مروری بر بیولوژی تولیدمثل ماهی سوف سفید (*Sander lucioperca*)

کامیار جاوید رحم دل، بهرام فلاحتکار*
گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

تاریخ دریافت : خرداد ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

ماهی سوف سفید (*Sander lucioperca*) یکی از گونه‌های تجاری مهم ایران است که در معرض خطر انقراض قرار دارد، بنابراین تکثیر آن در اسارت دارای اهمیت بالایی است. یکی از الزامات اساسی برای تکثیر ماهیان در محیط اسارت، شناخت بیولوژی تولیدمثل طبیعی هر گونه است. بنابراین، مقاله حاضر به بررسی بیولوژی تولیدمثلی ماهی سوف سفید پرداخته است. ماهی سوف سفید تولیدمثل سالانه در فصل بهار دارد. رسیدگی جنسی در این ماهی نیاز به گذراندن دوره سرما است و حداکثر کارایی تولیدمثلی آن در محدوده دمایی ۱۵-۸ سانتیگراد مشاهده می‌شود. سن بلوغ در نرها ۳-۲ سال و در ماده‌ها ۴-۳ سال است که با دمای آب رابطه معکوس دارد. این ماهیان در چاله‌های موجود در بستر رودخانه و یا روی ریشه گیاهان تخمریزی کرده و پس از ریختن تخم‌ها توسط ماهی ماده، ماهی نر به مراقبت از آن‌ها می‌پردازد. تخم‌ها چسبنده بوده و به اشیای مختلف می‌چسبند. قطر تخم‌ها پیش از آبکشی ۱/۴-۰/۵ میلی‌متر و پس از آبکشی ۱/۴-۱/۲۶ میلی‌متر است. نرخ هماوری نسبی در این ماهی ۴۰۰-۱۵۰ تخم به‌ازای هر گرم وزن بدن مولد ماده بوده و نرخ هماوری مطلق تا ۲/۴ میلیون تخم است. طول دوره انکوباسیون در این ماهی در حدود ۱۱۰ ساعت-درجه است. تکثیر این ماهی در محیط اسارت را می‌توان به شکل طبیعی یا نیمه‌طبیعی با فراهم کردن بستر تخمریزی انجام داد که تفاوت این دو روش، تزریق هورمون‌های القاکننده رسیدگی جنسی در روش نیمه‌طبیعی است. همچنین، امکان تکثیر مصنوعی ماهی با استفاده از تزریق هورمون و سپس تخم‌کشی دستی وجود دارد. انتخاب هر یک از این شیوه‌ها مستلزم داشتن اطلاعات صحیح از ویژگی‌های تولیدمثلی سوف سفید است که هدف نگارش مقاله حاضر است.

کلمات کلیدی: رسیدگی جنسی، رفتار تخمریزی، زرده‌سازی، زیست‌شناسی، سوف سفید، محور تولیدمثل

* نویسنده مسئول: falahatkar@guilan.ac.ir

مقدمه

تولیدمثل مجموعه‌ای از فرآیندهای به‌هم پیوسته است که با رشد و نمو غدد جنسی تحت تاثیر فاکتورهای خارجی و داخلی شروع شده، با ایجاد صفات ثانویه جنسی ادامه یافته و در نهایت منجر به تولید گامت‌ها یا سلول‌های جنسی می‌شود که وظیفه انتقال اطلاعات ژنتیکی به نسل بعد را برعهده دارند. هدف نهایی از کلیه فرآیندهای فوق حفظ نسل و بقای گونه‌ها است (فلاحتکار و جاوید رحم‌دل، ۱۳۹۹). یکی از ماهیانی که کوشش‌های فراوانی برای حفظ نسل آن در کشورمان انجام می‌شود ماهی سوف سفید با نام علمی *Sander lucioperca* است (جاوید رحم‌دل و فلاحتکار، ۱۳۹۹). سوف سفید یکی از گونه‌های بومی خانواده سوف‌ماهیان در ایران بوده و ذخایر طبیعی آن در حوضه آبریز دریای خزر و دریاچه پشت سد ارس یافت می‌شود (Falahatkar *et al*., 2018). این ماهی در مناطق وسیعی از نیمکره شمالی و عموما در پیکره‌های آب شیرین نظیر رودخانه‌ها و دریاچه‌ها زندگی می‌کند، اما قابلیت زیستن در مناطق مصبی و آب‌های لب‌شور را نیز دارا است. ماهی سوف سفید به‌لحاظ ارزش غذایی و اقتصادی دارای اهمیت زیادی بوده و قیمت بالایی دارد، اما کاهش شدید ذخایر طبیعی این گونه طی دهه‌های اخیر، منجر به در خطر قرار گرفتن این ماهی ارزشمند شده است (غلامی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به اهمیت و ارزش اقتصادی بالای این گونه، سازمان شیلات ایران از طریق تکثیر کنترل شده مولدین صید شده از محیط طبیعی و رهاسازی بچه‌ماهیان انگشت‌قد به منابع آبی طبیعی، مبادرت به بازسازی ذخایر سوف سفید می‌کند (عفت‌پناه کمایی و فلاحتکار، ۱۳۹۸). در حال حاضر، مرکز بازسازی و حفاظت از ذخایر ژنتیکی ماهیان دریایی شادروان دکتر یوسف‌پور سیاهکل در استان گیلان برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد. مولدین مورد نیاز از ذخیره‌گاه دریاچه پشت سد ارس تامین می‌شوند. این مولدین صید شده از محیط طبیعی حساسیت بالایی نسبت به دستکاری و زندگی در محیط اسارت داشته (Falahatkar and Poursaeid, 2014) و فرآیند حمل و نقل آن‌ها به کارگاه نیز به دلیل استرسی که به مولدین تحمیل می‌کند، موجب افزایش مضاعف این حساسیت می‌شود (Falahatkar *et al*., 2012). یکی از برنامه‌های پژوهشی بسیار ارزشمند در زمینه حفظ نسل و گسترش آبزی‌پروری سوف سفید در کشورمان که با مشارکت سازمان شیلات ایران و دانشگاه گیلان انجام شده است، پروژه اهلی‌سازی سوف سفید و تکثیر خارج از فصل این گونه جهت تامین بچه‌ماهی مورد نیاز پرورش‌دهندگان در سال‌های آینده است. این امر لزوم توجه ویژه به خصوصیات تولیدمثلی این ماهی را ایجاب می‌کند، چراکه شناخت دقیق و درک صحیح از بیولوژی تولیدمثلی سوف سفید برای دستیابی به بیوتکنیک تکثیر و کسب حداکثر کارایی تولیدمثلی در تکثیر این ماهی در محیط اسارت الزامی است. با این هدف، مقاله حاضر به مروری بر بیولوژی تولیدمثلی ماهی سوف سفید پرداخته است.

فرآیند رسیدگی جنسی مولدین سوف سفید

ماهی سوف سفید مانند اعضای دیگر خانواده سوف‌ماهیان، هر ساله یک بار در فصل بهار تولیدمثل می‌کند و تخمریزی در اعضای یک گله به صورت همزمان انجام می‌شود (Kestemont and Melard, 2000). این گونه می‌تواند در محدوده گسترده دمایی از ۴/۵ تا ۲۶ درجه سانتیگراد تولیدمثل کند، اما بیشترین کارایی تولیدمثلی در دمای ۱۵-۸ درجه سانتیگراد دیده می‌شود (Hermelink *et al*., 2011). رشد و نمو غدد جنسی در ماهی سوف سفید نیازمند زمستان‌گذرانی و دوره سرما است و اگر ماهی در دمای پایین قرار نگیرد، نمو گنادها مختل شده و رسیدگی کامل جنسی اتفاق نمی‌افتد. معمولا نرها در سن ۳-۲ سالگی و ماده‌ها در سن ۴-۳ سالگی آمادگی تولیدمثل را به‌دست می‌آورند (Wang *et al*., 2009). البته تفاوت‌های اقلیمی و ژنتیکی بین جمعیت‌های مختلف می‌تواند رسیدگی جنسی را تسریع کند یا به تعویق اندازد. معمولا بین نرخ رشد و سن رسیدگی جنسی رابطه عکس وجود دارد و هرچه نرخ رشد بالاتر باشد، سن رسیدگی جنسی کاهش می‌یابد.

همچنین در دماهای بالا و عرض‌های جغرافیایی نزدیک به خط استوا، رسیدگی جنسی در سنین پایین‌تری حاصل شده و بالعکس در اقلیم‌های سردتر و عرض‌های جغرافیایی بالاتر، سن بلوغ بیشتر است. فراوانی طعمه و تراکم ماهیان نیز بر فرآیند رسیدگی جنسی اثرگذار هستند و مشاهده می‌شود که فراوانی غذا در محیط موجب بلوغ زودهنگام شده و افزایش تراکم جمعیت موجب تاخیر در رسیدگی جنسی می‌شود (Feiner and Höök, 2015).

یکی از معیارهای مناسب جهت ارزیابی میزان آمادگی تولیدمثلی ماهیان شاخص گنادوسوماتیک است، زیرا افزایش وزن بیضه و تخمدان حاکی از تولید و ذخیره گامت‌ها است. حداکثر شاخص گنادوسوماتیک در فصل تخمریزی مولدین سوف سفید برای ماده‌ها و نرها به ترتیب ۲۰ و ۱ درصد از وزن بدن است (Lappalainen *et al*., 2003). گرچه مقادیر مورد نظر می‌تواند از حداقل ۸/۳ درصد از وزن بدن برای ماده‌ها (Falahatkar *et al*., 2018) و ۰/۵ درصد از وزن بدن برای نرها (Uysal *et al*., 2006) مشاهده شود. در جمعیت‌های بومی سوف سفید در ایران، شاخص گنادوسوماتیک از اواخر اسفند تا اردیبهشت دارای بیشترین مقدار است که نشان‌دهنده فصل مناسب برای تکثیر این ماهی است (Falahatkar *et al*., 2018).

رشد غدد جنسی و رسیدن ماهی به حداکثر شاخص گنادوسوماتیک مستلزم رسیدگی جنسی کامل است که این فرآیند تحت تاثیر دو گروه عوامل خارجی و داخلی قرار دارد. عوامل خارجی شامل متغیرهای محیطی گوناگون مانند دما، نور، جریان آب و بارش‌های فصلی است. این عوامل زیست‌محیطی نقش محرک برای عملکرد عوامل داخلی تولیدمثلی دارند (Fontaine *et al*., 2015). مهم‌ترین عامل محیطی موثر بر رسیدگی جنسی، دمای آب است. عامل مهم دیگر نیز فتوپریود یا دوره‌های نوری است (Pourhosein Sarameh *et al*., 2012, 2013). اثر این دو عامل محیطی بر تولیدمثل ماهی مرحله‌ای است. در ابتدا قرار گرفتن ماهی در شرایط رژیم نوری پاییزی و کاهش طول روز، باعث تحریک دستگاه عصبی مرکزی و فعال شدن محور تولیدمثلی شده، سپس کاهش دمای آب در فصل زمستان، رشد و نمو غدد جنسی و تولید گامت‌ها را موجب می‌شود (Feiner and Höök, 2015). مهم‌ترین عامل داخلی موثر در رسیدگی جنسی ماهی هورمون‌های گنادوتروپین ترشح شده از غده هیپوفیز است (Kitahashi *et al*., 2013). دستگاه عصبی مرکزی از طریق هیپوتالاموس، کار دریافت و شناسایی محرک‌های محیطی را انجام می‌دهد. زمانی‌که محرک‌های مختلف خارجی به حد آستانه اختصاصی هر گونه برسند، هیپوتالاموس فعال شده و جزء دوم محور تولیدمثلی یعنی غده هیپوفیز را به کار می‌اندازد. تاثیر عوامل تولیدمثلی داخلی از این مرحله شروع می‌شود. این تاثیر به‌واسطه هورمون‌های مختلف اعمال می‌شود. هنگامی‌که هیپوتالاموس در اثر عوامل محیطی تحریک شد، هورمون آزادکننده گنادوتروپین یا GnRH را ترشح می‌کند که بافت هدف آن غده هیپوفیز است. هیپوفیز تحت تاثیر هورمون GnRH، هورمون گنادوتروپین یا GTH ترشح می‌کند که خود بر دو نوع تقسیم می‌شود: GTH I و GTH II. GTH I مسئول آغاز فرآیند رسیدگی جنسی در ماهیان بوده و GTH II رسیدگی جنسی نهایی را سبب می‌شود. در واقع این دو هورمون با همکاری یکدیگر، فرآیند تولیدمثلی را پیش می‌برند (Kitahashi *et al*., 2013). نحوه عمل این هورمون‌ها به این صورت است که موجب تحریک غدد جنسی به ترشح هورمون‌های استروئیدی می‌شوند. هورمون‌های استروئیدی انواع مختلفی داشته و هر یک نقش خاصی را در فرآیند رسیدگی جنسی ایفا می‌کنند. هورمون‌های آندروژنی نظیر تستوسترون و ۱۱-کتوتستوسترون نقش اصلی را در رسیدگی جنسی نرها بر عهده دارند (Billard et al., 1990; Hermelink *et al*., 2011). ثابت شده است که میزان ترشح این هورمون‌ها در خلال فصل تکثیر و همزمان با کاهش دمای آب که محرک اصلی رشد گنادها است، افزایش قابل توجهی نشان می‌دهند (Hermelink *et al*., 2013). همچنین در ماهیان ماده، هورمون ۱۷ بتا-استرادیول محرک اصلی رشد اووسیت‌ها است (Lubzens et al., 2010). میزان ترشح این هورمون‌ها

در تمام طول فصل تکثیر یکسان نیست (Fontaine *et al.*, 2015). فلاحتکار و پورحسین سارمه (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای با هدف ارزیابی تغییرات هورمونی در مولدین سوف سفید پیش و پس از تخمریزی نشان دادند که میزان هورمون‌های استروئیدی جنسی دخیل در رسیدگی جنسی سوف سفید پس از اتمام فصل تولیدمثل به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابند. مشاهده شده است که در انتهای فصل تولیدمثل و پس از تخمریزی، غدد جنسی ماهی سوف سفید ۳-۱ ماه به حال سکون یا استراحت درآمده و سپس مجددا با تحریک عوامل محیطی، نمو غدد جنسی برای تخمریزی سال بعد آغاز می‌شود (Feiner and Höök, 2015).

نمو جنسی مولدین ماده سوف سفید

نمو تخمدان در مولدین ماده سوف سفید در نیمه تابستان آغاز شده، طی زمستان ادامه یافته و نهایتا رسیدگی کامل جنسی در بهار حاصل می‌شود (Lappalainen *et al.*, 2003). فرآیند نمو تخمدان دارای چند مرحله است. در شروع فرآیند، گروهی از سلول‌های زایای اولیه یا اووگونیا درون تخمدان تولید می‌شوند. در ادامه با تاثیر هورمون گنادوتروپین، تخمک‌ها رشد کرده و فولیکول‌های تخمدانی در اطراف هر سلول تخمک تشکیل می‌شوند که تخمک‌ها را به دیواره تخمدان متصل کرده و آن‌ها را تغذیه و محافظت می‌کنند (فریدپاک، ۱۳۸۶). فولیکول تخمدانی دارای ساختاری چندلایه است. ابتدا لایه سلولی به نام گرانولوزا در اطراف تخمک‌ها تشکیل می‌شود. تخمک به‌وسیله یک لایه فاقد سلول به نام زونا رادیاتا به لایه گرانولوزا متصل می‌شود (Nagahama, 1994). در ادامه، بافت هم‌بند اطراف لایه گرانولوزا، لایه دیگری موسوم به تکا را در اطراف تخمک پدید می‌آورد. این دو لایه، وظیفه تغذیه تخمک‌ها و ترشح استروئیدهای جنسی تخمدانی را بر عهده دارند (McMillan, 2007).

فاز اول رسیدگی جنسی زرده‌سازی است که تحت تاثیر هورمون GTH I انجام شده و طی آن کبد ماهی تحت تاثیر هورمون ۱۷ بتا-استرادیول که توسط لایه‌های فولیکولی تخمدان ترشح می‌شود، ماده‌ای لیپوفسفوپروتئینی به نام ویتلوژنین یا زرده تولید می‌کند که در تخمک تجمع یافته و ذخیره غذایی آن را تامین می‌کند (ستاری، ۱۳۸۹). در مرحله دوم رسیدگی جنسی، هورمون GTH II نقش اصلی را ایفا کرده و موجب ترشح هورمونی به نام ۱۷ آلفا-هیدروکسی پروژسترون از لایه تکا می‌شود که این هورمون به‌نوبه خود پیش‌ساز هورمون دیگری با نام ۱۷ آلفا-۲۰ بتا-دی هیدروکسی ۴-پرگنن ۳-اون (DHP) است که در واقع هورمون محرک بلوغ نهایی اووسیت بوده و موجب فعال شدن عامل تحریک بلوغ تخمک یا MPF می‌شود که ترکیبی از دو ماده شیمیایی cdc2 kinase و cyclin-B است (Żarski *et al.*, 2015). این عامل موجب تقسیم میوز ۱، مهاجرت ژرمینال وزیکول از قطب گیاهی به سمت قطب جانوری، رسیدگی نهایی تخمک و نهایتا اوولاسیون یا آزاد شدن تخمک‌ها از دیواره تخمدان می‌شود که مقدمه تخمریزی است (Żarski *et al.*, 2019). سوف سفید ماده دارای ۳ منفذ در ناحیه شکمی است که منفذ میانی، منفذ تناسلی بوده و به‌واسطه لوله اویدوکت یا تخمک‌بر با تخمدان در ارتباط است. خروج تخم‌ها در هنگام تخمریزی از طریق همین منفذ انجام می‌شود. منفذ تناسلی در فصل تولیدمثل، متورم و قرمز شده و به‌راحتی قابل تشخیص است (Fontaine et al., 2015).

مراحل رسیدگی تخمک‌ها در مولدین ماده سوف سفید

فرآیند رسیدگی نهایی تخمک در مولدین ماده سوف سفید را می‌توان به چهار مرحله تقسیم کرد که آمادگی کامل تولیدمثلی در مرحله ۴ حاصل می‌شود (Szkudlarek *et al.*, 2007a):

مرحله اول- در این هنگام تخمک‌ها در ابتدای روند رسیدگی قرار داشته، بسیار کوچک هستند و به رنگ سفید مایل به زرد مات و کدر دیده می‌شوند. ژرمینال وزیکول نیز در وسط سلول و در موقعیت قطب گیاهی دیده می‌شود.

مرحله دوم- در این مرحله، هسته از قطب گیاهی دور شده و به سمت قطب جانوری مهاجرت می‌کند. تخمک‌ها نسبت به مرحله اول زردی و شفافیت بیشتری داشته و قطرات کوچک و پراکنده چربی در آن‌ها رویت می‌شوند.
مرحله سوم- در این مرحله، هسته به مهاجرت خود ادامه داده و به سوراخ میکروپیل نزدیک‌تر می‌شود. همچنین قطرات پراکنده چربی به یکدیگر پیوسته و یک قطره بزرگ را تشکیل می‌دهند.
مرحله چهارم- در مرحله چهارم و آخر، ژرمینال وزیکول محو شده و سلول تقسیم میوز ۱ را انجام می‌دهد. رنگ تخمک‌ها در این مرحله زرد درخشان بوده و شفافیت زیادی دارند.

ویژگی‌های تخم ماهی سوف سفید

تخم‌های سوف سفید، کوچک با فضای پری‌ویتلین باریک هستند. اندازه تخمک‌های این ماهی ۱/۴-۰/۵ میلی‌متر است. در تخمک ماهی سوف سفید یک قطره بزرگ چربی وجود دارد که ذخیره غذایی تخمک بوده و بخش بزرگی از فضای سیتوپلاسمی را به خود اختصاص می‌دهد. تخم رها شده از دیواره تخمدان دو لایه دارد، لایه خارجی با نام کوریون و لایه داخلی با نام غشای زرده که محتویات سلول را در برگرفته است. در فضای داخلی سلول نیز غشای هسته قرار دارد که ماده ژنتیکی سلول را در برگرفته و طی تقسیم میوز تجزیه می‌شود. به فضای موجود بین غشای کوریون و غشای زرده، فضای پری‌ویتلین گفته می‌شود که گنجایش آن نشان‌دهنده حجم آب جذب شده توسط تخمک‌ها پس از لقاح است و حجم نهایی سلول تخم را مشخص می‌کند (Schaerlinger and Żarski, 2015). همان‌طور که پیشتر بیان گردید، فضای پری‌ویتلین در تخم‌های ماهی سوف سفید باریک است و گنجایش کمی برای جذب آب دارد. در نتیجه، تخم‌های لقاح‌یافته و آب‌کشیده سوف سفید قطری بین ۱/۴-۱/۲۶ میلی‌متر دارند (Dameska-Zakęś *et al*., 2005) که تفاوت چندانی با تخم پیش از آبکشی ندارد. بر روی غشای کوریون، لایه چسبنده پروتئینی قرار دارد که در اثر تماس با آب فعال شده و خاصیت چسبندگی را در تخم‌های لقاح‌یافته سوف سفید به‌وجود می‌آورد. سوراخ میکروپیل نیز که محل ورود اسپرم به تخمک است، به صورت یک فرورفتگی روی غشای زرده دیده می‌شود.

با توجه به اندازه کوچک تخم‌ها در ماهی سوف سفید (۱/۴-۰/۵ میلی‌متر) و اندازه نسبتا بزرگ ماهیان مولد، نرخ هماوری در این گونه از دیگر اعضای خانواده سوف‌ماهیان بالاتر است. هماوری نسبی برای ماهی سوف سفید در حدود ۴۰۰-۱۵۰ تخم به‌ازای هر گرم وزن بدن مولد ماده است و هماوری مطلق نیز ممکن است به بیش از ۲/۵ میلیون تخم به‌ازای هر ماده بالغ شود (Lappalainen *et al*., 2003). ماده‌های مسن‌تر با وزن بیشتر، تخم‌های بیشتری تولید کرده و نرخ هماوری بالاتری دارند. بزرگ‌ترین و باکیفیت‌ترین تخم‌ها با حداکثر نرخ تفریخ و بازماندگی در مولدینی با سن ۷-۵ سال دیده می‌شوند. پس از سن مولدین که مهم‌ترین عامل در تعیین نرخ هماوری است، عامل ژنتیک و نژاد نقش بسیار مهمی در تعیین نرخ هماوری ماهی دارد، به‌طوری‌که ممکن است برخی جمعیت‌ها به‌صورت طبیعی دارای تخم‌های کوچک‌تر و پرتعدادتری باشند که این امر منجر به افزایش نرخ هماوری می‌شود (Johnston and Leggett, 2002). همچنین عامل تغذیه و کیفیت و کمیت غذا نیز تاثیر قابل توجهی بر میزان هماوری دارد، چراکه اندازه تخم و محتوای غذایی آن، انعکاسی از شرایط تغذیه مولدین است (Feiner and Höök, 2015). اگر کمیت غذای مصرفی و میزان پروتئین و چربی آن بالا باشد، اندازه تخم بزرگتر می‌شود و در صورتی‌که مولدین فقر غذایی داشته باشند، تخم‌ها به میزان کافی رشد نمی‌کنند (Szkudlarek *et al*., 2007a). پر واضح است که لاروهای حاصل از چنین تخم‌هایی درصد بازماندگی پایینی داشته و حساسیت بالایی به عوامل بیماری‌زا دارند. فعالیت صید و صیادی نیز در اندازه تخم و نرخ هماوری مولدین موثر است، چرا که با خارج کردن مولدین بزرگ‌تر از جمعیت و کاهش اندازه مولدین، نرخ هماوری، اندازه تخم‌ها و بازماندگی نسل

بعدی را کاهش می‌دهند. البته فاکتور ژنتیک نیز در تعیین اندازه تخمک‌ها موثر است و اندازه تخمک در جمعیت‌های مختلف متفاوت است. نرخ بالای هماوری در سوف سفید راهبرد تولیدمثلی موثری برای بقای نسل است، زیرا موجب می‌شود که همیشه تعداد قابل توجهی از بچه‌ماهیان تولید شده به سن بلوغ و تولیدمثل برسند (فلاحتکار و جاوید رحم‌دل، ۱۳۹۹).

رسیدگی جنسی مولدین نر ماهی سوف سفید

در مولدین نر سوف سفید، بیضه‌ها در ابتدای پاییز شروع به نمو کرده و رسیدگی کامل جنسی در اواسط زمستان حاصل می‌شود که در این شرایط شاخص گنادوسوماتیک به بیشترین میزان خود یعنی ۱ درصد از وزن بدن می‌رسد. در این حالت نرها تا ۶ ماه قابلیت تولید اسپرم را دارند (Uysal *et al*., 2006). ترشح هورمون GTH I در سوف سفید در پاییز و در دمای ۱۲-۱۰ درجه سانتیگراد آغاز شده و تاثیر آن بر سلول‌های بینابینی بیضه، موجب ترشح تستوسترون و ۱۱-کتوتستوسترون می‌شود. تاثیر این آندروژن‌ها، موجب نمو سلول‌های اسپرماتوگونیا و تولید ۲ اسپرماتوسیت ثانویه می‌شود که در نهایت هر یک به ۲ اسپرماتید تبدیل می‌شوند. اسپرماتیدها اسپرم‌های نارس با شکل کروی و فاقد دم و قدرت شناگری هستند که توانایی حرکت و بارورسازی تخمک را ندارند. دگردیسی اسپرماتیدها به اسپرماتوزوآ که دارای دم و توانایی حرکت است، تحت تاثیر GTH II اتفاق می‌افتد (Vizziano *et al*., 2008). عنوان شده است که ترشح مقداری هورمون پروژسترون در مولدین نر می‌تواند با تغییر pH در مجرای اسپرم‌بر، به افزایش تحرک و قدرت باروری اسپرم‌ها پس از خروج از بدن کمک کند (گلمرادی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). ترشح تستوسترون در انتهای فصل جفتگیری کاهش می‌یابد تا رفتار تولیدمثلی ماهی نر کنترل شود (Żarski *et al*., 2015).

ویژگی‌های اسپرم و مایع تناسلی مولدین نر ماهی سوف سفید

اسپرم ماهی سوف سفید فاقد آکروزوم و تقارن شکلی بوده و ساختار آن همانند بسیاری از ماهیان استخوانی از سه بخش سر، قطعه گردن و دم تشکیل شده است. قطر سر اسپرم ۱/۸-۱/۶ میکرومتر و طول دم آن بین ۳۵-۳۰ میکرومتر است (Alavi *et al*., 2015). حجم مایع تناسلی مولدین نر سوف سفید اندک و عموما زیر ۱ میلی‌لیتر است. همچنین اسپرم‌ها بسیار کوچک بوده و تراکم اسپرم در مایع منی بالا و در محدوده ۲۰/۶-۴/۳ میلیارد در هر میلی‌لیتر است. محدوده ذکر شده به این دلیل بسیار وسیع است که مثانه سوف سفید نر در حفره تناسلی و در مجاورت مجرای اسپرم‌بر قرار دارد که سبب می‌شود در اکثر مواقع در زمان نمونه‌برداری از بیضه، مقداری ادرار از مثانه خارج و با نمونه اسپرم مخلوط شده و سبب بروز خطا در نتایج مشاهده می‌شود که این مسئله منجر به گزارش مقادیر مختلف شده است (Křišťan *et al*., 2014). مایع تناسلی سوف سفید نر بسیار غلیظ است و نسبت اسپرم به مایع منی در آن به ۹۵ درصد می‌رسد. مایع منی از مواد آلی و معدنی مختلفی تشکیل می‌شود که از اسپرم محافظت کرده و قدرت باروری آن را افزایش می‌دهند. سدیم، پتاسیم و کلسیم به ترتیب بیشترین نسبت فراوانی را در مایع منی سوف سفید دارند. این عناصر معدنی موجب افزایش اسمولالیته مایع تناسلی به ۳۰۰ میلی‌اسمول در کیلوگرم شده و از حرکت زودهنگام اسپرم‌ها در بدن ماهی نر ممانعت می‌کنند. مواد آلی موجود در اسپرم شامل کلسترول، قندهای مونوساکاریدی مانند گلوکز و فروکتوز، سیتریک‌اسید، آسکوربیک‌اسید، انواع آمینواسیدها و آنزیم آنتی‌تریپسین است که برای حرکت اسپرم تامین انرژی کرده و از ساختار آن محافظت می‌کنند (Alavi *et al*., 2015). طول زمان تحرک اسپرم در ماهی سوف سفید تابع میزان اندوخته انرژی و ATP موجود در اسپرم بوده و در مجموع در حدود ۲-۱ دقیقه است (Křišťan *et al*., 2014). عوامل محیطی بر مدت و شدت حرکت اسپرم اثرگذارند. دمای

آب رابطه مستقیمی با قابلیت تحرک اسپرم دارد. همچنین pH کمتر از ۵/۵ یا بالای ۹، قدرت تحرک اسپرم را کاهش می‌دهد. اسمولالیته محیط آب نیز بر قدرت حرکت اسپرم‌ها موثر است. در ماهیان آب شیرین مانند سوف سفید، اسپرم‌ها درون بدن در یک محیط هایپراسمتیک ساکن و بی‌حرکت هستند و تحرک آن‌ها مستلزم قرار گرفتن در محیط هیپواسمتیک و با اسملالیته پایین است، در نتیجه هر چه اسمولالیته آبی که اسپرم‌ها در آن رها می‌شوند کمتر باشد، اسپرم‌ها تحرک بیشتری دارند و عکس این موضوع نیز صادق است (Alavi *et al*., 2015). قابلیت بارورسازی اسپرم به قدرت تحرک آن بستگی دارد، در نتیجه هر عاملی که سبب افزایش قدرت تحرک اسپرم شود موفقیت تولیدمثلی ماهی را افزایش می‌دهد.

رفتارشناسی تولیدمثلی ماهی سوف سفید

ماهی سوف سفید عمدتا در مناطق بالادست رودخانه‌ها تخمریزی می‌کند. جمعیت‌های ساکن دریاچه‌ها و آب‌های لب‌شور نیز جهت تخمریزی به منطقه بالادست رودخانه‌های آب شیرین مهاجرت می‌کنند. متاسفانه تخریب مسیرهای طبیعی مهاجرت و احداث موانع مصنوعی متعدد در این راه در کنار تحلیل رفتن جمعیت‌های بومی سوف سفید در کشورمان سبب شده است تا مهاجرت تولیدمثلی این ماهی به رودخانه‌های حوضه آبریز دریای خزر به‌ندرت مشاهده شود (Abdolmalaki and Psuty, 2007) که این امر یکی از دلایل ضرورت تکثیر در اسارت این گونه است. سوف سفید برای تخمریزی لانه‌هایی از مواد طبیعی موجود در بستر رودخانه می‌سازد که ممکن است شنی و سنگریزه‌ای، گلی و یا پوشیده از گیاه باشد. دلیل حفر لانه در چاله‌های بستر رودخانه، حفاظت از تخم‌ها در برابر جریان‌های شدید آب، نور خورشید و شکارچیان طبیعی است. ابتدا نرها به محل تخمریزی مهاجرت کرده و لانه‌هایی در چاله‌های موجود در بستر رودخانه حفر می‌کنند، سپس ماده‌های مسن و در انتها ماده‌های جوان‌تر در محل تخمریزی حاضر می‌شوند (Lappalainen *et al*., 2003). شناسایی ماهیان نر و ماده از ظاهر آن‌ها امکان‌پذیر است. رنگ بدن نرها تحت تاثیر هورمون‌های جنسی تیره‌تر از ماده‌ها است و همچنین بدن باریک‌تری دارند، اما رنگ بدن ماده‌ها روشن‌تر بوده و انباشت تخم‌ها درون شکم، ماهی را چاق‌تر نشان می‌دهد. لقاح در ماهی سوف سفید از نوع خارجی بوده و پس از جفتگیری، ماده‌ها حجم انبوهی از تخم‌های چسبنده را روی لانه رها کرده و نرها نیز با ریختن اسپرم روی تخم‌ها بارورسازی آن‌ها را انجام می‌دهند. ماده‌ها پس از تخمریزی، به‌سرعت از محل جفتگیری دور می‌شوند، اما نرها تا زمان تفریخ تخم‌ها در محل مانده و به‌شدت از تخم‌ها محافظت می‌کنند (Hermelink *et al*., 2011).

انکوباسیون تخم‌های ماهی سوف سفید

بهترین دمای انکوباسیون تخم‌های سوف سفید در طبیعت، ۲۰-۱۱/۵ درجه سانتیگراد است و خارج از این محدوده دمایی نرخ تخم‌گشایی و بازماندگی لاروها کاسته می‌شود. برای مثال، قرار گرفتن تخم‌ها در دمای بالاتر از ۲۰ درجه سانتیگراد، موجب دناتوره شدن و تغییر ساختار و ماهیت لایه چسبنده پروتئینی تخم شده و در اثر پراکندگی تخم‌ها در محیط از بقای آن‌ها کاسته می‌شود. به‌علاوه خطر ابتلای تخم‌ها به باکتری‌های گرمادوست نیز تحت این شرایط دمایی بیشتر است. مدت زمان انکوباسیون شدیدا تابع دمای آب بوده و به‌طور میانگین ۱۳-۹ روز طول می‌کشد. اگر دمای آب افزایش یابد، طول دوره انکوباسیون ممکن است به کمتر از یک هفته برسد یا در صورت برودت شدید آب تا یک ماه به طول انجامد، اما معمولا فرآیند انکوباسیون در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد، ۱۱ روز زمان می‌طلبد. در صورتی‌که دمای محیط در دوره انکوباسیون در محدوده مطلوب باشد، نرخ تخم‌گشایی و بقای لاروها افزایش یافته و جنین‌ها سیر نمو و اندام‌زایی را به‌نحو بهتری پشت سر می‌گذارند. تخم‌های ماهی سوف سفید طی دوره انکوباسیون، مقاومت بالایی نسبت به کاهش اکسیژن محلول در آب دارند، اما در صورت غنی بودن محیط از اکسیژن، نمو جنینی به شکل بهتری انجام می‌شود. در انتهای دوره انکوباسیون، لاروهای

سوف سفید از تخم خارج می‌شوند. این لاروها اندازه کوچکی داشته و فاقد رنگدانه هستند. وزن بدن در این هنگام ۰/۵-۰/۴ میلی‌گرم و طول کل ۵/۵-۴/۵ میلی‌متر است (Lappalainen *et al*., 2003). پنج روز ابتدای زندگی لاروها، دوره حساسی است و نرخ مرگ و میر طی این دوره می‌تواند بسیار بالا باشد، زیرا لاروهای تازه تفریخ شده قدرت شناگری و گریز از شکارچی را ندارند. همچنین ذخیره غذایی کیسه زرده به‌سرعت جذب شده و از آن پس لاروها نیازمند کسب غذا از محیط هستند و اگر نتوانند به شرایط جدید سازش یابند، به‌سرعت تلف می‌شوند. پس از بازجذب کیسه زرده، لاروها تبدیل به بچه‌ماهی نورس شده و توانایی شنای افقی، دریافت غذا از محیط و گریز از شکارچیان طبیعی را پیدا می‌کنند. علاوه بر این، تدریجا با تکامل باله‌ها و ظهور فلس‌ها، بچه‌ماهیان شکل ظاهری بالغین را پیدا می‌کنند (Feiner and Höök, 2015).

تکثیر ماهی سوف سفید در محیط اسارت

برای تکثیر در اسارت ماهی سوف سفید، سه روش طبیعی در استخرهای تحت کنترل، نیمه‌طبیعی و مصنوعی وجود دارد (فلاحتکار و جاوید رحم‌دل، ۱۳۹۹). در روش تکثیر طبیعی در استخرهای کنترل شده، جفتگیری طبیعی توسط مولدین در استخرهای خاکی کوچک (۶۰۰ مترمربعی)، انجام شده و تزریق هورمون وجود ندارد، اما لانه‌هایی با ابعاد ۵ × ۵۳ × ۵۳ سانتیمتر و از جنس چمن مصنوعی یا شاخ و برگ و ریشه درختان مختلف برای تخمریزی مولدین تعبیه می‌شود (Falahatkar *et al*., 2018). ۳۰ جفت مولد نر و ماده با نسبت جنسی برابر به هر استخر معرفی شده و به‌ازای هر جفت یک لانه تخمریزی فراهم می‌شود. در این روش یا تخم‌ها در داخل استخر تفریخ شده و یا به‌همراه لانه، به کارگاه تکثیر منتقل می‌شوند تا مراحل انکوباسیون خود را در حوضچه‌های آبراهه‌ای طی کنند (Łuczyński *et al*., 2007).

در روش تکثیر نیمه‌طبیعی، جفتگیری و تخمریزی توسط مولدین بر روی لانه‌های تخمریزی انجام می‌شود، اما تزریق هورمون نیز جهت افزایش کارایی تولیدمثلی ضروری است. جهت تزریق هورمون، تفکیک مولدین نر و ماده و توزین هر یک برای تعیین میزان هورمون تزریقی مهم است. علامت بارز رسیدگی در مولدین ماده، تورم شکم و سرخی ناحیه تناسلی و در نرها خروج اسپرم است (Fontaine *et al*., 2015).

برای تکثیر سوف سفید در کشورمان از روش نیمه‌طبیعی استفاده می‌شود. برای این منظور، در مرکز بازسازی و حفاظت از ذخایر ژنتیکی ماهیان دریایی شادروان دکتر یوسف‌پور سیاهکل، ۲ جفت ماهی مولد با نسبت جنسی برابر درون حوضچه‌های بتنی مدور با قطر ۱۹۵ سانتیمتر و عمق ۳۰ سانتیمتر قرار گرفته و برای هر جفت یک لانه تخمریزی تعبیه می‌شود. تزریق هورمون hCG در قاعده باله سینه‌ای شامل به‌ترتیب ۲۰۰ و ۴۰۰ واحد بین‌المللی در کیلوگرم وزن بدن به‌عنوان دوزهای اولیه و قطعی با فاصله ۴۸ ساعته برای مولدین ماده و تزریق یک مرحله‌ای ۲۰۰ واحد بین‌المللی در کیلوگرم وزن بدن برای مولدین نر انجام می‌شود. مشاهده شده است که در صورت افزایش دمای آب کارگاه، می‌توان تکثیر سوف سفید را با تزریق هورمون hCG در حد به‌ترتیب ۲۰۰ و ۱۰۰ واحد بین‌المللی در کیلوگرم وزن بدن به‌عنوان دوزهای اولیه و قطعی برای ماده‌ها و بدون تزریق به نرها نیز انجام داد. پس از تخمریزی، لانه‌های حاوی تخم در مخازن جفتگیری باقی می‌مانند تا دوره انکوباسیون طی شود (Falahatkar *et al*., 2010). تجربیات اخیر در این مرکز، موفقیت استفاده از مخازن آبراهه‌ای را برای تکثیر نیمه‌طبیعی سوف سفید نیز نشان داده است. در این روش، تزریق یک‌مرحله‌ای هورمون hCG به‌میزان ۲۰۰ واحد بین‌المللی در کیلوگرم وزن بدن برای ماده‌ها و بدون تزریق به نرها انجام می‌شود. نسبت رهاسازی مولدین ماده به نر نیز ۱:۱/۲ است. احتمالا جریان مداوم آب در این مخازن و وجود حالت سکوت و آرامش، تاثیر مثبتی بر روند رسیدگی جنسی داشته باشد (فلاحتکار و جاوید رحم‌دل، ۱۳۹۹).

در روش تکثیر مصنوعی پس از تزریق هورمون، تخمک و اسپرم به‌صورت دستی استحصال و با روش خشک لقاح داده می‌شوند. برای هر ۱۰۰ گرم تخمک، ۲ میلی‌لیتر

اسپرم اضافه شده و توده تخم و اسپرم توسط قاشق پلاستیکی اختلاط می‌یابد، سپس کمی آب جهت فعال کردن اسپرم‌ها افزوده می‌شود. تخم‌های لقاح‌یافته سوف سفید شدیدا چسبنده هستند، در نتیجه باید برای رفع چسبندگی تخم‌ها اقدام کرد (فلاحتکار و جاوید رحم‌دل، ۱۳۹۹). عنوان شده است که کاربرد محلول لقاح کاربامید با ترکیب ۴۰ گرم نمک و ۳۰ گرم اوره در ۱۰ لیتر آب بهترین نتیجه را در رفع چسبندگی تخم‌های سوف سفید در کشورمان داشته است (گلمرادی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). در این روش تکثیر، توده تخم آزادی در اختیار است که می‌توان آن‌ها را به انکوباتورهای مخروطی شکل ویس انتقال داد (Szkudlarek *et al*., 2007b).

نتیجه‌گیری کلی

سوف سفید گونه‌ای با ارزش اقتصادی بالا بوده و حفظ ذخایر بومی آن هم به‌لحاظ اکولوژیک و اقتصادی اهمیت فراوانی دارد. نیل به این هدف مستلزم تلاش برای بازسازی ذخایر این ماهی از طریق تکثیر کنترل شده در محیط اسارت است تا در نتیجه خطر انقراض نسل این گونه ارزشمند مرتفع می‌شود. پیش‌شرط چنین موفقیتی داشتن تصویری صحیح از بیولوژی تولیدمثلی این گونه ارزشمند است که خود مستلزم پژوهش‌های بیشتر در زمینه وجوه ناشناخته زیست‌شناسی تولیدمثلی آن است. خصوصا اهتمام به برنامه اهلی‌سازی ماهی سوف سفید را نباید از نظر دور داشت، چراکه اهمیت کلیدی در سازش‌دهی مولدین به شرایط اسارت و افزایش بازده تولیدمثلی آن‌ها داشته و موفقیت برنامه بازسازی ذخایر و همچنین آبزی‌پروری تجاری این گونه ارزشمند را تضمین می‌کند.

توصیه‌های ترویجی

۱- برای تکثیر سوف سفید، استفاده از مولـدینی با سن ۷-۵ سال ارجحیت دارد، چراکه چنین مولدینی دارای بهترین شاخص‌های تولیدمثلی هستند. با این وجود، جهت حفظ تنوع ژنتیکی ماهی سوف سفید، مشارکت مولدینی از سنین مختلف و جمعیت‌های گوناگون توصیه می‌شود.

۲- ایجاد شرایط اکولوژیک نظیر دمای مطلوب (۱۵-۸ درجه سانتیگراد) و بستر مناسب جهت موفقیت تولیدمثل در اسارت سوف سفید ضروری بوده و تکثیر نیمه‌طبیعی این ماهی و به‌حداقل رساندن دستکاری جهت افزایش بازده تولیدمثلی و حفاظت از مولدین توصیه می‌شود.

۳- توصیه می‌شود از استخرهای آبراهه‌ای برای تکثیر مولدین سوف سفید استفاده شود، چراکه کاربرد این روش در مرکز بازسازی و حفاظت از ذخایر ژنتیکی ماهیان دریایی شادروان دکتر یوسف‌پور سیاهکل نتایج بسیار خوبی را از جنبه کاهش سطح هورمون مصرفی و استرس پایین‌تر ماهیان مولد نشان داده است.

جاوید رحم‌دل، ک. و فلاحتکار، ب. ۱۳۹۹. مروری بر تکثیر و پرورش ماهی سوف حاج طرخان (*Perca fluviatilis*). نشریه علوم آبزی‌پروری پیشرفته، ۳: ۱۰۱-۸۷.

ستاری م. ۱۳۸۹. ماهی‌شناسی (۱)، تشریح و فیزیولوژی. انتشارات حق‌شناس، رشت، ۸۷۵ ص.

عفت‌پناه کمایی ا. و فلاحتکار ب. ۱۳۹۸. گزارش تحلیلی اثرات بازسازی ذخایر ماهی سوف معمولی *Sander lucioperca* بر روی افزایش نسل و میزان صید آن در سواحل جنوبی دریای خزر. اولین همایش بین‌المللی محیط زیست دریای خزر و توسعه پایدار، ۱۰-۹ مهر، رشت.

غلامی ش.، فلاحتکار ب.، عفت‌پناه ا. و مکنت‌خواه ب. ۱۳۹۷. روند رشد و رژیم غذایی بچه‌ماهی سوف معمولی (*Sander lucioperca*) در استخرهای خاکی. نشریه شیلات، جلد ۷۱، شماره ۲، ص: ۱۳۹-۱۳۱.

فریدپاک ف. ۱۳۸۶. دستورالعمل اجرایی تکثیر مصنوعی و پرورش ماهی‌های گرمابی. انتشارات علمی آبزیان، تهران، ۳۰۸ ص.

فلاحتکار ب. و پورحسین سارمه س. ۱۳۹۲. تغییرات بیوشیمیایی، استروئیدهای جنسی و پارامترهای هماتولوژیک در قبل و پس از تخمریزی ماهی سوف

سفید (*Sander lucioperca*). مجله پژوهش‌های جانوری، جلد ۲۶، شماره ۳، ص: ۳۴۳-۳۳۳.

فلاحتکار، ب. و جاوید رحم‌دل، ک. ۱۳۹۹. راهنمای عملی تکثیر و پرورش ماهی سوف سفید. انتشارات دانشگاه گیلان، رشت، ۲۰۲ ص.

گلمرادی‌زاده ا.، سجادی م.، فلاحتکار ب.، عفت‌پناه کمایی ا. و حمزه‌نژاد بانگودی م. ۱۳۹۱. تاثیر هورمون گنادوتروپین انسانی (hCG) و عصاره هیپوفیز کپور بر سطوح هورمون‌های جنسی، شاخص‌های استرس و کیفیت اسپرماتوزوآ در مولدین نر ماهی سوف سفید (*Sander lucioperca* L.). مجله بهره‌برداری و پرورش آبزیان، جلد ۱، شماره ۳، ص: ۸۴-۶۵.

Abdolmalaki S. and Psuty I. 2007. The effects of stock enhancement of pikeperch (Sander lucioperca) in Iranian coastal waters of the Caspian Sea. ICES Journal of Marine Science, 64: 973-980.

Alavi S.M.H., Ciereszko A., Hatef A., Křišťan J., Dzyuba B., Boryshpolets S., Rodina M., Cosson J. and Linhart O. 2015. Sperm morphology, physiology, motility, and cryopreservation in percidae. In: Kestemont P., Dabrowski K. and Summerfelt R.C. (Eds). Biology and Culture of Percid Fishes, Principles and Practices. Springer, Dordrecht, Netherlands, PP: 163-191.

Billard R., LeGac F. and Loir M. 1990. Hormonal control of sperm production in teleost fish. In: Epple A., Scanes C.G. and Stetson M.H. (Eds). Progress in Comparative Endocrinology. Willey, New York, USA, PP: 329-335.

Demska-Zakes K., Zakes Z. and Roszuk J. 2005. The use of tannic acid to remove adhesiveness from pikeperch, Sander lucioperca, eggs. Aquaculture Research, 36: 1458-1464.

Falahatkar B., Poursaeid S., Efatpanah I., Meknatkhah B. and Ershad Langroudi H. 2010. Effects of hormonal treatment on induced spermiation, ovulation and steroids changes in pikeperch *Sander lucioperca*. In: Proceedings of the Conference of Aquaculture Europe, October 5-8, Porto, Portugal.

Falahatkar B., Akhavan S.R., Efatpanah I. and Meknatkhah B. 2012. Primary and secondary responses of a teleostean, pikeperch *Sander lucioperca*, and a chondrostean, Persian sturgeon *Acipenser persicus* juveniles, to handling during transport. North American Journal of Aquaculture, 74: 241-250.

Falahatkar B. and Poursaeid S. 2014. Effects of hormonal manipulation on stress responses in male and female broodstocks of pikeperch (*Sander lucioperca*). Aquaculture International, 22: 235-244.

Falahatkar B., Efatpanah I. and Kestemont P. 2018. Pikeperch Sander lucioperca production in the south part of the Caspian Sea: technical notes. Aquaculture International, 26: 391-401.

Feiner Z.S. and Höök T.O. 2015. Environmental biology of Percid fishes. In: Kestemont P., Dabrowski K. and Summerfelt R.C. (Eds). Biology and Culture of Percid Fishes, Principles and Practices. Springer, Dordrecht, Netherlands, PP: 61-100.

Fontaine P., Wang N. and Hermelink B. 2015. Broodstock management and control of the reproduction cycle. In: Kestemont P, Dabrowski K, Summerfelt R.C. (Eds). Biology and Culture of Percid Fishes, Principles and Practices. Springer, Dordrecht, Netherlands, PP: 103-122.

Hermelink B., Wuertz S., Trubiroha A., Rennert B., Kloas W. and Schulz C. 2011. Influence of temperature on puberty and maturation of pikeperch, Sander lucioperca.

handling. In: Kucharczyk D., Kestemont P. and Mamcarz A. (Eds). Artificial Reproduction of Pikeperch. Polish Ministry of Science, Olsztyn, Poland, PP: 17-22.

McMillan D.B. 2007. Fish Histology: Females Reproductive Systems. Springer, Dordrecht, Netherlands, 598 P.

Nagahama, Y. 1994. Endocrine regulation of gametogenesis in fish. The International Journal of Developmental Biology, 38: 217-229.

Pourhosein Sarameh S., Falahatkar B., Azari Takami G. and Efatpanah I. 2012. Effects of different photoperiods and handling stress on spawning and reproductive performance of pikeperch *Sander lucioperca*. Animal Reproduction Science, 132: 213-222.

Pourhosein Sarameh S., Falahatkar B., Azari Takami G. and Efatpanah I. 2013. Physiological changes in male and female pikeperch *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) subjected to different photoperiods and handling stress during the reproductive season. Fish Physiology and Biochemistry, 39: 1253-1266.

Szkudlarek M., Kujawa R., Mamcarz A., Bienkiewicz M., Kestemont P., Szczerbowski A., Łuczyński M.J., Krejszeff W., Targońska K. and Kucharczyk D. 2007a. Checking maturation stage of females. In: Kucharczyk D. Kestemont P. and Mamcarz A. (Eds). Artificial Reproduction of Pikeperch. Polish Ministry of Science, Olsztyn, Poland, PP: 23-32.

Szkudlarek M., Szczerbowski A., Łuczyński M.J., Kucharczyk D., Targońska K., Kestemont P., Kwiatkowski M., Kujawa R. and Mamcarz A. 2007b. Hatching. In: Kucharczyk D., Kestemont P. and Mamcarz A. (Eds). Artificial Reproduction of Pikeperch. Polish Ministry of Science, Olsztyn, Poland, PP: 59-65.

General and Comparative Endocrinology, 172: 282-292.

Hermelink B., Wuertz S., Rennert B., Kloas W. and Schulz C. 2013. Temperature control of pikeperch (*Sander lucioperca*) maturation in recirculating aquaculture systems - induction of puberty and course of gametogenesis. Aquaculture, 400-401: 36-45.

Johnston T.A. and Leggett W.C. 2002. Maternal and environmental gradients in the egg size of an iteroparous fish. Ecology, 83: 1777-1791.

Kestemont P. and Melard C. 2000. Aquaculture. In: Craig J.F. (Eds). Percid Fishes Systematics, Ecology and Exploitation, Blackwell Science, Oxford, UK, PP: 191-224.

Kitahashi T., Shahjahan M. and Parhar I.S. 2013. Hypothalamic regulation of pituitary gonadotropins. In: Senthikumaran B. (Eds). Sexual Plasticity and Gametogenesis in Fishes. Nova Publications, New York, USA, PP: 153-182.

Křišťan J., Hatef A., Alavi S.M.H. and Policar T. 2014. Sperm morphology, ultrastructure, and motility in pikeperch *Sander lucioperca* (Percidae, Teleostei) associated with various activation media. Czech Journal of Life Sciences, 59: 1-10.

Lappalainen J., Dorner H. and Wysujack K. 2003. Reproduction biology of pikeperch (*Sander lucioperca* (L.)) - a review. Ecology of Freshwater Fish, 12: 95-106.

Lubzens E., Young G., Bobe J. and Cerdá J. 2010. Oogenesis in teleosts: how fish eggs are formed. General and Comparative Endocrinology, 165: 367-489.

Łuczyński M.J., Szkudlarek M., Szczerbowski A., Bienkiewicz M., Gomułka P., Kwiatkowski M., Targońska K., Kestemont P. and Kucharczyk D. 2007. Spawners and

Uysal K., Yerlikaya A., Aksoylar M.Y., Yontem M. and Ulupinar M. 2006. Variations in fatty acids composition of pikeperch (*Sander lucioperca*) liver with respect to gonad maturation. Ecology of Freshwater Fish, 15: 441-445.

Vizziano D., Fostier A., Loir M. and LeGac F. 2008. Testis development, its hormonal regulation and spermiation induction in teleost fish. In: Alavi S.M.H., Cosson J.J., Coward K. and Rafiee G. (Eds). Fish Spermatology. Alpha Science, Oxford, UK, PP: 103-139.

Wang N., Xu X. and Kestemont P. 2009. Effect of temperature and feeding frequency on growth performances, feed efficiency and body composition of pikeperch juveniles (*Sander lucioperca*). Aquaculture, 289: 70-73.

Żarski D., Horváth A., Held J.A. and Kucharczyk D. 2015. Artificial reproduction of percid fishes. In: Kestemont P., Dabrowski K. and Summerfelt R.C. (Eds). Biology and Culture of Percid Fishes, Principles and Practices. Springer, Dordrecht, Netherlands, PP: 123-162.

Żarski D., Fontaine P., Roche J., Alix M., Blecha M., Broquard C., Król J. and Milla S. 2019. Time of response to hormonal treatment but not the type of a spawning agent affects the reproductive effectiveness in domesticated pikeperch, *Sander lucioperca*. Aquaculture, 503: 527-536.

Reproductive biology of pikeperch (*Sander lucioperca*) - a review

Javid Rahmdel K.; Falahatkar B. *

Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran

Received : June2020 Accepted: October2020

Abstract

Pikeperch (*Sander lucioperca*) is one of the major commercial species of Iran which is endangered, so that the captive propagation of this species is too important. A vital necessity for captive propagation of fish is having knowledge on reproductive biology of each species. Therefore, the present paper has reviewed the reproductive biology of pikeperch. Pikeperch is an annual spawner in spring. Maturation in this fish needs cold period and the highest reproductive output can be observed at temperature range of 8-15 °C. The puberty age is 2-3 years for males and 3-4 years for females and has a negative relationship with water temperature. Pikeperch spawn in holes or plants roots located in the river bottom and after releasing the eggs by females, male fish protect the nest. The eggs are adhesive and stick on different substrates. Egg diameter is 0.5-1.4 mm and 1.26-1.4 mm before and after hydration, respectively. Relative fecundity of this fish is 150-400 eggs per g of females' body weight and absolute fecundity is up to 2.4 million eggs. Incubation period takes around 110 degree-hours. Captive propagation of this fish could be conducted naturally or semi-naturally by providing spawning nests which their difference is inducing the final maturation by injection of hormones in semi-natural method. Also, it is possible to perform artificial propagation via hormone therapy and subsequently stripping. Choosing any of these methods need to have knowledge on reproductive features of pikeperch which is the aim of the present paper.

Keywords: Maturation, Spawning behavior, Vitellogenesis, Biology, Pikeperch, Reproduction axis.

*Corresponding author: falahatkar@guilan.ac.ir