



Growth, Body Composition, and Fatty Acids Changes in Siberian Sturgeon during Starvation and Refeeding; Effect of Different Macronutrients Levels

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Babaei S.S.¹ PhD,
Abadian Kenari A.* PhD,
Hedayati M.² PhD,
Yazdani-Sadati M.A.³ PhD

How to cite this article

Babaei S S, Abadian Kenari A, Hedayati M, Yazdani-Sadati M A. Growth, Body Composition, and Fatty Acids Changes in Siberian Sturgeon during Starvation and Refeeding; Effect of Different Macronutrients Levels. Journal of Fisheries Science and Technology. 2018;7(3):175-184.

*Aquaculture Department, Natural Resources & Marine Sciences Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

¹Natural Resources & Environment Department, Agriculture Faculty, Shiraz University, Shiraz, Iran

²Cellular & Molecular Research Center, Research for Endocrine Sciences Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³Agricultural Research, Education & Extension Organization, Caspian Sea Sturgeon Institute, Rasht, Iran

*Correspondence

Address: Aquaculture Department, Marine Sciences Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
Phone: +98 (11) 44553101
Fax: +98 (11) 44553499
aabadian@modares.ac.ir

Article History

Received: December 16, 2017

Accepted: August 26, 2018

ePublished: September 22, 2018

ABSTRACT

Aims In this study, the effect of dietary macronutrient composition (two levels of protein 44% and 38% with two carbohydrate/fatty ratios of 1.4 and 3) was studied during starvation and re-feeding with the aim of achieving growth, body composition, and fatty acids in the body of Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869).

Materials & Methods This experimental study was carried out at the International sturgeon research institute in a completely randomized design. 360 fish (with an initial weight of 30±5g) were randomly distributed in 24 tanks of 500 liters (15 fish per tank) with a volume of 350-400 liters capacity. Fish were fed on 4 different diets; protein 38% - carbohydrate: lipid ratio 3 (LP-St), protein 44% - carbohydrate: lipid ratio 3 (HP-St), protein 38% - carbohydrate: lipid ratio 1.4 (LP-L) and protein 44% - carbohydrate: lipid ratio 1.4 (HP-L), respectively. The fish were fed apparent satiation for 3 weeks, then, starved for two weeks, and, then, re-fed for 5 weeks. The results were analyzed, using SPSS 22 software by multivariate analysis of variance and Duncan's test.

Findings Compensatory growth did not occur in any treatments. In the control group, the best growth was observed in HP-L, while after re-feeding, HP-St represented the best weight gain and feed conversion ratio

Conclusion The dietary composition has a significant effect on the SFA, MUFA, and PUFA fatty acids, while the two weeks of starvation slightly increase only MUFA and have no significant effect on other fatty acids.

Keywords Siberian sturgeon; Starvation; PUFA

CITATION LINKS

[1] The metabolism of the aestivating ... [2] Food deprivation and refeeding in Atlantic ... [3] Animal ... [4] Physiology and biochemistry of long-term fasting ... [5] Assessment and defense of solitary kangaroo rats under ... [6] Intermittent feeding in a migratory omnivore ... [7] Feed ration prior to slaughter - a potential tool ... [8] Effect of fasting on body composition and responses ... [9] Lack of compensatory growth response in gilthead ... [10] Metabolic responses to food deprivation and refeeding ... [11] Fasting and ... [12] Effects of starvation, refeeding, and ... [13] Biochemical composition during growth ... [14] Metabolic and hematological effects ... [15] Lipid mobilization during starvation in the ... [16] Effect of feeding and lack of food on the ... [17] Effect Rearing of sturgeon (*Acipenser baerii* ... [18] Nutrient requirements of warm water fishes ... [19] Combined effect of MAP and thyme essential oil on the ... [20] Studies on the nutrition of Siberian ... [21] Effects of dietary oxidized lipid and ... [22] Effects of dietary protein level on growth ... [23] Optimal dietary lipid level of silver barb ... [24] Plasma leptin and growth hormone levels ... [25] Effects of starvation and re-feeding on growth performance and content ... [26] Growth performance, feed utilization and body composition ... [27] Official methods of analysis of the AOAC ... [28] A simple method for the isolation and purification of ... [29] Official methods and recommended practices of the ... [30] Growth response, body composition, plasma metabolites, digestive and antioxidant enzymes activities of Siberian sturgeon ... [31] Effect of diet composition on growth performance, hepatic ... [32] Compensatory growth in sub-yearling Siberian ... [33] Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ... [34] Fat deposition and flesh quality in seawater ... [35] Metabolic adjustments during semi-aestivation of the marble swamp eel ... [36] Selective utilization of fatty acid as energy source ... [37] Fatty acid composition of *Coregonus muksun* Pallas ... [38] Effects of feeding, starvation, and refeeding on the ... [39] Biochemistry [40] The unsaturated and polyunsaturated fatty acids in health and ... [41] Specific distribution of fatty acids in marine ... [42] Changes in proximate and fatty acid composition of fillets from channel catfish during a two-year ...

رشد، ترکیب بدن و تغییرات اسیدهای چرب در تاسماهی سبیری در دوره گرسنگی و غذایی مجدد؛ اثر سطوح مختلف ماکرونوترینت

سیده صدیقه بابایی PhD

بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

عبدالمحمد عابدیان کناری * PhD

گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

مهدی هدایتی PhD

مرکز تحقیقات سلولی مولکولی، انستیتو تحقیقات علوم درون ریز، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

محمدعلی یزدانی ساداتی PhD

سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تاسماهیان، رشت، ایران

چکیده

اهداف: هدف این مطالعه، بررسی اثر ترکیب ماکرونوترینت جیره (دو سطح پروتئین ۴۴ و ۳۸٪ به همراه دو نسبت کربوهیدرات به چربی ۱/۴ و ۳) به منظور دستیابی به چگونگی تغییرات رشد، ترکیب بدن و اسیدهای چرب در بدن تاسماهی سبیری (*Acipenserbaerii*, Brandt, 1869) طی گرسنگی و غذایی مجدد بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه تجربی در مرکز تحقیقات بین‌المللی تاسماهیان دریای خزر با طرح کلی کاملاً تصادفی برنامه‌ریزی و اجرا شد. ۳۶۰ قطعه بچه تاسماهی سبیری (با وزن اولیه 3.0 ± 0.5 گرم)، به طور تصادفی در ۲۴ عدد تانک ۵۰۰ لیتری (۱۵ قطعه در هر تانک) (۱۵ عدد ماهی در هر تانک) با حجم آبگیری ۴۰۰-۳۵۰ لیتر توزیع شد. تاسماهیان با ۴ جیره پروتئین ۳۸٪- نسبت کربوهیدرات: چربی ۳ (LP-St)، پروتئین ۴۴٪- نسبت کربوهیدرات: چربی ۳ (HP-St)، پروتئین ۳۸٪- نسبت کربوهیدرات: چربی ۱/۴ (LP-L) و پروتئین ۴۴٪- نسبت کربوهیدرات: چربی ۱/۴ (HP-L) تغذیه شدند. بچه ماهیان به مدت ۳ هفته در حد سیری ظاهری تغذیه شدند، سپس دو هفته گرسنه مانده و مجدداً ۵ هفته غذایی شدند. نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS 22 و توسط آزمون تحلیل واریانس چندمتغیره و آزمون دانکن تحلیل شدند.

یافته‌ها: رشد جبرانی در هیچ کدام از تیمارها حاصل نشد. در گروه شاهد بهترین رشد در تیمار HP-L مشاهده شد، در حالی که بعد از غذایی مجدد تیمار HP-St بهترین افزایش وزن و ضریب تبدیل غذایی را داشت.

نتیجه‌گیری: ترکیب جیره بر اسیدهای چرب SFA، MUFA و PUFA تأثیر دارد، در حالی که اعمال دو هفته گرسنگی تنها باعث افزایش جزئی در ترکیب MUFA شده و بر دیگر اسیدهای چرب تأثیری ندارد.

کلیدواژه‌ها: تاسماهی سبیری، گرسنگی، PUFA

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۴

*نویسنده مسئول: aabedian@modares.ac.ir

مقدمه

ماهیان مانند همه موجودات خونسرد می‌توانند زمان زیادی را بدون غذا تحمل کنند و در بسیاری از گونه‌ها یک دوره بی‌غذایی یا کمبود غذا، بخشی از چرخه طبیعی زندگی‌شان است. بسیاری از گونه‌ها می‌توانند گرسنگی‌های طولانی‌مدت یا کوتاه‌مدت را به علت تغییرات آب و هوایی، تولیدمثل، مهاجرت و سایر موارد تحمل نمایند. این گونه‌ها مانند شش‌ماهی آفریقایی (*Protopterus dolloi*) و آزادماهی اطلس (*Salmo salar*) به خوبی برای جلوگیری از کاهش وزن و حفظ عملکرد طبیعی بدن در دوران محرومیت غذایی، سازگاری یافته‌اند [1, 2]. پرورش‌دهندگان اغلب به دلایل مختلف از جمله بهترکردن مشکلات کیفیت آب، مدیریت آسان تغذیه، کاهش استرس دست‌کاری و انتقال ماهی به

مسافت‌های دور، کاهش اثرات منفی شیوع بیماری، بی‌میلی ماهی به غذا، کاهش چربی بافت برای ماهیان بازاری و همچنین در راستای استراتژی کاهش هزینه غذا به همراه رشد مناسب، غذایی را محدود می‌کنند [3-8].

یکی از موارد مهمی که می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در بهینه‌سازی فعالیت‌های آبی‌پروری داشته باشد رشد جبرانی (compensatory growth یا catch-up growth) است. گاهی در نتایج آزمایشات گرسنگی، کمبود رشد جبرانی منجر به کاهش تولید آبی‌پروری و افزایش دوره پرورش می‌شود که نشان‌دهنده شکست جاندار در بازگشت به شرایط طبیعی است. بنابراین تأثیر شرایط تغذیه اولیه ماهی در پاسخ به گرسنگی کوتاه‌مدت و تغذیه مجدد و چگونگی مسیر پاسخگویی می‌تواند از آسیب‌های احتمالی به سلامت ماهی جلوگیری کرده و سبب تولید در آبی‌پروری شود [9].

در دوره‌های محرومیت غذایی، جانوران مکانیزم‌های رفتاری، فیزیولوژیک و ساختاری مختلفی را برای پوشش نیازهای متابولیک به کار می‌گیرند تا از منابع خود استفاده کنند که این موضوع شامل کاهش تحرک و فعالیت‌های متابولیک و اصلاح ظرفیت‌های متابولیک بافت می‌شود [10, 11]. تغییرات متابولیک در زمان گرسنگی به منظور سازگارش با شرایط، وابسته به گونه ماهی است به طوری که گونه‌های خاصی از پروتئین یا پروتئین و چربی استفاده می‌کنند، در حالی که برخی گونه‌ها در پروتئین بدن صرفه جویی کرده و ذخایر چربی یا گلیکوژن بدن را طی گرسنگی مصرف می‌نمایند. برای مثال، ماهیانی مانند قزل‌آلای رنگین‌کمان و ماهی طلایی ذخایر گلیکوژن را حفظ کرده و چربی یا پروتئین را مورد استفاده قرار می‌دهند. در مقابل برخی گونه‌ها مانند تیلپیا و آزاد، پروتئین و چربی را حفظ کرده و بخشی از ذخایر گلیکوژن آنها خالی می‌شود [12]. لذا تغییر در ذخایر چربی، پروتئین و گلیکوژن بدن قابل توجه خواهد بود.

یافته‌های مطالعات گرسنگی می‌توانند در تعیین مواد مغذی مهم‌تر و بنیادی‌تر به عنوان ذخایر انرژی و آنهایی که کاتابولیزه می‌شوند یا در مواجهه با محرومیت غذایی مصرف یا حفظ می‌شوند، کمک کنند. برخی اسیدهای چرب از جمله دوکوزا‌هگزانوئیک اسید (DHA)، ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) و آراشیدونیک اسید (ARA) باید به جیره اضافه شوند. این اسیدهای چرب غیراشباع بلندزنجیره (HUFA) به علت اینکه نرخ کاتابولیزم یا از دست رفتنشان پایین است، ترجیحاً در محرومیت حفظ می‌شوند [13]. گرسنگی بر ترکیب اسیدهای چرب بافت‌های بدن به خصوص کبد، ماهیچه و بافت چربی امعا و احشا تأثیر می‌گذارد. در مارماهی اروپایی، یک کاهش قابل ملاحظه در ۱۴:۰ در کبد و ماهیچه اتفاق می‌افتد، همچنین در کبد ۱۶:۱، ۱۸:۱ و ۲۰:۱ نیز کاهش می‌یابد اما ۲۰:۵، ۲۲:۴ و ۲۲:۵ افزایش پیدا می‌کند [14]. در قزل‌آلای رنگین‌کمان ترجیحاً اسیدهای چرب اشباع در ماهیچه و امعا و احشا مصرف می‌شوند اما در کبد تقریباً بدون تغییر باقی می‌مانند [15]. از طرف دیگر *زمال* و *الیور* مشاهده کردند که در گربه‌ماهی آفریقایی (*Clarias gariepinus*) گرسنه، تغییرات شدیدتری در ترکیب اسیدهای چرب کبد نسبت به ماهیچه ایجاد می‌شود، به طوری که مصرف ترجیحی در اسیدهای چرب ۱۴:۰ < ۹-۱۶:۱ و تمایل به حفظ اسیدچرب ۳-۲۲:۶N وجود دارد. این گونه مطالعات، اطلاعات مفیدی در رابطه با ارزیابی اسیدهای چرب مورد نیاز گونه و اهمیت آنها در جیره فراهم می‌آورد [16].

با اینکه تحقیقات مختلفی در زمینه گرسنگی و غذایی مجدد در

(پروتئین پایین [۳۸]%) - نسبت کربوهیدرات به چربی بالا [۳]؛ HP-St (پروتئین بالا [۴۴]%) - نسبت کربوهیدرات به چربی بالا [۳]؛ LP-L (پروتئین پایین [۳۸]%) - نسبت کربوهیدرات به چربی پایین [۱/۴] و HP-L (پروتئین بالا [۴۴]%) - نسبت کربوهیدرات به چربی پایین [۱/۴].

جدول ۱ اقلام و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی برای پرورش تاسماهی سبیری (اعداد بر حسب درصد هستند)

HP-L 44P16L22 C	LP-L 38P18L25 C	HP-St 44P10L30 C	LP-St 38P12L36 C	ترکیب جیره
۵۸/۸۶	۴۹/۳۰	۵۷/۱۰	۴۶/۲۴	پودر ماهی*
۱۷/۹۸	۲۱/۲۰	۳۲/۹۶	۳۹/۸۸	آرد گندم
۴/۳۵	۶/۲۲	۱/۷۴	۳/۲۲	روغن ماهی†
۴/۳۵	۶/۲۲	۱/۷۴	۳/۲۲	روغن آفتابگردان‡
۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	لیستین سویا§
۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	مونو کلسیم فسفات
۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	مخلوط معدنی¶
۱/۵۰	۱/۵۰	۱/۵۰	۱/۵۰	مخلوط ویتامینی
۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	ضد قارچ
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	آنتی اکسیدانت §§
۸/۱۹	۱۰/۷۹	۰/۱۷	۱/۱۶	فیلر ♦
۱/۵۰	۱/۵۰	۱/۵۰	۱/۵۰	بایندر ♠
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	جمع کل
ترکیب شیمیایی (وزن خشک)				
۵/۹±۰/۸	۵/۸±۰/۳	۵±۰/۹	۵/۰±۰/۱	رطوبت
۴۳/۹±۰/۵	۳۸/۲±۰/۳	۴۴/۱±۰/۳	۳۷/۹±۰/۴	پروتئین
۱۵/۷±۰/۹	۱۷/۵±۲/۱	۱۰/۰±۰/۷	۱۱/۵±۱/۱	چربی
۲۱/۹±۰/۴	۲۴/۹±۲/۸	۳۰/۲±۰/۸	۳۵/۹±۱/۴	کربوهیدرات
۱۲/۶±۰/۶	۱۳/۵±۰/۵	۱۰/۷±۰/۶	۹/۷±۰/۰۴	خاکستر
۱/۴	۱/۴	۳/۰	۳/۱	نسبت کربوهیدرات: چربی
۲۰/۳	۲۰/۲	۱۹/۶	۱۹/۷	انرژی (کیلوژول بر گرم وزن خشک)††

* پودر ماهی کیلکا (غذای دام و آبزیان مازندران [Manaqqa] و شرکت پارس کیلکا)؛ † روغن کیلکا (Manaqqa)؛ ‡ روغن آفتابگردان (شرکت لادن)؛ § لیستین سویا غنی شده با فسفاتیدیل کولین (شرکت بهپاک بهشهر)؛ ¶ مخلوط معدنی شامل (میلی گرم بر کیلوگرم): آهن ۶۰۰۰، مس ۶۰۰، منگنز ۵۰۰۰، روی ۱۰۰۰۰، ید ۶۰۰، سلنیوم ۲۰، کبالت ۱۰۰، کولین کلراید ۶۰۰۰ و کریر تا یک کیلوگرم است؛ || مخلوط ویتامینی شامل (واحد بر کیلوگرم): A (۱۰۰۰۰۰)، D3 (۴۰۰۰۰۰ واحد)، E (۵۰۰۰۰۰ میلی گرم)، K3 (۸۰۰۰۰ میلی گرم)، C (۳۰۰۰۰ میلی گرم)، B1 (۲۵۰۰۰ میلی گرم)، B2 (۴۰۰۰۰ میلی گرم)، B6 (۲۵۰۰۰ میلی گرم)، B9 (۱۰۰۰۰ میلی گرم)، B12 (۸۰۰۰ میلی گرم)، بیوتین (۱۵۰۰ میلی گرم)، نیاسین (۳۵۰۰۰ میلی گرم)، اینوزیتول (۵۰۰۰۰ میلی گرم) و کریر تا یک کیلوگرم است؛ §§ آنتی اکسیدانت (Gluba)؛ ♦ فرانسه؛ ♠ کربوکسی متیل سلولز (DAEJUNG، کره جنوبی)؛ †† آمت بایندر (شرکت Tiox، فرانسه)؛ ♦ کربوکسی متیل سلولز (DAEJUNG، کره جنوبی)؛ †† آمت بایندر (شرکت افزایش مهرتایان)؛ کربوهیدرات (%): (پروتئین + چربی + رطوبت) - ۱۰۰؛ †† انرژی براساس یک گرم پروتئین ۲۳/۶ کیلوژول، یک گرم چربی ۳۹/۵ کیلوژول و یک گرم کربوهیدرات ۱۷/۲ کیلوژول محاسبه شد [18]

ماهیان انجام شده، اما تا به حال مطالعه‌ای در خصوص بررسی اهمیت جیره‌های مختلف غذایی در قبل و بعد از گرسنگی صورت نگرفته است. در حالی که پیش از اعمال محرومیت غذایی در برنامه‌های آبی‌پروری، دانستن اینکه کدام رژیم غذایی قبل از گرسنگی و بعد از غذادهی مجدد برای تحریک رشد و سلامتی در ماهی مناسب‌تر است، بسیار مفید به نظر می‌رسد. بنابراین رابطه متقابل گرسنگی به همراه تغذیه از جیره‌های مختلف، اهمیت ماکرونوترینت‌ها را در شرایط محرومیت غذایی آشکار کرده و نشان می‌دهد چه نوع جیره‌ای می‌تواند جاندار را در زمان گرسنگی در شرایط پایداری نگه دارد. در ماهیان خاویاری به علت زمان زیاد و هزینه بالای پرورش، تحقیقات در زمینه دوره‌های گرسنگی و تغذیه آنها، اطلاعات پایه‌ای و مهمی را در راستای بهبود پرورش به همراه کاهش هزینه‌های تولید فراهم می‌کند.

هدف این مطالعه، بررسی اثر ترکیب ماکرونوترینت جیره (دو سطح پروتئین ۴۴ و ۳۸% به همراه دو نسبت کربوهیدرات به چربی ۱/۴ و ۳) به منظور دستیابی به چگونگی تغییرات رشد، ترکیب بدن و اسیدهای چرب در بدن تاسماهی سبیری (*Acipenser baerii*) (Brandt, 1869) طی گرسنگی و غذادهی مجدد بود.

مواد و روش‌ها

سیستم پرورش: این مطالعه تجربی در مرکز تحقیقات بین‌المللی تاسماهیان دریای خزر (گیلان) انجام شد. طرح کلی این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی برنامه‌ریزی و اجرا شد. به منظور انجام آزمایش، ۳۶۰ قطعه بچه تاسماهی سبیری (با وزن اولیه ۳۰±۵ گرم)، به طور تصادفی در ۲۴ عدد تانک مدور فایبرگلاس ۵۰۰ لیتری (۱۵ قطعه در هر تانک) مجهز به یک خروجی و یک ورودی جریان‌دار با حجم آبگیری ۳۵۰-۴۰۰ لیتر توزیع شدند. به منظور سازگاری با محیط آزمایش، ابتدا ماهیان به مدت یک هفته با جیره تجاری (بیومار؛ فرانسه) غذادهی شدند [17]. هر تانک با استفاده از یک سنگ هوا، هوادهی و دوره نوری در زمان انجام تحقیق به صورت طبیعی استفاده شد. هر روز تمامی تانک‌ها به منظور خروج ضایعات و مدفوع سیفون می‌شدند. غذادهی در حد اشباع و به صورت دستی در سه نوبت در شبانه‌روز (ساعات ۸:۳۰، ۱۵ و ۲۱:۳۰) انجام می‌گرفت. دما، اکسیژن محلول، pH، و دبی آب به ترتیب ۲۲/۵±۴، ۷/۱±۵ میلی گرم بر لیتر، ۸-۷ و ۴/۵±۰/۵ لیتر بر دقیقه اندازه‌گیری شد. ماهیان در دو گروه شاه و گرسنه قرار گرفتند.

این آزمایش شامل ۸ تیمار (۴ تیماردر گروه شاهد و ۴ تیماردر گروه گرسنه) و ۳ تکرار بود. هر ۴ تیماردر گروه شاهد و گرسنه از غذای مشابه شامل LP-St، HP-St، LP-L و HP-L تغذیه شدند. به طور کلی ۲۴ تانک برای تیمار و تکرارها در نظر گرفته شد که شامل ۱۵ قطعه ماهی در هر تکرار (به عبارتی ۴۵ قطعه در هر تیمار) بود.

تیمارها و جیره‌های آزمایشی: برای جیره غذایی بچه تاسماهی سبیری از دو سطح پروتئین به همراه دو نسبت کربوهیدرات به چربی (CHO:L) در دو سطح پایین (Low) و بالا (High) استفاده شد (جدول ۱) [18]. بدین ترتیب ۴ تیمار غذایی با انرژی یکسان (انرژی خالص ۱۹/۹±۰/۴ کیلوژول بر گرم وزن خشک) با سطوح مختلف پروتئین، چربی و کربوهیدرات، با استفاده از نرم‌افزار لیندو ۶.۱ تهیه شدند. جیره‌ها با توجه به نتایج مطالعات قبل روی گونه‌های مختلف ماهیان خاویاری در دو سطح پروتئین به همراه دو نسبت کربوهیدرات به چربی در دو سطح پایین و بالا تهیه شدند [19-22]. تیمارها به ترتیب زیر نام‌گذاری شدند: LP-St

کولموگرواف- اسمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفت. بعد از بررسی همگنی واریانس توسط آزمون لون، نتایج با آزمون تحلیل واریانس چندمتغیره مدل خطی تعمیم یافته (GLM) با ۳ فاکتور رژیم غذایی (گرسنگی و غذادهی کامل)، سطح پروتئین و نسبت کربوهیدرات به چربی در سطح احتمال ۵٪ تجزیه و تحلیل شدند. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون آماری دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد.

جدول ۲) میانگین آماری ترکیب اسیدهای چرب جیره‌های آزمایشی

اسیدهای چرب	LP-St	HP-St	LP-L	HP-L
C14:0	۱/۸±۰/۱	۲/۰±۰/۱	۱/۶±۰/۲	۱/۸±۰/۱
C16:0	۱۴/۴±۱/۴	۱۳/۹±۰/۸	۱۳/۸±۰/۵	۱۵/۳±۰/۰
C18:0	۳/۴±۱/۰	۲/۷±۱/۳	۳/۸±۰/۲	۳/۳±۱/۲
C20:0	۱/۱±۰/۱	۱/۳±۰/۱	۱/۲±۰/۰	۱/۲±۰/۰
Σ SFA	۲۰/۷±۲/۶	۱۹/۹±۲/۰	۲۰/۵±۰/۶	۲۱/۶±۱/۲
C14:1n-5	۰/۳۸±۰/۰۲	۰/۴۴±۰/۱۰	۰/۳۴±۰/۰۱	۰/۳۸±۰/۰۲
C16:1n-7	۳/۲±۰/۲	۳/۶±۰/۲	۳/۰±۰/۱	۳/۲±۰/۳
C18:1n-9	۲۹/۰±۰/۶	۲۹/۹±۰/۵	۲۹/۱±۰/۳	۲۹/۰±۰/۴
C22:1n-9	۱/۲±۰/۵	۱/۱±۰/۱	۱/۴±۰/۱	۱/۱±۰/۱
Σ MUFA	۳۳/۷±۰/۶	۳۴/۹±۰/۶	۳۳/۸±۰/۲	۳۳/۷±۰/۱
C18:2n-6	۲۲/۳±۰/۴	۱۷/۹±۰/۴	۲۴/۳±۰/۴	۲۱/۰±۰/۷
C18:3n-3	۱/۴±۰/۲	۱/۵±۰/۰	۱/۳±۰/۰	۱/۲±۰/۲
C20:2n-6	۰/۳±۰/۱	۰/۳±۰/۱	۰/۱±۰/۱	۰/۲±۰/۰
C20:3n-3	۰/۵±۰/۱	۰/۳±۰/۲	۰/۶±۰/۱	۰/۶±۰/۲
C20:4n-6	۰/۲±۰/۰	۰/۲±۰/۰	۰/۲±۰/۱	۰/۲±۰/۱
C20:5n-3	۳/۳±۰/۳	۳/۷±۰/۱	۳/۱±۰/۱	۳/۲±۰/۲
C22:6n-3	۱۲/۴±۰/۳	۱۵/۰±۰/۴	۱۱/۷±۰/۳	۱۲/۷±۰/۱
Σ HUFA	۱۶/۷±۰/۵	۱۹/۵±۰/۳	۱۵/۸±۰/۲	۱۷/۱±۰/۴
Σ PUFA	۴۰/۳±۰/۶	۳۹/۰±۰/۴	۴۱/۳±۰/۳	۳۹/۳±۰/۸
Σ n-3	۱۷/۶±۰/۲	۲۰/۵±۰/۳	۱۶/۷±۰/۲	۱۷/۸±۰/۲
Σ n-6	۲۲/۸±۰/۴	۱۸/۴±۰/۴	۲۴/۶±۰/۴	۲۱/۵±۰/۷
n-3/n-6	۰/۷۷±۰/۰۱	۱/۱۰±۰/۰۳	۰/۶۷±۰/۰۱	۰/۸۲±۰/۰۲
جمع کل	۹۴/۸±۱/۵	۹۳/۸±۱/۶	۹۵/۶±۰/۸	۹۴/۵±۱/۷

یافته‌ها

در عملکرد رشد و بازماندگی بچه‌تاسماهیان سبیری در تیمارهای مختلف، در هیچ یک از تیمارهای گرسنه، رشد جبرانی حاصل نشد (جدول ۳).

بیشترین وزن نهایی و کمترین FCR، در گروه شاهد و گرسنه به‌ترتیب مربوط به تیمار HP-L و HP-St بود ($p > 0.05$). تنها سطح پروتئین و اعمال شرایط گرسنگی بر پارامترهای رشد تاثیر معنی‌دار داشت و فاکتور نسبت $CHO:L$ به‌تنهایی اثر معنی‌داری در رشد تاسماهی سبیری اعمال نکرد. در پایان آزمایش میزان بازماندگی در همه تیمارها ۱۰۰٪ بود و مرگ‌ومیری مشاهده نشد (جدول ۴).

ترکیب شیمیایی بافت بدن در انتهای دوره پرورش (روز ۷۰) مشخص شد. ترکیب بدن بیشتر از شرایط غذایی (گرسنگی و غذادهی) تحت تاثیر ترکیب جیره قرار گرفت. به‌طور کلی بعد از ۱۰ هفته غذادهی در دو گروه شاهد و گرسنه، میزان خاکستر و رطوبت تغییرات چندانی در تیمارهای مختلف نداشت. درصد چربی بدن در گروه شاهد در پایان غذادهی، در دو تیمار با نسبت چربی بالاتر نسبت به دو تیمار با کربوهیدرات بالاتر، بیشتر بود در حالی که در گروه گرسنه هیچ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. محتوای پروتئین بدن در گروه شاهد در تیمار HP-St بیشترین و در گروه گرسنه در تیمار LP-L کمترین گزارش شد (جدول ۵).

آزمایش به‌صورت آزمون فاکتوریل $2 \times 2 \times 2$ با ۳ متغیر سطح پروتئین (۳۸ و ۴۴٪)، نسبت کربوهیدرات به چربی (۳ و ۱/۴) و رژیم غذایی (تغذیه کامل به‌عنوان شاهد و گرسنگی) انجام گرفت که مجموعاً ۸ تیمار به‌همراه ۳ تکرار بود. تیمارها به‌صورت طرح کاملاً تصادفی توزیع شدند. بچه‌ماهیان به‌مدت ۳ هفته با هر یک از تیمارهای غذایی تغذیه شدند، سپس ۲ هفته گرسنه مانده و مجدداً به‌مدت ۵ هفته تغذیه شدند. در کنار هر تیمار گرسنه یک تیمار به‌طور کامل به‌مدت ۱۰ هفته تغذیه شد. در انتهای دوره پرورش، ماهیان به‌صورت فردی روی ترازوی دیجیتال توزین شده و طول کل آنها نیز با استفاده از تخته زیست‌سنجی با دقت ۰/۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. درصد بقا، ضریب تبدیل غذا (FCR) و نرخ رشد ویژه (SGR) نیز اندازه‌گیری شد [23].

نمونه‌برداری: نمونه‌برداری در روزهای ۲۱ (انتهای ۳ هفته تغذیه)، ۳۵ (انتهای ۲ هفته گرسنگی) و ۷۰ (انتهای ۵ هفته غذادهی مجدد) انجام گرفت. در هر مرحله نمونه‌برداری، غذادهی بچه‌ماهیان به‌مدت ۲۴ ساعت قطع و سپس ۲ ماهی از هر تکرار (قطعه از هر تیمار) برداشت شد [24]. ماهیان با ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پودر گل میخک بیهوش [25] و سپس با ضربه محکم به سر کشته شدند [26]. بدن‌ها نیز به‌منظور ترکیب اسیدهای چرب به فریزر -20°C منتقل شدند.

آنالیز تقریبی عضله و جیره: ۲ قطعه ماهی از هر تکرار بعد از سرزنی، تخلیه شکمی و شست‌وشو با چرخ گوشت همگن شده و به‌منظور آنالیز بدن مورد سنجش قرار گرفتند [27]. میزان رطوبت با استفاده از آون D-63450 (Hanau؛ آلمان) در دمای 105°C و خاکستر با سوزاندن نمونه در کوره (Isuzu؛ ژاپن) دمای 550°C به‌مدت ۵ ساعت اندازه‌گیری شد. پروتئین کل با استفاده از دستگاه کلدال اتوماتیک Kjeltec™ 2300 (FOSS؛ دانمارک) با ضرب میزان نیتروژن به‌دست‌آمده در عدد ۶/۲۵ مورد محاسبه قرار گرفت. چربی کل نیز با استفاده از دستگاه سوکسله Soxtec 2050 (FOSS؛ دانمارک) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری چربی و پروفیل اسیدهای چرب: تعیین ترکیب اسیدچرب در دو مرحله شامل استخراج چربی و استری‌کردن چربی انجام شد [28, 29]. استخراج چربی با استفاده از متانول و کلروفرم، و استری‌کردن چربی با استفاده از سود متانولی ۲٪ و تری‌بورفلوراید (BF_3) انجام گرفت. بررسی و شناسایی اسیدهای چرب موجود در نمونه و جیره با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگراف (GC) فیلپس مجهز به ستون کاپیلاری از نوع BPX70 ($60\text{m} \times 0.32\text{mm ID} \times 0.25$) (Australia ;SGE) و آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID) و انجکتور مدل ۱۱۷۷ (فیلپس؛ هلند) انجام شد. دمای آشکارساز و محل تزریق به‌ترتیب روی 260°C و 240°C تنظیم شد. یک میکرولیتر از نمونه استری با استفاده از سرنگ میکرولیتری به دستگاه GC تزریق شد. در این روش از گاز هلیوم به‌عنوان گاز حامل، گاز هیدروژن به‌عنوان سوخت، ازت به‌عنوان گاز کمکی و هوای خشک استفاده شد. از مقایسه زمان بازداری کروماتوگرام‌های نمونه مجهول با کروماتوگرام‌های به‌دست‌آمده در محلول استاندارد، اسیدهای چرب موجود در نمونه شناسایی شد و نتایج به‌صورت درصد گزارش شد. نتایج مربوط به پروفیل اسید چرب ۴ جیره آزمایشی در جدول ۲ نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 و رسم نمودارها با برنامه Excel 2010 انجام شد. قبل از تجزیه و تحلیل، نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون

جدول ۳) میانگین آماری شاخص‌های رشد بچه‌تاسماهیان سیبری تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی در انتهای آزمایش

تیمارها	W ₀ (g) [‡]	FBW (g) [¶]	WG (g) [*]	SGR (% day ⁻¹) [♦]	FCR [§]	Survival (%) [†]
HP-L						
گرسنه	۲۹/۸±۰/۸	۱۶۹/۰±۷/۳ ^{ab}	۱۳۹/۰±۷/۰ ^{ab}	۲/۵±۰/۱	۱/۴±۰/۱ ^{ab}	۱۰۰
شاهد	۳۰/۰±۰/۴	۲۴۶/۰±۱۰/۰ ^A	۲۱۶/۰±۹/۰ ^A	۳/۰±۰/۰ ^{۴A}	۱/۱±۰/۰ ^{۵B}	۱۰۰
LP-L						
گرسنه	۳۰/۲±۰/۱	۱۶۵/۰±۱۲/۰ ^{ab}	۱۳۴/۰±۱۲/۰ ^{ab}	۲/۴±۰/۱	۱/۴±۰/۱ ^{ab}	۱۰۰
شاهد	۳۰/۷±۲/۱	۲۲۱/۰±۱۴/۰ ^B	۱۹۱/۰±۱۲/۰ ^B	۲/۸±۰/۰ ^{۳B}	۱/۳±۰/۱ ^A	۱۰۰
HP-St						
گرسنه	۳۰/۰±۰/۵	۱۸۲/۰±۷/۹ ^a	۱۵۲/۰±۸/۰ ^a	۲/۶±۰/۱	۱/۲±۰/۱ ^b	۱۰۰
شاهد	۳۰/۰±۱/۶	۲۳۸/۰±۹/۰ ^{AB}	۲۰۸/۰±۹/۰ ^{AB}	۳/۰±۰/۱ ^A	۱/۲±۰/۱ ^{AB}	۱۰۰
LP-St						
گرسنه	۲۹/۲±۰/۶	۱۵۸/۰±۱۰/۰ ^b	۱۲۹/۰±۱۱/۰ ^b	۲/۴±۰/۱	۱/۵±۰/۱ ^a	۱۰۰
شاهد	۲۹/۱±۱/۴	۲۳۵/۰±۰/۱۴ ^{AB}	۲۰۶/۰±۱۳/۰ ^{AB}	۳/۰±۰/۰ ^{۲A}	۱/۲±۰/۱ ^{AB}	۱۰۰

‡ W₀: وزن اولیه بدن؛ ¶ FBW: وزن انتهای؛ * WG: FBW (g) - W₀ (g)؛ ♦ SGR: [(Ln FBW - Ln W₀) / t] × 100, t = 70؛ § FCR: Dry feed consumed (g) / WG (g)؛ † Survival: درصد بازماندگی در انتهای دوره پرورش؛ حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین گروه‌های شاهد و حروف کوچک نشان‌دهنده معنی‌داری بین گروه‌های گرسنه است

جدول ۴) آنالیز واریانس اثر فاکتورهای مختلف (پروتئین، CHO:L و شرایط غذایی) بر شاخص‌های رشد بچه‌تاسماهی سیبری

فاکتورها	FCR	SGR	WG	FBW
پروتئین (P)	۰/۰۶*	۰/۰۷**	۱۱۲۵**	۱۱۲۳**
نسبت کربوهیدرات به چربی (CHO:L)	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۷۸ ^{ns}	۵۶ ^{ns}
شرایط غذایی (گرسنه، شاهد؛ condition)	۰/۱۴**	۱/۵۵**	۲۶۶۶**	۲۶۶۸**
P* CHO:L	۰ ^{ns}	۰ ^{ns}	۱۶ ^{ns}	۴/۰ ^{ns}
P* condition	۰ ^{ns}	۰ ^{ns}	۰ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}
CHO:L* condition	۰ ^{ns}	۰ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}
P*CHO:L*condition	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۳*	۶۳۶*	۶۱۴*
خطا (Error)	۰/۰۱	۰/۰۱	۱۰۷	۱۱۸

ns: غیرمعنی‌دار؛ * ۰/۰۵ < p < ۰/۰۱؛ ** ۰/۰۱ < p < ۰/۰۰۱

جدول ۵) میانگین آماری ترکیب بدن بچه‌تاسماهیان سیبری تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی در انتهای آزمایش

تیمارها	رطوبت	پروتئین	چربی	خاکستر
HP-L				
گرسنه	۷۲/۰±۰/۴	۵۳/۰±۲/۰ ^a	۴۰/۰±۴/۰	۶/۰±۰/۵
شاهد	۷۰/۰±۰/۹ ^B	۵۱/۰±۲/۰ ^B	۴۳/۰±۳/۰ ^A	۵/۰±۰/۱ ^A
LP-L				
گرسنه	۷۱/۰±۰/۵	۴۸/۰±۲/۰ ^b	۴۲/۰±۲/۰	۵/۰±۱/۰
شاهد	۷۱/۷±۱/۴ ^{AB}	۵۳/۰±۱/۰ ^{AB}	۴۰/۰±۱/۰ ^{AB}	۷/۰±۲/۰
HP-St				
گرسنه	۷۱/۰±۰/۵	۵۴/۰±۰/۱ ^a	۴۰/۰±۱/۰	۵/۰±۰/۱
شاهد	۷۱/۰±۰/۶ ^{AB}	۵۷/۰±۰/۲ ^A	۳۵/۰±۰/۳ ^B	۶/۰±۱/۰
LP-St				
گرسنه	۷۲/۰±۰/۴	۵۳/۰±۳/۰ ^a	۴۱/۰±۰/۱	۵/۰±۱/۰
شاهد	۷۲/۰±۰/۳ ^A	۵۲/۰±۲/۰ ^B	۳۶/۰±۲/۰	۵/۰±۰/۴

حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین گروه‌های شاهد و حروف کوچک نشان‌دهنده معنی‌داری بین گروه‌های گرسنه است

تیمار CHO:L پایین‌تر در هر دو گروه شاهد و گرسنه نسبت به تیمارهای دیگر بالاتر نشان داده شد. نسبت n3/n6 نیز در دوران گرسنگی مانند سه هفته اول غذاهای در تیمار HP-St بالاترین میزان را نشان داد.

بعد از ۵ هفته غذاهای مجدد در هر دو گروه (شاهد و گرسنه)، میزان SFA و MUFA در تیمار HP-St و LP-L به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان را نشان داد. در مقابل میزان PUFA در تیمار LP-L بالاترین و در HP-St کمترین میزان بود. همچنین نسبت n3/n6 نیز مجدداً در تیمار HP-St بالاترین سطح را نشان داد (۲/۱±۰/۲٪) و در تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری به لحاظ آماری وجود نداشت (p>۰/۰۵؛ جدول ۸).

پروتئین تاثیر معنی‌داری در ترکیب اسیدهای چرب بعد از گرسنگی

ترکیب اسیدهای چرب بچه‌ماهیان در هفته ۳، ۵ و ۱۰ نشان داده شد (جدول ۶، ۷ و ۸). در هفته سوم غذاهای در میزان اسیدهای چرب اشباع شده (SFA)، اسید چرب تک‌سیر نشده (MUFA)، اسیدهای چرب چندغیراشباع (PUFA) و HUFA بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (p>۰/۰۵)، تنها نسبت n3/n6 در تیمار HP-St بالاتر از تیمارهای دیگر نشان داده شد (جدول ۶).

دو هفته گرسنگی سبب تغییرات معنی‌داری در اسیدهای چرب SFA، MUFA، PUFA و HUFA نسبت به گروه شاهد نشد. تنها اسیدهای چرب MUFA در تیمار HP-L و LP-St نسبت به گروه شاهد افزایش اندکی یافتند که به‌علت افزایش در میزان اسیدچرب 18:1n-9+7 بود (جدول ۷). میزان اسیدچرب PUFA نیز در دو

نسبت کربوهیدرات به چربی بر میزان PUFA و نسبت n3/n6 معنی‌دار بود در حالی که تاثیر متقابل فاکتورهای مختلف در دوران غذایی مجدد معنی‌دار نبود (جدول ۹).

و غذادهی مجدد داشت، در حالی که CHO:L بر میزان MUFA و HUFA بعد از گرسنگی تاثیری نداشت ($p > 0.05$). گرسنگی نیز تاثیر معنی‌داری بر میزان MUFA داشت. تاثیر متقابل پروتئین و

جدول ۶) میانگین آماری ترکیب اسیدهای چرب بدن بچه‌تاسماهی سیبری تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی روز ۲۱ بعد از غذادهی

اسیدهای چرب	LP-St	HP-St	LP-L	HP-L
C14:0	۱/۹±۰/۱	۱/۹±۰/۱	۱/۷±۰/۲	۱/۸±۰/۱
C16:0	۱۴/۹±۰/۸	۱۴/۵±۰/۵	۱۳/۹±۱/۶	۱۴/۹±۰/۸
C18:0	۱/۹±۰/۱ ^c	۲/۳±۰/۰ ^b	۱/۹±۰/۲ ^c	۲/۷±۰/۲ ^a
C20:0	۲/۳±۰/۱	۱/۷±۰/۵	۱/۶±۰/۴	۱/۹±۰/۳
ΣSFA	۲۱/۰±۰/۷	۲۰/۳±۰/۷	۱۹/۲±۱/۸	۲۱/۲±۰/۸
C14:1n5	۰/۳±۰/۰ ^۱	۰/۳±۰/۰ ^۱	۰/۳±۰/۰ ^۱	۰/۳±۰/۰ ^۱
C16:1n7	۳/۴±۰/۲	۳/۲±۰/۲	۳/۲±۰/۵	۲/۹±۰/۰ ^۱
C18:1n9+7	۳۰/۵±۱/۰ ^{a,b}	۲۸/۸±۰/۶ ^b	۳۱/۵±۱/۵	۳۱/۲±۱/۹ ^{ab}
C22:1n-9	۱/۶±۰/۳ ^b	۲/۸±۰/۰ ^a	۱/۶±۰/۶ ^b	۲/۲±۰/۴ ^{ab}
$\Sigma MUFA$	۳۵/۸±۱/۰	۳۵/۱±۰/۸	۳۶/۷±۱/۳	۳۶/۶±۱/۵
C18:2n6	۱۶/۹±۱/۳ ^{ab}	۱۲/۶±۰/۳ ^c	۱۸/۷±۲/۴ ^a	۱۵/۸±۱/۰ ^b
C18:3n3	۲/۲±۰/۱ ^{ab}	۲/۶±۰/۲ ^a	۱/۹±۰/۴ ^b	۲/۰±۰/۰ ^b
C20:2n-6	۰/۴±۰/۳	۰/۶±۰/۲	۰/۶±۰/۴	۰/۶±۰/۱
C20:3n3	۰/۵±۰/۲	۰/۴±۰/۰ ^۱	۰/۴±۰/۱	۰/۴±۰/۱
C20:4n6	۰/۶±۰/۲	۰/۵±۰/۱	۰/۵±۰/۱	۰/۴±۰/۱
C20:5n-3	۲/۵±۰/۱	۲/۷±۰/۳	۲/۹±۰/۳	۲/۴±۰/۱
C22:6n3	۱۱/۵±۱/۳ ^{ab}	۱۳/۰±۰/۹ ^a	۱۰/۵±۰/۳ ^b	۱۲/۲±۱/۶ ^{ab}
$\Sigma HUFA$	۱۵/۵±۱/۵	۱۷/۱±۱/۵	۱۴/۷±۰/۴	۱۶/۰±۱/۵
$\Sigma PUFA$	۳۴/۶±۰/۱	۳۲/۳±۱/۹	۳۵/۳±۲/۵	۳۳/۸±۰/۵
$\Sigma n-3$	۱۶/۷±۱/۲ ^{ab}	۱۸/۶±۱/۴ ^a	۱۵/۶±۰/۴ ^b	۱۷/۰±۱/۶ ^{ab}
$\Sigma n-6$	۱۷/۹±۱/۱ ^{ab}	۱۳/۷±۰/۶ ^c	۱۹/۷±۲/۱ ^a	۱۶/۸±۱/۱ ^b
n-3/n-6	۰/۹±۰/۱ ^{bc}	۱/۴±۰/۱ ^a	۰/۸±۰/۱ ^c	۱/۰±۰/۲ ^b
جمع کل	۹۱/۴±۱/۶	۸۷/۷±۳/۰	۹۱/۱±۵/۶	۹۱/۶±۱/۸

حروف کوچک به معنی‌داری یک اسیدچرب در بین تیمارها اشاره دارد

جدول ۷) میانگین آماری ترکیب اسیدهای چرب بدن بچه‌تاسماهی سیبری تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی روز ۱۴ بعد از گرسنگی

اسیدهای چرب	LP-St	HP-St	LP-L	HP-L
شاهد	گرسنه	شاهد	گرسنه	شاهد
C14:0	۱/۶±۰/۰ ^d	۱/۹±۰/۱ ^a	۱/۷±۰/۱ ^{bc}	۱/۸±۰/۱ ^b
C16:0	۱۵/۳±۰/۲ ^b	۱۴/۸±۰/۶ ^{bc}	۱۷/۱±۰/۳ ^a	۱۳/۹±۱/۱ ^{cd}
C18:0	۱/۲±۰/۰ ^{abc}	۲/۱±۰/۰ ^{ab}	۲/۰±۰/۱ ^{cd}	۲/۰±۰/۲ ^d
C20:0	۱/۶±۰/۳	۱/۷±۰/۶	۱/۲±۰/۴	۱/۹±۰/۸
ΣSFA	۲۰/۶±۰/۱ ^{ab}	۲۰/۶±۰/۴ ^{ab}	۲۲/۰±۰/۵ ^a	۱۹/۴±۲/۲ ^b
C14:1n5	۰/۳±۰/۰ ^{۱ab}	۰/۳±۰/۰ ^{۱bc}	۰/۴±۰/۰ ^{۱a}	۰/۳±۰/۰ ^{۱cd}
C16:1n7	۳/۳±۰/۱ ^{bc}	۳/۲±۰/۱ ^{bcd}	۳/۹±۰/۲ ^a	۳/۲±۰/۲ ^{cd}
C18:1n9+7	۳۲/۳±۰/۵ ^c	۳۳/۴±۰/۷ ^{ab}	۳۳/۱±۰/۸ ^{abc}	۳۳/۷±۰/۸ ^a
C22:1n-9	۱/۵±۰/۲	۱/۷±۰/۳	۱/۵±۰/۲	۲/۰±۰/۹
$\Sigma MUFA$	۳۷/۴±۰/۵ ^{bc}	۳۸/۶±۰/۷ ^a	۳۸/۸±۰/۸ ^a	۳۹/۲±۰/۲ ^a
C18:2n6	۱۷/۸±۰/۴ ^b	۱۷/۲±۰/۵ ^b	۱۳/۲±۰/۶ ^c	۱۷/۹±۰/۹ ^b
C18:3n3	۱/۸±۰/۰ ^{cd}	۲/۶±۰/۱ ^{abc}	۱/۷±۰/۲ ^d	۲/۷±۱/۲ ^{ab}
C20:2n-6	۰/۵±۰/۲	۰/۴±۰/۱	۰/۴±۰/۱	۰/۳±۰/۰ ^۱
C20:3n3	۰/۲±۰/۰ ^{۱b}	۰/۳±۰/۰ ^{۱ab}	۰/۴±۰/۳ ^{ab}	۰/۴±۰/۱ ^{ab}
C20:4n6	۰/۵±۰/۱ ^{ab}	۰/۶±۰/۱ ^a	۰/۴±۰/۱ ^{ab}	۰/۵±۰/۱ ^{ab}
C20:5n-3	۲/۳±۰/۱ ^b	۲/۴±۰/۲ ^{ab}	۲/۲±۰/۲ ^b	۲/۴±۰/۲ ^{ab}
C22:6n3	۱۲/۱±۰/۶ ^{ab}	۹/۹±۰/۷ ^b	۱۲/۵±۰/۷ ^a	۱۱/۱±۱/۷ ^{ab}
$\Sigma HUFA$	۱۵/۶±۰/۸ ^{ab}	۱۳/۶±۰/۶ ^{bc}	۱۵/۹±۰/۶ ^a	۱۴/۸±۱/۴ ^{abc}
$\Sigma PUFA$	۳۵/۱±۰/۷ ^a	۳۳/۴±۰/۳ ^b	۳۰/۹±۰/۲ ^c	۳۵/۳±۱/۰ ^a
$\Sigma n-3$	۱۶/۴±۰/۵ ^{abc}	۱۵/۲±۰/۶ ^{cd}	۱۶/۸±۰/۵ ^{abc}	۱۶/۶±۰/۳ ^{abc}
$\Sigma n-6$	۱۸/۷±۰/۶ ^b	۱۸/۲±۰/۴ ^b	۱۴/۰±۰/۶ ^c	۱۸/۷±۰/۹ ^b
n-3/n-6	۰/۹±۰/۰ ^{۱b}	۰/۸±۰/۱ ^b	۱/۲±۰/۱ ^a	۰/۹±۰/۰ ^{۱b}
جمع کل	۹۳/۲±۰/۷	۹۲/۶±۱/۲	۹۱/۷±۱/۳	۹۳/۹±۲/۰

حروف کوچک به معنی‌داری یک اسیدچرب در بین تیمارها اشاره دارد

جدول ۸) میانگین آماری ترکیب اسیدهای چرب بدن بچه تاسماهی سیبری تغذیه شده با جیره های آزمایشی روز ۳۵ بعد از غذادهی مجدد

اسیدهای چرب	LP-St	HP-St	LP-L	HP-L	گرسنه	شاهد	گرسنه	شاهد
C14:0	۱/۳۱±۰/۰۹ ^d	۱/۵۱±۰/۰۲ ^{abc}	۱/۴۳±۰/۰۳ ^{bc}	۱/۴±۰/۰۵ ^{bc}	۱/۴±۰/۰۵ ^a	۱/۶±۰/۰۵ ^a	۱/۵±۰/۰۹ ^{ab}	۱/۵±۰/۰۹ ^{ab}
C16:0	۱۴/۵±۰/۰۷ ^{cd}	۱۶/۲±۰/۰۶ ^b	۱۷/۸±۰/۰۳ ^a	۱۳/۹±۰/۰۴ ^{cd}	۱۵/۳±۰/۰۴ ^{bc}	۱۵/۳±۰/۰۴ ^{bc}	۱۵/۵±۰/۰۴ ^{bc}	۱۵/۵±۰/۰۴ ^{bc}
C18:0	۱/۷±۰/۰۳ ^{ab}	۱/۷±۰/۰۶ ^{ab}	۱/۵±۰/۰۷ ^b	۱/۶±۰/۰۱ ^{ab}	۱/۵±۰/۰۳ ^{ab}	۱/۶±۰/۰۱ ^{ab}	۱/۶±۰/۰۲ ^{ab}	۱/۶±۰/۰۲ ^{ab}
C20:0	۱/۴±۰/۰۱ ^۲	۱/۵±۰/۰۱ ¹	۱/۴±۰/۰۱ ^۲	۱/۳±۰/۰۱ ^۲	۱/۴±۰/۰۱ ^۲	۱/۴±۰/۰۱ ^۲	۱/۵±۰/۰۱ ^۲	۱/۵±۰/۰۱ ^۲
Σ SFA	۱۸/۹±۰/۰۶ ^{cd}	۲۰/۹±۰/۰۳ ^b	۲۲/۱±۰/۰۲ ^a	۲۲/۴±۰/۰۳ ^a	۱۸/۴±۰/۰۵ ^{cd}	۱۸/۱±۰/۰۸ ^d	۲۰/۲±۰/۰۳ ^b	۲۰/۲±۰/۰۳ ^b
C14:1n5	۰/۳±۰/۰۲ ^{cd}	۰/۳±۰/۰۲ ^{bc}	۰/۴±۰/۰۳ ^{ab}	۰/۳±۰/۰۱ ^{cd}	۰/۳±۰/۰۲ ^{cd}	۰/۳±۰/۰۱ ^d	۰/۴±۰/۰۲ ^a	۰/۳±۰/۰۲ ^{cd}
C16:1n7	۳/۳±۰/۰۱ ^c	۳/۸±۰/۰۷ ^b	۴/۹±۰/۰۲ ^a	۳/۳±۰/۰۸ ^c	۳/۳±۰/۰۸ ^c	۳/۳±۰/۰۸ ^c	۳/۸±۰/۰۷ ^b	۳/۹±۰/۰۳ ^b
C18:1n9+7	۳۱/۹±۰/۰۲ ^d	۳۳/۷±۰/۰۳ ^{abcd}	۳۴/۹±۰/۰۷ ^{abc}	۳۶/۳±۰/۰۳ ^a	۳۶/۳±۰/۰۳ ^a	۳۶/۳±۰/۰۳ ^a	۳۲/۸±۰/۰۴ ^{bcd}	۳۵/۴±۰/۰۲ ^{ab}
C22:1n-9	۱/۷±۰/۰۱ ^a	۱/۱±۰/۰۵ ^{bc}	۱/۴±۰/۰۱ ^{ab}	۱/۴±۰/۰۳ ^{ab}	۱/۴±۰/۰۴ ^{ab}	۱/۷±۰/۰۲ ^a	۱/۲±۰/۰۳ ^{bc}	۰/۹±۰/۰۲ ^c
Σ MUFA	۳۷/۲±۰/۰۱ ^{cd}	۳۹/۰±۰/۰۴ ^{bc}	۴۱/۵±۰/۰۷ ^a	۴۲/۳±۰/۰۱ ^a	۳۷/۳±۰/۰۱ ^c	۳۷/۷±۰/۰۴ ^q	۳۸/۲±۰/۰۱ ^{bc}	۴۰/۵±۰/۰۲ ^{ab}
C18:2n6	۱۷/۲±۰/۰۵ ^{ac}	۱۷/۹±۰/۰۵ ^{bc}	۱۲/۴±۰/۰۶ ^{cd}	۱۱/۹±۰/۰۷ ^d	۲۰/۵±۰/۰۷ ^a	۱۹/۶±۰/۰۷ ^a	۱۸/۴±۰/۰۳ ^b	۱۸/۲±۰/۰۸ ^{bc}
C18:3n3	۱/۱±۰/۰۲ ^{ab}	۱/۲±۰/۰۲ ^a	۱/۱±۰/۰۲ ^b	۱/۱±۰/۰۴ ^{ab}	۱/۱±۰/۰۱ ^{ab}	۱/۰±۰/۰۵ ^b	۱/۱±۰/۰۳ ^{ab}	۱/۱±۰/۰۵ ^{ab}
C20:2n-6	۰/۲±۰/۰۵ ^b	۰/۲±۰/۰۷ ^b	۰/۲±۰/۰۷ ^b	۰/۱±۰/۰۲ ^b	۰/۴±۰/۰۱ ^{ab}	۰/۲±۰/۰۳ ^b	۰/۲±۰/۰۱ ^b	۰/۲±۰/۰۴ ^b
C20:3n3	۰/۳±۰/۰۷ ^{ab}	۰/۲±۰/۰۵ ^b	۰/۳±۰/۰۸ ^{ab}	۰/۴±۰/۰۳ ^{ab}	۰/۴±۰/۰۲ ^{ab}	۰/۵±۰/۰۳ ^a	۰/۵±۰/۰۱ ^{ab}	۰/۴±۰/۰۱ ^{ab}
C20:4n6	۰/۴±۰/۰۶	۰/۴±۰/۰۴	۰/۴±۰/۰۸	۰/۴±۰/۰۶	۰/۴±۰/۰۳	۰/۴±۰/۰۱	۰/۴±۰/۰۵	۰/۵±۰/۰۱
C20:5n-3	۱/۹±۰/۰۳ ^{cd}	۲/۰±۰/۰۴ ^{bc}	۱/۹±۰/۰۱ ^{cd}	۱/۹±۰/۰۲ ^d	۲/۱±۰/۰۹ ^{ab}	۱/۹±۰/۰۱ ^{cd}	۲/۱±۰/۰۸ ^a	۲/۱±۰/۰۸ ^a
C22:6n3	۱۲/۳±۰/۰۱ ^{۶۶}	۱۱/۷±۰/۰۲ ^۵	۱۲/۳±۰/۰۱ ^{۴۵}	۱۱/۷±۰/۰۱ ^{۴۱}	۱۲/۱±۰/۰۵ ^۸	۱۲/۳±۰/۰۷ ^{۲۲}	۱۲/۲±۰/۰۱ ^{۱۷}	۱۱/۳±۰/۰۸ ^۹
ΣHUFA	۱۵/۱±۰/۰۱ ^{۶۷}	۱۴/۶±۰/۰۳ ^۲	۱۵/۱±۰/۰۱ ^{۵۱}	۱۴/۶±۰/۰۱ ^{۴۱}	۱۵/۴±۰/۰۶ ^۰	۱۵/۴±۰/۰۷ ^۹	۱۵/۵±۰/۰۱ ^{۲۵}	۱۴/۵±۰/۰۱ ^۰
ΣPUFA	۳۳/۴±۰/۰۲ ^{۴۴}	۳۳/۶±۰/۰۵ ^{۳۴}	۲۸/۶±۰/۰۹ ^{۸d}	۲۷/۶±۰/۰۷ ^{۷d}	۳۷/۰±۰/۰۱ ^{۳a}	۳۶/۱±۰/۰۱ ^{۶ab}	۳۵/۰±۰/۰۳ ^{bc}	۳۳/۸±۰/۰۲ ^c
Σ n-3	۱۵/۶±۰/۰۱ ^{۷۷}	۱۵/۱±۰/۰۲ ^۸	۱۵/۶±۰/۰۱ ^{۵۰}	۱۵/۲±۰/۰۱ ^{۴۲}	۱۵/۶±۰/۰۸ ^۱	۱۵/۸±۰/۰۷ ^۱	۱۵/۹±۰/۰۲ ^۶	۱۴/۹±۰/۰۹ ^۴
Σ n-6	۱۷/۸±۰/۰۵ ^c	۱۸/۵±۰/۰۶ ^{۵bc}	۱۳/۰±۰/۰۶ ^{۵d}	۱۲/۴±۰/۰۶ ^{۶d}	۲۱/۳±۰/۰۸ ^{۹a}	۲۰/۳±۰/۰۶ ^{۳a}	۱۹/۱±۰/۰۲ ^{۹b}	۱۸/۹±۰/۰۷ ^{۶bc}
n-3/n-6	۰/۹±۰/۰۸ ^b	۰/۸±۰/۰۴ ^b	۰/۷±۰/۰۱ ^۷	۱/۲±۰/۰۱ ^{۸a}	۰/۷±۰/۰۷ ^b	۰/۸±۰/۰۶ ^b	۰/۸±۰/۰۸ ^b	۰/۸±۰/۰۸ ^b
جمع کل	۸۹/۵±۰/۰۹ ^۸	۹۳/۵±۰/۰۹ ^۶	۹۲/۲±۰/۰۱ ^۰	۹۲/۳±۰/۰۷ ^۷	۹۲/۶±۰/۰۸ ^۶	۹۱/۹±۰/۰۴ ^۹	۹۳/۲±۰/۰۷ ^۴	۹۴/۵±۰/۰۳ ^۹

حروف کوچک به معنی داری یک اسیدچرب در بین تیمارها اشاره دارد

جدول ۹) آنالیز واریانس اثر فاکتورهای مختلف (پروتئین، CHO:L و شرایط غذادهی) بر ترکیب اسیدهای چرب بچه تاسماهی سیبری

فاکتورها	بعد از مرحله غذادهی مجدد	بعد از مرحله گرسنگی	پروتئین (P)	نسبت کربوهیدرات به چربی (CHO:L)	شرایط غذادهی (گرسنه، شاهد؛ condition)	P* CHO:L	P* condition	CHO:L* condition	P*CHO:L*condition	خطا (Error)
پروتئین	۰/۲۸**	۸۴**	۰/۲۲ ns	۴۸/۱**	۲۶**	۰/۵**	۱۵**	۱۲**	۱/۷۱*	۵/۲*
نسبت کربوهیدرات به چربی	۰/۳۷**	۱۳۰**	۰/۹۲ ns	۱۴/۷۳*	۲۳**	۰/۲۶**	۴۰**	۱/۴ ns	۰/۶۷ ns	۱۷**
شرایط غذادهی (گرسنه، شاهد؛ condition)	۰ ns	۳/۰ ns	۱/۵۵ ns	۱۰۶۷*	۱/۷۶*	۰ ns	۰/۳ ns	۱/۱ ns	۱/۹۳*	۱/۵ ns
P* CHO:L	۰/۱۳۵**	۱۶**	۰/۲۲ ns	۵/۴۱ ns	۰/۴۵ ns	۰/۰۵*	۳/۵۳*	۰/۰۱ ns	۰/۲۸ ns	۰/۲۰ ns
P* condition	۰ ns	۰/۷۳ ns	۰/۳۰ ns	۰/۳۷ ns	۰/۵۷ ns	۰ ns	۴/۳۳*	۰/۱ ns	۰/۸ ns	۰/۳۲ ns
CHO:L* condition	۰ ns	۰/۷ ns	۰ ns	۰ ns	۱/۷۶*	۰ ns	۰ ns	۰/۹ ns	۰ ns	۰/۲۸ ns
P*CHO:L*condition	۰ ns	۰/۳ ns	۰/۴۰ ns	۲/۹۴ ns	۱/۵۵ ns	۰/۲۰ ns	۶/۴**	۹/۶۳*	۶**	۰/۴ ns
خطا (Error)	۰/۰۱	۰/۹۹۳	۱/۳۲۵	۱/۷۷	۰/۳۷	۰/۰۰۷	۰/۶۱۵	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۸۶

ns: غیرمعنی دار، *p<۰/۰۵، **p<۰/۰۱

غذادهی مجدد طولانی تر نیاز است تا رشد جبرانی کامل حاصل شود^[32].

آنالیز بدن تاسماهی سیبری در گروه شاهد نشان می دهد که نسبت چربی بیشتر در جیره سبب افزایش چربی بدن در این ماهی شده است که این نتایج در گربه ماهی راه رونده (*Clarias batrachus*) و قزل آلاهی قهوه ای گزارش شده است^[33, 34]. بسیاری از محققان در زمینه گرسنگی، پروتئین را به عنوان آخرین منبع مصرف انرژی گزارش کرده اند و تغییر یا گذار فیزیولوژیکی از کاتابولیسم غالب-چربی (Lipid-dominated catabolism) به کاتابولیسم غالب-پروتئین (Protein-dominated catabolism)، تنها زمانی رخ می دهد که محتوای چربی جاندار به یک آستانه بحرانی برسد^[35]. این عدم تغییر در محتوای چربی و پروتئین در انتهای دوره در هر دو گروه گرسنه و شاهد می تواند نشان از این باشد که این گونه طی ۲ هفته وارد فاز بحرانی مصرف پروتئین ها نشده است.

بحث

نتایج این تحقیق، اهمیت سطح بالاتر پروتئین (۴۴%) را بر بهبود تمامی شاخص های رشد، در گروه شاهد و همچنین بعد از غذادهی مجدد نشان داد. میزان مناسب پروتئین جیره برای حداکثر رشد در بسیاری از گونه های تاسماهیان اثبات شده است^[30, 31]. در این مطالعه اگر چه بعد از غذادهی مجدد، جیره با پروتئین و نسبت CHO:L بالاتر رشد بالاتری نشان داد اما به طور کلی، نتایج در ماهیانی که دوره گرسنگی را سپری کردند نشان از اهمیت پروتئین و عدم معنی داری نسبت CHO:L در جیره دارد. طول دوره گرسنگی و مدت زمان غذادهی مجدد در بازگشت رشد جبرانی بسیار حایز اهمیت است. در مطالعه مرشدی و همکاران، ۸ روز گرسنگی به همراه ۳۲ روز غذادهی مجدد (۴ برابر دوره گرسنگی) سبب رشد جبرانی کامل در تاسماهی سیبری شده است. لذا با توجه به وزن اولیه تاسماهی سیبری، احتمالاً طول دوره گرسنگی کوتاه تر یا دوره

چربی‌های ذخیره‌ای، ابتدا در جایگاه β استری می‌شوند^[41]. لذا پایداری ساختار β مونوگلیسرید می‌تواند در تعیین تجهیز اسیدچرب طی گرسنگی حایز اهمیت باشد. در تحقیق حاضر مشاهده شد MUFA و برخی اسیدهای چرب سری n_3 مانند $18:3n-3$ و $20:5n-3$ در زمان گرسنگی در برخی تیمارها افزایش یافتند. گریه‌ماهی کانالی نیز نشان داد گرسنگی به مدت ۲۸ روز سبب افزایش برخی اسیدهای چرب سری $n-3$ از جمله $18:3n-3$ ، $20:5n-3$ و $22:6n-3$ نسبت به گروه شاهد شده است^[38]. این افزایش در برخی اسیدهای چرب سری $n-3$ در قزل‌آلای رنگین‌کمان هم نشان داده شده است. در قزل‌آلای رنگین‌کمان، هم بافت کبد و هم بافت ماهیچه تمایل به حفظ و تجمع اسیدهای چرب غیراشباع خانواده لینولنیک طی گرسنگی دارند. بنابراین ممکن است این اسیدهای چرب حساسیت کمی به هیدرولیز داشته باشند و در جایگاه β واقع شده باشند^[15].

اگر چه در تحقیق حاضر اسیدهای چرب کبد و امعا و احشا مورد سنجش قرار نگرفتند اما ممکن است تمایز خاص بافتی (Tissue specific differences) در ساختار تری‌گلیسرید در الگوهای خاص تجهیز اسیدهای چرب طی گرسنگی تاثیرگذار باشد و تغییرات اسیدهای چرب در دوران گرسنگی در بافت امعا و احشا و به‌ویژه کبد تاسماهی سیبری، با بافت ماهیچه تفاوت داشته باشد. به هر حال نتایج حاصل از تغییرات ترکیب اسیدچرب در زمان گرسنگی بسیار متفاوت و متناقض است. حفظ برخی اسیدهای چرب خاص در زمان گرسنگی نشان از اهمیت نسبی آنها در بافت دارد. اگر چه ترکیب اسیدچرب بدن منعکس‌کننده چربی جیره است، اما تیدول و رویینت نشان دادند که اندازه و سن ماهی تاثیر مهمی در ترکیب اسیدچرب دارند^[42].

به‌طور کلی، سطح پروتئین جیره در هر شرایطی تاثیر بیشتری بر پاسخ رشد در تاسماهی سیبری دارد و همچنین نشان داده شد جایگزینی مناسبی از کربوهیدرات در جیره تاسماهی می‌تواند هزینه غذا را کاهش دهد بدون آن که اثر نامطلوبی روی رشد در شرایط غذایی نرمال یا غذایی مجدد داشته باشد، اما طول دوره کوتاه‌مدت در غذایی مجدد نتوانسته رشد جبرانی را حاصل نماید. در گروه ماهیان با تغذیه کامل گنجانند $38-44\%$ پروتئین در جیره این ماهی سبب ایجاد رشد خوبی می‌شود. با توجه به اهمیت نسبت n_3/n_6 در ترکیب اسیدهای چرب و اهمیت آن برای ارزش غذایی فیله، نشان داده شده که جیره با پروتئین بالا و نسبت کربوهیدرات به چربی بالا نقش موثرتری در بالابردن این نسبت داشته و همچنین دو هفته محرومیت غذایی نمی‌تواند اثر منفی در ترکیب اسیدهای چرب بدن تاسماهی سیبری ایجاد کند.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به تهیه نمونه ماهیان خاویاری اشاره نمود. این گونه‌های باارزش در عین حال با قیمت بالا، محدودیت‌هایی در زمینه تعداد نمونه مورد نیاز در هر تیمار ایجاد می‌کنند. از طرفی ماهیت کفزی بودن این گونه امکان بررسی مستقیم مصرف خوراک را سخت نموده و نیاز به نصب کالکتورهایی برای هر تانک است.

پیشنهاد می‌شود جیره‌های مختلف غذایی در دوران گرسنگی در ماهیان خاویاری با اوزان بالاتر کار شود و تغییرات رشد جبرانی آنها در ارتباط با جیره مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین می‌توان برای گونه‌هایی که قابلیت پرورش در آکواریوم را دارند غذاهایی با نسبت مختلف ماکرونوترینت با پوشش ژلاتینی رنگی طراحی و رفتار غذایی ماهی در تمایل به یک جیره خاص را بعد از گرسنگی بررسی نمود.

جدول آنالیز واریانس هیچ گونه تاثیری از شرایط گرسنگی بر گروه‌های اسیدچرب به‌جز MUFA نشان نداد. در این تحقیق میزان SFA و HUFA طی گرسنگی ثابت باقی ماند اما میزان MUFA در تیمارهای گرسنه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. الگوهای تغییر اسیدهای چرب در بافت‌ها و گونه‌های مختلف در زمان گرسنگی متفاوت است. برای مثال جزیرسکا و همکاران گزارش کردند که SFA در ماهیچه قزل‌آلای رنگین‌کمان طی گرسنگی افزایش یافته در حالی که MUFA کاهش یافت و PUFA ثابت باقی ماند و در امعا و احشا SFA کاهش یافته و MUFA و PUFA افزایش یافتند^[15]. در کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) و سفید ماهی آزاد (*Coregonus muksun*) MUFA و PUFA به‌ترتیب کاهش و افزایش را در زمان گرسنگی نشان داده‌اند^[36, 37]. مانند تحقیق حاضر، نتایج حاصل از ترکیب اسیدهای چرب گریه‌ماهی کانالی هیچ گونه اختلاف معنی‌داری در محتوای SFA، MUFA و PUFA بعد از ۱۴ روز گرسنگی با گروه شاهد و بعد از غذایی مجدد نشان نداد^[38].

اکسیداسیون کامل یک اسیدچرب غیراشباع، به مقدار جزئی انرژی کمتری نسبت به اکسیداسیون اسیدچرب اشباع با همان طول زنجیره تولید می‌کند، لذا بدن تجهیز انرژی از SFA امعا و احشا را به‌عنوان ذخیره انرژی طی گرسنگی ترجیح می‌دهد. اما به هر حال پتانسیل تولید انرژی از اکسیداسیون یک اسیدچرب اشباع در مقابل یک اسیدچرب غیراشباع فاکتور اصلی تعیین‌کننده الگوی تجهیز اسیدچرب از کبد و ماهیچه نیست. برای مثال اکسیداسیون کامل لینولئیک اسید تقریباً 95% بازده انرژی در مقابل اکسیداسیون استئارات ($18:0$) دارد و اکسیداسیون DHA بیش از 90% بازده تولید ATP نسبت به اکسیداسیون بهنیک اسید ($22:0$) دارد^[39].

این الگوها نشان‌دهنده آن است که برخی فاکتورها غیر از محتوای انرژی می‌توانند الگوهای تجهیز اسیدهای چرب را در بر گیرند. ضرورت و اهمیت PUFA که مربوط به خصوصیات فیزیولوژیک آنها در غشاهای بیولوژیک است، بیش از محتوای انرژی‌شان اهمیت دارد^[40]. هزینه یک واحد غیراشباع‌سازی و ۲ واحد کربن طول‌سازی (تقریباً ۱۰ ATPs) تقریباً 66% انرژی است که از اکسیداسیون کامل ۲ واحد کربن یک اسیدچرب غیراشباع (تقریباً ۱۵ ATPs) و تبدیل آن به دی‌اکسیدکربن و آب حاصل می‌شود^[15]. بنابراین اسیدچرب بلندزنجیره PUFA با هزینه قابل ملاحظه‌ای در حیوانات تولید شده، لذا مزیت آن، این است که موجود مصرف این سوپسترای گران را تا جایی که ممکن است به تاخیر بیاندازد. این موضوع می‌تواند ثبات و تاخیر در الگوی مصرف PUFA را در تاسماهیان طی گرسنگی توجیه کند.

مکانیزم دیگری که در رابطه با عدم مصرف اسیدهای چرب غیراشباع PUFA و حفظ آن در دوران گرسنگی قابل بحث است مربوط به ویژگی‌های ساختاری چربی‌های ذخیره‌شده است. دیو و همکاران اشاره کردند که جایگاه ترجیحی اسیدهای چرب خاص در جایگاه آلفا و بتای مولکول‌های تری‌گلیسرید است که در تعیین الگوهای تجهیز و مصرف اسیدهای چرب در گرسنگی موثرند. بر این اساس اسیدهای چربی که در جایگاه بتا (β -position) قرار گرفته‌اند به اندازه آنهایی که در جایگاه آلفا (α -position) قرار دارند آماده هیدرولیز شدن نیستند^[14]؛ به‌علاوه اسیدهای چرب ضروری بلندزنجیره غیراشباع که از لینولئیک اسید (خانواده $n-6$) در حیوانات خشکی‌زی و لینولئیک اسید (خانواده $n-3$) در حیوانات دریایی مشتق شده‌اند، چه در چربی‌های ساختاری و چه در

12- Machado CR, Garofalo MA, Roselino JE, Kettelhut IC, Migliorini RH. Effects of starvation, refeeding, and insulin on energy-linked metabolic processes in catfish (*Rhamdia hilarii*) adapted to a carbohydrate-rich diet. *Gen Comp Endocrinol*. 1988;71(3):429-37.

13- Ritar AJ, Dunstan GA, Crear BJ, Brown MR. Biochemical composition during growth and starvation of early larval stages of cultured spiny lobster (*Jasus edwardsii*) phyllosoma. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2003;136(2):353-70.

14- Dave G, Johansson-Sjöbeck ML, Larsson A, Lewander K, Lidman U. Metabolic and hematological effects of starvation in the European eel, *Anguilla anguilla* L.-III. Fatty acid composition. *Comp Biochem Physiol B*. 1976;53(4):509-15.

15- Jezierska B, Hazel JR, Gerking SD. Lipid mobilization during starvation in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, with attention to fatty acids. *J Fish Biol*. 1982;21(6):681-92.

16- Zamal H, Ollevier F. Effect of feeding and lack of food on the growth, gross biochemical and fatty acid composition of juvenile catfish. *J Fish Biol*. 1995;46(3):404-14.

17- Bagherzadeh Lakani F, Sattari M, Sharifpour I, Kazemi R. Effect of hypoxia, normoxia and hyperoxia conditions on gill histopathology in two weight groups of beluga (*Huso huso*). *Casp J Environ Sci*. 2013;11(1):77-84.

18- National Research Council. Nutrient requirements of warm water fishes and shellfishes. Washington: National Academy Press. p. 225.

19- Dabrowski K, Kaushik SJ, Fauconneau B. Rearing of sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt) larvae: I. Feeding trial. *Aquaculture*. 1985;47(2-3):185-92.

20- Kaushik SJ, Luquet P, Blanc D, Paba A. Studies on the nutrition of Siberian sturgeon, *Acipenser baerii*: I. Utilization of digestible carbohydrates by sturgeon. *Aquaculture*. 1989;76(1-2):97-107.

21- Fontagné S, Bazin D, Brèque J, Vachot C, Bernarde C, Rouault T, et al. Effects of dietary oxidized lipid and vitamin A on the early development and antioxidant status of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) larvae. *Aquaculture*. 2006;257(1-4):400-11.

22- Guo Z, Zhu X, Liu J, Han D, Yang Y, Lan Z, et al. Effects of dietary protein level on growth performance, nitrogen and energy budget of juvenile hybrid sturgeon, *Acipenser baerii* ♀ × *A. gueldenstaedtii* ♂. *Aquaculture*. 2012;338-341:89-95.

23- Mohanta KN, Mohanty SN, Jena JK, Sahu NP. Optimal dietary lipid level of silver barb, *Puntius gonionotus* fingerlings in relation to growth, nutrient retention and digestibility, muscle nucleic acid content and digestive enzyme activity. *Aquac Nutr*. 2008;14(4):350-9.

24- Fuentes EN, Kling P, Einarsdottir IE, Alvarez M, Valdés JA, Molina A, et al. Plasma leptin and growth hormone levels in the fine flounder (*Paralichthys adspersus*) increase gradually during fasting and decline rapidly after refeeding. *Gen Comp Endocrinol*. 2012;177(1):120-7.

25- Yarmohammadi M, Shabani A, Pourkazemi M, Soltanloo H, Imanpour MR. Effects of starvation and refeeding on growth performance and content of plasma lipids, glucose and insulin in cultured juvenile Persian sturgeon (*Acipenser persicus*, Borodin, 1897). *J Appl Ichthyol*. 2012;28(5):692-6.

نتیجه‌گیری

ترکیب جیره بر اسیدهای چرب SFA، MUFA و PUFA تاثیر دارد، در حالی که اعمال دو هفته گرسنگی تنها باعث افزایش جزئی در ترکیب MUFA شده و بر دیگر اسیدهای چرب تاثیری ندارد.

تشکر و قدردانی: بدین وسیله از همکاری مسئولان و کارکنان محترم انستیتو تحقیقات بین‌المللی تاسماهیان دریای خزر- رشت و آزمایشگاه تغذیه آبزیان و فرآوری محصولات شیلاتی دانشگاه تربیت مدرس تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

تاییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.
تعارض منافع: هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان این تحقیق وجود ندارد.

سهم نویسندگان: سیده‌صدیقه بابایی (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر اصلی/تحلیلگر آماری/نگارنده بحث (۳۰٪)؛ عبدالمحمد عابدیان‌کناری (نویسنده دوم)، روش‌شناس/پژوهشگر اصلی (۳۰٪)؛ مهدی هدایتی (نویسنده سوم)، پژوهشگر کمکی (۲۰٪)؛ محمدعلی یزدانی‌ساداتی (نویسنده چهارم)، پژوهشگر کمکی (۲۰٪).

منابع مالی: این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفته است.

منابع

- 1- Janssens PA. The metabolism of the aestivating African lungfish. *Comp Biochem Physiol*. 1964;11:105-17.
- 2- Soengas JL, Strong EF, Fuentes J, Veira JA, Andrés MD. Food deprivation and refeeding in Atlantic salmon, *Salmo salar*: Effects on brain and liver carbohydrate and ketone bodies metabolism. *Fish Physiol Biochem*. 1996;15(6):491-511.
- 3- Mrosovsky N, Sherry DF. Animal anorexics. *Science*. 1980;207(4433):837-42.
- 4- Cherel Y, Robin JP, Le Maho Y. Physiology and biochemistry of long-term fasting in birds. *Can J Zool*. 1988;66(1):159-66.
- 5- Randall JA, Boltas King DK. Assessment and defense of solitary kangaroo rats under risk of predation by snakes. *Anim Behav*. 2001;61(3):579-87.
- 6- Barboza PS, Jorde DG. Intermittent feeding in a migratory omnivore: Digestion and body composition of American black duck during autumn. *Physiol Biochem Zool*. 2001;74(2):307-17.
- 7- Einen O, Mørkøre T, Bencze Rørå AM, Thomassen MS. Feed ration prior to slaughter - a potential tool for managing product quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 1999;178(1-2):149-69.
- 8- Davis KB, Gaylord TG. Effect of fasting on body composition and responses to stress in sunshine bass. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2011;158(1):30-6.
- 9- Peres H, Santos S, Oliva-Teles A. Lack of compensatory growth response in gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles following starvation and subsequent refeeding. *Aquaculture*. 2011;318(3-4):384-8.
- 10- Méndez G, Wieser W. Metabolic responses to food deprivation and refeeding in juveniles of *Rutilus rutilus* (Teleostei: Cyprinidae). *Environ Biol Fish*. 1993;36(1):73-81.
- 11- Navarro I, Gutiérrez J. Fasting and starvation. In: Mommsen TP, Hochachka P, editors. *Biochemistry and molecular biology of fishes (Metabolic biochemistry)*. 4th

- catfish (*Clarias batrachus*). *Aquaculture*. 1998;161(1-4):159-68.
- 34- Regost C, Arzel J, Cardinal M, Laroche M, Kaushik SJ. Fat deposition and flesh quality in seawater reared, triploid brown trout (*Salmo trutta*) as affected by dietary fat levels and starvation. *Aquaculture*. 2001;193(3-4):325-45.
- 35- Moraes G, Altran AE, Avilez IM, Barbosa CC, Bidinotto PM. Metabolic adjustments during semi-aestivation of the marble swamp eel (*Synbranchus marmoratus*, Bloch 1795)-- a facultative air breathing fish. *Braz J Biol*. 2005;65(2):305-12.
- 36- Murata H, Higashi T. Selective utilization of fatty acid as energy source in carp. *Bull Jpn Soc Sci Fish*. 1980;46(11):1333-8. [Japanese]
- 37- Soivio A, Niemistö M, Bäckström M. Fatty acid composition of *Coregonus muksun* Pallas: Changes during incubation, hatching, feeding and starvation. *Aquaculture*. 1989;79(1-4):163-8.
- 38- Tidwell JH, Webster CD, Clark JA. Effects of feeding, starvation, and refeeding on the fatty acid composition of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, tissues. *Comp Biochem Physiol A Physiol*. 1992;103(2):365-8.
- 39- Lehninger AL. *Biochemistry*. 2nd Edition. New York City: Worth Publishers; 1970.
- 40- Mead JF, Fulco AJ. The unsaturated and polyunsaturated fatty acids in health and disease. Springfield: Thomas; 1976.
- 41- Brockerhoff H, Ackman RG, Hoyle RJ. Specific distribution of fatty acids in marine lipids. *Arch Biochem Biophys*. 1963;100:9-12.
- 42- Tidwell JH, Randall Robinette H. Changes in proximate and fatty acid composition of fillets from channel catfish during a two-year growth period. *Transact Am Fish Soc*. 1990;119(1):31-40.
- 26- Pérez-Jiménez A, Hidalgo MC, Morales AE, Arizcun M, Abellán E, Cardenete G. Growth performance, feed utilization and body composition of *Dentex dentex* fed on different macronutrient combinations. *Aquac Res*. 2009;41(1):111-9.
- 27- AOAC, AOAC International. Official methods of analysis of the AOAC international. 18th Edition. Horwitz W, Latimer GW, editors. Rockville: AOAC International; 2006.
- 28- Folch J, Lees M, Sloane Stanley GH. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem*. 1957;226(1):497-509.
- 29- American Oil Chemists' Society, Firestone D. Official methods and recommended practices of the AOCS. 5th Edition. Firestone D, editor. Urbana: American Oil Chemists' Society; 1998.
- 30- Babaei S, Abedian Kenari A, Hedayati M, Yazdai Sadati MA. Growth response, body composition, plasma metabolites, digestive and antioxidant enzymes activities of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869) fed different dietary protein and carbohydrate: Lipid ratio. *Aquac Res*. 2017;48(6):2642-54.
- 31- Babaei S, Abedian Kenari A, Hedayati M, Yazdani Sadati MA, Metón I. Effect of diet composition on growth performance, hepatic metabolism and antioxidant activities in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869) submitted to starvation and refeeding. *Fish Physiol Biochem*. 2016;42(6):1509-20.
- 32- Morshedi V, Kochanian P, Bahmani M, Yazdani-Sadati MA, Pourali HR, Ashouri G, et al. Compensatory growth in sub-yearling Siberian sturgeon, *Acipenser baerii* Brandt, 1869: Effects of starvation and refeeding on growth, feed utilization and body composition. *J Appl Ichthyol*. 2013;29(5):978-83.
- 33- Erfanullah, K Jafri A. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratio on growth and body composition of walking