وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه گنبد کاووس

نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی

Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir

اثرات تراکم‌های مختلف پرورش بر عملکرد رشد و پاسخ‌های استرسی، ایمنی و متابولیک در قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

نبی‌الله خون‌میرزایی[1]، امیرپرویز سلاطی[2]، علی شهریاری[3]*

[1]دانشجوی دکترا، گروه علوم پایه، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز

[2]دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

[3]دانشیار گروه علوم پایه، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز

نوع مقاله:
پژوهشی اصیل

https://doi.org/10.22034/jair.10.4.4

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۰۱/۰۷/۰۱
پذیرش: ۰۱/۰۸/۰۹

نویسنده مسئول مکاتبه:
علی شهریاری، دانشیار، گروه علوم پایه، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز

ایمیل: a.shahriari@scu.ac.ir

چکیده

تعیین تراکم مطلوب پرورش جهت بهبود عملکرد ماهی و سودآوری ضروری است. مجموع ۱۳۵۰ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزن اولیه ۱/۵±۳۰ گرم تهیه شد. سپس ماهیان به‌صورت تصادفی در ۱۲ تانک فایبرگلاس توزیع شده و در تراکم‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب به‌مدت ۶۰ روز پرورش داده شدند. وزن نهایی، افزایش وزن و ضریب راندمان پروتئین در ماهیان پرورش‌یافته در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم نسبت به تراکم‌های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم به‌طور معنی‌داری بالاتر و ضریب تبدیل غذا پایین‌تر بود. بالاترین سطوح کورتیزول و لاکتات سرم در تراکم ۶۰ کیلوگرم مشاهده شد و پس از آن تراکم ۱۵ کیلوگرم قرار داشت که نشان‌دهنده وجود استرس در تراکم پرورش بالا و تراکم خیلی پایین می‌باشد. فعالیت لایزوزیم سرم در تراکم‌های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از تراکم ۳۰ کیلوگرم بود. کمترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، اسمولالیته و فعالیت مکمل (ACH50) سرم و بالاترین فعالیت ALT سرم در ماهیان پرورش‌یافته در بالاترین تراکم مشاهده گردید. میزان گلوبولین سرم در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم به‌طور معنی‌داری بالاتر و فعالیت AST سرم پایین‌تر از تراکم ۶۰ کیلوگرم بود. پایین‌ترین میزان کلسترول، لیپوپروتئین‌های با چگالی کم (LDL) و بالا (HDL) و تری‌گلیسرید سرم نیز در تراکم ۶۰ کیلوگرم مشاهده شد. نتایج نشان داد که تراکم پرورش خیلی پایین نیز مانند تراکم پرورش بالا می‌تواند بر عملکرد قزل‌آلای رنگین‌کمان اثرات منفی داشته باشد. بنابراین تراکم‌های متوسط (۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب) برای پرورش این گونه توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی:
تراکم، شاخص بیوشیمیایی، دفاع آنتی اکسیدانی، قزل‌آلای رنگین‌کمان.

۱ | مقدمه

قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Onchorhynchus mykiss*) یکی از مهمترین ماهیان پرورشی تجاری در دنیا است. این ماهی گونه اصلی پرورشی در آبزی پروری سردآبی ایران است. برای افزایش تولیدات آبزی‌پروری و سودآوری، روش‌های پرورش جدید و متراکم مطلوب و قابل استفاده هستند. در سیستم‌های پرورشی، سودآوری به عملکرد رشد ماهیان و تراکم پرورش بستگی دارد (Andrade *et al*., 2015). بنابراین پرورش متراکم یک عامل مهم در افزایش بازده تولید و سودآوری مزارع پرورش قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌باشد. همچنین از جمله عواملی که موجب رویکرد کشورها به سیستم متراکم شده است صرفه‌جویی در مصرف آب و زمین و امکان تولید ماهی در مناطق کم‌آب است. از طرفی، تراکم بالای پرورش اثرات جانبی نامطلوبی دارد و می‌تواند پاسخ استرسی ماهیان را فعال نماید (Wendelaar Bonga, 1997). در پاسخ به استرس، بخش هیپوتالاموس مغز ماهیان، هیپوفیز را جهت ترشح هورمون آدرنوکورتیکوتروپیک (Adrenocorticotropic) تحریک می‌نماید. این هورمون از طریق گردش خون به بخش قدامی کلیه رسیده و سلول‌های بین کلیوی را برای افزایش سطح هورمون‌های کورتیکوستروئیدی مانند کورتیزول تحریک می‌کند. سیستم عصبی سمپاتیک نیز سلول‌های کرومافین بخش قدامی کلیه را برای ترشح کتکولامین‌ها مانند اپی نفرین تحریک می‌نماید (Nardocci *et al*., 2014). هر دو گروه این هورمون‌ها جزء پاسخ‌های استرسی اولیه در ماهیان هستند. تغییر در برخی متابولیت‌های سرم مانند گلوکز، لاکتات، اسمولالیته و پاسخ آنتی‌اکسیدانی در شرایط استرس به عنوان پاسخ‌های

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-08-30]

[DOI: 10.22034/jair.10.4.4]

© ۱۴۰۱ | دانشگاه گنبدکاووس

استرسی ثانویه شناخته می‌شوند (Barton, 2002). استرس ناشی از تراکم بالای پرورش بر عملکرد رشد، غذاگیری، راندمان خوراک، پاسخ‌های ایمنی و استرسی و سلامت قزل‌آلای رنگین‌کمان اثرات منفی دارد (Naderi, Keyvanshokooh, Ghaedi, & Salati, 2019; Suárez et al., 2015; Yarahmadi, Miandare, Fayaz, & Caipang, 2016). به هرحال، در صورتی‌که استرس خیلی شدید باشد یا مزمن شود (طولانی مدت)، در نهایت تطابق و سازگاری مطلوب با شرایط جدید ایجاد نمی‌شود و وضعیت فیزیولوژیک ماهی افت می‌نماید (Wedemeyer, 1996).

افزایش نیاز به انرژی و اکسیژن ناشی از تراکم پرورش بالا از طریق پاسخ‌های خونی و متابولیک جبران می‌شود و این امر ممکن است تولید رادیکال‌های آزاد را افزایش دهد (Lupatsch, Santos, Schrama, & Verreth, 2010; Cristina E. Trenzado, Morales, Palma, & de la Higuera, 2009). زمانی که نرخ تولید رادیکال‌های آزاد بیشتر از حذف آنها باشد استرس اکسیداتیو رخ می‌دهد و سبب پراکسیداسیون چربی‌های غیراشباع و اکسیداسیون پروتئین‌ها و DNA می‌گردد (Halliwell & Gutteridge, 2015). علاوه بر این، استرس مزمن باعث سرکوب پاسخ‌های ایمنی شده و بنابراین احتمال بروز بیماری در ماهیان افزایش پیدا می‌کند. اثرات مضر استرس بر سیستم ایمنی عمدتا به علت اثرات سرکوب‌کننده کورتیزول و در نتیجه عدم توانایی ماهیان در سازگاری با استرس است (Nardocci et al., 2014; Tort, 2011).

در تراکم پرورش پایین (۲۵ کیلوگرم در مترمکعب)، ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان فضا و شانس بروز رفتار سلطه‌جویی طبیعی خود را دارد که نرخ مصرف اکسیژن افزایش یافته و منجر به ریزش فلس ها می شود، در حالی که در تراکم بالا (۱۴۰ کیلوگرم در مترمکعب)، ماهیان در شرایط استرس مزمن قرار دارند (Laursen *et al*., 2013). در مطالعه یار احمدی و همکاران (Yarahmadi *et al*., 2016) اثرات تراکم‌های ذخیره‌سازی ۱۰، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در مترمکعب بر سلامت قزل‌آلای رنگین‌کمان ارزیابی شد. در تراکم‌های بالاتر، اسمولالیته و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل سرم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین با افزایش تراکم از ۱۰ به ۸۰ کیلوگرم در مترمکعب، فعالیت مکمل، آنتی‌پروتئاز و باکتری‌کشی، تیتر آنتی‌بادی و ایمونوگلوبولین M سرم کاهش یافت. پس تراکم بالا سبب تضعیف عملکردهای ایمنی در قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌شود. در مطالعه نورث و همکاران (North *et al*., 2006)، میزان بالاتر کورتیزول و فعالیت پایین‌تر لایزوزیم در تراکم ذخیره‌سازی ۱۰ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده گردید و سلطه‌جویی بیشتر در این تراکم نشان داد که تراکم پایین نیز مانند تراکم بالا می‌تواند بر آسایش قزل‌آلای رنگین‌کمان اثرات منفی داشته باشد (Hoseini *et al*., 2020a; Hoseini *et al*., 2020b; Hoseini *et al*., 2020c). بنابراین تعیین تراکم مطلوب پرورش جهت بهبود عملکرد رشد و وضعیت ایمنی و در نهایت افزایش بازده تولید ماهی و سودآوری ضروری است. از این رو در مطالعه حاضر اثرات تراکم‌های مختلف پرورش (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم ماهی در مترمکعب آب) بر عملکرد رشد، بازماندگی، پاسخ‌های استرسی و ایمنی و وضعیت متابولیک در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بررسی گردید.

۲ | مواد و روش‌ها

مجموع ۱۳۵۰ بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزن اولیه ۱/۵±۳۰ گرم تهیه شد و به مزرعه پرورش ماهی خصوصی (مازندران، ایران) منتقل و به‌مدت ۱۰ روز با شرایط آزمایش سازگار شدند. سپس بچه‌ماهیان به‌صورت تصادفی در ۱۲ تانک فایبرگلاس (۹۰ لیتر حجم آبگیری اولیه) توزیع شده و بر اساس تراکم پرورش (کیلوگرم ماهی در مترمکعب آب) به ۴ گروه آزمایشی شامل تراکم‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب تقسیم شدند. انتخاب این تیمارها براساس مطالعات پیشین در این گونه انجام شد (Hosseini *et al*., 2020c; Naderi *et al*., 2019). هر گروه دارای سه تکرار بود. پرورش و تغذیه ماهیان تا حد سیری، به‌صورت دستی و سه بار در روز (۸:۳۰، ۱۳:۰۰ و ۱۶:۳۰) به‌مدت ۶۰ روز انجام شد. طی دوره‌های سازگاری و آزمایش، ماهیان با جیره تجاری قزل‌آلای رنگین‌کمان حاوی ۴۵ درصد پروتئین، ۱۷ درصد چربی، ۹ درصد خاکستر و ۲۲/۸ مگاژول انرژی در کیلوگرم جیره (خوراک EXG1، شرکت کیمیاگران تغذیه، شهرکرد، ایران) تغذیه می‌شدند. برای محاسبه غذاگیری ماهیان میزان غذای مصرفی به‌طور روزانه ثبت می‌شد. همچنین غذای خورده نشده یک ساعت بعد از هر وعده غذایی جمع‌آوری شده و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد و سپس وزن گردید. بعد از ۲۰ و ۴۰ روز پرورش جهت نگهداری تراکم (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم ماهی در مترمکعب آب در گروه‌های مختلف آزمایش)، ماهیان هر تانک وزن شده و تراکم با افزایش حجم آب تانک تنظیم شد (Naderi *et al*., 2019). جریان آب یک لیتر در دقیقه به‌ازای هر کیلوگرم وزن توده زنده برای ماهیان تأمین شد. شاخص‌های کیفیت آب طی دوره آزمایش به‌صورت یک روز در میان ثبت شد. دمای آب ۱/۲ ± ۱۳/۳ درجه سانتی‌گراد، اکسیژن محلول ۰/۳ ± ۷/۴ میلی‌گرم در لیتر و pH ۰/۲ ± ۷/۵ بود. غلظت آمونیاک یونیزه نشده NH_3 کمتر از ۰/۰۳ میلی‌گرم در لیتر ثبت گردید. دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی استفاده شد. بعد از ۶۰ روز پرورش، ماهیان هر تانک به‌منظور بررسی عملکرد رشد وزن شدند.

بعد از ۶۰ روز پرورش و قبل از نمونه‌گیری، غذادهی به‌مدت ۲۴ ساعت قطع شد، سپس ماهیان با پودر گل میخک (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر آب) بیهوش شده و خون‌گیری انجام شد. نمونه‌های خون از ۶ ماهی از هر تانک (تکرار) و با استفاده از سرنگ از ساقه دمی گرفته شد. نمونه‌گیری به‌منظور اجتناب از افزایش کورتیزول ناشی از دستکاری در زمانی کمتر از ۱ دقیقه صورت گرفت. نمونه‌های خون به‌مدت ۲۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ g سانتریفیوژ (مدل 5417R، شرکت Eppendorf، هامبورگ، آلمان) و سرم تهیه شد و تا زمان انجام سنجش‌های آزمایشگاهی در فریزر ۸۰-درجه‌سانتی‌گراد ذخیره گردید (Hassanpour *et al*., 2017).

سطوح کورتیزول سرم به روش ELISA و با استفاده از کیت تجاری

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-08-30]
[DOI: 10.22034/jair.10.4.4]

(Monobind، Lake Forest، آمریکا) اندازه‌گیری شد. محتوای گلوکز سرم با استفاده از کیت تجاری (پارس آزمون، کرج، ایران) و محتوای لاکتات سرم با استفاده از کیت تجاری (Biorex Diagnostics، Antrim، انگلستان) و طبق دستور شرکت سازنده اندازه‌گیری شدند. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل سرم با استفاده از کیت آزمایشگاهی (ZellBio، Veltlinerweg، آلمان) و طبق روش کیت تعیین شد. اسمولالیته سرم نیز با دستگاه اسمومتر (Roebling Nr. 9610003. Type 13، آلمان) سنجش گردید (Hassanpour *et al*., 2017).

فعالیت لایزوزیم سرم به روش کدورت سنجی (Turbidimetry) بر پایه لیز شدن باکتری حساس به لایزوزیم، *Micrococcus luteus* (سیگما، St. Louis، آمریکا)، اندازه‌گیری شد (Ellis, 1990). فعالیت مکمل (ACH50) سرم به روش (Sunyer and Tort, 1995) اندازه‌گیری شد. حجمی از سرم که سبب ۵۰ درصد همولیز می‌شود اندازه‌گیری شده و تعداد واحدهای ACH50 در میلی‌لیتر تعیین گردید. مقدار پروتئین کل و آلبومین سرم با استفاده از کیت‌های تجاری (پارس آزمون، کرج، ایران) و طبق روش شرکت سازنده اندازه گیری شد. میزان گلوبولین سرم با کم کردن آلبومین از پروتئین کل تعیین شد (Hassanpour *et al*., 2017).

فعالیت آنزیم‌های آلانین آمینوترانس‌فراز (ALT) و آسپارتات ترانس‌آمیناز (AST) در سرم با استفاده از کیت‌های تجاری (پارس آزمون، کرج، ایران) و با دستگاه آنالیزور بیوشیمیایی خودکار (BeckmanCoulter، آمریکا) اندازه‌گیری شد. میزان کلسترول، تری‌گلیسرید، لیپوپروتئین‌های با چگالی پایین (LDL) و لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا (HDL) در سرم نیز با استفاده از کیت‌های تجاری (پارس آزمون، کرج، ایران) و طبق روش شرکت سازنده تعیین گردید(Hassanpour *et al*., 2017).

داده‌ها به‌صورت انحراف معیار ± میانگین نشان داده شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس یک طرفه (One way ANOVA) و مقایسه میانگین گروه‌های آزمایشی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. نرم افزار SPSS-23 استفاده شد و سطح معنی‌داری قابل قبول در کلیه آزمون‌ها $p < ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد.

افزایش وزن = وزن نهایی (گرم) – وزن اولیه (گرم)

نرخ افزایش وزن (درصد) = (وزن نهایی (گرم) – وزن اولیه (گرم)) / وزن اولیه (گرم) × ۱۰۰

ضریب رشد ویژه (درصد بر روز) = (ln (وزن نهایی) – ln (وزن اولیه)) / روزهای پرورش × ۱۰۰

ضریب تبدیل غذا (گرم بر گرم) = غذای مصرفی (گرم) / افزایش وزن (گرم)

ضریب راندمان پروتئین (گرم بر گرم) = افزایش وزن (گرم) / پروتئین مصرفی

بازماندگی (درصد) = تعداد ماهیان در پایان دوره / تعداد ماهیان در آغاز دوره × ۱۰۰

۳ | نتایج

اثرات تراکم پرورش بر عملکرد رشد قزل‌آلای رنگین‌کمان در جدول ۳-۱ نشان داده شده است. بعد از ۶۰ روز پرورش، وزن نهایی، افزایش وزن و ضریب راندمان پروتئین در ماهیان پرورش‌یافته در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب نسبت به تراکم‌های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر و ضریب تبدیل غذا پایین‌تر بود. نرخ افزایش وزن، ضریب رشد ویژه و غذاگیری در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر از ماهیان پرورش‌یافته در بالاترین تراکم (۶۰ کیلوگرم در مترمکعب) بود، اما این شاخص‌ها تفاوت معنی‌داری را بین تراکم‌های ۴۵ و ۱۵ کیلوگرم در مترمکعب نشان نداد. بازماندگی ماهیان تفاوت معنی‌داری را میان تراکم‌های مختلف پرورش نشان نداد.

اثرات تراکم پرورش بر پاسخ‌های استرسی و ایمنی ماهیان در جدول ۳-۲ نشان داده شده است. بالاترین سطوح کورتیزول و لاکتات سرم در ماهیان پرورش‌یافته در بالاترین تراکم (۶۰ کیلوگرم در مترمکعب) مشاهده شد و پس از آن تراکم ۱۵ کیلوگرم در مترمکعب قرار داشت. پایین‌ترین سطوح کورتیزول و لاکتات در تراکم ۳۰ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد اما با تراکم ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب تفاوت معنی‌داری نداشت. سطح گلوکز سرم تفاوت معنی‌داری را میان تراکم‌های مختلف پرورش نشان نداد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر بود، سپس تراکم ۱۵ کیلوگرم در مترمکعب و کمترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در تراکم ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد. همچنین کمترین مقدار اسمولالیته سرم در ماهیان پرورش‌یافته در بالاترین تراکم مشاهده گردید.

فعالیت لایزوزیم و فعالیت مکمل سرم در تراکم ۳۰ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر از تراکم‌های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب بود. همچنین فعالیت مکمل در ماهیان پرورش‌یافته در تراکم‌های ۴۵ و ۱۵ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر از تراکم ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب بود. میزان گلوبولین سرم در ماهیان پرورش‌یافته در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر از تراکم ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب بود.

اثرات تراکم پرورش بر آنزیم‌ها و متابولیت‌های سرم ماهیان در جدول ۳-۳ نشان داده شده است. بالاترین میزان فعالیت ALT سرم در ماهیان پرورش‌یافته در بالاترین تراکم (۶۰ کیلوگرم در مترمکعب) مشاهده شد. همچنین میزان فعالیت AST سرم در تراکم ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر از فعالیت این آنزیم در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب بود. میزان کلسترول و لیپوپروتئین‌های با چگالی کم (LDL) در سرم ماهیان پرورش‌یافته در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر بود، سپس تراکم ۱۵ کیلوگرم در مترمکعب و پایین‌ترین میزان در تراکم ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد. میزان لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا (HDL) در سرم در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر از تراکم ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب بود. علاوه‌بر این، پایین‌ترین میزان تری‌گلیسرید سرم در ماهیان پرورش‌یافته در بالاترین تراکم (۶۰ کیلوگرم در مترمکعب) مشاهده گردید.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-08-30]

[DOI: 10.22034/jair.10.4.4]

جدول ۳-۱ اثرات تراکم‌های مختلف پرورش بر عملکرد رشد قزل‌آلای رنگین‌کمان بعد از ۶۰ روز آزمایش (انحراف معیار ± میانگین)

گروه‌های آزمایش	تراکم ۱۵	تراکم ۳۰	تراکم ۴۵	تراکم ۶۰
تراکم ذخیره‌سازی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۱۵/۵۱ ± ۰/۳۵^{d}	۳۰/۷۶ ± ۱/۷۴^{c}	۴۵/۶۵ ± ۱/۴۴^{b}	۶۰/۷۳ ± ۱/۷۴^{a}
وزن اولیه (گرم)	۳۱/۰۳ ± ۰/۷۰	۳۰/۷۶ ± ۱/۷۴	۳۰/۴۳ ± ۰/۹۶	۳۰/۳۶ ± ۰/۸۷
وزن نهایی (گرم)	۹۷/۶۸ ± ۵/۹۹^{b}	۱۱۶/۲۲ ± ۵/۰۲^{a}	۱۰۸/۰۱ ± ۵/۱۴^{a}	۸۵/۳۳ ± ۵/۵۸^{c}
افزایش وزن (گرم)	۶۶/۶۴ ± ۵/۳۰^{b}	۸۵/۴۵ ± ۵/۵۶^{a}	۷۷/۵۷ ± ۵/۷۹^{a}	۵۴/۹۶ ± ۶/۲۵^{c}
نرخ افزایش وزن (درصد)	۲۱۴/۵۸ ± ۱۲/۴۴^{bc}	۲۷۸/۶۶ ± ۲۹/۳۵^{a}	۲۵۵/۳۸ ± ۲۵/۹۴^{ab}	۱۸۱/۴۳ ± ۲۵/۳۷^{c}
ضریب رشد ویژه (درصد بر روز)	۱/۹۰ ± ۰/۰۶^{bc}	۲/۲۱ ± ۰/۱۲^{a}	۲/۱۱ ± ۰/۱۱^{ab}	۱/۷۲ ± ۰/۱۴^{c}
غذاگیری (گرم به ازای ماهی)	۸۸/۶۷ ± ۴/۰۴^{b}	۱۰۰/۳۳ ± ۵/۵۰^{a}	۹۵/۶۷ ± ۶/۵۱^{ab}	۷۵/۶۶ ± ۴/۰۴^{c}
ضریب تبدیل غذا (گرم بر گرم)	۱/۳۳ ± ۰/۰۵^{a}	۱/۱۷ ± ۰/۰۱^{b}	۱/۲۳ ± ۰/۰۲^{b}	۱/۳۸ ± ۰/۰۸^{a}
ضریب راندمان پروتئین (گرم بر گرم)	۱/۶۶ ± ۰/۰۶^{b}	۱/۸۹ ± ۰/۰۲^{a}	۱/۸۰ ± ۰/۰۲^{a}	۱/۶۱ ± ۰/۰۹^{b}
بازماندگی (درصد)	۹۷/۷۷ ± ۲/۲۲	۹۸/۱۴ ± ۱/۶۹	۹۷/۷۷ ± ۱/۴۸	۹۶/۶۶ ± ۲/۰۱

میانگین گروه‌های آزمایشی با حروف متفاوت در هر سطر دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($p < ۰/۰۵$).

جدول ۳-۲ اثرات تراکم‌های مختلف پرورش بر پاسخ‌های استرسی و ایمنی قزل‌آلای رنگین‌کمان بعد از ۶۰ روز آزمایش (انحراف معیار ± میانگین)

گروه‌های آزمایش	تراکم ۱۵	تراکم ۳۰	تراکم ۴۵	تراکم ۶۰
تراکم پرورش (کیلوگرم بر مترمکعب)	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰
کورتیزول (نانوگرم بر میلی‌لیتر)	۲۵/۶۳ ± ۷/۵۸^{b}	۱۱/۰۳ ± ۳/۸۶^{c}	۱۸/۱۶ ± ۴/۴۰^{bc}	۳۹/۸۳ ± ۵/۳۱^{a}
گلوکز (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۸۸/۹۳ ± ۷/۶۱	۷۴/۵۶ ± ۱۱/۳۸	۷۹/۴۰ ± ۷/۲۰	۹۴/۹۶ ± ۵/۸۹
لاکتات (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۱۵/۶۳ ± ۳/۵۹^{b}	۸/۰۶ ± ۱/۹۸^{c}	۱۱/۳۶ ± ۳/۰۳^{bc}	۲۲/۹۳ ± ۴/۱۵^{a}
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (میکرومول بر لیتر)	۱۲۵/۹۶ ± ۵/۲۳^{b}	۱۴۴/۷۶ ± ۶/۵۳^{a}	۱۳۹/۳۶ ± ۶/۱۶^{a}	۱۰۲/۶۰ ± ۵/۶۱^{c}
اسمولالیته (میلی‌اسمول بر کیلوگرم)	۳۵۲/۳۳ ± ۶/۰۲^{a}	۳۶۶/۰۰ ± ۸/۸۸^{a}	۳۶۱/۰۰ ± ۸/۸۹^{a}	۳۱۶/۰۰ ± ۱۲/۵۲^{b}
فعالیت لایزوزیم (واحد بر میلی‌لیتر)	۱۶/۳۰ ± ۲/۱۶^{b}	۳۳/۷۶ ± ۸/۳۷^{a}	۲۴/۹۰ ± ۳/۰۵^{ab}	۱۵/۶۳ ± ۳/۱۳^{b}
فعالیت مکمل ACH50 (واحد بر میلی‌لیتر)	۱۲۱/۶۷ ± ۱۰/۵۹^{b}	۱۴۲/۸۶ ± ۶/۹۵^{a}	۱۳۳/۱۰ ± ۶/۰۲^{ab}	۱۰۵/۶۰ ± ۷/۱۱^{c}
پروتئین کل (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	۳۳/۲۳ ± ۲/۳۰	۳۴/۵۳ ± ۱/۶۵	۳۴/۱۳ ± ۱/۳۳	۳۲/۱۰ ± ۱/۹۵
آلبومین (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	۲۱/۴۳ ± ۲/۴۰	۱۸/۹۶ ± ۱/۷۰	۱۹/۸۰ ± ۱/۲۰	۲۲/۳۶ ± ۱/۶۵
گلوبولین (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	۱۱/۸۰ ± ۲/۵۵^{bc}	۱۵/۵۶ ± ۰/۵۵^{a}	۱۴/۳۳ ± ۰/۵۷^{ab}	۹/۷۳ ± ۰/۳۲^{c}

میانگین گروه‌های آزمایشی با حروف متفاوت در هر سطر دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($p < ۰/۰۵$).

جدول ۳-۳ اثرات تراکم‌های مختلف پرورش بر آنزیم‌ها و متابولیت‌های سرم قزل‌آلای رنگین‌کمان بعد از ۶۰ روز آزمایش (انحراف معیار ± میانگین)

گروه‌های آزمایش	تراکم ۱۵	تراکم ۳۰	تراکم ۴۵	تراکم ۶۰
ALT (U بر لیتر)	۶/۴۶ ± ۱/۷۱^{b}	۴/۵۳ ± ۰/۵۸^{b}	۵/۸۰ ± ۱/۲۱^{b}	۹/۷۳ ± ۲/۲۰^{a}
AST (U بر لیتر)	۲۰۶/۶۷ ± ۱۴/۰۴^{ab}	۱۸۵/۶۶ ± ۱۶/۰۱^{b}	۱۹۱/۰۰ ± ۱۳/۵۳^{b}	۲۳۱/۰۰ ± ۱۶/۵۲^{a}
کلسترول (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۲۹۸/۵۰ ± ۱۴/۰۸^{b}	۳۴۳/۱۶ ± ۱۲/۳۵^{a}	۳۲۶/۸۳ ± ۸/۵۱^{a}	۲۷۴/۲۰ ± ۵/۳۰^{c}
LDL (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۱۰۲/۹۳ ± ۶/۶۴^{b}	۱۲۴/۵۳ ± ۵/۵۰^{a}	۱۲۵/۳۴ ± ۸/۰۸^{a}	۸۵/۱۳ ± ۱۰/۶۷^{c}
HDL (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۷۵/۸۳ ± ۶/۲۵^{bc}	۹۵/۰۶ ± ۸/۸۱^{a}	۸۴/۶۳ ± ۷/۵۸^{ab}	۶۲/۱۰ ± ۶/۳۹^{c}
تری‌گلیسرید (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۲۵۳/۷۶ ± ۵/۸۸^{b}	۲۶۷/۳۰ ± ۴/۴۵^{a}	۲۶۱/۵۶ ± ۶/۸۶^{ab}	۲۴۱/۱۶ ± ۴/۳۱^{c}

میانگین گروه‌های آزمایشی با حروف متفاوت در هر سطر دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($p < ۰/۰۵$).

۴ | بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بعد از ۶۰ روز پرورش، وزن نهایی، افزایش وزن و ضریب راندمان پروتئین در ماهیان پرورش‌یافته در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب نسبت به تراکم‌های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر و ضریب تبدیل غذا پایین‌تر بود. همچنین نرخ افزایش وزن، ضریب رشد ویژه و غذاگیری در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر از ماهیان پرورش‌یافته در بالاترین تراکم بود. بنابراین تراکم پرورش بالا (۶۰ کیلوگرم در مترمکعب) به عنوان یک استرس مزمن عملکرد رشد ماهی را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج مشابه در قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورش‌یافته در تراکم بالا گزارش شده است (Naderi *et al*., 2017; Cristina *et al*., 2007). همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد رشد نامطلوب در ماهیان پرورش‌یافته در بالاترین تراکم با کاهش غذاگیری مرتبط است (Küçükbay *et al*., 2009; Naderi *et al*., 2017).

به‌طور جالب توجه، ضریب تبدیل غذا در ماهیان پرورش‌یافته در تراکم ۱۵ کیلوگرم در مترمکعب نسبت به تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-08-30]

[DOI: 10.22034/jair.10.4.4]

در مترمکعب بالاتر بود. این افزایش در ضریب تبدیل غذا می‌تواند ناشی از رفتار تهاجمی و سلطه‌جویی در شرایط تراکم پرورش خیلی پایین باشد. لارسن و همکاران (Laursen *et al*., 2013) مشاهده کردند که ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورش‌یافته در پایین‌ترین تراکم (۲۵ کیلوگرم در مترمکعب)، فضا و شانس بروز رفتار سلطه‌جویی طبیعی خود را دارند که سبب افزایش مصرف انرژی در ماهی می‌گردد. بنابراین در مطالعه حاضر، بروز رفتار تهاجمی و سلطه‌جویی بیشتر در تراکم ۱۵ کیلوگرم در مترمکعب نشان داد که تراکم پرورش خیلی پایین نیز مانند تراکم پرورش بالا می‌تواند بر عملکرد قزل‌آلای رنگین‌کمان اثرات منفی داشته باشد (Laursen *et al*., 2013; North *et al*., 2006).

اطلاعات حاصل از شاخص‌های بیوشیمیایی خون مانند سطوح کورتیزول، گلوکز، لاکتات، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و اسمولالیته برای بررسی سطح استرس در ماهیان پرورشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بالاترین سطوح کورتیزول و لاکتات سرم در ماهیان پرورش‌یافته در بالاترین تراکم (۶۰ کیلوگرم در مترمکعب) مشاهده شد و پس از آن تراکم ۱۵ کیلوگرم در مترمکعب قرار داشت که نشان‌دهنده وجود استرس در تراکم پرورش بالا و تراکم خیلی پایین می‌باشد. در مطالعه یار احمدی و همکاران (Yarahmadi *et al*., 2016) نیز سطوح کورتیزول و لاکتات سرم در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورش‌یافته در تراکم‌های ذخیره‌سازی بالاتر (۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در مترمکعب) به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. در شرایط استرس، بالا رفتن سطح لاکتات سرم به دلیل افزایش میزان کتکولامین‌های سرم و ایجاد شرایط بی‌هوازی در بافت ماهیچه ماهیان، قابل پیش‌بینی است (Fabbri, Capuzzo, & Moon, 1998). در مطالعه Yousefi و همکاران (۲۰۱۶)، بعد از ۴۵ روز پرورش، ضریب تبدیل غذا و سطوح گلوکز و پروتئین کل سرم در تراکم بالا (۳۰ کیلوگرم در مترمکعب) نسبت به تراکم پایین (۱۰ کیلوگرم در مترمکعب) به‌طور معنی‌داری بالاتر و فعالیت لایزوزیم سرم پایین‌تر بود. همچنین در مطالعه نورث و همکاران (North *et al*., 2006)، میزان بالاتر کورتیزول و فعالیت پایین‌تر لایزوزیم در تراکم ذخیره‌سازی خیلی پایین (۱۰ کیلوگرم در مترمکعب) به‌علت بروز رفتار تهاجمی و سلطه‌جویی بیشتر ماهیان مشاهده گردید. در مطالعه حاضر مدت نگهداری و پرورش ماهیان ۶۰ روز بود و جریان آب یک لیتر در دقیقه به‌ازای هر کیلوگرم وزن توده زنده برای ماهیان تأمین شد. عواملی مانند سن و اندازه ماهی، مدت زمان پرورش، شرایط پرورش و همچنین میزان تراکم‌هایی که در آزمایش‌های مختلف با هم مقایسه می‌شوند بر نتایج اثرگذار هستند. بنابراین تراکم خیلی پایین نیز مانند تراکم بالا می‌تواند بر پاسخ‌های استرسی، آسایش و عملکرد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان اثرات منفی داشته باشد. در مطالعه حاضر، پایین‌ترین سطوح کورتیزول و لاکتات در ماهیان پرورش‌یافته در تراکم ۳۰ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد که با تراکم ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب تفاوت معنی‌داری نداشت. بنابراین تراکم‌های پرورش متوسط (۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب) برای پرورش قزل‌آلای رنگین‌کمان منجر به بروز استرس کمتری می گردد. سطح گلوکز سرم تفاوت معنی‌داری را میان تراکم‌های مختلف پرورش نشان نداد. در مطالعه سوارز و همکاران (Suárez *et al*., 2015) نیز تفاوت معنی‌داری در میزان گلوکز خون بین ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورش‌یافته در تراکم‌های پایین و بالا مشاهده نشد.

در مطالعه حاضر، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل سرم در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر بود، سپس تراکم ۱۵ کیلوگرم در مترمکعب و کمترین میزان در تراکم ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد. به‌طور مشابه، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل سرم در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورش‌یافته در تراکم ۸۰ کیلوگرم در مترمکعب پس از ۳۰ روز پرورش کاهش یافت (Yarahmadi *et al*., 2016). از آنجایی که تولید رادیکال‌های آزاد در شرایط استرس افزایش پیدا می‌کند، کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ماهیان پرورش‌یافته در تراکم‌های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب می‌تواند به علت استفاده از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی جهت حذف رادیکال‌های آزاد تولید شده در سلول‌ها و بافت‌ها به‌دلیل استرس اکسیداتیو باشد (Küçükbay *et al*., 2009; Naderi *et al*., 2019). دلیل دیگر کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ممکن است به‌علت سرکوب سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی ماهیان در شرایط استرس باشد (Braun *et al*., 2010). در این مطالعه، کمترین مقدار اسمولالیته سرم در ماهیان پرورش‌یافته در بالاترین تراکم (۶۰ کیلوگرم در مترمکعب) مشاهده گردید. این مشاهده با مطالعات قبلی همخوانی دارد که کاهش اسمولالیته سرم قزل‌آلای رنگین‌کمان را در تراکم‌های پرورش بالا گزارش کرده‌اند (Naderi *et al*., 2017; Yarahmadi *et al*., 2016).

لایزوزیم در بافت لنفوئیدی، موکوس، پلاسما و سایر مایعات بدن ماهیان وجود دارد و موجب تخریب باکتری‌ها می‌شود (Saurabh and Sahoo, 2008). تعیین فعالیت مکمل سرم نیز شاخص مناسبی از توانایی ایمنی ماهیان در مطالعات استرس می‌باشد (Tort *et al*., 1996). در این مطالعه، فعالیت لایزوزیم سرم در ماهیان پرورش‌یافته در تراکم‌های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از تراکم ۳۰ کیلوگرم در مترمکعب بود و این کاهش مرتبط با افزایش سطوح کورتیزول سرم در این گروه‌ها بود. همچنین فعالیت مکمل سرم در ماهیان پرورش‌یافته در تراکم ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری پایین‌تر بود. بنابراین تراکم پرورش بالا به عنوان یک استرس مزمن می‌تواند پاسخ‌های ایمنی ماهی را سرکوب نماید (Naderi *et al*., 2019; Yarahmadi *et al*., 2016).

مقادیر پروتئین کل و آلبومین سرم تفاوت معنی‌داری را میان تراکم‌های مختلف پرورش نشان نداد. میزان گلوبولین سرم در ماهیان پرورش‌یافته در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر از تراکم ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب بود. در مطالعه نادری و همکاران (Naderi *et al*., 2017) نیز تفاوت معنی‌داری در سطوح پروتئین کل سرم میان گروه‌های آزمایشی وجود نداشت، در حالی‌که در ماهیان پرورش‌یافته در تراکم ذخیره‌سازی بالاتر (۸۰ کیلوگرم در مترمکعب) نسبت به تراکم ذخیره‌سازی پایین‌تر (۲۰

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-08-30]
[DOI: 10.22034/jair.10.4.4]

کیلوگرم در مترمکعب) میزان آلبومین سرم بالاتر و سطح گلوبولین سرم پایین‌تر بود.

فعالیت ALT و AST سرم می‌تواند به‌عنوان شاخص عمومی عملکرد کبد و جهت ارزیابی وضعیت سلامت ماهیان استفاده شود زیرا افزایش تراوش‌پذیری سلول‌های کبدی آسیب دیده موجب ترشح این آنزیم‌ها به داخل خون می‌شود (Suárez *et al*., 2015). بالاترین میزان فعالیت ALT سرم در ماهیان پرورش‌یافته در بالاترین تراکم (۶۰ کیلوگرم در مترمکعب) مشاهده شد. همچنین میزان فعالیت AST سرم در تراکم ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر از فعالیت این آنزیم در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب بود. افزایش فعالیت این آنزیم‌ها می‌تواند به دلیل شرایط استرس ناشی از تراکم پرورش بالا باشد. این نتایج نشان می‌دهد که استرس مزمن تراکم ممکن است اثرات مضری بر عملکرد کبد داشته باشد.

میزان کلسترول و لیپوپروتئین‌های با چگالی کم (LDL) در سرم ماهیان پرورش‌یافته در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور معنی‌داری بالاتر بود، سپس تراکم ۱۵ کیلوگرم در مترمکعب و پایین‌ترین میزان در تراکم ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد. پایین‌ترین میزان تری‌گلیسرید سرم نیز در تراکم ۶۰ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده گردید. به‌طور مشابه، سوارز و همکاران (Suárez *et al*., 2015) مقادیر پایین‌تر کلسترول، LDL، HDL و تری‌گلیسرید را در قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورش‌یافته در تراکم بالا گزارش کرده‌اند. بنابراین ذخایر چربی در شرایط استرس مزمن به علت افزایش نیاز به انرژی مصرف شده و کاهش می‌یابد، زیرا چربی ذخیره اصلی انرژی در بیشتر ماهیان است (Lupatsch *et al*., 2010).

در مطالعه حاضر، بروز رفتار تهاجمی و سلطه‌جویی بیشتر در ماهیان پرورش‌یافته در تراکم ۱۵ کیلوگرم در مترمکعب نشان داد که تراکم پرورش خیلی پایین نیز مانند تراکم پرورش بالا (۶۰ کیلوگرم در مترمکعب) می‌تواند بر عملکرد رشد، استفاده از غذا، پاسخ‌های استرسی، ایمنی و متابولیک، آسایش و وضعیت سلامت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان اثرات منفی داشته باشد. بنابراین تراکم‌های متوسط مورد استفاده در این مطالعه، ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مترمکعب برای پرورش این گونه توصیه می‌گردد.

پست الکترونیک نویسندگان

امیر پرویز سلاطی: salatia@gmail.com
نبی‌الله خون میرزایی: nabi.mirza@gmail.com
علی شهریاری: a.shahriari@scu.ac.ir

REFERENCES

Andrade T., Afonso A., Pérez-Jiménez A., Oliva-Teles A., de las Heras V., Mancera J.M., Costas B. 2015. Evaluation of different stocking densities in a Senegalese sole (*Solea senegalensis*) farm: implications for growth, humoral immune parameters and oxidative status. Aquaculture, 438: 6-11 .

Barton B.A. 2002. Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. Integrative and comparative biology, 42(3): 517-525 .

Braun N., de Lima R.L., Baldisserotto B., Dafre A.L., de Oliveira Nuñer A.P. 2010. Growth, biochemical and physiological responses of *Salminus brasiliensis* with different stocking densities and handling. Aquaculture, 301(1-4): 22-30 .

Ellis A.I. 1990. Lysozyme assays. Techniques in fish immunology, 1: 101-103 .

Fabbri E., Capuzzo A., Moon T.W. 1998. The role of circulating catecholamines in the regulation of fish metabolism: an overview. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology, 120(2): 177-192 .

Halliwell B., Gutteridge J.M. 2015. Free radicals in biology and medicine: Oxford University Press, USA.

Hasanpour S., Salati A.P., Falahatkar B., Azarm H.M. 2017. Effects of dietary green tea (Camellia sinensis L.) supplementation on growth performance, lipid metabolism, and antioxidant status in a sturgeon hybrid of Sterlet (*Huso huso* male x *Acipenser ruthenus* female) fed oxidized fish oil. Fish Physiology and Biochemistry 43(5): 1315-1323.

Hoseini S.M., Mirghaed A.T., Ghelichpour M., Pagheh E., Iri Y., Kor A. 2020a. Effects of dietary tryptophan supplementation and stocking density on growth performance and stress responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 519, 734908.

Hoseini S.M., Taheri Mirghaed A., Ghelichpour M. 2020b. Effects of dietary tryptophan levels and fish stocking density on immunological and antioxidant responses and bactericidal activity against Aeromonas hydrophila in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture Research, 51(4):1455-1463.

Hoseini S.M., Yousefi M., Mirghaed A.T., Paray B.A., Hoseinifar S.H., Van Doan H. 2020c. Effects of rearing density and dietary tryptophan supplementation on intestinal immune and antioxidant responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 528: 735537

Küçükbay F., Yazlak H., Karaca I., Sahin N., Tuzcu M., Cakmak M., Sahin K. 2009. The effects of dietary organic or inorganic selenium in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under crowding conditions. Aquaculture Nutrition, 15(6): 569-576 .

Laursen D.C., Larsen B.K., Skov P.V., Höglund E. 2015. Improved growth performance in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared at high densities is linked to increased energy retention. Aquaculture, 442: 69-73.

Laursen D.C., Silva P.I.M., Larsen B.K., Höglund E. 2013. High oxygen consumption rates and scale loss indicate elevated aggressive behaviour at low rearing density, while elevated brain serotonergic activity suggests chronic stress at high rearing densities in farmed rainbow trout. Physiology & Behavior, 122(0): 147-154.

Lupatsch I., Santos G., Schrama J., Verreth J. 2010. Effect of stocking density and feeding level on energy expenditure and stress responsiveness in European sea bass Dicentrarchus labrax. Aquaculture, 298(3): 245-250 .

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-08-30]

[DOI: 10.22034/jair.10.4.4]

Naderi M., Keyvanshokooh S., Ghaedi A., Salati A.P. 2019. Interactive effects of dietary Nano selenium and vitamin E on growth, haematology, innate immune responses, antioxidant status and muscle composition of rainbow trout under high rearing density. Aquaculture Nutrition, 25(5): 1156-1168.

Naderi M., Keyvanshokooh S., Salati A.P., Ghaedi A. 2017. Effects of chronic high stocking density on liver proteome of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fish physiology and biochemistry, 43(5):1373-1385.

Nardocci G., Navarro C., Cortés P.P., Imarai M., Montoya M., Valenzuela B., Fernández R. 2014. Neuroendocrine mechanisms for immune system regulation during stress in fish. Fish & shellfish immunology, 40(2): 531-538 .

North B.P., Turnbull J.F., Ellis T., Porter M.J., Migaud H., Bron J., Bromage N.R. 2006. The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 255(1-4): 466-479.

Peter M.S. 2013. Understanding the adaptive response in vertebrates: the phenomenon of ease and ease response during post-stress acclimation. General and comparative endocrinology, 181: 59-64 .

Saurabh S., Sahoo P. 2008. Lysozyme: an important defence molecule of fish innate immune system. Aquaculture Research, 39(3): 223-239 .

Suárez M., Trenzado C., García-Gallego M., Furné M., García-Mesa S., Domezain A., Sanz A. 2015. Interaction of dietary energy levels and culture density on growth performance and metabolic and oxidative status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquacultural Engineering, 67: 59-66 .

Sunyer J.O., Tort L. 1995. Natural hemolytic and bactericidal activities of sea bream *Sparus aurata* serum are effected by the alternative complement pathway. Veterinary Immunology and Immunopathology, 45(3): 333-345 .

Tort L. 2011. Stress and immune modulation in fish. Developmental & Comparative Immunology, 35(12): 1366-1375.

Tort L., Gómez E., Montero D., Sunyer J.O. 1996. Serum haemolytic and agglutinating activity as indicators of fish immunocompetence: their suitability in stress and dietary studies. Aquaculture International, 4(1): 31-41 .

Trenzado C.E., de la Higuera M., Morales A.E. 2007. Influence of dietary vitamins E and C and HUFA on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) performance under crowding conditions. Aquaculture, 263(1): 249-258 .

Trenzado C.E., Morales A.E., Palma J.M., de la Higuera M. 2009. Blood antioxidant defenses and hematological adjustments in crowded/uncrowded rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed on diets with different levels of antioxidant vitamins and HUFA. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 149(3): 440-447 .

Wedemeyer G. 1996. Physiology of fish in intensive culture systems: Springer Science & Business Media.

Wendelaar Bonga S.E. 1997. The stress response in fish. Physiological reviews, 77(3): 591-625.

Yarahmadi P., Miandare H.K., Fayaz S., Caipang C.M. 2016. Increased stocking density causes changes in expression of selected stress- and immune-related genes, humoral innate immune parameters and stress responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fish Shellfish Immunol, 48: 43-53.

Yousefi M., Paktinat M., Mahmoudi N., Perez-Jimenez A., Hoseini S.M. 2016. Serum biochemical and non-specific immune responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to dietary nucleotide and chronic stress. Fish Physiology and Biochemistry 42: 1417-1425.

نحوه استناد به این مقاله:

خون میرزایی ن.، سلاطی ا.پ.، شهریاری ع. ۱۴۰۱. اثرات تراکم‌های مختلف پرورش بر عملکرد رشد و پاسخ‌های استرسی، ایمنی و متابولیک در قزل‌آلای رنگین‌کمان. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی، (۴)۱۰: ۳۵-۲۸.
https://doi.org/10.22034/jair.10.4.4

Salati A.P., Khoonmirzae N., Shahriari A. 2023. Effects of different culture densities on growth performance and stress, immune, and metabolic responses in rainbow trout. Journal of Applied Ichthyological Research, 10(4): 28-35. https://doi.org/10.22034/jair.10.4.4

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-08-30]

[DOI: 10.22034/jair.10.4.4]

Effects of different culture densities on growth performance and stress, immune, and metabolic responses in rainbow trout

Nabiallah Khoonmirzae[1], Amir Parviz Salati[2], Ali Shahriari[3*]

[1]PhD student, Department of Basic Sciences, Faculty of Veterinary Medicine, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Khuzestan, Iran

[2] Associate Prof., Department of Fisheries, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Khuzestan, Iran

[3] Associate Prof., Department of Basic Sciences, Faculty of Veterinary Medicine, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Khuzestan, Iran

Type:

Original Research Paper

https://doi.org/10.22034/jair.10.4.4

Paper History:

Received: 23-09-2022
Accepted: 31-10- 2022

Corresponding author:

Shahriari A. Associate Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technologies, Khuzestan, Iran.

Email: a.shahriari@scu.ac.ir

Abstract

Determining the optimal culture density is necessary to improve fish performance and profitability. A total of 1350 rainbow trout with an average initial weight of 30±1.5 g were obtained. Then, the fish were randomly distributed in 12 fiberglass tanks and reared at densities of 15, 30, 45 and 60 kg/m^3 for 60 days. The final weight, weight gain, and protein efficiency ratio were significantly higher and the feed conversion ratio was lower in fish reared in densities of 30 and 45 kg compared to densities of 15 and 60 kg. The highest levels of serum cortisol and lactate were observed at the density of 60 kg, followed by the density of 15 kg, which indicates the presence of stress in high culture density and very low density. The activity of serum lysozyme in densities of 15 and 60 kg was significantly lower than the density of 30 kg. The lowest serum total antioxidant capacity value, osmolality, and complement activity (ACH50) and the highest serum ALT activity were observed in fish reared at the highest density. Serum globulin level was significantly higher and serum AST activity was lower at densities of 30 and 45 kg than the density of 60 kg. The lowest levels of serum cholesterol, low-density lipoproteins (LDL), high-density lipoproteins (HDL), and triglycerides were also observed at the density of 60 kg. The results showed that very low culture density, like high culture density, can have negative effects on the performance of rainbow trout. Therefore, medium densities (30 and 45 kg/m^3) are recommended for rearing of this species.

Keywords: Density, Biochemical index, Antioxidant defense, Rainbow trout

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-08-30]

[DOI: 10.22034/jair.10.4.4]