

## کاربردهای سلول های بنیادی ماهی در آبی پروری: یک مطالعه مروری

مینا کیانی

دانشجوی دکتری تخصصی زیست شناسی سلولی و تکوینی - دانشگاه اراک

### چکیده

غذاهای دریایی، از جمله ماهی ها و سایر آبزیان ، ۱۷ درصد از تقاضای جهانی برای پروتئین های حیوانی را تأمین می کنند و پیش بینی می شود تا سال ۲۰۵۰، مصرف ماهی به ۱۴۰۰ تن افزایش یابد. بنابراین با توجه به روند فعلی آبی پروری، در آینده ای نزدیک بین تقاضا و عرضه شکاف بزرگی وجود خواهد داشت. بنابراین، با توجه به روند روبه رشد جمعیت جهانی و منابع محدود، و خطر افزایش آلودگی زیست محیطی، کشف تکنیک های مدرن آبی پروری جایگزین، از جمله استفاده از سلولهای بنیادی ماهی، به عنوان یک رویکرد نوظهور نقش مهمی در تضمین امنیت غذایی دارد. همچنین فناوری سلول های بنیادی، حفاظت و تولید برخی گونه های ماهی در خطر و نخبه را تسهیل می کند و با کاهش برخی چالش های کنونی آبی پروری، به پایداری این صنعت می تواند کمک کند، تا در آینده ای نه چندان دور، بتواند پاسخگوی تقاضای رو به رشد باشد. هدف از این مطالعه مروری بر کاربرد ها و چالش های استفاده از پتانسیل سلول های بنیادی ماهی در آبی پروری و افزایش کاربردهای تجاری این سلول ها می باشد.

**واژگان کلیدی:** سلول های بنیادی، ماهی سلولی، آبی پروری سلولی

## مقدمه

غذاهای دریایی، از جمله ماهی و سایر آبزیان، ۱۷ درصد از تقاضای جهانی برای پروتئین های حیوانی را تأمین می کنند و پیش بینی می شود تا سال ۲۰۵۰، مصرف ماهی به ۱۴۰۰ تن افزایش یابد (Costello et al, ۲۰۲۰). مطابق با برآوردها، صنعت شیلات و ماهیگیری به دلیل صید و جذب موجودات دریایی، محتویات زیست توده اقیانوس را تا ۸۰ درصد کاهش داده اند (Myers and Worm, ۲۰۰۳)، از طرفی برخی ظهور آبی پروری را به عنوان یک موهبت اکولوژیکی و اقتصادی می دانند (Tidwell and Allan, ۲۰۰۱). هدف اولیه آبی پروری تولید انواع ماهی تازه به منظور تأمین پروتئین مورد نیاز مردم جهان است. به دلیل تغییرات آب و هوایی جهانی، کاهش منابع و حجم آب، افزایش دما، تغییر در الگوهای بارندگی، تغییرات pH دریا، سوء استفاده از آنتی بیوتیک ها و عوارض جبران ناپذیر آنها، افزایش آلاینده های محیطی و گرمای جهانی، افزایش سطح دریا، رقابت با کشاورزی و کمبود پودر ماهی و روغن برای استفاده در خوراک ماهی، تولید آبی پروری در آینده پایدار نخواهد بود (Reid et al., ۲۰۱۹; Elsheikh, ۲۰۲۱ Engelhard et al, ۲۰۲۰; Funk and Brown, ۲۰۰۹; Reverter et al, ۲۰۲۰). آبی پروری پایدار یک فرهنگ سازگار با محیط زیست با هدف دستیابی به تولید بهینه بدون هیچ گونه تأثیر نامطلوب محیطی حتی در دراز مدت است. توسعه پایدار، زمین، آب، منابع گیاهی و جانوری را حفظ خواهد کرد و با محیط زیست سازگار است. آبی پروری باید یک کسب و کار قابل دوام با چشم انداز بلند مدت و خوب باشد. پایداری اقتصادی با شیوه های تجاری پایدار و مدیریت مزرعه، ایجاد کند. به حداقل استفاده از آنتی بیوتیک و دارو نیاز داشته باشد (Lowanshi et al, ۲۰۲۳). برای رسیدن به آبی پروری پایدار انعطاف پذیر و چشم اندازهای صنعت آبی پروری، استفاده از فن آوری سلول های بنیادی<sup>۱</sup> چنانچه در سایر زمینه های علمی نیز در چهار دهه اخیر، به طور پیوسته افزایش داشته است بسیار امیدوار کننده می باشد. سلول های بنیادی دسته ای از سلول های تمایز نیافته هستند، که می توانند خود را با تقسیم سلولی میتوزی باز تولید کنند و نتایج آنها به انواع سلول های عملکردی تمایز می یابد. این سلولها برای مدت طولانی باقی می ماندند و رفتارشان توسط میکرو محیط اطراف آنها قابل تنظیم می باشد (Çek et al, ۲۰۱۶; Zakrzewskiet al, ۲۰۱۹). در این مطالعه با توجه به اهمیت آبی پروری پایدار و جنبه های کاربردی فراوان سلول های بنیادی، مروری بر نقش سلول های بنیادی بر حفاظت و تولید ماهی های در معرض خطر انقراض و مولدین جایگزین و نیز تولید گوشت ماهی از سلول های بنیادی می پردازیم و چالش های مربوط به آنها را جهت رونق بخشیدن به جنبه تجاری این فناوری در آبی پروری بررسی می کنیم.

## ۱- حفظ و تولید مولدین جایگزین با پیوند سلول های بنیادی

امروزه به منظور حفظ ذخایر ژنتیکی ماهی های در معرض خطر، عمدتاً از سلول های بنیادی استفاده می شود. از بین انواع مختلف سلول های بنیادی بدن، سلول های زایای اولیه<sup>۲</sup> (PGCs)، تنها سلول های بنیادی می باشند که قادرند اطلاعات وراثتی را به نسل های بعدی منتقل نمایند. PGCs ها، سلول های بنیادی تمایز نیافته ای هستند که در طول جنین زایی به غدد جنسی (گنادها) منتقل می شوند و پس از رسیدن به سمت گناد، به تخمک بالغ در جنس ماده یا اسپرم بالغ در جنس نر تمایز می یابند. بنابراین این سلول ها در حفظ گامت ها اهمیت فوق العاده ای دارند (Yoshizaki et al, ۲۰۱۹; Yoshizaki et al, ۲۰۱۱). فناوری پیوند سلول های بنیادی ابتدا در بیضه موش (Dobrinski et al, ۲۰۰۰) انجام گرفت و پس موفقیت پیوند، در سایر موجودات از جمله خوک (Honaramooz et al, ۲۰۰۲) و بز (Honaramooz et al, ۲۰۰۳) نیز بصورت موفقیت آمیزی بررسی و مطالعه شد. این فناوری اولین بار در ماهی ها، با پیوند سلول های بنیادی اسپرماتوگونی<sup>۳</sup> (SSC) ماهی قزل آلا<sup>۴</sup> رنگین کمان به ماهی آزاد ماسو<sup>۴</sup>، با موفقیت انجام گرفت و منجر به تولید

<sup>۱</sup> - Stem Cells

<sup>۲</sup> - Primordial Germ Cells; PGCs

<sup>۳</sup> - Spermatogonial Stem Cells; SSC

<sup>۴</sup> - Masou

گامت نر (اسپرم) و گامت ماده (تخمک) ماهی قزل آلاي رنگين کمان در گناد ماهي آزاد ماسو گرديد (Okutsu et al, ۲۰۰۶). در اين فناوری سه روش برای پیوند PGCs در ماهی وجود دارد؛ در روش اول، PGCs ها از جنين های اهدا کننده<sup>۱</sup> به دست می آیند و در مرحله بلاستولا در کنار بلاستوديسک (جایی که اين سلول ها قبل از رسيدن به ناحیه غدد جنسی گیرنده تقسيم می شوند) پیوند زده می شود، و تکوين PGCs های درون زا (گیرنده) از قبل مسدود می شود (استريل سازی) و بدین ترتيب رده سلول های زایای گیرنده، به طور کامل با PGCs های اهداکننده جایگزین می شود (شکل ۱A). در روش دوم، PGCs ها به لاروهای تازه تفريخ شده پیوند زده می شوند. اين سلول های زایا مشتق از اهدا کننده در طول دوره زمانی که تمایز جنسی هنوز شکل نگرفته است و PGCs ها هنوز به طور فعال به سمت گنادها مهاجرت می کنند، در حفره صفاقي تزریق می شوند. سلول های زایا پیوندی قادر به حرکت و کلونیزه شدن در گناد گیرنده هستند. پس از مرحله بلوغ، ماهی های گیرنده، قادر به توليد گامت های اهدا کننده می باشند (شکل ۱B). در روش آخر، سلول های زاینده در ماهیان بالغ پیوند می شوند. SSC ها یا اووگونی<sup>۲</sup> مستقیماً به بيضه ها و تخمدان های بالغ منتقل می شوند و گامت های اهداکننده ی زنده توليد می کنند (شکل ۱C). (Majhi et al, ۲۰۱۷; Yalniz and Aydin, ۲۰۲۳). فناوری پیوند سلول های بنيادی در زمینه آبی پروری کاربرد های مفیدی می تواند داشته باشد از جمله : ۱) می تواند برای توليد گامت از گونه های بزرگ جثه و با ارزش اقتصادی (مانند ماهی تن و هامور) در گیرنده های نزدیک به آنها ولی با اندازه بدن کوچکتر با زمان توليد کوتاه تر استفاده شود. ۲) برای حفظ گونه های در حال انقراض یا نژادهای نخبه ماهی، که دارای صفات ژنتیکی مطلوب هستند. ۳) توليد فرزندان تک جنسیتی F<sub>1</sub> (نسل اول) با القای تغيير سرنوشت جنسی سلول های اهدا کننده در غدد جنسی گیرنده. ۴) توليد بذر ماهی با افزایش تنوع ژنتیکی برای استفاده در برنامه افزایش ذخایر جمعیت ماهیان وحشی (Takeuchi et al, ۲۰۰۴). در مطالعه ای، برای اولین بار پیوند موفقیت آمیز SSC ماهی آزاد دریای خزر، به آلوین های تازه تفريخ شده ماهی قزل آلاي رنگين کمان انجام گرفت، و نتایج آنها نشان داد، سلول های سوماتیک قزل آلاي رنگين کمان از سلول های اسپرماتوگونی دریای خزر حمایت می کنند و اين روش برای حفظ گونه های کمیاب راهگشا می باشد (Poursaeid et al, ۲۰۲۰). در مطالعه ای، بر روی برنج ماهی ژاپنی یا ماکا<sup>۳</sup>، که به دليل اندازه بزرگ آنها، تکنیک های انجماد برای تخم ها و جنین های آنها امکان پذیر نیست، سلول های بيضه ای گرفته شده از اين گونه و منجمد شده پس از ذوب کردن، به صورت داخل صفاقي به لاروهای تازه تفريخ شده تریپلوئید و استريل شده پیوند شدند. SSC های آنها به گنادهای گیرنده ها مهاجرت کرده و بر اساس جنسیت گیرنده، تخمک یا اسپرم توليد کردند (Seki et al, ۲۰۱۷). از جمله عواملی که بر موفقیت پیوند تأثیر می گذارد، سن گیرندگان و مرحله رشد لارو می باشد که در گونه های مختلف متفاوت می باشد. تاکنون مطالعات گوناگونی در ارتباط با پیوند سلول های زاینده در گونه های مختلف ماهی طی چند دهه گزارش شده است و توليد مولدين جایگزین در بسیاری از گونه های تجاری به دست آمده است. علاوه بر اين، دانش زیست شناسی سلول های زایای ماهی و فناوری های مرتبط با آن که می تواند کارایی و بهره وری پیوند را افزایش دهد، توسعه یافته است، هرچند محدودیت ها و مشکلاتی در اين حیطه مانع از کاربرد تجاری آن شده است (Ryu et al, ۲۰۲۲).

## ۲- ماهی های سلولی : رویکردی جدید برای توليد گوشت دریایی

برای تغذیه کافی جمعیت رو به رشد جهان تا سال ۲۰۵۰، افزایش ۱۰۰ درصدی توليد غذاهای دریایی پروتئینی و منابع غنی شده با امگا ۳ از اسیدهای چرب بر حسب نیاز پیش بینی می شود. از اين رو، ایجاد منابع جایگزین برای برآورده کردن مؤثر اين منابع ضروری است. (Tocher et al, ۲۰۰۳; FAO, ۲۰۲۲). بنابراین، افزایش توليد ماهی در آینده برای آبی پروری پایدار چالش برانگیز خواهد بود. در همین راستا، حفظ کیفیت محیط های آبی، کاهش فشار بر موجودات آبی وحشی مورد استفاده برای تأمین غذا، کاهش توليد گازهای

<sup>۱</sup> - Donor Embryos

<sup>۲</sup> - Oogonia Stem Cells

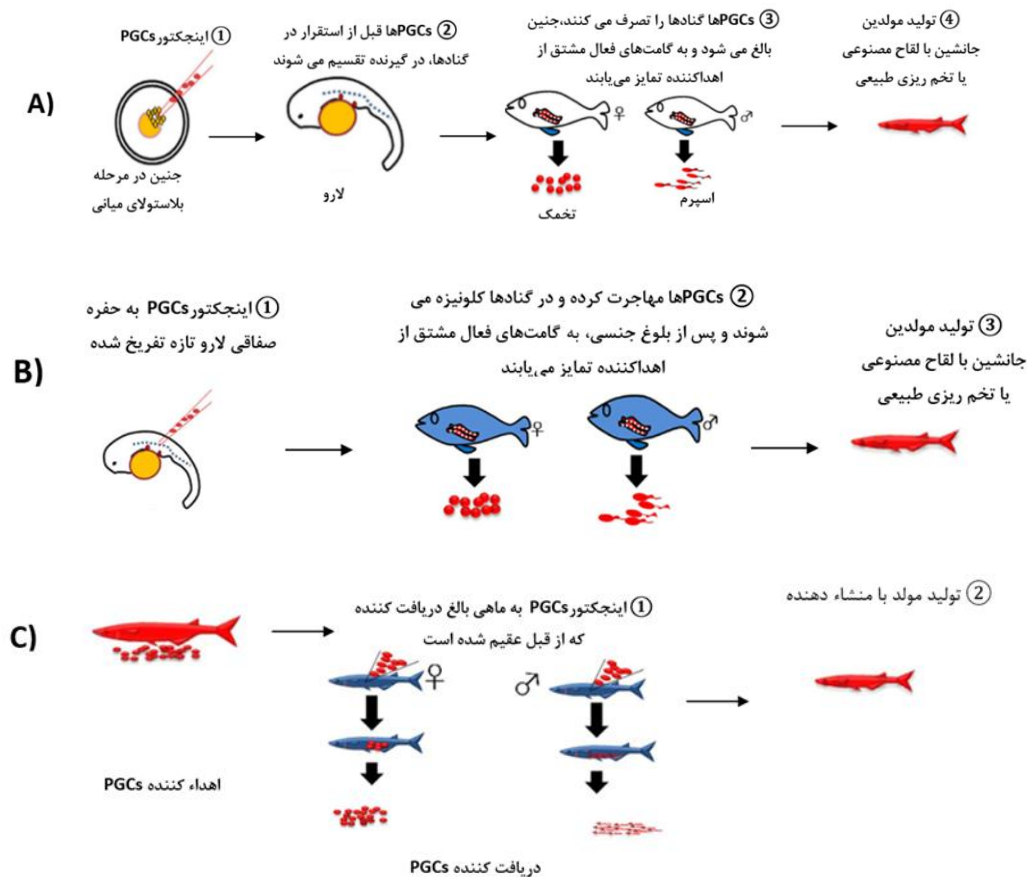
<sup>۳</sup> - Oryzias latipes

خانه ای به عنوان چالش های پیش رو، در شرایط با تقاضای تولید بالا، توسعه منابع جایگزین غذای آبی را از طریق رویکردهای کشت سلولی تحریک می کند ( Benjaminson et al, ۲۰۲۰; Abualtaher et al, ۲۰۱۸; Stephens et al, ۲۰۲۳; Nikkhah et al, ۲۰۲۲). آبی پروری سلولی<sup>۱</sup> به عنوان یک فناوری امیدوارکننده برای مقابله با چالش های مرتبط با شیوه های سنتی ماهیگیری و آبی پروری ظهور کرده است. یک سیستم تولید غذاهای دریایی مبتنی بر سلول شامل: (۱) یک نوع سلول مناسب از بافت مورد نظر است. (۲) محیط کشت سلولی تأمین کننده مواد مغذی مورد نیاز برای رشد سلول ها. (۳) یک بیوراکتور برای فراهم کردن یک محیط بسته برای پشتیبانی از تکامل سلول ها در مقیاس بزرگ. و (۴) داربست خوراکی سه بعدی (۳D) که برای ایجاد ساختاری مشابه بافت مورد نظر، برای رشد و بلوغ سلولی لازم است. بنابراین، اولین مرحله تولید ماهی دریایی مبتنی بر سلول، جمع آوری نمونه های سلولی از بافت حیوانی است که معمولاً با استفاده از بیوپسی بدون کشتن یا آسیب رساندن به حیوان انجام می شود. سپس سلول های برداشت شده برای تهیه بانک های سلولی، مورد استفاده قرار خواهند گرفت. در گام بعدی تعداد کمی سلول از بانک سلولی برداشت شده، و در بیوراکتورها قرار می گیرد تا با تأمین مواد مغذی مناسب در محیط کشت سلولی، از رشد و تکثیر سلول حمایت کنند. پس از چند برابر شدن سلول ها (میلیاردها سلول)، داربست های بافتی به بیوراکتورها اضافه می شوند تا سطوحی را برای اتصال سلول فراهم کنند و همچنین سلول ها را قادر سازند تا به انواع مختلف سلول تمایز پیدا کنند (Omidvar et al, ۲۰۲۳; Rubio et al, ۲۰۱۹). اخیراً در مطالعه ای یک ساختار فیله ماهی بیومیمتیک با استفاده از پودر سلول ماهیچه ماهی<sup>۲</sup> (FMCP) و جوهر زیستی مبتنی بر Alg-κ-Car<sup>۳</sup> تهیه کردند. این جوهر زیستی Alg-κ-Car-FMCP توسعه یافته، به دلیل خاصیت زیست سازگاری و تکثیر سلولی بالای FMCP و نیز تأثیر مطلوب Alg-κ-Car بر پایداری جوهر زیستی، دارای خواص رئولوژیکی مطلوب بوده، چاپ زیستی سه بعدی داربست ها را با تقلید از بافت فیله ماهی بومی تسهیل می کند، و همچنین این داربست های چاپی یکپارچگی ساختاری خود را هنگام جوشاندن و سرخ کردن حفظ می کنند و پخت و پز بر تغییرات بافتی و سازه های Alg-κ-Car-FMCP تأثیر می گذارد. همچنین تجزیه و تحلیل حسی چشایی با استفاده از یک زبان الکترونیکی نشان داد که ماهی سلولی تولید شده، مزه اومامی (در ژاپنی به معنی لذیذ) دارد (Ulagesan et al, ۲۰۲۴).

<sup>۱</sup> - Cellular Aquaculture

<sup>۲</sup> - Fish Muscle Cell Powder ;FMCP

<sup>۳</sup> - Alginate- kappa-Carrageenan



شکل ۱- روش های مختلف پیوند PGCs ها در ماهی و تولید ماهی های جانشین. (A): پیوند PGCs، به بلاستودیسک در مرحله بلاستولای میانی جنین. (B): پیوند PGCs به لارو تازه تفریخ شده. (C): پیوند PGCs ها به ماهی گیرنده بالغ از قبل عقیم شده (اقتباس از Majhi et al, ۲۰۱۷)

### ۳- چالش ها و شکاف ها بر سر راه استفاده از سلول های بنیادی ماهی

تعداد کمی از رده های سلولی ماهی در دسترس هستند که ارتباط مستقیمی با تولید غذاهای دریایی دارند. دسترسی به مراحل جنینی بسیاری از موجودات آبزی که منبع سلول های بنیادی هستند، نیز دشوار است. از سو دیگر، توسعه رده سلولی برای غذاهای دریایی می تواند تا ۲۰ درصد نیاز داشته باشد و تولید غذاهای دریایی مبتنی بر سلول را ناپایدار و گران می کند. کاهش سرم می تواند منجر به تغییرات در مورفولوژی یا کندتر شدن رشد سلولی شود و حذف سرم بدون تأثیر منفی بر رشد همچنان یک چالش می باشد. بررسی تغییرات ژنتیکی و مکانیسم های اساسی در سلول های غذاهای دریایی، برای تسریع در درک تکثیر و تمایز سلولی، و همچنین توسعه خطوط سلولی، به دلیل ابزارهای ژنتیکی محدود، همچنان چالش برانگیز است. ماهی ها به عنوان یکی از بهترین منابع اسیدهای چرب امگا ۳ با زنجیره بلند می باشند که ماهی ها به طور مستقیم یا غیر مستقیم، این ترکیبات را از طریق مصرف سایر ماهی ها یا زئوپلانکتون ها بدست می آورند و در نتیجه چربی های امگا ۳ را در بافت های خود جمع می کنند. در واقع منابع این ترکیبات جلبک های دریایی، باکتری ها و پروتیست ها می باشد (Goswami et al, ۲۰۲۴). همچنین تعداد آلرژن های موجود در محصولات غذایی دریایی کشت شده از جمله ماهی های سلولی، بیشتر از ماهی معمولی است و علاوه بر این، چندین خطر مرتبط با میکوپلاسما نیز در

غذاهای دریایی کشت شده وجود دارد (Ovissipour et al, ۲۰۲۴). از محدودیت های دیگر استفاده از ماهی های سلولی مقاومت در برابر مصرف این محصولات است. با این وجود، در دهه آینده، گوشت تولید شده توسط این فناوری ها در بسیاری از کشورها در بازار عرضه خواهد شد. روش های جداسازی سلول های بنیادی زایای اهداکننده، کشت، آماده سازی گیرنده، نیاز به دستگاه، مهارت و دانشمندان متخصص برای پیوند دارد. تولید انبوه سلول ها در بیوراکتورها یکی دیگر از این چالش هاست. استفاده از ویرایش ژنوم در ماهی ها در آبی پروری هنوز در مراحل ابتدایی است و هنوز کمیاب است و چندین چالش فنی و مقرراتی و اخلاقی بر سر راه آن وجود دارد.

#### ۴- پیشنهادات برای کمک به رفع محدودیت های استفاده از سلول های بنیادی ماهی

پیشنهاد می شود، بسیاری از منابع سلولی بررسی نشده در مقیاس بزرگ کشت شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. تحقیقات بیشتری برای ایجاد جایگزین های سرمی برای آبی پروری سلولی، مانند گیاهان خاص یا محصولات مبتنی بر باکتری/جلبک مورد نیاز است. از داربست های بافتی ۳D مختلف و جوهر زیستی مناسب برای کشت سلول های بنیادی در مقیاس بزرگ، استفاده شود، تا با بهبود طعم و کیفیت ماهی های سلولی اقبال عمومی برای مصرف این محصول افزایش یابد.

#### ۵- نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر با مرور مطالعات گذشته، مجدداً نشان داد، فناوری پیوند سلول های زایا، تولید فرزند و مولدین جایگزین در ماهی را امکان پذیر می سازد و می تواند دریچه ای باشد برای بهبود و رفع موانع تولید مثلی مانند پروسه طولانی مدت تولید، باروری محدود و مدیریت پیچیده مولدین، و می تواند تولید بذر و بهره وری را در آبی پروری افزایش دهد. همچنین غذاهای دریایی حاصل کشت سلولی به عنوان یک فناوری جدید، تأثیر بالقوه دگرگون کننده ای برای غذاهای پروتئینی آینده دارد که می تواند در کنار آبی پروری پایدار تقاضای رو به افزایش جهانی را تأمین کند. انتظار می رود با مطالعات بیشتر و پیشرفت فناوری و کمک به رفع هر چه بیشتر موانع بر سر راه فناوری استفاده از سلول های بنیادی، زمینه جذب کاربران تجاری بالقوه این فناوری فراهم شود و به عنوان یک فناوری مقرون به صرفه و سودمند در اختیار جامعه جهانی قرار گیرد.

#### منابع:

- Abualtaher, M., & Bar, E. S. (۲۰۲۰). Systems Engineering Approach to Food Loss Reduction in Norwegian Farmed Salmon Post-Harvest Processing. Systems, ۸(۱), ۴.
- Benjaminson, M. A., Gilchrist, J. A., & Lorenz, M. J. A. A. (۲۰۰۲). In vitro edible muscle protein production system (MPPS): Stage ۱, fish. Acta astronautica, ۵۱(۱۲), ۸۷۹-۸۸۹.
- Çek, Ş., M. Shang, D.A. Perera, B. Su, R.A. Dunham. (۲۰۱۶). Fish Stem Cells: Classification, Resources Characteristics and Application Areas. LIMNOFISH-Journal of Limnology and freshwater Fisheries Research. ۲(۲): ۱۰۷-۱۱۹.
- Costello, C., L. Cao, S. Gelcich, M. Á. Cisneros-Mata, C. M. Free, H. E. Froehlich, C. D. Golden, et al. (۲۰۲۰). "The Future of Food from the Sea." Nature ۵۸۸ (۷۸۳۶): ۹۵-۱۰۰.
- Dobrinski, I., Avarbock, M. R., and Brinster, R. L. (۲۰۰۰) Germ cell transplantation from large domestic animals into mouse testes. Mol. Reprod. Dev. ۵۷, ۲۷۰-۲۷۹.

Elsheikh, W. (۲۰۲۱). Effects of Climate Change on Aquaculture Production. Eurasian Journal of Food Science and Technology. ۵(۲): ۱۶۷-۱۷۳.

Engelhard, G.H., E.L. Howes, J.K. Pinnegar, W.J.F. Quesne. (۲۰۲۲). Assessing the Risk of Climate Change to Aquaculture: A National Scale Case Study for the Sultanate of Oman. Climate Risk Management. ۳۵: ۱۰۰۴۱۶.

FAO. The state of World fisheries and Aquaculture (۲۰۲۲). Towards Blue Transformation. Rome FAO. ۲۰۲۲.

Funk, C. C., and Brown, M. E. (۲۰۰۹). Declining global per capita agricultural production and warming oceans threaten food security. Food Security ۱, ۲۷۱-۲۸۹.

Goswami, M., Shambhugowda, T.A., Sathiyarayanan, A., Pinto, N., Duscher, A., Ovissipour, R., Lakra, S.W., Nagarajarao, C. (۲۰۲۲). Cellular Aquaculture: Prospects and Challenges. Micromachines. ۱۳: ۸۲۸.

Goswami, M., Ovissipour, R., Bomkamp, C., Nitin, N., Lakra, W., Post, M., & Kaplan, D. L. (۲۰۲۴). Cell-cultivated aquatic food products: emerging production systems for seafood. Journal of Biological Engineering, ۱۸(۱), ۴۳.

Honaramooz, A., Megee, S. O., and Dobrinski, I. (۲۰۰۲) Germ cell transplantation in pigs. Biol. Reprod. ۶۶, ۲۱-۲۸.

Lowanshi, A., Jamwal, A., Yadava, K. K., Singha, S., & Sahu, O. (۲۰۲۳). Sustainable Aquaculture. ۶۳-۷۵.

Majhi, S. K., & Kumar, S. (۲۰۱۷). Germ cell transplantation: a potential tool for propagation of endangered fishes. Annals Aqua Res, ۴, ۴-۷.

Myers, R. A., and Worm, B. (۲۰۰۳). Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. Nature ۴۲۳:۲۸۰.

Nikkhah, A., Rohani, A., Zarei, M., Kulkarni, A., Batarseh, F. A., Blackstone, N. T., & Ovissipour, R. (۲۰۲۳). Toward sustainable culture media: Using artificial intelligence to optimize reduced-serum formulations for cultivated meat. Science of The Total Environment, ۸۹۴, ۱۶۴۹۸۸.

Okutsu, T., Suzuki, K., Takeuchi, Y., Takeuchi, T., and Yoshizaki G. (۲۰۰۶) Testicular germ cells can colonize sexually undifferentiated embryonic gonad and produce functional eggs in fish. Proc. Natl. Acad. Sci. ۱۰۳, ۲۷۲۵-۲۷۲۹

Omidvar, R., & Farzad, R. (۲۰۲۳). Cellular Agriculture for Production of Cell-Based Seafood: Part ۲—Why should we start with lean fish? FSHN ۲۳-۲/FS ۴۵۳, ۱۲/۲۰۲۳. EDIS, ۲۰۲۳(۶).

Ovissipour, R., Yang, X., Saldana, Y. T., Kaplan, D. L., Nitin, N., Shirazi, A., ... & Rasco, B. (۲۰۲۴). Cell-based fish production case study for developing a food safety plan. Heliyon, ۱۰(۱۳).

Poursaeid, S., Kalbassi, M., & Baharvand, H. (۲۰۲۰). Chimera production by intraperitoneal transplantation of Caspian brown trout (*Salmo caspius*) spermatogonial stem cells in Rainbow trout hatchling. Modares Journal of Biotechnology, ۱۱(۴), ۵۷-۷۳.

Reid, G.K., H.J. Gurney-Smith, D.J. Marcogliese, D. Knowler, T. Benfey, A.F. Garber, I. Fosters, T. Chopin, K. Brewer-Dalton, R.D. Moccia, M. Flaherty, C.T. Smith, S. De Silva. ۲۰۱۹. Climate Change and Aquaculture: Considering Biological Response and Resources. Aquaculture Environment Interactions. ۱۱: ۵۶۹-۶۰۲.

Rubio, N., Datar, I., Stachura, D., Kaplan, D., & Krueger, K. (۲۰۱۹). Cell-based fish: a novel approach to seafood production and an opportunity for cellular agriculture. Frontiers in Sustainable Food Systems, ۳, ۴۳۵۸۳۲.

Ryu, J. H., Xu, L., & Wong, T. T. (۲۰۲۲). Advantages, factors, obstacles, potential solutions, and recent advances of fish germ cell transplantation for aquaculture—A practical review. Animals, ۱۲(۴), ۴۲۳.

Seki, S., Kusano, K., Lee, S., Iwasaki, Y., Yagisawa, M., Ishida, M., ... & Yoshizaki, G. (۲۰۱۷). Production of the medaka derived from vitrified whole testes by germ cell transplantation. Scientific reports, ۷(۱), ۴۳۱۸۵.

Stephens, N., Di Silvio, L., Dunsford, I., Ellis, M., Glencross, A., & Sexton, A. (۲۰۱۸). Bringing cultured meat to market:



Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. Trends in food science & technology, ۷۸, ۱۵۵-۱۶۶.

Takeuchi Y, Yoshizaki G, Takeuchi T. (۲۰۰۴). Biotechnology: surrogate broodstock produces salmonids. Nature. ۵:۴۳۰(۷۰۰۰):۶۲۹-۳۰.

Tidwell, J. H., and Allan, G. L. (۲۰۰۱). Fish as food: aquaculture's contribution. EMBO Rep. ۲, ۹۵۸-۹۶۳.

Tocher, D. R. (۲۰۰۳). Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. Reviews in fisheries science, ۱۱(۲), ۱۰۷-۱۸۴.

Ulagesan, S., Krishnan, S., Nam, T. J., & Choi, Y. H. (۲۰۲۴). Production of fish fillet analogues using novel fish muscle cell powder and sodium alginate-κ-carrageenan based bio-ink. Food Hydrocolloids, ۱۵۷, ۱۱۰۴۴۶.

Yalniz, S. C., & Aydin, F. (۲۰۲۳). Fish stem cell technology in aquaculture. In agribalkan ۲۰۲۳ v. balkan agricultural congress (p. ۹۳۷).

Yoshizaki G, Fujinuma K, Iwasaki Y, Okutsu T, Shikina S, Yazawa R, Takeuchi Y. (۲۰۱۱). Spermatogonial transplantation in fish: A novel method for the preservation of genetic resources. Comp Biochem Physiol Part D Genomics Proteomics. Mar;۶(۱):۵۵-۶۱.

Yoshizaki, G., R. Yazawa. (۲۰۱۹). Application of Surrogate Broodstock Technology in Aquaculture. Fisheries Science. ۸۵: ۴۲۹-۴۳۷.

Zakrzewski, W., Dobrzyński, M., Szymonowicz, M., & Rybak, Z. (۲۰۱۹). Stem cells: past, present, and future. Stem cell research & therapy, ۱۰(۱), ۱-۲۲.



## Applications of Fish Stem Cells in Aquaculture: A Review Study

Mina Kiani<sup>1</sup>

PhD candidate in Cell and Developmental Biology - Arak University

### Abstract

Seafood, including fish and other aquatic animals, provides 17% of global demand for animal proteins, and by 2050, fish consumption is expected to increase to 1,400 tons. Therefore, according to the current trend of aquaculture, there will be a big gap between demand and supply in the near future. Therefore, considering the growing trend of global population and limited resources, and the risk of increasing environmental pollution, the discovery of modern alternative aquaculture techniques, including the use of fish stem cells, as an emerging approach, plays an important role in ensuring food security. Also, stem cell technology facilitates the protection and production of some endangered and elite fish species, and by reducing some of the current challenges of aquaculture, it can help the sustainability of this industry so that it can meet the demand in the not too distant future. The purpose of this study is to review the applications and challenges of using the potential of fish stem cells in aquaculture and increase the commercial applications of these cells.

**Keywords:** Stem cells, cellular fish, cellular aquaculture

---

<sup>1</sup> - Corresponding Author