ماهی‌ها [34].

در آزمایشات کارایی واکسن، پژوهشگران معمولاً ماهی‌ها را به گروه‌های مختلف تقسیم می‌کنند: ماهیان واکسینه، ماهیان بی‌واکسن و گروه‌های کنترل. ماهیان واکسینه واکسن را دریافت می‌کنند در حالی که ماهیان بی‌واکسن واکسینه نمی‌شوند. گروه کنترل معمولاً جدا نگه داشته می‌شود و به عوامل مسبب بیماری افشاندن نمی‌شود [35]. پس از واکسیناسیون، ماهی‌ها سپس با استفاده از روش‌های مختلف مانند شنواری یا تزریق، به عامل پاتوژن هدف افتاده می‌شوند. پژوهشگران ماهی‌ها را برای نشان‌های عفونت نظارت می‌کنند و نرخ مرگ و میر را ثبت می‌کنند. با مقایسه نتایج بین گروه‌های واکسینه و غیر واکسینه، پژوهشگران می‌توانند سطح حفاظت ارائه شده توسط واکسن را تعیین کنند. آزمایش‌های کارایی واکسن نقش حیاتی در توسعه واکسن‌ها برای آبی‌پروری ایفا می‌کنند، اطمینان حاصل می‌کنند که واکسن‌ها ایمن، موثر و حفاظت کافی را در برابر مسیرها فراهم می‌کنند. این آزمایش‌ها به محققان کمک می‌کنند تا کاندیدهای واکسنی امیدبخشتر را برای توسعه و بازاریابی بیشتر شناسایی کنند [36].



نتیجه گیری:

نظارت و پایش مداوم برای ارزیابی کارایی واکسن‌ها در حفاظت از سلامت ماهیان بسیار حائز اهمیت است. با پیگیری شیوع بیماری‌ها، ارزیابی پاسخ‌های ایمنی و انجام آزمایش‌های کارایی واکسن، کشاورزان ماهی و محققان می‌توانند اطمینان حاصل کنند که واکسن‌ها حفاظت لازم را در برابر عوامل مریم‌زای فراهم می‌کنند. اجرای برنامه‌های نظارت و پایش قوی می‌تواند بهبود استراتژی‌های واکسن‌زنی را تسریع داده و در نهایت بهبود کلی سلامت و رفاه جمعیت ماهیان را ارتقا دهد. در پایان، نظارت و پایش نقش حیاتی در ارزیابی کارایی واکسن‌ها در حفاظت از سلامت ماهیان ایفا می‌کنند. با در نظر گرفتن عواملی مانند نوع واکسن، وضعیت سلامت ماهیان و شرایط محیطی، کشاورزان ماهی و محققان می‌توانند تصمیمات اطلاع‌رسانی درباره استراتژی‌های واکسن‌زنی بگیرند. اجرای آزمایش‌های پاسخ ایمنی، پایش بیماری و آزمایش‌های کارایی واکسن می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره عملکرد واکسن‌ها در جمعیت ماهیان فراهم کند. در نهایت، با نظارت و ارزیابی مداوم از کارایی واکسن‌ها، می‌توانیم اطمینان حاصل کنیم که سلامت و رفاه ماهیان حفظ شده است و به پایداری روش‌های کشاورزی آبزیان کمک کنیم.

منابع:

1. Brisse et al. (۲۰۲۰) Brisse M, Vrba SM, Kirk N, Liang Y, Ly H. Emerging concepts and technologies in vaccine development. *Frontiers in Immunology*. ۲۰۲۰;۱۱:۵۸۳۰۷۷. doi: ۱۰/۳۳۸۹/fimmu.۲۰۲۰/۵۸۳۰۷۷.
2. Buján, Toranzo & Magariños (۲۰۱۸) Buján N, Toranzo AE, Magariños B. Edwardsiella piscicida: a significant bacterial pathogen of cultured fish. *Diseases of Aquatic Organisms*. ۲۰۱۸;۱۳۱:۵۹-۷۱. doi: ۱۰/۳۳۵۴/dao.۲۰۲۸۱.
3. Bukhari et al. (۲۰۲۲) Bukhari SNH, Jain A, Haq E, Mehbodniya A, Webber J. Machine learning techniques for the prediction of B-Cell and T-cell epitopes as potential vaccine targets with a specific focus on SARS-CoV- ۲ pathogen: a Review. *Pathogens*. ۲۰۲۲;۱۱:۱۴۶. doi: ۱۰/۳۳۹۰/pathogens۱۱۰۲۰۱۴۶.
4. Cao, Henzel & Gao (۱۹۹۶) Cao Z, Henzel WJ, Gao X. IRAK: a kinase associated with the interleukin- ۱ receptor. *Science*. ۱۹۹۶;۲۷۱:۱۱۲۸-۱۱۳۱. doi: ۱۰/۱۱۲۶/science.۲۷۱/۵۲۵۲/۱۱۲۸.
5. Castro et al. (۲۰۲۲) Castro KM, Scheck A, Xiao S, Correia BE. Computational design of vaccine immunogens. *Current Opinion in Biotechnology*. ۲۰۲۲;۷۸:۱۰۲۸۲۱. doi: ۱۰/۱۰۱۶/J.COPBIO.۲۰۲۲/۱۰۲۸۲۱.
6. Chatanaka et al. (۲۰۲۲) Chatanaka MK, Ulndreaj A, Sohaei D, Prassas I. Immunoinformatics: pushing the boundaries of immunology research and medicine. *Immunoinformatics*. ۲۰۲۲;۵:۱۰۰۰۰۷. doi: ۱۰/۱۰۱۶/j.immuno.۲۰۲۱/۱۰۰۰۰۷.
7. Chen et al. (۲۰۱۹) Chen J, Toh X, Ong J, Wang Y, Teo XH, Lee B, Wong PS, Khor D, Chong SM, Chee D, Wee A, Wang Y, Ng MK, Tan BH, Huangfu T. Detection and characterization of a novel marine birnavirus isolated from Asian seabass in Singapore. *Virology Journal*. ۲۰۱۹;۱۶:۷۱. doi: ۱۰/۱۱۸۶/s۱۲۹۸۵-۰۱۹-۱۱۷۴-۰.
8. Côté-Gravel, Brouillette & Malouin (۲۰۱۹) Côté-Gravel J, Brouillette E, Malouin F. Vaccination with a live-attenuated small-colony variant improves the humoral and cell-mediated responses against Staphylococcus aureus. *PLOS ONE*. ۲۰۱۹;۱۴:e۰۲۲۷۱۰۹. doi: ۱۰/۱۳۷۱/journal.pone.۰۲۲۷۱۰۹.
9. Crane & Hyatt (۲۰۱۱) Crane M, Hyatt A. Viruses of fish: an overview of significant pathogens. *Viruses*. ۲۰۱۱;۳:۲۰۲۵-۲۰۴۶. doi: ۱۰/۳۳۹۰/v۳۱۱۲۰۲۵.
10. D'Amico et al. (۲۰۲۱) D'Amico C, Fontana F, Cheng R, Santos HA. Development of vaccine formulations: past, present, and future. *Drug Delivery and Translational Research*. ۲۰۲۱;۱۱:۳۵۳-۳۷۲. doi: ۱۰/۱۰۰۷/s۱۳۳۴۶-۰۲۱-۰۰۹۲۴-۷.
11. Declercq et al. (۲۰۱۳) Declercq AM, Haesebrouck F, Van Den Broeck W, Bossier P, Decostere A. Columnaris disease in fish: a review with emphasis on bacterium-host interactions. *Veterinary Research*. ۲۰۱۳;۴۴:۲۷. doi: ۱۲۹۷-۹۷۱۶-۴۴-۲۷/۱۰/۱۱۸۶.
12. DeFranco (۲۰۱۶) DeFranco AL. Signaling pathways downstream of TLRs and IL- ۱ family receptors. In: Ratcliffe MJH, editor. *Encyclopedia of immunobiology*. Academic Press; Cambridge: ۲۰۱۶. pp. ۱۰۶-۱۱۴.
13. Delghandi, El-Matbouli & Menanteau-Ledouble (۲۰۲۰) Delghandi MR, El-Matbouli M, Menanteau-Ledouble S. Renibacterium salmoninarum—the causative agent of bacterial kidney disease in salmonid fish. *Pathogens*. ۲۰۲۰;۹:۸۴۵. doi: ۱۰/۳۳۹۰/pathogens۹۱۰۰۸۴۵.
14. Dias et al. (۲۰۱۳) Dias WO, Van Der Ark AAJ, Sakauchi MA, Kubrusly FS, Prestes AFRO, Borges MM, Furuyama N, Horton DSPQ, Quintilio W, Antoniazzi M, Kuipers B, Van Der Zeijst BAM, Raw I. An improved whole cell pertussis vaccine with reduced content of endotoxin. *Human Vaccines and Immunotherapeutics*. ۲۰۱۳;۹:۳۳۹-۳۴۸. doi: ۱۰/۴۱۶۱/hv.۲۲۸۴۷.
15. Dimitrov et al. (۲۰۱۴) Dimitrov I, Bangov I, Flower DR, Doytchinova I. AllerTOP v.۲—a server for in silico prediction of allergens. *Journal of Molecular Modeling*. ۲۰۱۴;۲۰:۲۲۷۸. doi: ۱۰/۱۰۰۷/s۰۰۸۹۴-۰۱۴-۲۲۷۸-۵.
16. Doytchinova, Guan & Flower (۲۰۰۶) Doytchinova IA, Guan P, Flower DR. EpiJen: a server for multistep T cell epitope prediction. *BMC Bioinformatics*. ۲۰۰۶;۷:۱-۱۱. doi: ۱۴۷۱-۲۱۰۵-۷-۱۳۱/۱۰/۱۱۸۶/TABLES/۳.
17. Du et al. (۲۰۲۱) Du Z, Su H, Wang W, Ye L, Wei H, Peng Z, Anishchenko I, Baker D, Yang J. The trRosetta server for fast and accurate protein structure prediction. *Nature Protocols*. ۲۰۲۱;۱۶:۵۶۳۴-۵۶۵۱. doi: ۱۰/۱۰۳۸/s۴۱۵۹۶-۰۲۱-۰۰۶۲۸-۹.

18. Dudek et al. (۲۰۱۰) Dudek NL, Perlmutter P, Aguilar M-I, Croft NP, Purcell AW. Epitope discovery and their use in peptide based vaccines. *Current Pharmaceutical Design*. ۲۰۱۰; ۱۶:۳۱۴۹-۳۱۵۷. doi: ۱۳۸۱۶۱۲۱.۷۹۳۲۹۲۴۴۷/۱۰.۲۱۷۴.
19. Embregts & Forlenza (۲۰۱۶) Embregts CWE, Forlenza M. Oral vaccination of fish: lessons from humans and veterinary species. *Developmental and Comparative Immunology*. ۲۰۱۶; ۶۴:۱۱۸-۱۳۷. doi: ۱۰/۱۰۱۶/j.dci.۲۰۱۶.۰۳.۰۲۴.
20. Farooq et al. (۲۰۲۱) Farooq M, Batool M, Kim MS, Choi S. Toll-like receptors as a therapeutic target in the era of immunotherapies. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. ۲۰۲۱; ۹:۷۵۶۳۱۵. doi: ۱۰/۳۳۸۹/fcell.۲۰۲۱/۷۵۶۳۱۵.
21. Feng, Zeng & Ma (۲۰۲۱) Feng P, Zeng J, Ma J. Predicting MHC-peptide binding affinity by differential boundary tree. *Bioinformatics*. ۲۰۲۱; ۳۷:i۲۵۴-i۲۶۱. doi: ۱۰/۱۰۹۳/bioinformatics/btab۳۱۲.
22. Fitzgerald & Kagan (۲۰۲۰) Fitzgerald KA, Kagan JC. Toll-like receptors and the control of immunity. *Cell*. ۲۰۲۰; ۱۸۰:۱۰۴۴-۱۰۶۶. doi: ۱۰/۱۰۱۶/j.cell.۲۰۲۰.۰۲.۰۴۱.
23. Flower et al. (۲۰۱۷) Flower DR, Doytchinova I, Zaharieva N, Dimitrov I. Immunogenicity prediction by VaxiJen: a ten year overview. *Journal of Proteomics & Bioinformatics*. ۲۰۱۷; ۱۰:۲۹۸-۳۱۰. doi: ۱۰/۴۱۷۲/jpb.۱۰۰۰۴۵۴.
24. Forouharmehr et al. (۲۰۲۲b) Forouharmehr A, Banan A, Mousavi SM, Jaydari A. Development of a novel multi-epitope vaccine candidate against *Streptococcus iniae* infection in fish: an immunoinformatics study. *Archives of Razi Institute*. ۲۰۲۲b; ۷۷:۴۵. doi: ۱۰/۲۲۰۹۲/ARI.۲۰۲۱/۳۵۳۳۷۷/۱۶۰۱.
25. Fu et al. (۲۰۲۲) Fu X, Luo M, Zheng G, Liang H, Liu L, Lin Q, Niu Y, Luo X, Li N. Determination and characterization of a novel birnavirus associated with massive mortality in Largemouth bass. *Microbiology Spectrum*. ۲۰۲۲; ۱۰:e۰۱۷۱۶۲۱. doi: ۱۰/۱۱۲۸/spectrum.۰۱۷۱۶-۲۱.
26. Furuya et al. (۲۰۱۰) Furuya Y, Regner M, Lobigs M, Koskinen A, Müllbacher A, Alsharifi M. Effect of inactivation method on the cross-protective immunity induced by whole "killed" influenza A viruses and commercial vaccine preparations. *Journal of General Virology*. ۲۰۱۰; ۹۱:۱۴۵۰-۱۴۶۰. doi: ۱۰/۱۰۹۹/vir.۰۰۱۸۱۶۸-۰.
27. Galanis et al. (۲۰۲۱) Galanis KA, Nastou KC, Papandreou NC, Petichakis GN, Pigis DG, Ionomidou VA. Linear B-cell epitope prediction for in silico vaccine design: a performance review of methods available via command-line interface. *International Journal of Molecular Sciences*. ۲۰۲۱; ۲۲:۳۲۱۰. doi: ۱۰/۳۳۹۰/ijms۲۲۰۶۳۲۱۰.
28. Gao et al. (۲۰۲۱b) Gao S, Xu T, Qiao R, Lu J, Xu Y, Hu S, Wei Y, Qi Z. Two non-mammalian toll-like receptors (TLR ۲۱ and TLR ۲۲) from golden pompano (*Trachinotus ovatus*): molecular cloning, gene characterization and expression analysis. *Aquaculture Reports*. ۲۰۲۱b; ۲۱:۱۰۰۹۱۲. doi: ۱۰/۱۰۱۶/j.aqrep.۲۰۲۱/۱۰۰۹۱۲.
29. Ghosh et al. (۲۰۲۳) Ghosh P, Patra P, Mondal N, Chini DS, Patra BC. Multi epitopic peptide based vaccine development targeting immobilization antigen of ichthyophthirius multifiliis: a computational approach. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*. ۲۰۲۳; ۲۹:۱۱-۱۲. doi: ۱۰/۱۰۰۷/S۱۰۹۸۹-۰۲۲-۱۰۴۷۵-۱.
30. Gräwe et al. (۲۰۲۰) Gräwe A, Ranglack J, Weyrich A, Stein V. IFLinkC: an iterative functional linker cloning strategy for the combinatorial assembly and recombination of linker peptides with functional domains. *Nucleic Acids Research*. ۲۰۲۰; ۴۸:E۲۴. doi: ۱۰/۱۰۹۳/nar/gkz۱۲۱۰.
31. Guan et al. (۲۰۰۶) Guan P, Hattotuwa CK, Doytchinova IA, Flower DR. MHCpred ۲.۰: an updated quantitative T-cell epitope prediction server. *Applied Bioinformatics*. ۲۰۰۶; ۵:۵۵-۶۱. doi: ۰۰۸۲۹۹۴۲-۱۰/۲۱۶۵ ۲۰۰۶.۵.۱۰.۰۰۰۰۰۸.
32. Guo & Li (۲۰۲۱) Guo M, Li C. An overview of cytokine used as adjuvants in fish: current state and future trends. *Reviews in Aquaculture*. ۲۰۲۱; ۱۳:۹۹۶-۱۰۱۴. doi: ۱۰/۱۱۱۱/raq.۱۲۵۰۹.
33. Gupta et al. (۲۰۱۳) Gupta S, Kapoor P, Chaudhary K, Gautam A, Kumar R, Raghava GPS. In silico approach for predicting toxicity of peptides and proteins. *PLOS ONE*. ۲۰۱۳; ۸:e۷۳۹۵۷. doi: ۱۰/۱۳۷۱/journal.pone.۰۰۷۳۹۵۷.
34. Hari Krishnan, Balasundaram & Heo (۲۰۱۱) Hari Krishnan R, Balasundaram C, Heo M-S. Fish health aspects in grouper aquaculture. *Aquaculture*. ۲۰۱۱; ۳۲۰:۱-۲۱. doi: ۱۰/۱۰۱۶/j.aquaculture.۲۰۱۱/۰۷/۰۲۲.
35. Heckman et al. (۲۰۲۲) Heckman TI, Shahin K, Henderson EE, Griffin MJ, Soto E. Development and efficacy of *Streptococcus iniae* live-attenuated vaccines in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish and Shellfish Immunology*. ۲۰۲۲; ۱۲۱:۱۵۲-۱۶۲. doi: ۱۰/۱۰۱۶/j.fsi.۲۰۲۱/۱۲/۰۴۳.
36. Hirai et al. (۲۰۱۵) Hirai Y, Asahata-Tago S, Ainoda Y, Fujita T, Kikuchi K. *Edwardsiella tarda* bacteremia, a rare but fatal water- and foodborne infection: review of the literature and clinical cases from a single centre. *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*. ۲۰۱۵; ۲۶:۳۱۳-۳۱۸. doi: ۷۰۲۶۱۵/۲۰۱۵/۱۰/۱۱۵۵.