فیزیولوژی و بیوتکنولوژی آبزیان
سال چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۵

مقاله پژوهشی

کارایی سطوح مختلف پودر ریزجلبک سندسموس (*Scenedesmus acuminatus*) در جیره بر شاخص‌های خونی و پاسخ ایمنی تاس‌ماهی سیبری (*Acipenser baerii*) نوجوان

افشین شعبانی[۱]، حبیب وهابزاده رودسری[۲]*، حسین خارا[۳]، محدثه احمدنژاد[۴]، رقیه صفری[۵]

DOI: 10.22124/japb.2026.33961.1593
تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۵ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۴۰۵

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر افزودن پودر ریزجلبک *Scenedesmus acuminatus* به جیره غذایی بر شاخص‌های خونی و ایمنی تاس‌ماهی سیبری (*Acipenser baerii*) نوجوان انجام شد. تعداد ۳۰۰ قطعه بچه‌ماهی با میانگین وزن ۰۷/۳۹±۱۰/۰ گرم در پنج تیمار شامل جیره پایه (شاهد)، جیره حاوی ۵ درصد پودر کلرلا (شاهد مثبت) و جیره‌های حاوی ۱، ۳ و ۵ درصد پودر سندسموس به مدت ۶۰ روز تغذیه شدند. نتایج نشان داد افزودن ۳ درصد پودر سندسموس موجب افزایش معنی‌دار تعداد گلبول‌های سفید، گلبول‌های قرمز و درصد هماتوکریت نسبت به گروه شاهد شد (P<۰/۰۵) و مقادیر بالاتری نسبت به شاهد مثبت داشت. بین تیمارها از نظر هموگلوبین، MCV، MCH، MCHC و درصد لنفوسیت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). همچنین سطوح ۱ تا ۳ درصد سندسموس سبب افزایش معنی‌دار شاخص‌های ایمنی شامل IgM، فعالیت لیزوزیم و ACH50 سرم شد (P<۰/۰۵). نتایج نشان داد استفاده از ۱ تا ۳ درصد پودر سندسموس در جیره غذایی می‌تواند به عنوان یک مکمل زیست‌فعال موثر، موجب بهبود وضعیت خونی و پاسخ‌های ایمنی تاس‌ماهی سیبری نوجوان شود.

واژگان کلیدی: *تاس‌ماهی سیبری، Scenedesmus acuminatus، خون، ایمنی، مکمل غذایی.*

۱- دانشجوی دکتری شیلات، گروه شیلات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.
۲- استادیار گروه شیلات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.
۳- استاد گروه شیلات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.
۴- استادیار پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندر انزلی، ایران.
۵- دانشیار گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
* نویسنده مسئول: ha.vahabzadeh@iau.ac.ir

مقدمه

در صنعت آبزی‌پروری راهکارهای افزایش توجیه اقتصادی پرورش آبزیان شامل کاهش مرگ و میر، افزایش سرعت رشد، کاهش هزینه‌های تولید، افزایش تولید در واحد سطح، تغذیه مناسب و استفاده از جیره‌های غذایی با بیشترین کارایی و سلامت گونه است. دانش تغذیه عملی و روش‌های کاربردی به منظور تهیه و تامین غذای مناسب و ارزان قیمت می‌تواند نقش مهمی را در کاهش هزینه‌ها و پرورش موفق آبزیان به همراه داشته باشد. (Pereira et al., 2012).

هم‌زمان با گسترش آبزی‌پروری و افزایش تقاضا برای پروتئین آبزی، بهینه‌سازی راهبردهای تغذیه‌ای به عنوان یکی از موثرترین عوامل در ارتقای رشد، بازماندگی و سلامت آبزیان مورد توجه قرار گرفته است. مرز میان کاهش عملکرد رشد و بروز اختلالات فیزیولوژیکی و بیماری بسیار باریک است و ناکارآمدی جیره غذایی می‌تواند به‌سرعت به افت کارایی تولید و افزایش تلفات منجر شود. از سوی دیگر، وابستگی گسترده صنعت تولید خوراک به پودر ماهی با چالش‌هایی همچون کمبود منابع، نوسان قیمت و پیامدهای زیست‌محیطی همراه است. از این رو، شناسایی منابع جایگزین پایدار، زیست‌سازگار و با ارزش تغذیه‌ای بالا، به یک اولویت پژوهشی در سطح جهانی تبدیل شده است (Shah et al., 2018; Thaher et al., 2021).

زیست‌توده ریزجلبک‌ها، به دلیل ترکیب مطلوب مواد مغذی، از ظرفیت مناسبی برای استفاده به عنوان منبع تغذیه جایگزین و مکمل غذایی در آبزی‌پروری برخوردار است، زیرا متابولیت‌های سلولی این میکروارگانیسم‌ها، دارای اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب غیراشباع، ویتامین‌ها و رنگدانه‌ها هستند (Akhoundian and Gholizadeh, 2022). آستاگزانتین، اسیدهای چرب اشباع نشده چندگانه (PUFAs) و فیکوسیانین تنها بخشی از ترکیب ارزشمند ریزجلبک‌ها هستند که می‌توانند پاسخ ایمنی، میزان بقا و رشد جانور را افزایش دهند (Ahmad et al., 2023). جنس سندسموس (*Scenedesmus*) دارای ۵۶-۵۰ درصد پروتئین، ۲۵-۱۰ درصد کربوهیدرات و ۱۴-۱۲ درصد چربی است (Sudeshna and Ruma, 2015). جلبک *Scenedesmus obliques* غنی از اسیدهای آمینه ضروری به‌ویژه لیزین است (Phang et al., 2000; Quevedo et al., 2008). اسید پالمیتیک

(PA ،C۱۶:۰)، اولئیک اسید (OA ،C۱۸:۱)، لینولئیک اسید (LA ،C۱۸:۲) و آلفا لینولنیک اسید (ALA ،C۱۸:۳) اسیدهای چرب غالب در جنس سندسموس هستند (Tibbetts et al., 2015).

با توجه به بالا بودن مرگ و میر بچه‌ماهیان خاویاری، اهمیت تامین غذای با کیفیت بچه‌ماهی برای تضمین افزایش بازماندگی، رشد و توجیه اقتصادی پرورش ماهیان خاویاری، در این مطالعه استفاده از جلبک سندسموس (*Scenedesmus acuminatus*) به عنوان غذای فراسودمند که تهیه پودر آن در داخل کشور آسان است و ارزش غذایی کمابیش همتراز با جلبک‌های کلرلا و اسپیرولینا دارد، به عنوان مکمل غذایی در جیره تاس‌ماهی سیبری (*Acipenser baerii*) نوجوان ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

مطالعات میدانی این پژوهش در تابستان ۱۴۰۳ (در بازه زمانی ۱۴۰۳/۴/۲۰ تا ۱۴۰۳/۶/۱۹) در مزرعه تکثیر و پرورش ماهیان «خاویار طلایی دیلم» در شهرستان رودبار استان گیلان انجام گرفت. تعداد ۳۰۰ قطعه بچه تاس‌ماهی سیبری با وزن ۱۰/۰۷±۰/۳۹ گرم بدون الگوی از پیش تعیین شده از یک گله تکثیر شده در همان مزرعه، انتخاب و پس از رقم‌بندی در ۵ تیمار آزمایشی با دو تکرار در ۱۰ حوضچه فایبرگلاس ۵۰۰ لیتری (در هر حوضچه ۳۰ قطعه بچه‌ماهی با زی‌توده (Biomass) حدود ۳۰۰ گرم، ضدعفونی شده با پرمنگنات پتاسیم و آب نمک غلیظ (۷۰ درصد) به مدت ۶۰ روز، پرورش یافتند. گروه‌بندی تیمارها (جدول ۱) بر مبنای سطوح مختلف افزودن پودر جلبک‌ها در جیره غذایی برپایه جمع‌بندی از نتایج پژوهش‌های پیشین صورت پذیرفت (Akbary and Gorgij, 2018; Bidi et al., 2019; Naseri Khalkhali et al., 2026).

با آن که منبع تامین آب چاه و شرایط یکسان بود، به منظور اطمینان شرایط مطلوب و یکنواخت در همه حوضچه‌های پرورشی، شاخص‌های فیزیکوشیمیایی آب شامل دما، اکسیژن محلول و pH آب به صورت یک روز در میان در دو نوبت ۷ صبح و ۷ غروب با دستگاه پرتابل (HQ 40d multi، HACH، آمریکا) اندازه‌گیری و ثبت شد. در طول کل دوره پرورش میانگین دمای آب حوضچه‌های پرورشی ۲۱/۲ درجه سلسیوس، میانگین اکسیژن محلول ۷/۷ و میانگین pH آب ۶/۵ ثبت شد.

جدول ۱: ترکیب جیره غذایی تیمارهای آزمایش

تیمارها	علامت اختصاری	ترکیب جیره
شاهد	**C**	جیره پایه (بدون افزودنی)
شاهد مثبت (تیمار ۱)	**Ch**	۵ درصد پودر کلرلا به ازای هر کیلوگرم جیره پایه
تیمار ۲	**Sc1**	۱ درصد پودر سندسموس به ازای هر کیلوگرم جیره پایه
تیمار ۳	**Sc2**	۳ درصد پودر سندسموس به ازای هر کیلوگرم جیره پایه
تیمار ۴	**Sc3**	۵ درصد پودر سندسموس به ازای هر کیلوگرم جیره پایه

آماده‌سازی جیره

ابتدا جیره پایه (فرادانه، ایران) با ترکیب ۴۸ درصد پروتئین خام، ۱۴/۵ درصد چربی خام، ۱ درصد فسفر، ۸ درصد خاکستر، ۲/۴ درصد فیبر خام و ۹ درصد رطوبت با سطح انرژی خام ۳۵۰۰ کیلوکالری در کیلوگرم، با آسیاب به صورت پودر درآمد. سپس در ۵ ظرف، هر کدام مقدار ۴۸۰۰ گرم غذای آسیاب شده ریخته شد و به جز ظرف شاهد و تیمار ۱ به عنوان شاهد مثبت که به آن مقدار ۵ درصد پودر کلرلا (*Chlorella vulgaris*، ریزجلبکی پارسیان، ایران) اضافه شد، در تیمارهای دیگر، پودر جلبک سندسموس *Scenedesmus acuminatus* (ریزجلبکی پارسیان، ایران) با مقدار تعیین شده در جدول ۱ با جیره آسیاب شده، هم‌زده شد و با افزودن یک لیتر آب، ترکیب خمیری یکنواختی به دست آمد (شکل ۱).



شکل ۱: الف) پودر افزوده شده ریزجلبک *Scenedesmus acuminatus* به جیره پایه. ب) مقایسه ظاهری پودرهای سندسموس و کلرلا

خمیر به دست آمده بدون گرم کردن و با دستگاه پلت‌ساز (چرخ گوشت) به شکل رشته‌هایی در آمد که به پلت‌هایی با اندازه یک میلی‌متر بریده شدند. پلت‌ها ۴۸ ساعت در خشک‌کن قرار داده شد تا رطوبت غذا گرفته شود (Akbary and Gorgij, 2018) و سپس در بسته‌های پلاستیکی محفوظ در یخچال با دمای ۳ درجه سلسیوس نگهداری شد.

برنامه غذادهی و زیست‌سنجی بچه‌ماهیان

روش تغذیه و درصد غذادهی بر مبنای اشتهای ماهی، دما و وزن ماهی، طی ۸ نوبت در شبانه روز در ساعت‌های ۲، ۵، ۸، ۱۱، ۱۴، ۱۷، ۲۰ و ۲۳ (بجز در زمان‌های زیست‌سنجی) غذادهی شد (Mohseni et al., 2014). با توجه به نتایج زیست‌سنجی ۱۵ روز یک‌بار، غذای مورد نیاز هر حوضچه محاسبه شد. در روزهای آغازین اجرای آزمایش، مقدار غذای روزانه با توجه به وزن بچه ماهی و دمای ۲۱ درجه سلسیوس آب، ۵/۳ درصد وزن بدن در نظر گرفته شد که در ادامه روند اجرای پروژه و افزایش وزن بدن ماهی و همچنین افزایش دمای آب، به مقدار ۴ درصد وزن بدن ماهی رسید (Chebanov and Galich, 2010).

برای تعیین مقادیر متناسب غذا با زی‌توده بچه‌ماهیان در هر حوضچه و ارزیابی عملکرد جیره طی ۶۰ روز پرورش در پنج بازه زمانی مختلف و پس از قطع ۲۴ ساعته غذادهی، تمام ماهی‌های هر تیمار بیهوش شده (محلول اوژنول ۰/۵ درصد) و زیست‌سنجی شدند (با دقت ۰/۰۱ گرم و ۱ میلی‌متر).

خون‌گیری و سنجش شاخص‌های خونی

در پایان دوره پرورش، پس از سپری شدن ۲۴ ساعت از زمان قطع غذادهی و اطمینان از تخلیه محتویات لوله گوارش، به طور تصادفی از ۶ قطعه ماهی در هر تیمار (۲ ماهی از هر تکرار) خون‌گیری انجام گرفت. پیش از شروع خون‌گیری، ماهیان به وسیله محلول اوژنول با غلظت ۰/۵ درصد بیهوش شدند. سپس آب سطح بدن ماهی با تنظیف خشک شد و از سیاهرگ ساقه دمی در انتهای باله مخرجی، توسط سرنگ ۲ میلی‌لیتری لوئراسلیپ سیاهرگ، ۲ میلی‌لیتر خون تهیه و در ۲ لوله اپندورف که یکی از آنها آغشته به ماده ضدانعقاد خون (هپارین ۵۰۰۰ واحد در میلی‌لیتر) بود، ذخیره شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه تخصصی و استاندارد (ویرومد، رشت، ایران) منتقل و شاخص‌های خونی اندازه‌گیری شد.

شمارش تعداد گلبول‌های سفید (WBC) و قرمز (RBC) با استفاده از لام هموسیتومتر نئوبار دو حجره‌ای انجام شد و تعداد آنها در هر میلی‌متر مکعب خون برای هر نمونه در دو حجره محاسبه شد (رابطه‌های ۱ و ۲). رقت محلول لوئیس تهیه شده برای گلبول‌های قرمز ۱:۲۰۰ و برای گلبول‌های سفید ۱:۲۰ بود (Liu et al., 2024; Ren et al., 2024).

رابطه ۱:

$$\mathbf{RBC\ (1/mm^3) = R \times 10000}$$

R: تعداد گلبول‌های قرمز شمارش شده در لام نئوبار هموسیتومتر.

رابطه ۲:

$$\mathbf{WBC\ (1/mm^3) = \bar{W} \times 200}$$

$\bar{W}$: میانگین گلبول‌های سفید شمارش شده در لام نئوبار هموسیتومتر.

برای شمارش افتراقی گلبول‌های سفید بلافاصله پس از خون‌گیری گسترش خونی تهیه شد (سه تکرار برای هر نمونه خون). پس از خشک و تثبیت گسترش خونی با الکل متانول در هوای آزاد، گسترش‌ها به کمک محلول رقیق شده گیمسا با غلظت ۱۰ درصد رنگ‌آمیزی شدند. سپس شمارش افتراقی گلبول‌های سفید انجام شد و درصد فراوانی لنفوسیت‌ها، مونوسیت‌ها، نوتروفیل‌ها، بازوفیل‌ها و ائوزینوفیل‌ها محاسبه شد (Gao et al., 2007).

برای تعیین مقدار هماتوکریت (Hct)، نمونه خون در لوله‌های مویینه هپارینه با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ (D-78532 Tuttlingen، Hettich، آلمان) شد و درصد هماتوکریت هر نمونه خون توسط خط‌کش مخصوص محاسبه شد (Yeganeh et al., 2015). مقدار هموگلوبین (Hb) هر نمونه خون به روش رنگ‌سنجی سیان‌مت هموگلوبین با معرف درابکین در طول موج ۵۴۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-2100، Jenway، انگلستان) و با استفاده از منحنی استاندارد، بر حسب گرم در دسی‌لیتر محاسبه شد. شاخص‌های گلبول قرمز شامل MCV (میانگین حجم گلبول قرمز)، MCH (میانگین مقدار هموگلوبین در هر گلبول قرمز) و MCHC (میانگین غلظت هموگلوبین در هر گلبول قرمز) با استفاده از رابطه‌های ۳ تا ۵ محاسبه شدند.

رابطه ۳:

$$\mathbf{MCV\ (fL) = [Hct / (RBC \times 10^{-6})] \times 10}$$

رابطه ۴:

$$\mathbf{MCV\ (pg) = [Hb / (RBC \times 10^{-6})] \times 10}$$

رابطه ۵:

$$\mathbf{MCHC\ (g/dL) = (Hb / Hct) \times 100}$$

شاخص‌های پاسخ ایمنی

برای تعیین میزان لیزوزیم سرم از روش Saurabh و Sahoo (۲۰۰۸) استفاده شد. به این منظور ۱۵ میکرولیتر سرم به پلیت‌های ۹۶ خانه‌ای شکل الایزا افزوده شد. سپس ۱۵۰ میکرولیتر سوسپانسیون باکتری *Micrococcus lysodeikticus* تهیه شده در بافر سیترات سدیم ۰/۰۲ مولار با pH ۵/۵ به میزان ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر به سوسپانسیون باکتری اضافه شد و جذب نوری اولیه در طول موج ۴۵۰ نانومتر توسط دستگاه الایزاریدر (ELX800، Bio-Tek، آمریکا) اندازه‌گیری شد و پس از یک ساعت نگهداری در دمای اتاق، دوباره جذب نوری اندازه‌گیری شد. از لیزوزیم سفیده تخم‌مرغ لیوفلیزه شده (Sigma-Aldrich، آمریکا) نیز به منظور ترسیم منحنی استاندارد استفاده شد.

سنجش فعالیت مسیر جانبی کمپلمان سرم (ACH50) توسط مسیر مکمل جایگزین (ACP) با روش اصلاح شده Sitja-Bobadilla و همکاران (۲۰۰۳) بدین شرح انجام شد که گلبول‌های قرمز با غلظت نهایی $۲/۵\times۱۰^{۸}$ سلول در هر میلی‌لیتر مکعب مورد استفاده قرار گرفتند. مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از سرم آزمایشی در HBSS-EGTA، سه برابر رقیق شد. به علاوه، ۱۰ میلی‌مول Mg^{2+} و ۱۰ میلی‌مول استات اتیل‌گلیکو بیستتر در pH ۷/۶ با ۲۵ میکرولیتر گلبول قرمز خون گوسفند (sRBC) در پلیت ۹۶ خانه‌ای ریخته شد. پلیت‌ها برای مدت زمان ۱۰۰ دقیقه در دمای ثابت ۲۰ درجه سلسیوس با شیکر، هم‌زده شدند و سپس باقیمانده sRBC با ۱۵۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شد و میزان جذب مایع رویی در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط دستگاه فتومتر (ERMA، ژاپن) خوانده شد. برای محاسبه میزان فعالیت مسیر جانبی کمپلمان با استفاده از کاغذ شطرنجی (Log-Log Graph) منحنی تجزیه سلولی رسم شد (Sabri et al., 2004; Victor and Kaplan, 2011). طبق تعریف، فعالیت کمپلمان حجمی از سرم است که سبب ۵۰ درصد همولیز شود که از رابطه ۶ محاسبه شد.

رابطه ۶:

$$\mathbf{ACH50\ (U/mL) = K \times D \times 0.5}$$

K: مقداری از سرم که موجب ۵۰ درصد همولیز می‌شود (میلی‌لیتر). D: فاکتور رقت که در این آزمایش ۰/۰۴ است (چون سرم به نسبت ۱:۲۴ (۲۴ مرتبه) رقیق شد). ۰/۵: عدد ثابت.

اندازه‌گیری ایمنوگلوبولین M (IgM) از روش ایمونوتوربیدیمتری استفاده شد. ایمونوگلوبولین M با آنتی‌بادی‌های محلول تامپون تشکیل کمپلکس می‌دهد و باعث کدر شدن محلول می‌شود. شدت کدورت به وجود آمده با میزان ایمونوگلوبولین M رابطه مستقیم دارد که در طول موج ۳۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (S2100-223337 UV، UNICO، آمریکا) اندازه‌گیری شد (Yamamoto and Yonemasu, 1999).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

طرح کلی این پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی برنامه‌ریزی و اجرا شد. همه داده‌ها به صورت میانگین از دو نمونه از هر تکرار به همراه خطای استاندارد گزارش شدند. به منظور بررسی توزیع نرمال بودن داده‌ها در گروه‌ها و تکرارها از آزمون Shapiro-Wilk استفاده شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها و بررسی همگنی واریانس‌ها با آزمون شاپیرو- ویلک، به منظور مقایسه آماری بین گروه‌ها در تیمارها از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و برای مقایسه میانگین‌ها با یکدیگر از پس‌آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P<۰/۰۵$) استفاده شد. همه بررسی‌های آماری با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

نتایج

شاخص‌های خونی

نتایج تجزیه و تحلیل شاخص‌های خونی (جدول ۲) نشان داد که ریزجلبک سندسموس به میزان ۳ درصد در جیره بر تغییر تعداد گلبول‌های سفید موثر بود ($P<۰/۰۵$). از میان سلول‌های سفید مقادیر نوتروفیل به طور معنی‌داری در شاهد مثبت (جیره حاوی کلرلا) نسبت به تیمارهای دیگر بالاتر بود، اما در همه تیمارهای حاوی سندسموس کاهش نوتروفیل مشاهده شد و بیشترین کاهش در تیمار ۳ (۱/۶۳±۸/۲۵ درصد) بود. در مقدار لنفوسیت‌ها و مونوسیت‌های خون در تیمارها شاهد و آزمایشی، اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد.

با وجود این که در میانگین هموگلوبین، MCV، MCH و MCHC اختلافی مشاهده نشد، اما ریزجلبک سندسموس به میزان ۳ درصد در جیره به طور معنی‌داری موجب افزایش گلبول‌های قرمز و درصد هماتوکریت شد ($P<۰/۰۵$) به گونه‌ای که بالاتر از جیره حاوی ۵ درصد کلرلا بود (جدول ۲).

جدول ۲: شاخص‌های خونی بچه تاس‌ماهی سیبری در تیمارهای مختلف (میانگین ± خطای استاندارد)

شاخص	شاهد	تیمار ۱ (کلرلا ٪۵)	تیمار ۲ (سندسموس ٪۱)	تیمار ۳ (سندسموس ٪۳)	تیمار ۴ (سندسموس ٪۵)
WBC (mm^{-3})	۱۷۹۵۰ ±۵۳۵/۸۰ ^{c}	۱۸۵۷۵ ±۳۹۶/۶۰ ^{bc}	۲۳۲۷۵ ±۹۳۴/۸۵ ^{a}	۲۳۷۵۰ ±۱۷۶۱/۸۶ ^{a}	۲۱۳۵۰ ±۸۵۳/۹۱ ^{ab}
RBC (mm^{-3})	۹۳۸۲۵۰ ±۸۰۶۶/۱۳ ^{c}	۱۰۰۶۵۰۰ ±۸۷۹۸/۶۷ ^{ab}	۱۰۴۵۰۰۰ ±۲۴۰۶۵/۸۸ ^{a}	۱۰۴۵۰۰۰ ±۲۱۲۶۸/۱۳ ^{a}	۹۸۲۲۵۰ ±۱۸۰۰۱/۷۴ ^{bc}
Hb (g/dL)	۵/۱۹±۰/۰۴ ^{a}	۵/۵۹±۰/۰۶ ^{a}	۵/۷۷±۰/۱۳ ^{a}	۵/۸۴±۰/۰۹ ^{a}	۵/۴۴±۰/۱۱ ^{a}
Hct (٪)	۲۶/۲۵±۰/۱۶ ^{c}	۲۸/۰۰ ±۰/۲۷ ^{ab}	۲۹/۰۳ ±۰/۶۵ ^{a}	۲۹/۲۵ ±۰/۴۷ ^{a}	۲۷/۲۸ ±۰/۴۷ ^{bc}
MCV (fL)	۲۷۹/۵۰±۰/۹۵ ^{a}	۲۷۷/۷۵±۰/۸۵ ^{a}	۲۷۷/۵۰±۰/۹۶ ^{a}	۲۷۹/۷۵±۱/۵۵ ^{a}	۲۷۷/۵۰±۰/۶۵ ^{a}
MCH (pg)	۵۵/۳۰±۰/۰۷ ^{a}	۵۵/۵۵±۰/۱۲ ^{a}	۵۵/۱۸±۰/۱۹ ^{a}	۵۵/۹۰±۰/۳۱ ^{a}	۵۵/۳۸±۰/۱۴ ^{a}
MCHC (٪)	۱۹/۷۶±۰/۰۵ ^{a}	۱۹/۹۸±۰/۰۴ ^{a}	۱۹/۸۷±۰/۰۳ ^{a}	۱۹/۹۷±۰/۰۵ ^{a}	۱۹/۹۴±۰/۰۵ ^{a}
نوتروفیل (٪)	۹/۵۰±۰/۶۴ ^{b}	۱۲/۵۰±۰/۷۰ ^{a}	۱۰/۰۰±۱/۲۲ ^{b}	۸/۲۵±۱/۶۳ ^{c}	۹/۷۵±۱/۳۱ ^{bc}
لنفوسیت (٪)	۸۰/۵۰±۱/۰۳ ^{a}	۸۱/۰۰±۰/۶۴ ^{a}	۸۳/۰۰±۰/۴۸ ^{a}	۸۶/۰۰±۰/۸۷ ^{a}	۸۳/۷۵±۰/۴۱ ^{a}
مونوسیت (٪)	۶/۷۵±۰/۰۰ ^{a}	۶/۵۰±۰/۴۰ ^{a}	۶/۲۵±۰/۵۲ ^{a}	۵/۵۰±۰/۱۰ ^{a}	۶/۰۰±۰/۱۴ ^{a}

در هر ردیف حروف لاتین غیرهم‌نام نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری است (P<۰/۰۵).

شاخص‌های ایمنی

نتایج تجزیه و تحلیل شاخص‌های ایمنی این مطالعه (جدول ۳) نشان داد که افزودن ریزجلبک‌های سندسموس و کلرلا در جیره، بر مقادیر ایمنوگلوبولین M، لیزوزیم و میزان ACH50 سرم خون بچه‌ماهیان اثر معنی‌دار آماری داشت (P<۰/۰۵) و در این راستا تفاوت معنی‌داری در به کارگیری هر دو ریزجلبک نداشت (P>۰/۰۵). بیشترین مقدار ایمنوگلوبولین به ترتیب در تیمارهای ۱، ۲ و ۳ مشاهده شد و بیشترین مقدار لیزوزیم و ACH50 سرم خون نیز به ترتیب در تیمارهای ۲، ۳ و ۱ ثبت شد. به عبارتی استفاده از ریزجلبک سندسموس به میزان ۱ تا ۳ درصد در مقایسه با جلبک کلرلای ۵ درصد، اثر هم‌ترازی بر مقادیر لیزوزیم و ACH50 سرم خون بچه‌ماهیان داشت (جدول ۳).

جدول ۳: شاخص‌های ایمنی سرم خون بچه تاس‌ماهی سیبری در تیمارهای مختلف (میانگین ± خطای استاندارد)

شاخص	شاهد	تیمار ۱ (کلرلا ٪۵)	تیمار ۲ (سندسموس ٪۱)	تیمار ۳ (سندسموس ٪۳)	تیمار ۴ (سندسموس ٪۵)
IgM (mg/dL)	۲۹/۹۳±۰/۶۵ b	۳۹/۱۳±۱/۶۹ a	۳۸/۳۰±۱/۵۵ a	۳۶/۵۸±۱/۳۹ a	۳۴/۸۸±۰/۹۸ a
لیزوزیم (U/mL/min)	۳۱/۱۵±۱/۲۸ b	۳۸/۱۸±/۴۹ a	۴۰/۹۵±۱/۳۷ a	۴۰/۷۰±۰/۳۸ a	۳۹/۲۳±۰/۷۷ a
ACH50 (U/mL)	۱۱۴/۷۵±۰/۸۵ b	۱۲۳/۰۰±۱/۶۸ a	۱۲۴/۲۵±۲/۴۳ a	۱۲۳/۵۰±۱/۵۵ a	۱۱۷/۷۵±۰/۶۳ ab

در هر ردیف حروف لاتین غیرهم‌نام نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری است (P<۰/۰۵).

بحث

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر و مقایسه با نتایج پژوهش‌های دیگر درباره به کارگیری جلبک در خوراک ماهیان خاویاری، هماتوکریت در پی افزایش گلبول‌های قرمز خون افزایش می‌یابد (Salehi-Farsani et al., 2014). از آنجا که اسیدهای چرب بلند زنجیره در ساخت غشای دو لایه فسفولیپیدی گلبول‌های قرمز (Tichelaar et al., 1997) و افزایش انعطاف‌پذیری و سیالیت غشای آن نقش دارند (Berlin et al., 1992)، علت افزایش هماتوکریت و گلبول قرمز را می‌توان به تحریک اندام‌های خون‌ساز توسط اسیدهای چرب غیراشباع از نوع امگا ۳ موجود در جلبک‌ها مرتبط دانست (Mohammed et al., 2014). نتایج مشابهی در مطالعه Khani و همکاران (۲۰۱۷) ارائه شده است که افزودن ریزجلبک کلرلا در جیره غذایی ماهی کوی (*Cyprinus carpio*) موجب افزایش گلبول قرمز، گلبول سفید، هماتوکریت و هموگلوبین شده بود. در مطالعه Yeganeh و همکاران در سال ۲۰۱۵ که جلبک اسپیرولینا را به جیره ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) افزودند و Naraghi و همکاران (۲۰۱۹) که اثرات مکمل غذایی پودر ریزجلبک *Nannochloropsis oculata* را بر برخی شاخص‌های خونی قزل‌آلای رنگین‌کمان انگشت‌قد بررسی کردند، نتایج مشابهی از افزایش گلبول‌های قرمز و شاخص‌های مرتبط را گزارش دادند. در پژوهش حاضر، با وجود تغییر در تعداد کل گلبول‌های سفید افزودن پودر جلبک سندسموس تاثیر معنی‌داری بر درصد

لنفوسیت‌ها و مونوسیت‌های خون تاس‌ماهی سیبری نوجوان مشاهده نشد، اما درصد نوتروفیل‌ها با افزایش میزان سندسموس به طور معنی‌داری کاهش یافت. نکته قابل توجه این است که بیشترین درصد نوتروفیل در تیمار شاهد مثبت (کلرلا ۵ درصد) مشاهده شد. از آنجا که لنفوسیت‌ها مهم‌ترین سلول‌های مسئول پاسخ‌های ایمنی اختصاصی در ماهیان هستند و در تولید آنتی‌بادی‌ها و تنظیم پاسخ‌های ایمنی سلولی نقش اساسی دارند (Magnadottir, 2006). عدم تغییر معنی‌دار درصد لنفوسیت‌ها در تیمارهای مختلف این پژوهش و کاهش درصد نوتروفیل‌ها می‌تواند نشان دهنده حفظ تعادل فیزیولوژیکی سیستم ایمنی و نبود هرگونه تنش یا تحریک التهابی شدید در ماهیان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سندسموس باشد (Alderman and Gillis, 2024; Ranzani-Paiva and Tavares-Dias, 2024). از سوی دیگر، افزایش معنی‌دار شاخص‌های ایمنی سرم شامل IgM، فعالیت لیزوزیم و ACH50 در غیاب تغییرات محسوس در درصد لنفوسیت‌ها، بیانگر آن است که بهبود وضعیت ایمنی بیشتر از طریق ارتقای عملکرد سلول‌های ایمنی و فعال شدن مکانیسم‌های دفاع ذاتی صورت گرفته است تا افزایش تعداد لنفوسیت‌ها (Uribe et al., 2011; Alderman and Gillis, 2024).

مونوسیت‌ها به عنوان پیش‌ساز ماکروفاژها، نقش مهمی در فاگوسیتوز، ارائه آنتی‌ژن و ترشح سیتوکین‌های تنظیم کننده ایمنی دارند. عدم اختلاف معنی‌دار درصد مونوسیت‌ها میان تیمارها نشان می‌دهد که استفاده از پودر سندسموس در سطوح مورد بررسی، موجب تحریک بیش از حد پاسخ‌های التهابی نشده و در عین حال توانسته است وضعیت ایمنی ماهیان را بدون برهم زدن تعادل جمعیت سلول‌های دفاعی حفظ کند. چنین پاسخی از دیدگاه فیزیولوژیک مطلوب ارزیابی می‌شود، زیرا افزایش شدید مونوسیت‌ها به طور معمول با بروز استرس یا التهاب سیستمیک همراه است (Esteban, 2012; Ranzani-Paiva and Tavares-Dias, 2024).

نوتروفیل‌ها نخستین خط دفاع سلولی در ایمنی ذاتی ماهیان محسوب می‌شوند و از طریق فاگوسیتوز، تولید گونه‌های فعال اکسیژن و ترشح آنزیم‌های ضدمیکروبی در حذف عوامل بیماری‌زا مشارکت دارند (Magnadottir, 2006; Esteban, 2012). افزایش درصد نوتروفیل‌ها در برخی تیمارهای جلبکی را می‌توان به حضور ترکیبات زیست‌فعال مانند

پلی‌ساکاریدها، رنگدانه‌های کاروتنوئیدی، اسیدهای چرب غیراشباع و ویتامین‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داد که قادر به تحریک فعالیت فاگوسیتی و تقویت ایمنی ذاتی هستند (Uribe et al., 2011; Dawood et al., 2019). با این حال، عدم افزایش معنی‌دار نوتروفیل‌ها در تیمارهای حاوی سندسموس نسبت به شاهد نشان می‌دهد که اثرات مثبت این ریزجلبک بیشتر در سطح عملکرد ایمنی و افزایش کارایی مکانیسم‌های دفاعی بروز یافته است تا تغییر در ترکیب سلولی خون محیطی. این یافته با افزایش هم‌زمان فعالیت لیزوزیم، کمپلمان جایگزین و IgM در تیمارهای حاوی سندسموس همخوانی دارد و تایید کننده نقش این ریزجلبک به عنوان یک محرک ایمنی طبیعی در آبزیان است.

برخی از ریزجلبک‌ها، ویتامین‌ها و محرک‌های ایمنی فراوانی در سلول‌های خود تولید می‌کنند که می‌تواند به سلامت آبزیان پرورشی کمک کند (Zhou et al., 2019; Prabha et al., 2020). لیزوزیم یک آنزیم تجزیه کننده قوی موجود در خون و بافت‌های لنفی ماهیان بوده و دارای فعالیت ضدباکتریایی و ضدانگلی است. این آنزیم نقش ویژه‌ای در ایمنی ماهی دارد و یکی از مهم‌ترین عامل‌ها در مقاومت طبیعی ماهیان محسوب می‌شود (Magnadottir, 2006). افزایش فعالیت این آنزیم به خاطر افزودن پودر جلبک به دلیل داشتن ماده فعال زیستی (مانند فیکوسیانین) در جیره غذایی است. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج Salighehzadeh و همکاران (۲۰۱۴) در استفاده از پودر اسپیرولینا در جیره غذایی بچه‌ماهی بنی (*Mesopotamichthys sharpeyi*)، Akbari و Malek Raeisi (۲۰۲۰) در استفاده از کلرلا در جیره غذایی کفال خاکستری (*Mugil cephalus*) و Sadeghi Goghari و همکاران (۲۰۲۱) در استفاده از پودر اسپیرولینا در جیره غذایی ماهی گورخری (*Danio rerio*)، همخوانی دارد. سیستم کمپلمان مجموعه‌ای مشتمل بر بیش از ۳۵ نوع پروتئین سرمی است که ارتباط بسیار نزدیک و کنترل شده‌ای با یکدیگر و دیگر مولکول‌های سیستم ایمنی دارند (Sunyer et al., 1997). مهم‌ترین وظایف زیستی سیستم کمپلمان شامل از بین بردن میکروارگانیسم‌ها از طریق شرکت و همراهی در فرایندهای فاگوسیتوز، واکنش‌های التهابی، پاک‌سازی کمپلکس‌های ایمنی، القا و بهبود پاسخ‌های آنتی‌بادی است (Mauri et al., 2011). زیاد بودن فعالیت کمپلمان سرم در بچه‌ماهی‌های

تغذیه شده با جلبک‌ها، می‌تواند به علت وجود رنگدانه‌های کاروتنوئیدی موجود در جلبک‌ها، به‌ویژه بتاکاروتن باشد.

در مجموع، نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که جلبک سندسموس به عنوان مکمل غذایی فراسودمند در بهبود شاخص‌های خونی و ایمنی تاس‌ماهی سیبری نوجوان نقش دارد و افزودن آن به میزان ۱ تا ۳ درصد در جیره غذایی این ماهی موثر است، اما همان گونه که در نتایج مشاهده شد افزایش آن به مقدار ۵ درصد در ترکیب جیره غذایی می‌تواند موجب برهم خوردن تعادل یاد شده در سیستم ایمنی شود.

تشکر و قدردانی

از مدیریت، کارکنان و کارشناسان مزرعه خاویار طلایی دیلم، انستیتو تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری و پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های داخلی که با در اختیار گذاشتن امکانات و همکاری در آزمایش‌ها راه را برای این پژوهش آسان کردند، سپاسگزاری می‌نماییم.

منابع

Ahmad A., Banat F. and Alsafar H. 2023. Recent breakthroughs in integrated biomolecular and biotechnological approaches for enhanced lipid and carotenoid production from microalgae. Phytochemistry Reviews, 22: 993–1013. doi: 10.1007/s11101-022-09804-5

Akbari P. and Malek Raeisi E. 2020. Effect of dietary supplementation of *Chlorella vulgaris* on several physiological parameters of grey mullet, *Mugil cephalus*. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 19 (3): 119–130.

Akbary P. and Gorgij S. 2018. Effect of dietary *Chlorella vulgaris* supplementation on growth performance, feed and body chemical composition of grey mullet, *Mugil cephalus* Linnaeus 1758. Journal of Animal Environment, 10(3): 153–158.

Akhoundian M. and Gholizadeh F. 2022. A review of the application of microalgae as aquafeed in order to increase the productivity of aquaculture products. Journal of Advanced Aquaculture Sciences, 6(1): 63–87.

Alderman S.L. and Gillis T.E. 2024. Encyclopedia of Fish Physiology. Academic Press, Elsevier, Netherland. 2400P.

Berlin E., Bhathena S.J., Judd J.T., Nair P.P., Peters R.C., Bhagavan H.N. and Taylor P.R. 1992. Effects of omega-3 fatty acid and vitamin E supplementation on erythrocyte membrane fluidity, tocopherols, insulin binding, and lipid composition in adult men. The Journal of Nutritional Biochemistry, 3(8): 392–400. doi: 10.1016/0955-2863(92)90013-9

Bidi M., Meshkini S. and Nazari K. 2019. Effect of pellets contain *Spirulina platensis* algae on growth, body composition, hematology indices and immunology of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Journal of Fisheries Science and Technology, 8(4): 199–208.

Chebanov M.S. and Galich E.V. 2010. Ultrasound Diagnostics of Sturgeon. Prosveshchenie-Yug, Russia. 135P.

Dawood M.A.O., Koshio S., Abdel-Daim M.M. and Van Doan H. 2019. Probiotic application for sustainable aquaculture. Reviews in Aquaculture, 11: 907–924. doi: 10.1111/raq.12272

Esteban M.A. 2012. An overview of the immunological defenses in fish skin. ISRN Immunology, 2012: 1–29. doi: 10.5402/2012/853470

Gao Z., Wang W., Abbas K., Zhou X., Yang Y., Diana J.S. and Sun

Y. 2007. Haematological characterization of loach *Misgurnus anguillicaudatus*: comparison among diploid, triploid and tetraploid specimens. Comparative Biochemistry and Physiology (A), 147(4): 1001–1008. doi: 10.1016/j.cbpa.2007.03.006

Khani M., Soltani M., Shamsaie Mehrjan M., Foroudi F. and Ghaeni M. 2017. The effects of *Chlorella vulgaris* supplementation on growth performance, blood characteristics, and digestive enzymes in Koi (*Cyprinus carpio*). Iranian Journal of Fisheries Sciences, 16: 832–843.

Liu J., Ji K., Pang X., Jin S., Zheng Y., Xu J., Fan H., Wang Y. and Hu M. 2024. Effects of *Citrobacter freundii* on sturgeon: Insights from haematological and intestinal-liver immunity. Aquaculture, 586: 740811. doi: 10.1016/j.aquaculture.2024.740811

Magnadottir B. 2006. Innate immunity of fish (overview). Fish and Shellfish Immunology, 20(2): 137–151. doi: 10.1016/j.fsi.2004.09.006

Mauri I., Romero A., Acerete L., Mackenzie S., Roher N., Callol A., Cano I., Alvarez M.C. and Tort L. 2011. Changes in complement responses in gilthead seabream (*Sparus aurata*) and European seabass (*Dicentrarchus labrax*) under crowding stress, plus viral and bacterial challenges. Fish and Shellfish Immunology, 30(1): 182–188. doi: 10.1016/j.fsi.2010.10.006

Mohammed B., Elzubeir A.M. and Elmahdi T. 2014. Assessment the effect of omega-3 fatty acid supplementation in Sudanese patients with sickle cell anemia; Khartoum, Sudan. International Journal of Multidisciplinary and Current Research, 7: 1133–1138.

Mohseni M., Pourali H.R., Kazemi R. and Bai S.C. 2014. Evaluation of the optimum dietary protein level for the maximum growth of juvenile beluga (*Huso huso* L. 1758). Aquaculture Research, 45(11): 1832–1841. doi: 10.1111/are.12134

Naraghi M., Shamsaie Mehrgan M., Rajabi Islami H. and Hosseini Shekarabi S. 2019. Effect of dietary supplementation of *Nannochloropsis oculata* powder on some hematological indices of rainbow trout fingerling. Iranian Fisheries Scientific Journal, 27(6): 105–113. doi: 10.22092/ISFJ.2019.118400

Naseri Khalkhali E., Zamini A., Vahabzadeh Roudsari H., Ershad Langeroudi H. and Taati R. 2026. Effects of dietary supplementation with *Saccharomyces cerevisiae* and Chlorella vulgaris on body composition, hematological, immune, and biochemical responses of sterlet, *Acipenser ruthenus*. Caspian Journal of

Environmental Sciences, 24(4): 1101–1114. doi: 10.22124/cjes.2026.10001

Pereira R., Valente L. and Pinto I. 2012. Apparent nutrient digestibility of seaweeds by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Algal Research, 1: 77–82. doi: 10.1016/j.algal.2012.04.002

Phang S.M., Miah M.S., Yeoh B.G. and Hashim M.A. 2000. *Spirulina* cultivation in digested sago starch factory wastewater. Journal of Applied Phycology, 12: 395–400. doi: 10.1023/A:1008157731731

Prabha S.P., Nagappan S., Rathna R., Viveka R. and Nakkeeran E. 2020. Blue biotechnology: A vision for future marine biorefineries. P: 463–480. In: Kumar R.P., Gnansounou E., Kenthorai Raman J. and Baskar G. (Eds.). Refining Biomass Residues for Sustainable Energy and Bioproducts. Academic Press, USA. doi: 10.1016/B978-0-12-818996-2.00021-1

Quevedo C., Morales S.P. and Acosta A. 2008. *Scenedesmus* sp. growth in different culture mediums for microalgal protein production. Vitae, 15(1): 25–31. doi: 10.17533/udea.vitae.762

Ranzani-Paiva M.J.T. and Tavares-Dias M. 2024. Fish hematology in Brazil: A review. Boletim do Instituto de Pesca, 50: 1–28 (e914). doi: 10.20950/1678-2305/bip.2024

Ren Y., Tian Y., Cheng B., Liu Y. and Yu H. 2024. Effects of environmental hypoxia on serum hematological and biochemical parameters, hypoxia-inducible factor (hif) gene expression and HIF pathway in hybrid sturgeon (*Acipenser schrenckii* ♂ × *Acipenser baerii* ♀). Genes, 15(6): 1–15 (743). doi: 10.3390/genes15060743

Sabri S., Bener V., Abu Zeid M., Al Mazrouei A. and Singh J. 2004. Some risk factors for hypertension in the United Arab Emirates. La Revue de la Mediterranee, 10(4-5): 610–619.

Sadeghi Goghari S., Paykan Heyrati F. and Dorafshan S. 2021. Effect of dietary lactoferrin and algae *Spirulina* powder on some growth and immunity parameters of female zebrafish (*Danio rerio*). Veterinary Research and Biological Products, 34(3): 121–128. doi: 10.22092/vj.2020.343081.1726

Salehi-Farsani A., Soltani M., Kamali A. and Shamsaie M. 2014. Effect of immune motivator MacroGard and *Spirulina platensis* on some growth, carcass and biochemical indices of stellate sturgeon *Acipenser stellatus*. International Journal of the Bioflux Society, 7(3): 137–147.

Salighehzadeh R., Yavari V., Mousavi S.M. and Zakeri M. 2014. Effect of dietary supplementation *Spirulina platensis* on blood,

immunological and serum biochemical parameters of Benny fish *Mesopotamichthys sharpeyi* (Gunther, 1874). Iranian Veterinary Journal, 10(2): 40–46. [In Persian].

Saurabh S. and Sahoo P.K. 2008. Lysozyme: An important defence molecule of fish innate immune system. Aquaculture Research, 39: 223–239. doi: 10.1111/j.1365-2109.2007.01883.x

Shah M.R., Lutzu G.A., Alam A., Sarker P., Kabir Chowdhuriy M.A., Parsaeimehr A. and Liang Y. 2018. Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. Journal of Applied Phycology, 30: 197–213. doi: 10.1007/s10811-017-1234-z

Sudeshna S. and Ruma P. 2015. Microalgae in aquaculture: A review with special references to nutritional value and fish dietetics. Proceedings of the Zoological Society, 68: 1–8. doi: 10.1007/s12595-013-0089-9

Sunyer J.O., Ort L.T. and Lambris J.D. 1997. Diversity of the third form of complement, C3, in fish: Functional characterization of five forms of C3 in the diploid fish (*Sparus aurata*). Biochemical Journal, 326(3): 320–326. doi: 10.1042/bj3260877

Thaher M.I.A., Abdul Quadir M. and Khan S. 2021. Nutrients and energy digestibility of microalgal biomass for fish feed applications. Sustainability, 13(23): 1–19 (13211). doi: 10.3390/su132313211

Tibbetts S.M., Melanson R.J., Park K.C., Banskota A.H., Stefanova R. and McGinn P.J. 2015. Nutritional evaluation of whole and lipid-extracted biomass of the microalga *Scenedesmus* sp. AMDD isolated in Saskatchewan, Canada for animal feeds: Proximate, amino acid, fatty acid, carotenoid and elemental composition. Current Biotechnology, 4: 530–546. doi: 10.2174/2211550105666160906123939

Tichelaar H.Y., Smuts C.M., Gross R., Jooste P.L., Faber M. and Benade A.J.S. 1997. The effect of dietary iron deficiency on the fatty acid composition of plasma and erythrocyte membrane phosphorlipids in the rat. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 56(3): 229–233. doi: 10.1016/s0952-3278(97)90540-8

Uribe C., Folch H., Enriquez R. and Moran G. 2011. Innate and adaptive immunity in teleost fish: A review. Veterinary Medicine, 56(10): 486–503. doi: 10.17221/3294-VETMED

Victor R.G. and Kaplan N. 2011. Systemic Hypertension: Mechanisms and Diagnosis. Braunwalds Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine. Saunders Elsevier, USA. 1944P.

Yamamoto T. and Yonemasu K. 1999. Multiple molecular forms of serum immunoglobulin M in a patient with Waldenstrom's macroglobulinemia. Clinica Chimica Acta, 289: 173–176. doi: 10.1016/s0009-8981(99)00162-x

Yeganeh S., Teimouri M. and Amirkolaie A.K. 2015. Dietary effects of *Spirulina platensis* on hematological and serum biochemical parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Research in Veterinary Science, 101: 84–88. doi: 10.1016/j.rvsc.2015.06.002

Zhou R., Zhou R., Zhang X., Fang Z., Wang X., Speight R. and Ostrikov K. 2019. High-performance plasma-enabled biorefining of microalgae to value-added products. ChemSusChem, 12(22): 4976–4985. doi: 10.1002/cssc.201901772

Aquatic Physiology and Biotechnology

Vol. 14, No. 1, Spring 2026

Research Paper

Efficacy of different levels of dietary *Scenedesmus acuminatus* powder on hematological indices and immune responses of juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*)

Afshin Shabani[1], Habib Vahabzadeh Roudsari[2]*, Hosein Khara[3], Mohaddeseh Ahmadnezhad[4], Roghayeh Safari[5]

DOI: 10.22124/japb.2026.33961.1593

Received: April 2026 Accepted: June 2026

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of incorporating *Scenedesmus acuminatus* microalga powder into the diet on hematological and immune indices of juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). A total of 300 fish with an average initial weight of 10.07±0.39g were assigned to five experimental groups, including a basal diet (control), a diet containing 5% *Chlorella* powder (positive control), and diets supplemented with 1%, 3%, and 5% *S. acuminatus* powder over a 60 days period. The results indicated that the inclusion of 3% *S. acuminatus* powder led to a significant increase in white blood cell count, red blood cell count and hematocrit percentage compared to the control group ($P<0.05$) with values also exceeding those of the positive control group. No significant differences were observed among treatments in hemoglobin concentration, MCV, MCH, MCHC and lymphocyte percentage ($P>0.05$). Furthermore, dietary supplementation with 1–3% *S. acuminatus* significantly enhanced immune-related parameters, including IgM, lysozyme activity and ACH50 ($P<0.05$). The findings indicate that dietary supplementation with 1–3% *S. acuminatus* powder in the diet acting as an effective bioactive supplement, can improve hematological parameters and immune responses in juvenile Siberian sturgeon.

Key words: *Siberian Sturgeon*, Scenedesmus acuminatus, *Blood*, *Immunity*, *Dietary Supplement*.

1- Ph.D. Student in Fisheries, Department of Fisheries, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

2- Assistant Professor in Department of Fisheries, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

3- Professor in Department of Fisheries, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

4- Assistant Professor in Inland Waters Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI). Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Anzali, Iran.

5- Associated Professor in Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

*Corresponding Author: ha.vahabzadeh@iau.ac.ir