



University of Guilan

University of Guilan with collaboration of Iranian
Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 6, No. 4, 2021, pages: 51-64



Effects of lysophospholipid on utilizing different sources and levels of carbohydrate in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet

Batoul Adhami¹, Abdolsamad Keramat Amirkolaie^{1*}, Hosein Oraji¹, Mohammad kezemifard², Soleiman Mahjoub³

1- Department of Fisheries, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Mazandaran, Iran

2- Department of Animal Science, Faculty of Animal Science and Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources, University Sari, Mazandaran, Iran

3- Department of Clinical Biochemistry, School of Medicine, Babol University of Medical Sciences, Babol, Mazandaran, Iran

Received 04 September 2020

Accepted 10 December 2020

KEYWORDS

Carbohydrate

Rye

Corn

Rainbow trout

Lysophospholipid

Beta glucagun

ABSTRACT

The aim of the present study was to investigate the effects of dietary lysophospholipid and carbohydrates (rye and corn meal) on growth performance, blood and biochemical parameters in rainbow trout. So, 480 fish (6.70 ± 0.99 g in weight) were fed with experimental diets containing 100 g/kg corn, 250 g/kg corn, 100 g/kg corn + 9 g/kg lysophospholipid, 250 g/kg corn + 9 g/kg lysophospholipid, 100 g/kg rye, 250 g/kg rye, 100 g/kg rye + 9 g/kg lysophospholipid and 250 g/kg rye + 9 g/kg lysophospholipid in triplicate. The experimental design was a $2 \times 2 \times 2$ factorial arrangement. Results of growth performance demonstrated elevating in final weight, specific growth rate and feed intake in $T_{\text{corn}100+\text{lyso}}$ and $T_{\text{ray}100+\text{lyso}}$, whereas $T_{\text{corn}250+\text{lyso}}$ and $T_{\text{ray}250+\text{lyso}}$ contrarily led to lower growth performance ($p < 0.05$). Also, RBC and hematocrit indicated interaction effects between diet \times lysophospholipid and lysophospholipid \times carbohydrate level ($p < 0.05$). RBC and hematocrit were elevated in $T_{\text{corn}100+\text{lyso}}$ and $T_{\text{ray}100+\text{lyso}}$ ($p < 0.05$). Comparative results of biochemical parameters showed reaction effects of cholesterol between diet \times lysophospholipid ($p < 0.05$). Cholesterol values reduced by adding lysophospholipid to different levels of rye and corn and also higher value was observed in $T_{\text{corn}100+\text{lyso}}$ and $T_{\text{ray}100+\text{lyso}}$ compared to $T_{\text{corn}250+\text{lyso}}$ and $T_{\text{ray}250+\text{lyso}}$ ($p < 0.05$). It seems that rainbow trout has potency of using 250 g rye and corn in diet containing fat powder without lysophospholipid, while lysophospholipid negatively affects this level of carbohydrates. However, lysophospholipid helps enhancing growth and erythropoiesis in the levels of 100 g rye and corn.

*Corresponding author: amirkola@yahoo.com



"مقاله پژوهشی"

تأثیر لیزوفسفولیپید بر استفاده از منابع و سطوح مختلف کربوهیدرات در جیره قزل‌آلای رنگین‌کمان
Oncorhynchus mykiss

بتول ادهمی^۱، عبدالصمد کرامت امیرکلایی*^۱، حسین اورجی^۱، محمد کاظمی‌فرد^۲، سلیمان محبوب^۳

۱- گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، مازندران

۲- گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، مازندران

۳- گروه بیوشیمی بالینی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی، بابل، مازندران

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۱۴

کلمات کلیدی

چکیده

هدف از مطالعه حاضر، بررسی تأثیر استفاده از لیزوفسفولیپید بر سطوح مختلف منابع کربوهیدراتی (چاودار و ذرت) بر رشد، فراسنجه‌های خونی و سرمی قزل‌آلای رنگین‌کمان بود. ۴۸۰ قطعه بچه‌ماهی (۰/۹۹ ± ۲۶/۷ گرم) با جیره‌های آزمایشی شامل ذرت ۱۰۰، ذرت ۲۵۰، ذرت ۱۰۰ + لیزو، ذرت ۲۵۰ + لیزو، چاودار ۱۰۰، چاودار ۲۵۰، چاودار ۱۰۰ + لیزو و چاودار ۲۵۰ + لیزو در سه تکرار تغذیه شدند. آنالیز ۲ × ۲ × ۲ فاکتوریل برای تعیین اثرات متقابل منبع کربوهیدرات، سطح و لیزوفسفولیپید استفاده شد. نتیجه رشد نشان داد وزن نهایی، نرخ رشد ویژه و غذای مصرف‌شده در تیمارهای تغذیه‌شده با ۱۰۰ گرم ذرت و چاودار با افزودن لیزوفسفولیپید افزایش پیدا کردند، اما برعکس افزودن لیزوفسفولیپید در جیره‌های حاوی ۲۵۰ گرم از این کربوهیدرات‌ها سبب کاهش این مقادیر شد ($p < 0/05$). تعداد گلبول قرمز و هماتوکریت اثرات متقابلی را بین جیره × لیزو و لیزو × سطح نشان دادند ($p < 0/05$). در سطح ۱۰۰ ذرت تعداد گلبول قرمز و هماتوکریت با افزودن لیزو افزایش یافت ($p < 0/05$). همچنین، اثر متقابلی بین جیره × لیزو در شاخص کلسترول مشاهده شد ($p < 0/05$). مقادیر کلسترول با افزودن لیزو به سطوح مختلف چاودار و ذرت کاهش یافت و در جیره‌های فاقد لیزوفسفولیپید در جیره‌های حاوی ۱۰۰ گرم منابع کربوهیدرات بالاتر از سطح ۲۵۰ گرم بود ($p < 0/05$). به نظر می‌رسد قزل‌آلای قابلیت استفاده از ۲۵۰ گرم چاودار و ذرت را در جیره حاوی بودر چربی بدون لیزوفسفولیپید داشته باشد و لیزوفسفولیپید اثر منفی در این سطح دارد، در حالی که در سطح ۱۰۰ گرم ذرت و چاودار به افزایش رشد و تحریک خون‌سازی کمک کرده است.

مقدمه

قزل آلی رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) از جمله ماهیان گوشتخوار محسوب می شود که در ایران به طور گسترده پرورش داده می شود. این گونه برخلاف ماهیان گیاهخوار یا همه چیزخوار، توانایی مصرف سطوح بالای کربوهیدرات ها را ندارد (Refstie et al. 1999). پودر ماهی مهمترین ماده تأمین کننده پروتئین در ماهیان به خصوص ماهیان گوشتخوار است که به دلیل الگوی اسید آمینه ای مشابه با بدن ماهی و نداشتن منابع ضدتغذیه ای، عضوی جدانشدنی از جیره آبزیان است. از طرفی، امروزه به دلیل وجود محدودیت های تولید پودر ماهی و هزینه بالا محققان به دنبال یافتن منابع جایگزین گیاهی در دسترس هستند. یکی از این مواد گیاهی قابل استفاده در جیره آبزیان غلات است. در دیواره سلولی این دسته مواد گیاهی پلی ساکراید غیرنشاسته ای (NSP) وجود دارد. NSP موجب شکل پذیری مدفوع، حذف راحت تر آن و آلودگی کمتر محیط آبی می شود (Amirkolaie et al. 2005). استفاده از NSP سویا در سطوح پایین (کمتر از ۱۰٪) در جیره ماهی آزاد (*Salmo salar*) بر هضم پذیری مواد مغذی یا التهاب روده ای تأثیر نداشت، در حالی که سبب کاهش ماده خشک مدفوع شد (Kraugerud et al. 2007). NSP یک واژه کلی است و شامل کلیه مواد گیاهی غیرقابل هضم مانند سلولز، لیگنین و دیگر کربوهیدرات های پیچیده در جیره است و به دو دسته محلول و غیرمحلول طبقه بندی می شود. NSP غیرمحلول مانند سلولز عملکردی مشابه اسفنج دارد و تأثیر قابل ملاحظه ای بر چسبندگی گوارشی ندارد (Amirkolaie et al. 2005)، در حالی که موادی مانند صمغ گوار، چاودار و جو حاوی NSP محلول هستند و با آب پیوند برقرار کرده و منجر به کاهش هضم پذیری و افزایش چسبندگی گوارشی می شوند. علت اختلال در هضم پذیری مواد مغذی، کاهش توزیع آنزیم های هضمی در محلول ویسکوز و جریان کم آن در لایه موکوسی است (Leenhouders et al. 2006). افزایش چسبندگی سبب اثرات منفی بر امولسیفیکاسیون، دفع نمک های صفراوی، کاهش کلسترول و در نتیجه، کاهش لیپولیز می شود (Svihus et al. 1997). نرخ عبور مواد هضمی در دستگاه گوارش، نرخ دریافت غذا، تعادل مواد

معدنی و در نهایت، رشد و سلامت ماهی نیز تحت تأثیر NSP جیره قرار می گیرد (Sinha et al. 2011). استفاده از ۴۰٪ گندم، ذرت، چاودار و جو در جیره تیلایا آزمایش شد و منجر به افزایش چسبندگی و کاهش رشد در جیره حاوی چاودار در مقایسه با ذرت شد (Leenhouders et al. 2007a).

در مقابل، امولسیفایرها سبب افزایش دسترسی به مواد مغذی و لیپولیز می شوند (Zhang et al. 2011) و احتمالاً می توانند سبب کاهش اثرات منفی این مواد شوند. لیزوفسفولیپید نوعی فسفولیپید است که به دلیل از دست دادن یک اسید چرب خاصیت آبدوستی بیشتری نسبت به فسفولیپید داشته و پیوند بیشتری با ترکیبات قطبی برقرار خواهد کرد (Liu et al. 2011). علاوه بر این، لیزوفسفولیپید غلظت بحرانی میسل (CMC) کمتری دارد و دارای ظرفیت بالاتری برای تشکیل میسل است. تشکیل میسل کوچکتر بسیار مهم بوده و منجر به جذب بالاتر چربی و حتی مواد مغذی می شود (Li et al. 2019). در مطالعات متعدد، استفاده از جیره حاوی لیزوفسفولیپید منجر به افزایش هضم پذیری چربی و جذب کلسترول از میسل شده است (Raju et al. 2011; Zhang et al. 2011; Taghavizadeh et al. 2020). همچنین، افزودن ۱٪ لیزو و ۲۰۰ میلی گرم گزیلاناز به جیره حاوی کربوهیدرات منجر به افزایش قابلیت استفاده از پروتئین، چربی و افزایش کارایی رشد در جوجه شده است (Hosseini et al. 2018). از این رو، استفاده از لیزوفسفولیپید می تواند با تأثیر بر چسبندگی و در نهایت، افزایش هضم پذیری، قابلیت استفاده از کربوهیدرات را افزایش دهد. تاکنون تأثیر استفاده از لیزوفسفولیپید در قابلیت مصرف منابع کربوهیدراتی جیره ماهیان انجام نشده و مقایسه ای از جیره ذرت و چاودار در جیره قزل آلی رنگین کمان صورت نگرفته است. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر لیزوفسفولیپید بر جیره حاوی سطوح ۱۰۰ و ۲۵۰ گرم چاودار و ذرت در قزل آلی رنگین کمان بر فراسنجه های رشد، خونی و سرمی است.

مواد و روش ها

مکان و زمان آزمایش و آماده سازی مخازن

(B)، ذرت ۱۰۰ + لیزوفسفولیپید (C)، ذرت ۲۵۰ + لیزوفسفولیپید (D)، چاودار ۱۰۰ (E)، چاودار ۲۵۰ (F)، چاودار ۱۰۰ + لیزوفسفولیپید (G)، چاودار ۲۵۰ + لیزوفسفولیپید (H) هر یک در سه تکرار تقسیم‌بندی شدند. کنترل کیفی آب هر دو هفته به منظور حفظ کیفیت آب و یکسان بودن شرایط در تیمارهای مختلف انجام شد. در طول دوره، میانگین دما $1/41 \pm 1/06$ درجه سانتی‌گراد، pH $7/18 \pm 0/25$ اکسیژن محلول $528/13 \pm 2/5$ هدایت الکتریکی $0/3$ ppt و $289/2 \pm 3/41$ TDS میلی‌گرم بر لیتر شوری ثابت شد.

این آزمایش با هدف بررسی تأثیر لیزوفسفولیپید بر سطوح و منابع مختلف کربوهیدرات به مدت ۸ هفته در زمستان ۱۳۹۷ انجام شد. ۲۴ مخزن پلی‌اتیلن با حجم آبگیری ۳۰۰ لیتر به ۴۸۰ بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (۲۰ قطعه در هر مخزن) اختصاص داده شد. بچه ماهیان با میانگین وزنی $0/99 \pm 26/70$ گرم از مزرعه پرورش ماهی واقع در ساری تهیه و به سالن تکثیر و پرورش ماهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری منتقل شدند. مخازن قبل از استفاده به خوبی شسته و ضدعفونی شدند و با منبع آب چاه به میزان ۲۵۰ لیتر آب‌گیری شدند. سپس، ماهیان در ۸ تیمار آزمایشی بر اساس جیره‌های مختلف شامل ذرت ۱۰۰ (A)، ذرت ۲۵۰

جدول ۱ ترکیب جیره‌های آزمایشی با سطوح و منابع مختلف کربوهیدرات در حضور و عدم حضور لیزوفسفولیپید.

اقلام اولیه	ذرت ۱۰۰	ذرت ۲۵۰	ذرت ۱۰۰ + لیزو	ذرت ۲۵۰ + لیزو	چاودار ۱۰۰	چاودار ۲۵۰	چاودار ۱۰۰ + لیزو	چاودار ۲۵۰ + لیزو
پودر ذرت	۱۰	۲۵	۱۰	۲۵	۱۰	۲۵	۱۰	۲۵
گلو تن گندم	۱۰	۱۱	۱۰	۱۱	۱۰	۱۱	۱۰	۱۱
پودر ماهی	۴۳	۴۰	۴۳	۴۰	۴۳	۴۰	۴۳	۴۰
پودر سویا	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷
لیزوفسفولیپید	۰	۰	۰/۹	۰/۹	۰	۰	۰/۹	۰/۹
روغن ماهی	۱/۷	۱/۷	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۷	۱/۷	۱/۲۵	۱/۲۵
روغن کانولا	۱/۷	۱/۷	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۷	۱/۷	۱/۲۵	۱/۲۵
پودر چربی	۹/۶	۹/۶	۹/۶	۹/۶	۹/۶	۹/۶	۹/۶	۹/۶
مکمل معدنی ^۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
مکمل ویتامینی ^۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
بایندر	۲	۰	۲	۰	۲	۰	۲	۰
زئولیت	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰
ماسه	۵	۰	۵	۰	۵	۰	۵	۰
نمک	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰

سنجش تقریبی اجزای جیره (بر اساس درصد ماده خشک)

چربی	۲۴/۹۵	۲۴/۸۵	۲۵/۰۱	۲۴/۸۶	۲۵	۲۵/۰۴	۲۴/۹۳	۲۵/۰۳
پروتئین	۴۰/۹۷	۴۰/۰۵	۴۱/۰۶	۴۰/۹۱	۴۱/۰۵	۴۱/۰۶	۴۱/۰۶	۴۱/۰۶
خاکستر	۲۸/۲۷	۱۷/۱۱	۲۸/۶۶	۱۷/۱۹	۲۷/۳۹	۱۷/۱۱	۲۷/۱۱	۱۷/۰۳
رطوبت	۱۰/۱۳	۱۰/۰۹	۱۰/۰۶	۱۰/۲۲	۱۰/۱۳	۱۰/۰۷	۱۰/۰۰	۱۰/۲۷

^۱ مکمل معدنی تشکیل شده از ۲۶۰۰ میلی‌گرم منگنز، ۶۰۰ میلی‌گرم مس، ۶۰۰۰ میلی‌گرم آهن، ۴۶۰۰ میلی‌گرم روی، ۵۰ میلی‌گرم سلنیوم، ۱۰۰ میلی‌گرم ید، ۵۰ میلی‌گرم کبالت، ۱۰۰۰۰۰ میلی‌گرم کولین کلراید.

آمکمل ویتامینی تشکیل شده از ۱۲۰۰۰۰۰ واحد ویتامین آ، ۴۰۰۰۰۰ واحد ویتامین دی ۳، ۳۰۰۰ واحد ویتامین ای، ۵۴۰۰ میلی گرم ویتامین سی، ۲۰۰ میلی گرم ویتامین ب ۱، ۳۳۶۰ میلی گرم ویتامین ب ۲، ۷۲۰۰ میلی گرم ویتامین ب ۳، ۹۰۰۰ میلی گرم ویتامین ب ۵، ۲۴۰۰ میلی گرم ویتامین ب ۶، ۶۰۰ میلی گرم ویتامین ب ۹، ۴ میلی گرم ویتامین ب ۱۲.

ساخته شد. جیره‌ها سه مرحله در طول دوره ساخته و در هوای آزاد خشک شدند. غذادهی بچه ماهیان تا حد اشباع و سیری کامل، روزانه ۲ بار در ساعات ۹ و ۱۷ انجام شد. به منظور اطلاع دقیق از ترکیب جیره‌های ساخته شده، نمونه‌ای از هر یک از آنها در آزمایشگاه به روش AOAC (۲۰۰۵) تجزیه شده که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

محاسبه شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای

در ابتدای دوره و پس از ۸ هفته پرورش، درازا و وزن ماهیان هر مخزن به‌طور انفرادی با استفاده از کولیس و ترازو ثبت شد. شاخص‌های رشد شامل درصد افزایش وزن بدن، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی در پایان آزمایش از طریق روابط زیر محاسبه شدند (Arredondo-Figueroa et al., 2012):

وزن اولیه / (وزن اولیه - وزن نهایی) × ۱۰۰ = درصد افزایش وزن

زمان دوره آزمایش / (لگاریتم وزن اولیه - لگاریتم وزن نهایی) × ۱۰۰ = نرخ رشد ویژه (درصد/روز)

(افزایش وزن ماهی / غذای خورده شده در طول دوره پرورش) = ضریب تبدیل غذایی

بخش دیگری از خون در لوله آزمایش قرار گرفته و به منظور برداشت سرم پس از لخته شدن سانتریفیوژ شد. سانتریفیوژ خون در ۴۶۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد و محلول رویی حاصله به دقت جداسازی و در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پروتئین تام، گلوکز، آلبومین، تری-گلیسرید و کلسترول با استفاده از کیت تجاری (شرکت پارس آزمون، کرج، ایران) و طبق دستور موجود بر روی کیت سنجش شد. برای این کار، ۱۰ میکرولیتر نمونه سرمی برای اندازه‌گیری گلوکز، آلبومین، تری‌گلیسرید و کلسترول و ۲۰ میکرولیتر نمونه سرمی برای اندازه‌گیری پروتئین تام پس از ۲۰ دقیقه انجمادزدایی در دمای اتاق با ۱ میلی‌لیتر معرف

جیره‌های آزمایشی بچه ماهیان قزل‌آلا بر اساس منابع و سطوح کربوهیدراتی با نرم‌افزار UFFDA طبق جدول ۱ تنظیم شد. پودر چربی از دانه روغن آفتابگردان با استفاده از اکسید کلسیم تحت فشار و دمای بالا در شرکت آوید (شهرک صنعتی بشل، قائم‌شهر، مازندران) تهیه شد و به عنوان بخش زیادی از منبع چربی و از چاودار و ذرت به عنوان منابع کربوهیدراتی در دو سطح ۱۰۰ و ۲۵۰ گرم استفاده شد. با توجه به اهمیت چربی در جیره قزل‌آلی رنگین‌کمان از ۲۵٪ چربی استفاده شد (Karalazos et al., 2007). به دلیل استفاده از پودر چربی (پودر خشک) به عنوان درصد بالای چربی، نیازی به بایندر به منظور چسبندگی جیره به هم نبود. به منظور بالانس میزان پروتئین جیره‌های مختلف از ماسه، نمک و زئولیت به دلیل خنثی بودن در سطوح ۱۰۰ کربوهیدراتی به عنوان فیلر استفاده شد. اقلام مورد نیاز از کارخانه مواد غذایی طیور و آبزیان (ساری، مازندران) تهیه و جیره با استفاده از چرخ گوشت با اندازه چشمه ۲/۵ میلی‌متر

اندازه‌گیری فراسنجه‌های خونی و سرمی

پس از ۸ هفته، از هر مخزن به طور تصادفی تعداد ۵ قطعه ماهی برای خون‌گیری صید شد. ابتدا ماهیان با مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پودر گل میخک بیهوش شدند (Hoseinifar et al., 2016) و خون‌گیری با استفاده از سرنگ از ساقه دمی انجام شد. تعداد گلبول‌های قرمز (RBC) و سفید (WBC) به کمک لام نئوبار و به روش هموسیتمتری تعیین شد (Houston, 1990). غلظت هموگلوبین (Hb) به کمک محلول درابکین و قرائت در دستگاه اسپکتروفتومتر (Unico UV-2150) و درصد هماتوکریت (Hct) با استفاده از سانتریفیوژ خون محاسبه شدند (Drabkin, 1945).

داشت ($p < 0.05$)، به این ترتیب که اثر سطوح مختلف کربوهیدراتی یعنی ۱۰۰ و ۲۵۰ گرم بر فراسنجه‌های رشد وابسته به وجود یا عدم وجود لیزو تغییر یافت. وزن نهایی، درصد افزایش وزن بدن، نرخ رشد ویژه و غذای مصرف‌شده در تیمارهای تغذیه‌شده با ۱۰۰ گرم منابع کربوهیدراتی (ذرت و چاودار) با افزودن لیزوفسفولیپید افزایش پیدا کردند، اما برعکس، افزودن لیزوفسفولیپید در جیره‌های حاوی ۲۵۰ گرم کربوهیدرات سبب کاهش این مقادیر شد ($p < 0.05$)، به طوری که بیشترین مقادیر وزن نهایی و غذای مصرف‌شده در چاودار ۲۵۰ یافت شد، در حالی که کمترین مقادیر مذکور در ذرت و چاودار ۱۰۰ مشاهده شد ($p < 0.05$). همچنین، ماهیان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی ذرت و چاودار ۱۰۰ لیزو و ۲۵۰ (فاقد لیزو) به‌طور معنی‌دار بالاتر از دیگر جیره‌ها بودند ($p < 0.05$). در مقابل، ضریب تبدیل غذایی تحت تأثیر سطوح، جیره و لیزو قرار نگرفت و اثرات متقابلی بین آنها مشهود نبود ($p > 0.05$).

ترکیب شد و پس از ۱۰ دقیقه در دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۵۷۶ نانومتر خوانده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش در قالب $2 \times 2 \times 2$ فاکتوریل طراحی شد و از آزمون سه‌طرفه به‌منظور تعیین اثر متقابل نوع منبع کربوهیدرات، سطح منبع کربوهیدرات و لیزوفسفولیپید در سطح معنی‌داری ۵٪ استفاده شد. در صورت وجود اختلاف معنی‌دار بدون اثر متقابل، تست چند دامنه‌ای دانکن برای محاسبه تفاوت میانگین‌ها انجام شد. از نرم‌افزار SPSS برای آزمون آماری داده‌ها استفاده شد.

نتایج

طبق نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های رشد (جدول ۲ و ۳)، شاخص‌های وزن نهایی، درصد افزایش وزن بدن، نرخ رشد ویژه و غذای مصرف‌شده بین لیزو و سطح اثر متقابل وجود

جدول ۲ فراسنجه‌های رشد و مصرف غذایی ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با ذرت و چاودار و سطوح مختلف کربوهیدرات در حضور و عدم حضور لیزوفسفولیپید پس از ۸ هفته.

شاخص‌ها	جیره		ذرت		چاودار	
	سطوح		۲۵۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰
	لیزو					
وزن اولیه (گرم)	لیزو صفر	$27/16 \pm 1/29$	$26/65 \pm 0/45$	$26/81 \pm 0/45$	$27/59 \pm 1/14$	$26/93 \pm 0/97$
	لیزو ۹	$26/93 \pm 0/97$	$26/99 \pm 0/71$	$26/23 \pm 0/68$	$26/06 \pm 1/07$	
وزن نهایی (گرم)	لیزو صفر	$50/55 \pm 2/19^c$	$61/08 \pm 0/62^b$	$53/19 \pm 2/84^c$	$66/04 \pm 1/72^a$	$60/11 \pm 2/78^b$
	لیزو ۹	$60/11 \pm 2/78^b$	$47/48 \pm 3/63^d$	$61/11 \pm 1/27^b$	$45/84 \pm 0/95^d$	
درصد افزایش وزن (%)	لیزو صفر	$86/57 \pm 15/05^{bc}$	$129/27 \pm 6/15^a$	$98/52 \pm 13/96^b$	$139/57 \pm 11/10^a$	$123/15 \pm 16/04^a$
	لیزو ۹	$123/15 \pm 16/04^a$	$75/86 \pm 11/70^c$	$140/63 \pm 1/17^a$	$76/07 \pm 7/25^c$	
نرخ رشد ویژه (% در روز)	لیزو صفر	$1/10 \pm 0/14^{bc}$	$1/48 \pm 0/04^a$	$1/22 \pm 0/12^b$	$1/55 \pm 0/08^a$	$1/43 \pm 0/13^a$
	لیزو ۹	$1/43 \pm 0/13^a$	$1/00 \pm 0/11^c$	$1/56 \pm 0/01^a$	$1/01 \pm 0/07^c$	
ضریب تبدیل غذایی	لیزو صفر	$1/14 \pm 0/11$	$1/17 \pm 0/05$	$1/10 \pm 0/07$	$1/12 \pm 0/02$	$1/14 \pm 0/06$
	لیزو ۹	$1/08 \pm 0/06$	$1/02 \pm 0/40$	$1/18 \pm 0/12$	$1/14 \pm 0/08$	
غذای مصرف‌شده (گرم)	لیزو صفر	$543/25 \pm 56/19^{cd}$	$782/75 \pm 26/64^a$	$573/08 \pm 18/59^c$	$780/61 \pm 82/45^a$	$700/59 \pm 26/18^{ab}$
	لیزو ۹	$700/59 \pm 26/18^{ab}$	$502/11 \pm 17/08^{cd}$	$676/63 \pm 87/02^b$	$467/85 \pm 27/46^d$	

میانگین (\pm انحراف معیار)، حروف غیرمشابه در هر گروه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$).

جدول ۳ اثرات متقابل سطح، جیره و لیزوفسفولیپید بر فراسنجه‌های رشد و مصرف غذایی ماهیان قزل آلی رنگین کمان.

شاخص	جیره	سطح	لیزو	جیره × سطح	جیره × لیزو	لیزو × سطح	جیره × لیزو × سطح
وزن نهایی	۰/۰۶۹	۰/۲۴۳	۰/۰۰۰	۰/۹۰۹	۰/۰۴۰	۰/۰۰۰	۰/۱۸۲
درصد افزایش وزن	۰/۰۴۷	۰/۱۴۹	۰/۰۵۶	۰/۳۲۳	۰/۸۰۹	۰/۰۰۰	۰/۴۱۲
نرخ رشد ویژه	۰/۰۶۳	۰/۱۳۰	۰/۰۴۷	۰/۳۲۷	۰/۷۷۷	۰/۰۰۰	۰/۵۵۸
ضریب تبدیل غذایی	۰/۶۲۷	۰/۸۲۶	۰/۶۷۹	۰/۹۵۷	۰/۲۵۲	۰/۶۳۴	۰/۹۱۸
غذای مصرف شده	۰/۷۱۶	۰/۶۳۵	۰/۰۰۱	۰/۶۱۵	۰/۳۱۲	۰/۰۰۰	۰/۷۹۶

اعداد کمتر از ۰/۰۵ نشان‌دهنده اثر معنی‌دار هستند. در غیر این صورت، اثر انفرادی یا متقابل معنی‌دار نیستند ($p > 0.05$).

جیره چاودار گلبول قرمز و هماتوکریت به استثنای چاودار ۲۵۰ تحت تأثیر افزودن لیزو قرار نگرفتند ($p > 0.05$) و گلبول قرمز در چاودار ۲۵۰ گرم با افزودن لیزو به‌طور معنی‌دار کاهش یافت ($p < 0.05$). همچنین، گلبول سفید و هموگلوبین تحت تأثیر سطوح، جیره، لیزو و یا اثرات متقابل آنها قرار نگرفتند ($p > 0.05$).

طبق نتایج شاخص‌های خونی ارائه‌شده در جداول ۴ و ۵، شاخص‌های گلبول قرمز و هماتوکریت اثر متقابلی را بین جیره × لیزو و لیزو × سطح نشان دادند. در جیره ذرت افزودن لیزو به سطح ۱۰۰ سبب افزایش مقادیر گلبول قرمز و هماتوکریت شد ($p < 0.05$)، در حالی که در سطح ۲۵۰ با افزودن لیزو، تغییرات شاخص‌های مذکور معنی‌دار نبود ($p < 0.05$) در

جدول ۴ فراسنجه‌های خونی ماهیان قزل آلی رنگین کمان تغذیه‌شده با انواع (ذرت و چاودار) و سطوح مختلف (۱۰۰ و ۲۵۰ گرم) کربوهیدرات در حضور و عدم حضور لیزوفسفولیپید پس از ۸ هفته.

شاخص	جیره		ذرت		سطوح
	۲۵۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰	
گلبول سفید	۶/۴۸ ± ۱/۱۵	۵/۵۰ ± ۱/۰۱	۶/۲۷ ± ۱/۸۴	۵/۷۲ ± ۱/۰۱	لیزو صفر
($\times 10^3/\text{mm}^3$)	۶/۱۵ ± ۱/۶۵	۵/۹۴ ± ۰/۸۶	۵/۴۴ ± ۱/۱۵	۵/۹۴ ± ۱/۷۳	لیزو ۹
گلبول قرمز	۱/۱۱ ± ۰/۱۱ ^a	۰/۹۶ ± ۰/۰۷ ^{ab}	۰/۹۸ ± ۰/۰۷ ^{ab}	۰/۷۶ ± ۰/۰۳ ^c	لیزو صفر
($\times 10^6/\text{mm}^3$)	۰/۸۵ ± ۰/۰۴ ^{bc}	۱/۰۴ ± ۰/۰۱ ^a	۰/۸۵ ± ۰/۰۵ ^{bc}	۱/۰۹ ± ۰/۱۰ ^a	لیزو ۹
هموگلوبین	۸/۰۸ ± ۰/۷۹	۷/۵۴ ± ۰/۴۰	۸/۱۸ ± ۰/۵۸	۷/۹۷ ± ۰/۵۶	لیزو صفر
(g/dL)	۷/۵۱ ± ۰/۷۰	۷/۵۱ ± ۰/۵۶	۸/۴۴ ± ۰/۷۴	۸/۱۳ ± ۰/۹۴	لیزو ۹
هماتوکریت (%)	۵۲/۰۳ ± ۱/۶۶ ^a	۵۰/۱۸ ± ۲/۷۳ ^a	۴۴/۸۶ ± ۱/۸۳ ^c	۴۴/۷۰ ± ۰/۸۹ ^c	لیزو صفر
	۴۸/۸۷ ± ۳/۱۰ ^{ab}	۵۱/۷۸ ± ۱/۰۳ ^a	۴۶/۶۴ ± ۰/۹۴ ^{bc}	۵۱/۶۶ ± ۱/۱۹ ^a	لیزو ۹

میانگین (± انحراف معیار)، حروف غیرمشابه در هر گروه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$).

جدول ۵ اثرات متقابل سطح، جیره و لیزو فسفولیپید بر فراسنجه‌های خونی ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان.

شاخص	جیره	سطح	لیزو	جیره × سطح	جیره × لیزو	لیزو × سطح	جیره × لیزو × سطح
گلبول سفید	۰/۷۶۷	۰/۶۰۶	۰/۸۳۶	۰/۶۴۱	۰/۷۶۷	۰/۴۵۴	۰/۹۱۰
گلبول قرمز	۰/۰۶۱	۰/۶۵۹	۰/۹۰۷	۰/۸۷۰	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰	۰/۳۹۴
هموگلوبین	۰/۰۸۳	۰/۳۵۸	۰/۸۹۰	۰/۹۸۷	۰/۳۷۷	۰/۷۰۱	۰/۵۷۲
هماتوکریت	۰/۰۰۰	۰/۰۷۸	۰/۰۳۷	۰/۲۴۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۸۹۴

اعداد کمتر از ۰/۰۵ نشان‌دهنده اثر معنی‌دار هستند. در غیر این صورت، اثرات انفرادی یا متقابل، معنی‌دار نیستند ($p > 0.05$).

گلیسرید با افزودن لیزو به ذرت و چاودار افزایش یافت، در حالی که یک روند نزولی با افزایش سطح کربوهیدرات در جیره‌ها مشاهده شد ($p < 0.05$). علاوه بر این، پروتئین تام، آلبومین و گلوکز تفاوت معنی‌داری بین سطوح، منابع کربوهیدراتی و لیزو نشان ندادند ($p > 0.05$).

طبق جداول ۶ و ۷، کلسترول اثر متقابلی را بین جیره و لیزو نشان داد ($p < 0.05$) و در دیگر شاخص‌ها، اثر متقابل یافت نشد ($p > 0.05$). مقادیر کلسترول با افزودن لیزو به سطوح مختلف چاودار و ذرت کاهش یافت و در جیره‌های فاقد لیزو فسفولیپید در دسته حاوی ۱۰۰ گرم منابع کربوهیدرات بالاتر از سطح ۲۵۰ گرم بود ($p < 0.05$). برعکس، مقدار تری-

جدول ۶ فراسنجه‌های بیوشیمیایی ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با انواع ذرت و چاودار و سطوح مختلف کربوهیدرات در حضور و عدم حضور لیزو فسفولیپید پس از ۸ هفته.

شاخص	جیره		ذرت		چاودار
	سطوح	لیزو	۱۰۰	۲۵۰	
کلسترول (mg/mL)	لیزو صفر	۲۳۴/۷۱ ± ۸/۹۱ ^a	۲۱۰/۲۲ ± ۹/۴۴ ^b	۲۰۶/۳۴ ± ۱۰/۱۸ ^{bc}	۱۸۸/۶۲ ± ۷/۲۶ ^{de}
تری‌گلیسرید (mg/mL)	لیزو ۹	۱۹۲/۵۸ ± ۶/۸۳ ^d	۱۷۷/۷۱ ± ۵/۵۰ ^{ef}	۱۹۶/۲۵ ± ۷/۲۴ ^{bcd}	۱۶۷/۵۹ ± ۶/۱۹ ^f
پروتئین تام (g/dL)	لیزو صفر	۲۰۲/۰۵ ± ۴/۲۲ ^c	۱۵۵/۴۸ ± ۶/۵۱ ^d	۲۱۳/۵۳ ± ۱۰/۴۳ ^{bc}	۱۶۶/۱۱ ± ۹/۵۱ ^d
گلوکز (mg/mL)	لیزو ۹	۲۵۲/۴۵ ± ۹/۹۳ ^a	۲۱۴/۵۴ ± ۱۶/۱۷ ^{bc}	۲۴۹/۱۷ ± ۱۷/۴۱ ^a	۲۲۵/۵۵ ± ۹/۲۱ ^b
آلبومین (g/dL)	لیزو صفر	۵/۶۶ ± ۰/۲۲	۵/۷۸ ± ۰/۳۴	۵/۱۵ ± ۰/۳۵	۵/۲۹ ± ۰/۹۵
	لیزو ۹	۵/۹۰ ± ۰/۴۱	۵/۲۵ ± ۰/۳۳	۵/۵۴ ± ۰/۲۹	۵/۶۰ ± ۰/۴۳
	لیزو صفر	۷۳/۶۸ ± ۵/۹۶	۷۵/۴۴ ± ۳/۴۴	۶۶/۱۵ ± ۷/۶۱	۶۶/۲۱ ± ۵/۶۴
	لیزو ۹	۶۸/۹۱ ± ۷/۲۳	۷۵/۷۷ ± ۳/۸۳	۶۵/۹۷ ± ۵/۷۳	۶۸/۳۲ ± ۴/۳۰
	لیزو صفر	۴/۲۶ ± ۰/۳۱	۴/۵۸ ± ۰/۲۶	۴/۶۳ ± ۰/۲۶	۴/۴۸ ± ۰/۲۳
	لیزو ۹	۴/۴۱ ± ۰/۲۲	۴/۳۱ ± ۰/۳۸	۴/۴۸ ± ۰/۲۳	۴/۲۱ ± ۰/۲۲

میانگین (± انحراف معیار)، حروف غیرمشابه در هر گروه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$).

جدول ۷ اثرات متقابل سطح، جیره و لیزوفسفولیپید بر فراسنجه‌های بیوشیمیایی ماهیان قزل آلی رنگین کمان.

شاخص	جیره	سطح	لیزو	جیره × سطح	جیره × لیزو	لیزو × سطح	جیره × لیزو × سطح
کلسترول	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۹۲	۰/۰۰۴	۰/۹۱۹	۰/۱۲۸
تری‌گلیسرید	۰/۱۲۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۴۷۴	۰/۴۴۴	۰/۰۹۶	۰/۴۲۱
پروتئین تام	۰/۲۰۹	۰/۶۶۴	۰/۶۱۰	۰/۳۵۳	۰/۲۲۰	۰/۲۸۷	۰/۳۸۰
گلوکز	۰/۰۱۰	۰/۲۴۹	۰/۷۸۹	۰/۵۱۱	۰/۵۰۱	۰/۴۳۵	۰/۷۶۵
آلبومین	۰/۳۷۴	۰/۹۲۷	۰/۱۱۶	۰/۲۹۴	۰/۲۸۷	۰/۱۲۰	۰/۷۶۰

اعداد کمتر از ۰/۰۵ نشان‌دهنده اثر معنی‌دار هستند. در غیر این صورت، اثرات انفرادی یا متقابل معنی‌دار نیستند (P > ۰/۰۵).

بحث

شده با کربوهیدرات پایین (سطوح ۱۰۰) اختلالی در قابلیت استفاده از کربوهیدرات مشاهده نشد و لیزوفسفولیپید منجر به بهبود رشد شد و همچنین، اثر متقابلی بین سطح و لیزو مشاهده شد. علاوه بر این، چاودار و ذرت ترکیبات گیاهی بوده و ممکن است در سطح زیاد و در ترکیب با لیزو ایجاد طعم ناخواسته کنند و منجر به کاهش اشتها و رشد شوند و یا لیزو سبب تحریک ترشح کوله‌سیتوکلینین با افزایش چسبندگی ماده گوارشی شده و از آنجا که این هورمون تأثیر منفی بر اشتها دارد، سبب کاهش اشتها شود. مقدار غذای دریافت‌شده توسط ماهی با افزودن لیزو به سطح ۲۵۰ هر دو منبع کربوهیدراتی کاهش یافته که نشان‌دهنده کاهش اشتها در تیمارهای مذکور است و می‌تواند تأییدی بر این ادعا باشد. اگرچه، لیزوفسفولیپید در سطوح ۱۰۰ ذرت و چاودار سبب افزایش دریافت غذا، افزایش وزن بدن و نرخ رشد ویژه شده است.

Ufodike و Matty (۱۹۸۹) گزارش کردند که قزل‌آلا توانایی استفاده از ۲۰ تا ۳۰٪ ذرت در جیره را دارد. چاودار در جیره غذایی قزل‌آلی رنگین کمان به‌ندرت در مطالعات استفاده شده و اطلاعاتی در مورد سطح بهینه آن موجود نیست. تحقیق حاضر نشان می‌دهد که قزل‌آلا توانسته افزایش سطح ذرت و چاودار را از ۱۰۰ به ۲۵۰ تحمل کند. افزایش سطح چاودار و ذرت، اختلالی در رشد ماهیان ایجاد نکرد، در حالی که در حضور لیزوفسفولیپید با افزایش سطح کربوهیدرات رشد کاهش یافت، به این معنی که لیزوفسفولیپید قابلیت استفاده از کربوهیدرات را محدود کرد. ممکن است با افزایش چسبندگی گوارشی تحت تأثیر افزایش NSP، لیزوفسفولیپید با افزایش فعالیت آنزیم لپاز در هضم

در مطالعه حاضر، افزودن لیزوفسفولیپید در سطوح ۱۰۰ و ۲۵۰ کربوهیدرات، صرف نظر از منابع کربوهیدراتی تأثیر معنی‌داری بر فراسنجه‌های رشد نشان داد. همچنین، افزودن لیزو به جیره‌های حاوی ۱۰۰ گرم ذرت و چاودار سبب افزایش کارایی رشد شد، در حالی که افزودن آن در سطح ۲۵۰ گرم هر دو منبع کربوهیدراتی، برعکس، کارایی رشد (افزایش وزن بدن و نرخ رشد ویژه) را کاهش داد. به نظر می‌رسد افزایش عملکرد رشد با افزودن لیزوفسفولیپید به منابع کربوهیدراتی وابسته به سطح مورد استفاده از کربوهیدرات است. به‌طور کلی، قزل‌آلی رنگین کمان توانایی محدودی برای استفاده از کربوهیدرات دارد (Skiba-Cassy et al. 2013). نقش لیزوفسفولیپید در افزایش هضم‌پذیری چربی‌ها در جیره قزل-آلی رنگین کمان گزارش شده است (Taghavizadeh et al. 2020). پیش‌تر توسط محققان عنوان شده که کنترل قند خون و ظرفیت استفاده از کربوهیدرات در جیره حاوی چربی پایین بهتر اتفاق می‌افتد و با افزایش چربی، ظرفیت کمتری برای مصرف کربوهیدرات در ماهی مشاهده می‌شود؛ به این دلیل که چربی جیره، ظرفیت تولید گلوکز از کبد (فعالیت آنزیم گلوکز ۶-فسفاتاز) را افزایش داده و سبب کاهش فسفریلاسیون گلوکز (فعالیت هگزوکیناز و گلوکوکیناز) و نیز کاهش توان بالقوه ساخت چربی در کبد (FAS) و گلوکز ۶-فسفات دهیدروژناز) می‌شود (Figueiredo-Silva et al. 2011). ممکن است زمانی که کربوهیدرات بالا در جیره قزل‌آلا استفاده شد، لیزوفسفولیپید با افزایش هضم چربی قابلیت استفاده کربوهیدرات را در بدن کاهش داده و سبب ایجاد اثر متقابل شده باشد، در حالی که در ماهیان تغذیه

NSP هایی مانند بتا-گلوکان از ترکیباتی هستند که موجب تقویت ایمنی در حیوانات می‌شوند (Kumar et al. 2005). در مطالعه کنونی، افزایش سطح ذرت در جیره سبب افزایش تعداد گلبول قرمز شد و ماهیان تغذیه‌شده با جیره حاوی چاودار، گلبول قرمز و هماتوکریت بالاتری در مقایسه با ذرت نشان دادند که احتمالاً به دلیل بالاتر بودن بتاگلوکان موجود در چاودار است. بتا-گلوکان در جیره غذایی قزل‌آلای رنگین-کمان، ماهی آزاد اطلس، گربه ماهی و کپور از طریق تقویت ایمنی غیر اختصاصی سبب افزایش تعداد سلول‌های بیگانه-خوار و فعالیت باکتری‌کشی ماکروفاژها می‌شود (Kumar et al. 2005). همچنین، افزایش فعالیت بیگانه‌خواری گلبول‌های سفید در کپور هندی *Labeo rohita* توسط بتا-گلوکان گزارش شده است (Ali et al. 1996). در تحقیق Kumar و همکاران (۲۰۰۵) بتا-گلوکان با موفقیت برای افزایش مقاومت میگوی *Penaeus japonicus* در برابر بیماری ویبریوزیس در جیره غذایی استفاده شد. علاوه بر این، افزودن ۰/۲٪ بتا-گلوکان در جیره *Penaeus monodon* منجر به افزایش تعداد گلبول‌های خون و فعالیت باکتری‌کشی در برابر ویبریوزیس و لکه سفید شد (Chang et al. 2003). همچنین، در سطح ۱۰۰ ذرت تعداد گلبول قرمز و هماتوکریت با افزودن لیزو افزایش یافت. افزایش هماتوکریت و گلبول قرمز به واسطه تحریک تولید گلبول‌های قرمز در ماهیان تغذیه‌شده با فسفولیپید در مطالعات مشابه مانند Rehulka و Bohumil (۲۰۰۳) و Rehulka (۱۹۹۴) گزارش شده است. در حالی که به نظر می‌رسد زمانی که سطح کربوهیدرات از ۱۰۰ به ۲۵۰ افزایش یافت، با افزودن لیزوفسفولیپید، کاهش تعداد گلبول قرمز مشاهده شد و در جیره‌های حاوی لیزو افزایش کربوهیدرات سبب کاهش مقدار مربوطه شد. دلیل این موضوع واضح نیست، اما می‌تواند در ارتباط با کاهش هضم پروتئین و متعاقب آن، کاهش دسترسی بتا-گلوکان موجود در جیره‌های مربوطه باشد. علاوه بر این، مقدار کلسترول خون با افزودن لیزوفسفولیپید و افزایش سطح کربوهیدرات کاهش یافت، در حالی که تری-گلیسرید با افزودن لیزوفسفولیپید به جیره‌ها افزایش، ولی با افزایش سطح کربوهیدرات کاهش یافت. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، افزودن ۹ گرم لیزو احتمالاً سبب تحریک سنتز

کربوهیدرات تداخل ایجاد کند، آنزیم‌های دخیل در هضم NSP را غیرفعال کرده و سبب کاهش هضم‌پذیری پروتئین به علت اختلال آنزیم‌های گوارشی باشد که به از دست رفتن پروتئین و کاهش رشد منجر شده است. Mathlouthi و همکاران (۲۰۰۲) جیره‌های حاوی ذرت و چاودار را در جوجه مقایسه کردند و نشان دادند رشد در اثر چاودار کاهش یافت، در حالی که افزایش رشد و مصرف غذا با افزودن آنزیم‌های گزیلاناز و بتا-گلوکاناز به جیره جوجه تغذیه‌شده با تیمارهای چاودار به‌دست آمد. مطالعه حاضر با این مطالعه مغایرت داشت. دلیل این امر ممکن است تفاوت در گونه و آنزیم مصرفی باشد، زیرا NSP اصلی در چاودار بتاگلوکان است و آنزیم بتاگلوکاناز در قزل‌آلا وجود ندارد و یا مقدارش ناچیز است. در تحقیق Leenhouders و همکاران (۲۰۰۷b) تأثیر گنجاندن ذرت، گندم، جو و چاودار در سطح ۴۰٪ و جیره ترکیبی ذرت چاودار (۲۰:۲۰٪) به مدت ۶ هفته بر گربه ماهی آفریقایی (*Clarias gariepinus*) نشان داد که بیشترین چسبندگی گوارشی و جیره و البته کمترین هضم-پذیری مواد غذایی در ماهیان تغذیه‌شده با چاودار مشاهده می‌شود، در حالی که کاهش کارایی رشد با افزایش گرانروی گزارش نشد. در تحقیق دیگر بر روی تیلاپیای نیل از سطح ۴۰٪ گندم، ذرت، چاودار و جو در جیره استفاده کردند و بیشترین چسبندگی و کمترین رشد در چاودار مشاهده شد، در حالی که ذرت بالاترین رشد را نشان داد (Leenhouders et al. 2007a). قابلیت استفاده از منابع کربوهیدراتی و سطح قابل مصرف در گونه‌های مختلف از ماهیان متفاوت بوده و نتایج گوناگون در این مطالعات به این امر مربوط است. برای مثال، در ماهی آزاد NSP موجود در سویای حاوی پروتئین پایین تأثیر منفی بر هضم‌پذیری و رشد نشان داد (Refstie et al. 1999). Shiao و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که افزودن کیتین و کیتوزان در سطح ۱۰٪ به جیره تیلاپیا، هضم‌پذیری مواد مغذی و رشد را کاهش می‌دهند. همچنین، جیره حاوی ۱۰٪ صمغ گوار (حاوی نسبت بالایی از گالاتومانان)، رشد را در قزل‌آلا کاهش داد (Storebakken, 1985). مقدار و ساختار NSP موجود در این ترکیبات و دیگر اجزای جیره از عوامل دیگر اثرگذار بر رشد ماهی هستند و در تحقیقات انجام‌شده تفاوت دارند.

گلیسرید در جیره‌های حاوی سطح بالای کربوهیدرات می‌-انجامد. به‌طور مشابه، Vahouny و همکاران (۱۹۸۱) نشان دادند که NSPها متابولیسم چربی را از طریق اتصال به نمک‌های صفراوی، چربی‌ها و کلسترول تحت تأثیر قرار می‌-دهند. همچنین، Sinha و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که افزایش NSP در جیره در حیوانات تک معده‌ای به کاهش قابلیت استفاده از چربی‌ها منجر می‌شود. در کپور معمولی و تیلپیا آندوسپرم لوبیای درختی (حاوی ۷۵٪ گالاکتومانان) به‌طور معنی‌دار کلسترول خون را در سطوح به ترتیب ۷/۲ و ۵/۸٪ کاهش داد (Hossain et al. 2001). همچنین، کاهش کلسترول خون در ماهی آزاد اطلس تغذیه‌شده با آرد سویا به وجود NSP سویا نسبت داده شد (Refstie et al. 1999). در مطالعه مشابهی در ماهی آزاد تغذیه‌شده با آرد سویا حاوی ۱۰۰ گرم بر کیلوگرم خوراک NSP کاهش سطح کلسترول مشاهده شد (Kraugerud et al. 2007). از طرفی، چاودار دارای فیتوسترول است که با جایگاه کلسترول باند شده و سبب افزایش دفع آن می‌شود (Piironen et al. 2002). به‌طور مشابه، در مطالعه حاضر مقدار کلسترول در ماهیان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی چاودار کمتر از ذرت بود. به‌طور کلی، به نظر می‌رسد که قزل‌آلای رنگین‌کمان قابلیت استفاده از ۲۵۰ گرم چاودار و ذرت را در جیره حاوی پودر چربی بدون لیزوفسفولیپید داشته باشد و لیزوفسفولیپید اثر منفی در این سطح از منابع کربوهیدراتی دارد، در حالی که لیزوفسفولیپید در سطح ۱۰۰ گرم ذرت و چاودار به افزایش رشد و تحریک خون‌سازی کمک کرده است. آزمایش‌های بیشتر ممکن است به روشن‌شدن مکانیسم دقیق هضم چربی و کربوهیدرات و ارتباط آنها در قزل‌آلای رنگین‌کمان کمک کند.

منابع

Ali, A., Karunasagar, I., Pais, R., Tauro, P. 1996. Effect of yeast glucans on the immune response of Indian major carp *Labeo rohita*. Abst. 37th Annual Congress

نمک‌های صفراوی، تبدیل کلسترول به نمک‌های صفراوی و در نهایت، کاهش بازجذب کلسترول و کاهش مقدار کلسترول سرم می‌شود (Taghavizadeh et al. 2020). این در حالی است که افزایش انتقال تری‌گلیسرید توسط لیزوفسفولیپید به واسطه نقش آن در هضم‌پذیری چربی سبب افزایش این مقادیر در سرم ماهیان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی ۱۰۰ ذرت و چاودار به همراه لیزوفسفولیپید شد. به علاوه، لیزوفسفولیپید به دلیل دارا بودن اسید چرب و گلیسرول در ساختارش به عنوان یک منبع چربی توسط ماهی استفاده می‌شود و افزایش تری‌گلیسرید مشاهده‌شده در تیمارهای حاوی لیزو ممکن است به این دلیل باشد.

جیره حاوی NSP از سرعت خالی شدن معده می‌کاهد و ممکن است جذب روده‌ای مواد مغذی از جمله کلسترول را به تأخیر بیندازد (Bach Knudsen, 2001). در گربه ماهی آفریقایی تغذیه‌شده با غلاتی مانند ذرت، گندم، جو و چاودار کاهش کلسترول و گلوکز مشاهده شد (Leenhouders et al. 2007b). مطالعه حاضر با این تحقیق همسو بود، اگرچه در مطالعه حاضر تفاوتی در مقدار گلوکز در تیمارهای مختلف مشاهده نشد. نتایج مشابهی در برخی گونه‌های دیگر مانند قزل‌آلای رنگین‌کمان و ماهی آزاد اقیانوس اطلس تغذیه‌شده با جیره حاوی NSP گزارش شد (Kaushik et al. 1999; Refstie et al. 1995). دلیل این امر، به دام افتادن نمک‌های صفراوی در نتیجه افزایش چسبندگی عنوان شده است. NSP ترشح نمک‌های صفراوی را تقویت می‌کند که نهایتاً منجر به بازجذب کم و افزایش دفع نمک‌های صفراوی از طریق مدفوع می‌شود (Ikegami et al. 1990). در نتیجه، بدن برای جبران نمک‌های صفراوی، ساخت آن را از کبد تحریک می‌کند و از آنجا که اسیدهای صفراوی از کلسترول مشتق می‌شوند، کلسترول خون کاهش می‌یابد. از طرفی نمک‌های صفراوی به هضم و جذب تری‌گلیسرید کمک کرده و به دام افتادن آن در ماده گوارشی دارای چسبندگی بالا، به کاهش جذب تری‌گلیسرید و کاهش مقدار تری-

Association Microbiology, December 4-6, Chennai, India.

Amirkolaie, A.K., Leenhouders, J.I., Verreth, J.A.J., Schrama, J.W. 2005. Type of dietary fiber (soluble versus insoluble)

- influences digestion, faeces characteristics and faecal waste production in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture Research* 36: 1157-1166.
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. (16th ed). Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- Arredondo-Figueroa, J.L., Matsumoto-Soulé, J.J., Ponce-Palafox, J.T. 2012. Effects of protein and lipids on growth performance, feed efficiency and survival rate in fingerlings of Bay Snook (*Petenia splendida*). *International Journal of Animal and Veterinary Advances* 4: 204-213.
- Bach Knudsen, K.E. 2001. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. *Animal Feed Science and Technology* 90: 3-20.
- Chang, C.F., Su, M.S., Chen, H.Y., Liao, I.C. 2003. Dietary -1, 3-glucan effectively improves immunity and survival of *Penaeus monodon* challenged with white spot syndrome virus. *Fish and Shellfish Immunology* 15: 297-310.
- Drabkin, D.R. 1945. Crystallographic and optical properties of human hemoglobin: proposal for standardization of hemoglobin. *American Journal of Medicine Science* 209: 268-270.
- Figueiredo-Silva, A.C., Panserat, S., Kaushik, S., Geurden, I., Polakof, S. 2011. High levels of dietary fat impair glucose homeostasis in rainbow trout. *Journal of Experimental Biology* 215: 169-178.
- Hoseinifar, S.H., Sharifian, M., Vesaghi, M.J., Khalili, M., Esteban, A. 2014. The effects of dietary xylooligosaccharide on mucosal parameters, intestinal microbiota and morphology and growth performance of Caspian white fish (*Rutilus frisii kutum*) fry. *Fish and Shellfish Immunology* 39: 231-236.
- Hossain, M.A., Focken, U., Becker, K. 2001. Galactomannan-rich endosperm of *Sesbania (Sesbania aculeate)* seeds responsible for retardation of growth and feed utilisation in common carp, *Cyprinus carpio* L. *Aquaculture* 203: 121-132.
- Hosseini, S.M., Nourmohammadi, R., Nazarizadeh, H., Latshaw, J.D. 2018. Effects of lysolecithin and xylanase supplementation on the growth performance, nutrient digestibility and lipogenic gene expression in broilers fed low-energy wheat-based diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 102: 1564-1573.
- Hoston, A.H. 1990. Blood and circulation. In: Shreck, C.B., Moyle, P.B. *Methods in Fish Biology*. Bethesda, Maryland, American Fisheries Society, 273-335.
- Ikegami, S., Tsuchihashi, F., Harada, H., Tsuchihashi, N., Nishide, E., Innami, S. 1990. Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *The Journal of Nutrition* 120: 353-360.
- Karalazos, V., Bendiksen, E., Dick, J.R., Bell, J.G. 2007. Effects of dietary protein, and fat level and rapeseed oil on growth and tissue fatty acid composition and metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared at low water temperatures. *Aquaculture Nutrition* 13: 256-265.
- Kaushik, S.J., Cravedi, J.P., Lalles, J.P., Sumpter, J., Fauconneau, B., Laroche, M. 1995. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on the growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 133: 257-274.
- Kraugerud, O.F., Penn, M., Storebakken, t., Refstie, S., Krogdahl, A., Svihus, B. 2007. Nutrient digestibility and gut function in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with cellulose or non-starch polysaccharides from soy. *Aquaculture* 273: 96-107

- Kumar, V., Saurabh, S., Sahu, N.P., Pal, A.K. 2005. Glucan, a feed additive to manage aquatic animal health. *Aqua Feeds: Formulation & Beyond* 2: 9-11.
- Leenhouwers, J.I., Adjei-Boateng, D., Verreth, J.A.J., Schrama, J.W. 2006. Digesta viscosity, nutrient digestibility and organ weights in African catfish (*Clarias gariepinus*) fed diets supplemented with different levels of a soluble non-starch polysaccharide. *Aquaculture Nutrition* 12: 111-116.
- Leenhouwers, J.I., Ortega, R.C., Verreth, J.A.J., Schrama, J.W. 2007a. Digesta characteristics in relation to nutrient digestibility and mineral absorption in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed cereal grains of increasing viscosity. *Aquaculture* 273: 556-565.
- Leenhouwers, J.I., Ter, V.M., Verreth, J.A.J., Schrama, J.W. 2007b. Digesta characteristics and performance of African catfish (*Clarias gariepinus*) fed cereal grains that differ in viscosity. *Aquaculture* 264: 330-341.
- Li, B., Li, Z., Sun, Y., Wang, S., Huang, B., Wang, J. 2019. Effects of dietary lysolecithin (LPC) on growth, apparent digestibility of nutrient and lipid metabolism in juvenile turbot *Scophthalmus maximus* L. *Aquaculture and Fisheries* 4: 61-66.
- Liu, D., Ma, F., Krezhova, D. 2011. Soybean phospholipids: Recent Trends for Enhancing the Diversity and Quality of Soybean Products. Rijeka, Croatia. Intech. 483-500.
- Mathlouthi, N., Lallès, J.P., Lepercq, P., Juste, C., Larbier, M. 2002. Xylanase and β -glucanase supplementation improve conjugated bile acid fraction in intestinal contents and increase villus size of small intestine wall in broiler chickens fed a rye-based diet. *Journal of Animal Science* 80: 2773-2779.
- Piironen, V., Toivo, J., Lampi, A.M. 2002. Plant sterols in cereals and cereal products. *Cereal Chemistry Journal* 79: 148-154.
- Raju, M.V.L.N., Rao, S.V.R., Chakrabarti, P.P., Rao, B.V.S.K., Panda, A.K., Devi, B.L.A.P., Ramalho, P., Barata, M, Moura, P., Pousao-Ferreira, P., Dias, J. 2015. Effect of vegetable based diets on growth, intestinal morphology, activity of intestinal enzymes and haematological stress indicators in meagre (*Argyrosomus regius*). *Aquaculture* 447: 116-128.
- Refstie, S., Svihus, B., Shearer, K.D., Storebakken, T. 1999. Nutrient digestibility in Atlantic salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soybean products. *Animal Feed Science and Technology* 79: 331-345.
- Řehulka, J. 1994. The effect of antioxidant Neox and lecithin on production and body growth indexes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Zivocisna Vyroba-UZPI* 39: 149-162.
- Řehulka, J., Minařík, B. 2003. Effect of lecithin on the haematological and condition indices of the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research* 34: 617-627.
- Sinha, A.K., Kumar, V., Makkar, H.P.S., De Boeck, G., Becker, K. 2011. Non-starch polysaccharides and their role in fish nutrition - A review. *Food Chemistry* 127: 1409-1426.
- Shiau, S.Y., Yu, Y.P. 1999. Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* \times *O. aureus*. *Aquaculture* 179: 439-446.
- Svihus, B., Herstad, O., Newman, C.W. 1997. Effect of high-moisture storage of barley, oats, and wheat on chemical content and nutritional value for broiler chickens. *Acta Agricultura Scandinavica, Section A, Animal Science* 47: 39-47.

- Storebakken, T. 1985. Binders in fish feeds. I. Effect of alginate and guar gum on growth, digestibility, feed intake and passage through the gastrointestinal tract of rainbow trout. *Aquaculture* 47: 11-26.
- Taghavizadeh, M., Shekarabi, S.P.H., Mehrgan, M.S., Islami, H.R. 2020. Efficacy of dietary lysophospholipids (Lipidol™) on growth performance, serum immuno-biochemical parameters, and the expression of immune and antioxidant-related genes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 735315.
- Ufodike, E.B.C., Matty, A.J. 1989. Effect of potato and corn meal on protein and carbohydrate digestibility by rainbow trout. *The Progressive Fish-Culturist* 51: 113-114.
- Vahouny, G.V., Tombes, R., Cassidy, M.M., Krichevsky, D., Gallo, L.L. 1981. Dietary fibres. VI. Binding of fatty acids and monolein from mixed micelles containing bile salts and lecithin. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 166: 12-16.
- Zhang, B., Haitao, L., Zhao, D., Guo, Y., Barri, A. 2011. Effect of fat type and lysophosphatidylcholine addition to broiler diets on performance, apparent digestibility of fatty acids, and apparent metabolizable energy content. *Animal Feed Science and Technology* 163:177-184.