"مقاله پژوهشی"

اثرات جایگزینی پودر ماهی جیره‌غذایی با مخمر (*Saccharomyces cervisiae*) بر شاخص‌های رشد و تغذیه بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

اصغر خسروی فارسانی*[1]، ایرج هاشم زاده سقرلو[1]، اسماعیل پیرعلی خیرآبادی[1]

۱.گروه شیلات و محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۱۳

چکیده

در این مطالعه، اثرات جایگزینی پودر ماهی جیره غذایی با پروتئین تک‌یاخته (*Saccharomyces cerevisiae*) بر شاخص‌های رشد و تغذیه بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان مورد بررسی قرار گرفت. مراحل اجرایی و عملی این پژوهش در تابستان سال ۱۳۹۸ به مدت ده هفته در یک کارگاه پرورش ماهی واقع در روستای بهشت آباد شهرستان اردل انجام گردید. تیمارهای آزمایشی در مطالعه حاضر شامل تیمار ۱ یا صرفاً پودر ماهی، تیمار ۲ حاوی دوسوم پودر ماهی+ یک‌سوم پروتئین تک‌یاخته، تیمار ۳ حاوی دوسوم پروتئین تک‌یاخته+ یک‌سوم پودر ماهی و تیمار ۴ یا صرفاً پروتئین تک‌یاخته بودند. در پایان دوره‌ی آزمایشی، براساس نتایج به دست آمده، بهترین عملکرد شاخص‌های رشد (میانگین وزن نهایی، نرخ رشد ویژه و شاخص وضعیت) به طور معنی‌داری در تیمارهای ۱ و ۲ (به‌ویژه تیمار ۲) به دست آمد و تیمارهای ۳ و ۴ (به ویژه تیمار ۴) دارای پایین‌ترین میزان عملکرد بودند. در مورد شاخص کبدی و احشایی، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نگردید ($P>0/05$). بهترین میزان ضریب تبدیل‌غذایی و نرخ بازده پروتئین و کارایی غذایی در تیمارهای ۱ و ۲ (به ویژه تیمار ۲) مشاهده گردید که با دیگر تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی داری نشان داد ($P<0/05$). همچنین میزان کل غذای مصرفی یک ماهی و میزان دریافت غذای روزانه در تیمارهای آزمایشی مختلف اختلاف معنی‌داری نداشتند ($P>0/05$). در پایان، با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌گردد جهت اقتصادی‌تر کردن جیره غذایی بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان، حداقل ۲۵ درصد و حداکثر ۵۰ درصد پودر ماهی با پروتئین تک‌یاخته‌ی مخمر ساکارومیسس‌سرویزیه جایگزین شود.

کلمات کلیدی: پودر ماهی، پروتئین تک‌یاخته، *Saccharomyces cerevisiae*، رشد، تغذیه، قزل‌آلای رنگین‌کمان

* عهده‌دار مکاتبات (✉). asgharkhosravi69@gmail.com

مقدمه

مهم‌ترین هدف در آبزی‌پروری رشد است که شامل تغییرات فزاینده در اندازه، وزن و یا محتوای انرژی ماهی می‌باشد (Jobling, 2003). عوامل بسیاری در فرایند رشد و کسب انرژی مؤثرند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به غذا و مدیریت تغذیه اشاره کرد (Caruso *et al*., 2009). اولویت اصلی در پرورش آبزیان برای افزایش کارایی جیره‌های غذایی، استفاده از روش‌هایی است که منجر به بهبود فرآیند هضم مواد مغذی موجود در جیره غذایی می‌شود (Francis *et al*., 2005). در این زمینه شناخت بیشتر مواد غذایی موردنیاز ماهی اهمیت زیادی دارد و اعمال تغذیه صحیح (از نظر تنظیم فرمول مناسب و میزان مصرف غذا) در ماهی‌ها با درک صحیح بیولوژی و نیازهای غذایی ماهی، تنظیم یک فرمول غذایی متعادل،کنترل کیفیت این جیره‌ها و تأمین مواد مغذی موردنیاز امکان‌پذیر است (Satpathy *et al*., 2003; Aprodu *et al*., 2012).

پروتئین‌ها از اجزاء ضروری بدن بوده که نقش مهمی در ساختمان و عملکرد ارگانیسم‌های زنده بر عهده دارند. موجودات زنده پروتئین‌ها را به جهت فراهم کردن مداوم اسیدهای آمینه به‌ویژه اسیدهای آمینه ضروری مصرف می‌کنند (Thoman *et al*., 1999). اولین اقدام در پرورش آبزیان، تهیه و تدارک یک جیره غذایی اختصاصی بوده که دربرگیرنده نیازهای غذایی آبزی باشد، به‌علاوه این جیره غذایی باید از بیش‌ترین کیفیت و کم‌ترین هزینه برای نیل به حداکثر رشد برخوردار باشد. با توجه به اینکه پروتئین از نیازهای غذایی آبزیان و اصلی‌ترین جزء جیره‌های غذایی بوده و از قیمت بالاتری نسبت به سایر اقلام غذایی برخوردار است، در صورت استفاده از منابع پروتئینی مناسب از نظر کیفیت و قیمت می‌توان اقتصاد تولید را بهبود بخشید (Ai *et al*., 2004; Deng *et al*., 2011; Sa *et al*., 2006). در بین اقلام غذایی مورداستفاده در ساخت جیره آبزیان، پودر ماهی مهم‌ترین جزء جیره غذایی است که به‌دلیل کارایی بالای تغذیه‌ای از مزیت بالایی برخوردار بوده و دسترسی به آن یکی از عوامل اصلی محدودکننده صنعت آبزی‌پروری می‌باشد (Miles and Chapman, 2006; Kissinger *et al*., 2016). مهم‌ترین مزایای پودر ماهی در جیره غذایی شامل قابلیت هضم بالا (تقریباً ۹۰ درصد)، عدم حضور یا میزان ناچیز ترکیبات ضدمغذی، تعادل مناسب آمینواسیدهای ضروری و خوش‌خوراکی می‌باشد (Hardy, 2010). یکی از فاکتورهای مهم محدودکننده توسعه صنعت آبزی‌پروری، عدم وجود جایگزین مناسب برای پودر ماهی به‌عنوان منبع پروتئین در جیره غذایی ماهیان می‌باشد (Almaida-Pagan *et al*., 2007) و این مسئله، یکی از اولویت‌های تحقیقاتی در کشورهای در حال توسعه می‌باشد.

SCP، یک پروتئین میکروبی است که خالص نمی‌باشد و به سلول‌های کامل باکتری‌ها، مخمرها، قارچ‌های رشته‌ای یا جلبک‌ها اطلاق می‌شود که حاوی کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اسیدهای نوکلئیک، نمک‌های معدنی و ویتامین‌ها نیز می‌باشد و دارای ارزش تغذیه‌ای بسیار بالایی است (Kam *et al*., 2012؛ جعفری و همکاران، ۱۳۹۱). استفاده از میکروارگانیسم-ها برای تولید پروتئین تک‌یاخته به‌جای استفاده از منابع پروتئین حیوانی و گیاهی دارای مزایای متعددی است که با توجه به این موارد چشم‌انداز روشنی برای تولید این نوع پروتئین تصور می‌شود. مخمرها ازجمله

ارگانیسم‌هایی هستند که به‌طور گسترده در جهت تولید پروتئین تک‌یاخته کاربرد دارند و از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به ساکارومیسس سروزیه اشاره کرد (اکبری، ۱۴۰۰). از مزیت‌های مهم مخمرها در تولید پروتئین تک‌یاخته در مقایسه با باکتری‌ها، رشد نسبتاً بالا، تولید محصول بیشتر در زمان کوتاه‌تر، آسان بودن استخراج پروتئین تولیدشده و آلودگی بسیار پایین محصول میکروبی حاصل از استخراج (به لحاظ رشد مخمرها در pH اسیدی) می‌باشد. مخمرها توانایی رشد در دماهای مختلف را دارا بوده ولی اپتیمم دمای رشد آن‌ها بین ۲۵ تا ۳۵ بوده است (Bacha *et al.*, 2011؛ صفری و یعقوب‌زاده، ۱۳۹۳؛ بابازاده و همکاران، ۱۳۹۵).

امروزه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌صورت ماهی شماره یک اکثر کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهیان سردآبی در بیشتر نقاط جهان درآمده است. از خصوصیاتی که این ماهی را مورد توجه قرار داده، سازش آن با شرایط پرورش متراکم است از طرف دیگر این ماهی در انتخاب غذا زیاد سختگیر نیست و از سرعت رشد خوبی نیز برخوردار است (قانعی و همکاران، ۱۳۹۴). از آنجاکه پرورش این ماهی، باکیفیت‌ترین منابع آبی کشور نیمه‌خشک ایران را هدف قرار داده است، توجه به توسعه مسئولانه آبزی‌پروری (در مقابل توسعه صرفاً اقتصادی)، با بهره‌گیری از سیستم‌های پیشرفته و مکانیزاسیون، نه‌تنها در بهینه‌سازی مصرف آب در این حوزه و افزایش کمی وکیفی تولید کارایی دارد، بلکه مخاطرات زیست محیطی را به حداقل رسانده و پایداری تولید را سبب می‌گردد (قانعی و همکاران، ۱۳۹۴). از این رو این مطالعه به بررسی امکان جایگزینی پودر ماهی با پروتئین تک‌یاخته مخمر *Saccharomyces cerevisiae* پرداخته است.

مواد و روش‌ها

شرایط آزمایشی

مراحل اجرایی و عملی این پژوهش در سال ۱۳۹۸ به مدت ده هفته (از دهم مردادماه لغایت ۲۰ شهریورماه) و در کارگاه پرورش ماهی واقع در روستای بهشت‌آباد شهرستان اردل انجام شد.

تیمارهای آزمایشی

تیمارهای آزمایشی شامل تیمار ۱ یا صرفاً پودر ماهی؛ تیمار ۲ حاوی دوسوم پودر ماهی + یک‌سوم پروتئین تک‌یاخته؛ تیمار ۳ حاوی دوسوم پروتئین تک-یاخته+ یک‌سوم پودر ماهی و تیمار ۴ یا صرفاً پروتئین تک‌یاخته بودند.

تهیه جیره‌های غذایی آزمایشی

به‌منظور آماده‌سازی جیره‌های غذایی آزمایشی از فرمولاسیون جیره غذای پایه‌ی ماهیان سردابی (قزل‌آلای رنگین‌کمان) ساخت کارخانه‌ی فرادانه شهرکرد و خمیرمایه ساخت کارخانه خمیرمایه شهرکرد استفاده گردید. تمامی اجزاء و ترکیبات جیره‌های غذایی آزمایشی یکسان بوده و تنها مقادیر پودر ماهی و مخمر ساکارومیسس سروزیه درنظرگرفته شده در تیمارهای آزمایشی، با یکدیگر متفاوت بودند (جدول ۱ و ۲). در نهایت پس از اتمام مرحله ساخت و تحویل جیره‌های غذایی آزمایشی تا زمان مصرف در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. میزان غذای موردنیاز بچه‌ماهیان براساس دمای آب و ۷ درصد وزن بدن محاسبه گردید.

تهیه ماهی و مدیریت سیستم آزمایشی

بچه‌ماهیان قزل آلای رنگین‌کمان موردنیاز به تعداد ۴۸۰۰ عدد و با میانگین وزنی ۰/۲۹±۵/۰۵ گرم از همان کارگاه تکثیروپرورش محل انجام آزمایش تهیه و به حوضچه‌های درنظرگفته شده جهت انجام آزمایش منتقل گردید و به مدت ۴۸ ساعت (جهت تخلیه کامل دستگاه گوارش) نگهداری شدند و سپس تقسیم بندی بچه‌ماهیان در تیمارهای آزمایشی مختلف در ۱۶ حوضچه‌ی پرورشی (۴تیمار هریک ۴ تکرار) صورت پذیرفت. در هر یک از حوضچه‌های آزمایشی، به طور یکسان، ۳۰۰ عدد بچه‌ماهی قرار گرفت و کلیه حوضچه‌های آزمایشی در شرایط محیطی یکسان قرار گرفتند. منبع آب مورداستفاده در سیستم آزمایشی از آب چاهک و در تمامی حوضچه‌های آزمایشی یکسان بود ولی ورودی و خروجی هریک از حوضچه‌ها به طور کاملاً مجزا و مستقل از یکدیگر بود. دوره نوری نیز بر اساس شرایط طبیعی روز تنظیم گردید. به منظور عاری بودن محیط آزمایشی از هر گونه آلودگی، در طول مدت آزمایش، روزانه حوضچه‌ها با استفاده از نمک ضدعفونی (برای هر حوضچه به میزان ۵۰۰ گرم نمک) می‌شدند. اطلاعات کامل مربوط به هر تیمار و تکرار آزمایشی شامل تاریخ، تعداد دفعات غذادهی، میانگین اولیه، میزان غذای داده شده، تلفات، علائم رفتاری بچه‌ماهیان، استفاده از دارو یا مکمل غذایی و همچنین فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب طی مدت آزمایش ثبت گردید.

جدول ۱. آنالیز تقریبی ترکیبات شیمیایی جیره غذایی پایه

ترکیب شیمیایی	پروتئین خام	چربی خام	فیبر خام	خاکستر	رطوبت	فسفر
مقدار موجود (درصد)	۵۰-۴۶	۱۵-۱۱	۳-۱/۵	۱۳-۹	۱۱-۵	۱-۱/۵

جدول ۲. آنالیز تقریبی ترکیبات مخمر مورداستفاده در آزمایش

ترکیب شیمیایی	واحد	مقدار موجود
ماده خشک	درصد	۹۵/۳۰
خاکستر	درصد	۴/۵
پروتئین	درصد	۴۷
تری هالوز	درصد	۱۸
فعالیت (Activity)	Ml CO2	۲۶۰۰
P 205 (in DMS)	درصد	۲/۲۰
pH	-	۵/۶
انرژی (Power)	درصد	۴۵۰

زیست سنجی ماهیان

جهت بیومتری بچه‌ماهیان، وزن آن‌ها توسط ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم و طول با خط‌کش با دقت ۰/۱ سانتی-متر در طول دوره آزمایشی انجام شد. همچنین به‌منظور کاهش استرس، ۲۴ ساعت قبل از نمونه‌برداری، غذادهی قطع گردید و سپس بیومتری انجام شد. جهت بررسی میزان عملکرد رشد و تغذیه بچه ماهیان قزل-آلای رنگین‌کمان از فرمول‌های زیر استفاده گردید (Song *et al*., 2014; Pratoomyot *et al*., 2010).

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

نرخ رشد ویژه (SGR) = (ln وزن نهایی – ln وزن اولیه) × ۱۰۰ / کل روزهای پرورش

شاخص کبدی (HSI) = وزن کبد (گرم) × ۱۰۰/ وزن کل بدن (گرم)

شاخص احشایی (VSI) = وزن احشاء (گرم) × ۱۰۰/ وزن کل بدن (گرم)

ضریب چاقی (CF) = وزن بدن (گرم) × ۱۰۰ / طول کل بدن^{3}

نسبت تبدیل غذایی (FCR) = غذای مصرف‌شده (گرم) / افزایش وزن (گرم)

کارایی غذایی (FER) = افزایش وزن (گرم) × ۱۰۰ / غذای مصرف‌شده (گرم)

نسبت بازده پروتئینی (PER) = افزایش وزن (گرم) / پروتئین مصرف‌شده (گرم)

کل غذای مصرف‌شده به ازای یک ماهی (TFI) = کل وزن غذای خورده شده / تعداد ماهی در هر تانک

دریافت غذای روزانه (DFI) = وزن غذای خورده شده (g) /تعداد روزهای پرورش

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. در ابتدا شرط نرمال‌بودن داده‌ها با آزمون Shapiro-Wilk و همگنی واریانس‌ها با آزمون Leven تست شد. جهت آنالیز داده‌ها از آزمون آنالیزواریانس یکطرفه استفاده شد و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ($p \leq ۰/۰۵$) با پس آزمون Dancan، بررسی شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS19 و برای رسم نمودارها از Excel 2007 استفاده شد.

نتایج

شاخص‌های رشد

نتایج حاصل از اثرات جایگزینی پودر ماهی جیره غذایی با پروتئین تک‌یاخته (ساکارومیسس سرویزیه) بر شاخص‌های رشد بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان به صورت میانگین داده‌ها ± خطای استاندارد در جدول ۳ آمده است. بر اساس نتایج، در پایان دوره‌ی آزمایشی، اختلاف معنی‌داری در بین تیمارهای آزمایشی مشاهده گردید ($P<۰/۰۵$)؛ به طوریکه بهترین عملکرد شاخص-های رشد (میانگین وزن نهایی، نرخ رشد ویژه، شاخص وضعیت) به طور معنی‌داری در تیمار ۱ و ۲ (به‌ویژه تیمار ۲) به دست آمد و تیمارهای ۳ و ۴ (به ویژه تیمار ۴) دارای پایین‌ترین میزان عملکرد بودند. در مورد شاخص کبدی و احشایی، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نگردید ($P>۰/۰۵$).

جدول ۳. نتایج اثرات جایگزینی پودر ماهی جیره غذایی با پروتئین تک‌یاخته بر رشد بچه ماهیان قزل آلای رنگین‌کمان

شاخص / تیمار	میانگین وزن نهایی	نرخ رشد ویژه	ضریب چاقی	شاخص کبدی	شاخص احشایی
۱	۱۶/۰۳±۰/۵۹^{b}	۲/۰۵±۰/۰۴^{b}	۳/۴۸±۰/۲۱^{b}	۱/۶۷±۰/۰۸^{a}	۱۷/۳۰±۰/۷۴^{a}
۲	۱۷/۱۳±۰/۴۹^{b}	۲/۱۲±۰/۰۳^{b}	۳/۶۵±۰/۰۹^{b}	۱/۶۸±۰/۱۶^{a}	۱۶/۵۳±۰/۵۲^{a}
۳	۱۱/۱۷±۱/۰۶^{a}	۱/۶۷±۰/۰۹^{a}	۲/۶۷±۰/۲۵^{a}	۲/۰۳±۰/۲۴^{a}	۱۷/۸۲±۰/۱۶^{a}
۴	۱۰/۱۷±۰/۲۰^{a}	۱/۵۸±۰/۰۲^{a}	۲/۵۰±۰/۱۱^{a}	۱/۹۶±۰/۱۰^{a}	۱۶/۴۱±۰/۱۹^{a}

* تیمار ۱: صرفاً پودر ماهی؛ تیمار ۲: دوسوم پودر ماهی + یک‌سوم پروتئین تک‌یاخته؛ تیمار ۳: دوسوم پروتئین تک‌یاخته + یک‌سوم پودر ماهی؛ تیمار ۴: صرفاً پروتئین تک‌یاخته/*حروف متفاوت نشانه اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی است.

شاخص‌های تغذیه‌ای

نتایج حاصل از اثرات جایگزینی پودر ماهی جیره غذایی با پروتئین تک‌یاخته (*ساکارومیسس سرویزیه*) بر شاخص‌های تغذیه‌ای بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌صورت میانگین داده‌ها ± خطای استاندارد در جدول ۴ آمده است. براساس نتایج به دست آمده، اختلاف معنی‌داری در بین تیمارهای آزمایشی مشاهده گردید (P<۰/۰۵). بطوریکه بهترین میزان ضریب تبدیل‌غذایی و نرخ بازده پروتئین و کارایی غذایی در تیمارهای ۱ و ۲ (به ویژه تیمار ۲) مشاهده گردید که با دیگر تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی داری نشان داد (P<۰/۰۵). همچنین میزان کل غذای مصرفی یک ماهی و میزان دریافت غذای روزانه در تیمارهای مختلف آزمایشی اختلاف معنی‌داری نشان نداد (P>۰/۰۵).

جدول ۴. نتایج اثرات جایگزینی پودر ماهی جیره با پروتئین تک‌یاخته بر تغذیه بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین کمان

شاخص / تیمار	ضریب تبدیل غذایی	نرخ بازده پروتئینی	کارایی غذایی	کل غذای مصرفی یک ماهی	دریافت غذای روزانه
۱	۱/۱۰±۰/۰۳^{a}	۱/۹۰±۰/۰۶^{b}	۹۱/۱۳±۲/۴۸^{b}	۱۷/۵۷±۰/۷۵^{a}	۱۰۹/۸۲±۴/۶۶^{a}
۲	۱/۰۲±۰/۰۳^{a}	۲/۱۰±۰/۰۶^{b}	۹۸/۲۳±۳/۰۹^{b}	۱۷/۴۱±۰/۲۰^{a}	۱۱۰/۷۲±۰/۷۸^{a}
۳	۱/۵۸±۰/۱۶^{b}	۱/۳۷±۰/۱۵^{a}	۶۴/۳۰±۵/۹۴^{a}	۱۷/۳۱±۰/۱۱^{a}	۱۰۸/۱۸±۰/۶۸^{a}
۴	۱/۷۲±۰/۰۳^{b}	۱/۲۳±۰/۰۳^{a}	۵۸/۰۷±۱/۰۷^{a}	۱۷/۴۸±۰/۱۷^{a}	۱۰۹/۲۴±۰/۷۸^{a}

* تیمار ۱: صرفاً پودر ماهی؛ تیمار ۲: دوسوم پودر ماهی + یک‌سوم پروتئین تک‌یاخته؛ تیمار ۳: دوسوم پروتئین تک‌یاخته + یک‌سوم پودر ماهی؛ تیمار ۴: صرفاً پروتئین تک-یاخته/ *حروف متفاوت نشانه وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی است.

بحث

تغذیه صحیح به‌عنوان یک عامل ضروری برای بهبود رشد و حفظ سلامت ماهیان شناخته شده است و لازمه رشد سریع و پایدار صنعت آبزی‌پروری، تهیه جیره غذایی با بیش‌ترین کیفیت و کمترین هزینه برای نیل به حداکثر رشد می‌باشد. جیره‌های غذایی موجود در بازار نه تنها مواد مغذی مورد نیاز برای عملکردهای معمول فیزیولوژیک را تأمین می‌کنند، بلکه ممکن است به‌عنوان واسطه‌هایی نیز عمل کنند که از طریق آن‌ها، ماهیان ترکیبات مفید دیگری را نیز دریافت کرده که این ترکیبات بر سلامت آن‌ها اثر می‌گذارند (Gatlin, 2002). با وجود اینکه مفهوم غذاهای کاربردی در

صنعت آبزی‌پروری، جدید است اما تلاش‌های نوینی را نشان می‌دهد که موجب بهبود عملکرد جیره‌های غذایی هم از نظر کیفیت و هم از نظر صرفه‌ی اقتصادی شده که هدفی فراتر از تأمین نیازمندی‌های غذایی اساسی آبزیان پرورشی است (Salnur *et al*., 2009). از آنجایی که پودر ماهی به‌عنوان اصلی‌ترین جزء غذایی، از قیمت بالاتری نسبت به سایر اقلام غذایی برخوردار است، در صورت استفاده از منابع پروتئینی مناسب از نظر کیفیت و قیمت می‌توان اقتصاد تولید را بهبود بخشید (Silva *et al*., 2014; Markovic *et al*., 2012).

مخمر ساکارومایسس سرویزیا (*Saccharomyces cervisiae*) به‌عنوان یک پروبیوتیک مخمری حاوی ترکیبات پروتئینی و محرک‌های ایمنی مختلف همچون بتاگلوکان‌ها، اسیدهای نوکلئیک، الیگوساکاریدهای مانان و کیتین می‌باشد. این میکروارگانیزم باعث افزایش رشد، تقویت پاسخ‌های ایمنی و بهبود مقاومت در برابر شرایط نامساعد محیطی گونه‌های مختلف آبزیان می‌شود. کاربرد مخمر در آبزی‌پروری از امتیازات ویژه مانند تولید آسان، سریع و ارزان و مقاومت بالا طی فرآیند عمل آوری برخوردار است (Dimitroglou *et al*., 2009; Reid, 2008; Ringø *et al*., 2010). از سوی دیگر، مخمرها به دلیل طبیعی بودن، اثرات منفی بر محیط و موجودات مصرف کننده ندارند. به علاوه نیازی به جداکردن اجزاء تشکیل دهنده آن‌ها نمی‌باشد چراکه سلول کامل می‌تواند حالت فیزیولوژیکی بهینه‌ای را در میزبان تولید کند. همچنین مخمرها، پلی آمین‌ها را تولید می‌کنند و برخی سویه‌ها، پتانسیل چسبندگی قوی به موکوس روده دارند که شرایط مهمی برای کارآیی پربیوتیک‌ها ایجاد می‌کند (Gatesoupe, 2007). به علاوه، مخمر، محتوای نیتروژنی بالایی دارد و دیواره سلولی مخمر دربرگیرنده ترکیبات غیرمغذی خیلی مهمی از جمله مانوپروتئین‌ها (پلیمرهای مانوز متصل به پپتیدها از طریق پیوند کووالانسی)، گلوکان‌ها (پلیمرهای گلوکز) و اسیدهای نوکلئیک هستند که این ترکیبات می‌توانند برای رشد و سلامت ماهیان، سودمند باشند. البته یکی از مشکلات استفاده از مخمرها در جیره‌های غذایی، کم‌بودن قابلیت هضم دیواره سلولی مخمر و محتوای پروتئینی آن می‌باشد؛ بطوریکه دیواره سلولی آن بیش از ٪۵۰ وزن سلولی را تشکیل می‌دهد. البته می‌توان قابلیت هضم مخمر را از طریق هیدرولیز آنزیمی دیواره افزایش داد که در این فرآیند با استفاده از تکنیک‌های زیست فناوری، حجم بالای DNA و RNA موجود در مخمر با استفاده از آنزیم‌های هیدرولیز کننده حذف می‌گردد. همچنین در طی این فرآیند، برخی از ساختارهای دیواره سلولی شکسته شده و به‌طور مؤثرتر در روده هضم می‌گردند. در پودرکامل و یا هیدرولیز شده مخمر، پروتئین‌های دیواره، قابلیت انحلال کمتر دارند که در صورت برداشتن کامل دیواره سلولی مخمر، پروتئین به میزان زیادی، قابل هضم بوده و همانطورکه دیواره سلولی برداشته می‌شود، محتوای پروتئین انحلال بیشتری نسبت به مخمر کامل یا هیدرولیز شده نشان می‌دهد (Refstie *et al*., 2010؛ محمدنژاد شموشکی و مازینی، ۱۳۹۱).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که جایگزینی پودر ماهی با پروتئین تک‌یاخته‌ی *Saccharomyces cervisiae* به میزان یک‌سوم پروتئین تک‌یاخته و دوسوم پودر ماهی می‌توان سبب بهبود عملکرد رشد و تغذیه بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین شود؛ و هرچند به‌صورت غیرمعنی‌دار ولی حتی بهتر از جیره غذایی

بدون جایگزینی و شامل صرفاً پودر ماهی عمل کرده است. جایگزینی پودر ماهی با این پروتئین تک‌یاخته در سطوح بالاتر (دوسوم پروتئین تک‌یاخته- یک‌سوم پودر ماهی و تیمار صرفاً پروتئین تک‌یاخته)، نتوانسته نیازهای غذایی بچه‌ماهیان را برآورده سازد و سبب کاهش معنی‌دار عملکرد رشد و تغذیه‌ی آن‌ها نسبت به دیگر تیمارهای آزمایشی شده است. که می‌توان آن را به اسیدهای آمینه‌ی پروتئین تک‌یاخته و البته رژیم گوشت‌خواری ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان نسبت داد. با توجه به نتایج می‌توان این‌گونه استنباط کرد که احتمالاً جایگزینی پودر ماهی با پروتئین تک‌یاخته در سطح ۵۰ درصد (یک‌دوم پروتئین تک‌یاخته و یک‌دوم پودر ماهی) می‌تواند هم از نظر اقتصادی، به‌صرفه باشد و هم اینکه نه‌تنها اثرات منفی بر ماهیان ندارد بلکه احتمالاً به‌علت اثر سینرژیک (اثرات متقابل و مکمل هم) اثرات مثبت و خوبی بر رشد و تغذیه ماهیان داشته باشد. نتایج بررسی‌های فراوانی در خصوص تأثیر مخمر آبجو در باس راه‌راه هیبرید (Li and Gatlin, 2004)؛ مخمر آبجو و نوکلئوتیدها در طبلک ماهی قرمز جوان (Li *et al*., 2005)؛ مخمر نانوایی زنده در بچه ماهی تیلاپیای نیل (Abdel-Tawwab *et al*., 2008)؛ محصول تخمیری ساکارومایسس سرویزیا در تیلاپیای هیبرید (He *et al*., 2009)؛ پروبیوتیک ساکارومایسس سرویزیا در هامورماهی (Chiu *et al*., 2010)؛ بتاگلوکان و مخمر سلولی کامل در کپور معمولی (Gopalakannan and Arul, 2010) و مخمر تیمار شده با بتامرکاپتواتانول در قزل‌آلای رنگین کمان (Tukmechi *et al*., 2011) نشان‌دهنده ارزش تغذیه‌ای بالای مخمر است. همچنین بر اساس یافته‌های حاصل از مطالعات محسنی و همکاران (۱۳۹۰) و بندپی و توکمه-چی (۱۳۹۱)، استفاده از پروبیوتیک‌ها (مخمری یا باکتریایی) و بخصوص ترکیب همزمان پروبیوتیک‌های باکتریایی و مخمری و عصاره و پودر هیدرولیزشده‌ی مخمر باعث افزایش رشد و بهبود ایمنی و مقاومت ماهیان در برابر استرس‌های محیطی و مواجه با باکتری یرسینیا روکری در قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌گردد.

پربیوتیک تجاری مانان‌الیگوساکاریدها (MOS) از بخش دیواره بیرونی مخمر ساکارومایسیس سرویزیا جدا شده است و با نام تجاری بیوموس (MOS, Bio-Mos ®) در بازار موجود است. مانان الیگوساکاریدها منبع تغذیه‌ای مناسب برای رشد و فعالیت باکتری‌های فلور دستگاه گوارش نظیر باکتری‌های اسید لاکتیک لاکتوباسیلوس‌ها و بیفیدو باکترها و به‌عنوان منبع انرژی مهم برای باکتری‌های اسیدلاکتیک می‌باشد (Staykov *et al*., 2007). همچنین بتاگلوکان، پلی‌ساکاریدی غیرنشاسته‌ای و محلول در آب است که از دیواره سلولی مخمر ساکارومایسیس سرویزیا استخراج شده و دارای پیوندهایی می‌باشد که از واحدهای بتا (۳-۱) و بتا (۶-۱) تشکیل شده است. بتاگلوکان به‌دلیل آرایش انعطاف‌پذیر آن، محلول در آب بوده و معمولا محلول‌های آن از ویسکوزیته بالایی برخوردارند. بتاگلوکان، سبب کاهش مدت زمان عبور مواد غذایی از روده، تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیره، تقویت سیستم ایمنی و فعال‌سازی لوکوسیت‌ها، فعالیت ضدتوموری کاهش کلسترول خون، و غیره می‌شود (Welker *et al*., 2007).

مطالعه Staykov و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که افزودن ۰/۲ درصد مکمل MOS در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان به به طور معنی داری وزن نهایی افزایش داده و باعث کاهش چشمگیری در ضریب

تبدیل غذایی و تلفات در این ماهیان شده است (Staykov *et al*., 2007). به علاوه Torrecillas و همکاران در سال ۲۰۰۷ ثابت کردند که استفاده از ۲ سطح ۰/۲ درصد و ۰/۴ درصد از MOS در جیره سی باس اروپایی جوان عملکرد رشد را ۱۰ درصد بهبود می‌بخشد. مطالعات آن‌ها نشان داد که MOS سبب تولید گلوکز کبدی شده که انرژی لازم برای سوخت و ساز بافت‌های بدن را فراهم آورده و باعث ارتقا رشد و بهتر شدن ضریب تبدیل غذایی می‌شود. همچنین استفاده از پری بیوتیک‌های مانان الیگوساکارید و بتاگلوکان در ماهیان سیم دریایی (Salnur *et al*., 2009)، میگوی پاسفید غربی (Bai *et al*., 2010) و استفاده از پری‌بیوتیک فروکتوالیگوساکارید در جیره غذایی تاسماهی سیبری، گربه ماهی آفریقایی و لاروماهیان کفشک تیز دندان (Mahious *et al*., 2006)، کپور هندی روهو (Andrews *et al*., 2009) با تأثیر بر باکتری‌های مفید روده سبب افزایش حجم آن‌ها در روده شده و در نهایت با افزایش قابلیت هضم‌پذیری ترکیبات مفید غذایی بر بهبود عملکرد رشد و تغذیه آبزیان تأثیرگذار خواهند بود. افزودن پری‌بیوتیک ایمونوژن (ترکیبی از مانان الیگوساکارید و بتاگلوکان) نیز به جیره غذایی فیل ماهیان جوان می‌تواند در سطوح پایین به‌عنوان مکمل غذایی برای افزایش کارایی رشد و تغذیه استفاده شود (مهاجراسترآبادی و همکاران، ۱۳۸۹)؛ همچنین نتایج تحقیقات روی پست لاروهای میگوی ببری سبز (Gence *et al*., 2007) و بچه ماهیان قره برون (جافر نوده و همکاران، ۱۳۸۹) نیز این موضوع را تایید کرده اند. در مجموع نتایج این پژوهش حاکی از اثرات مثبت وجود مخمر *Saccharomyces cervisiae* بر ماهی قزل آلای رنگین کمان بود؛ البته نه در سطوح بالا بلکه در سطح ۲۵ درصد جایگزینی و احتمالا ۵۰ درصد جایگزینی.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که استفاده از پروتئین تک‌یاخته همچون مخمر *Saccharomyces cervisiae* به واسطه‌ی دارا بودن میزان پروتئین بالا و اثرات پریبیوتیکی، می‌توان سبب بهبود عملکرد رشد و تغذیه در بچه‌ماهیان قزل آلای رنگین کمان شود؛ البته با این نکته را متذکر شد که این ماهی تا سطح ۲۵ و نهایتاً ۵۰ درصد قابلیت استفاده و هضم پروتئین مخمر را دارد و جایگزینی پودر ماهی با این پروتئین تک‌یاخته در سطوح بالا، بر عملکرد رشد و تغذیه‌ی آن اثرات منفی دارد. از این‌رو پیشنهاد می‌گردد جهت اقتصادی‌ترکردن جیره غذایی بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان، حداقل ۲۵ درصد و حداکثر ۵۰ درصد پودر ماهی با پروتئین تک‌یاخته‌ی مخمر *Saccharomyces cervisiae* جایگزینی صورت پذیرد.

سپاسگزاری

در اینجا بر خود لازم میدانیم که از زحمات تمام عزیزانی که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، سپاسگزاری نماییم.

منابع

۱. اکبری، پ. ۱۴۰۰. آنزیم‌های سرم خون و سیستم آنتی‌اکسیدانی کبد ماهیان کفال خاکستری (*Mugil cephalus*) تغذیه شده با سطوح مختلف مخمر نانوایی (*Saccharomyces cerevisiae*). نشریه توسعه آبزی پروری. ۱۵ (۳)، ۱-۱۱.

۲. بابازاده میکلا، م.، سلطانی، م.، کمالی، الف.، سعیدی اصل، م. ۱۳۹۵. مطالعه امکان تولید پروتئین تک‌یاخته

با استفاده از مخمرهای *Saccharomyces cerevisiae* و *Saccharomyces carlsbergensis* از آب ماهی تغلیظ شده کارخانجات آرد ماهی کیلکا در مازندران. مجله زیست‌شناسی جانوری تجربی. ۳، ۹-۱۶.

۳. بندبنی، م.، توکمه‌چی، الف. ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات تغذیه‌ای عصاره مخمر ساکارومیسس سرویزیه و پودر هیدرولیز شده آن بر رشد و ایمنی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان. پایان نامه کارشناسی ارشد تکثیر و پرورش آبزیان. دانشگاه ارومیه. ۱۱۴ صفحه.

۴. جعفری سنگ چشمه، الف.، اردستانی، ف.، زارع علی آبادی، ح. ۱۳۹۱. بهینه سازی فرایند تولید پروتئین تک‌یاخته در کشت ناپیوسته با استفاده از مخمر ساکارومیسس سروزیه و با استفاده از نرم‌افزار تاگوچی. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی (بیوتکنولوژی). دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود. ۹۷ صفحه.

۵. صفری، ر.، یعقوب زاده، ز. ۱۳۹۳. استفاده از مخمرها به منظور تولید پروتئین تک‌یاخته از امعاء و احشاء تون ماهیان. مجله پژوهشهای جانوری (مجله زیست شناسی ایران). ۴، ۵۴۳- ۵۵۲.

۶. قانعی تهرانی، م. ۱۳۹۴. دستورالعمل فنی پرورش قزل-آلای رنگین کمان در استخرهای خاکی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. تحقیقات شیلات ایران. پژوهشکده اکولوژی دریای خزر. ۴۵ صفحه.

۷. محسنی، م.، مشکینی، س.، توکمه‌چی، الف. ۱۳۹۰. مطالعه تاثیر پروبیوتیک‌های ساکارومیسس سرویزیه و لاکتوباسیلوس کازئی بر رشد، بقا، پاسخ‌های ایمنی و مقاومت در برابر برخی از استرس‌های محیطی و مواجهه باکتریایی در ماهی قزل‌آلای رنگین کمان. پایان نامه کارشناسی ارشد تکثیر و پرورش آبزیان. دانشگاه ارومیه. ۸۲ صفحه.

۸. محمدنژاد شموشکی، م.، مازینی، م.۱۳۹۱. تاثیر پروبیوتیک مخمر نانوایی (*Saccharomyces cerevisiae*) روی رشد و بازماندگی بچه ماهی کلمه (*Rutilus rutilus caspicus*) . نشریه توسعه آبزی پروری. ۶ (۱)، ۱۰۳-۱۱۱.

۹. مهاجر استرآبادی، م.، وهاب زاده، ح .، زمینی، ع .ع.، سوداگر، م .، و قربانی، ر. ۱۳۸۹. تأثیر پربیوتیک ایمنوژن در جیره غذایی بر شاخص‌های رشد و بازماندگی فیل‌ماهیان جوان پرورشی. مجله شیلات دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزاد، ۳، ۶۱-۷۳.

۱۰. جافرنوده، ع.، سوداگر، م.، حیدری، م.، اصلان پرویز، ح. ۱۳۸۹. تأثیر پربیوتیک ایمونوژن بر شاخص‌های رشد، بقاء، شاخص‌های خونی و فلور باکتریایی روده بچه‌ماهی قره‌برون. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۸۲ صفحه.

11. Abdel-Tawwab, M., Abdel-Rahman, A.M., Ismael, N.E., 2008. Evaluation of commercial live bakers' yeast, *Saccharomyces cerevisiae* as a growth and immunity promoter for Fry Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) challenged in situ with *Aeromonas hydrophila*. Aquaculture 280, 185-189.

12. Ai, Q., Mai, K., Li, H., Zhang, C., Zhang, L., Duan, Q., Tan, B., Xu, W., Ma, H., Zhang, W., 2004. Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. Aquaculture 230, 507-516.

13. Almaida-Pagán, P., Hernández, M., García, B.G., Madrid, J., De Costa, J., Mendiola, P., 2007. Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils on n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acid desaturation and elongation in sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*) hepatocytes

and enterocytes. Aquaculture 272, 589-598.

14. Andrews, S.R., Sahu, N.P., Pal, A.K., Kumar, S., 2009. Haematological modulation and growth of *Labeo rohita* fingerlings: effect of dietary mannan oligosaccharide, yeast extract, protein hydrolysate and chlorella. Aquaculture research 41, 61-69.

15. Aprodu, I., Vasile, A., Gurau, G., Ionescu, A., Paltenea, E., 2012. Evaluation of nutritional quality of the common carp (*Cyprinus carpio*) enriched in fatty acids. The Annals of the University of Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI. Food Technology 36, 61.

16. Bacha, U., Nasir, M., Khalique, A., Anjum, A., Jabbar, M., 2011. Comparative assessment of various agro-industrial wastes for Saccharomyces cerevisiae biomass production and its quality evaluation as single cell protein. J Anim Plant Sci 21, 844-849.

17. Bai, D., Lu, F., Liu, J., Wang, Y., Yang, G., Guo, Y., Xing, K., 2010. Effects of Live Yeast Cell Derivative on Superoxide Dismutase Activity in Hemocytes and Muscle of American White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh 62, 63-71.

18. Caruso, G., G Denaro, M., Genovese, L., 2009. Digestive enzymes in some Teleost species of interest for Mediterranean aquaculture. The Open Fish Science Journal 2.

19. Chiu, C.-H., Cheng, C.-H., Gua, W.-R., Guu, Y.-K., Cheng, W., 2010. Dietary administration of the probiotic, *Saccharomyces cerevisiae* P13, enhanced the growth, innate immune responses, and disease resistance of the grouper, *Epinephelus coioides*. Fish & shellfish immunology 29, 1053-1059.

20. Deng, D.-F., Ju, Z.Y., Dominy, W., Murashige, R., Wilson, R.P., 2011. Optimal dietary protein levels for juvenile Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*) fed diets with two levels of lipid. Aquaculture 316, 25-30.

21. Dimitroglou, A., Merrifield, D., Moate, R., Davies, S., Spring, P., Sweetman, J., Bradley, G., 2009. Dietary mannan oligosaccharide supplementation modulates intestinal microbial ecology and improves gut morphology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Journal of animal science 87, 3226-3234.

22. Francis, G., Makkar, H.P., Becker, K., 2005. Quillaja saponins—a natural growth promoter for fish. Animal feed science and technology 121, 147-157.

23. Gatesoupe, F., 2007. Live yeasts in the gut: natural occurrence, dietary introduction, and their effects on fish health and development. Aquaculture 267, 20-30.

24. Gatlin, D., 2002. Use of soybean meal in the diets of omnivorous freshwater fish. Department of Wildlife and Fisheries Sciences, Faculty of Nutrition, Texas A&M University System.

25. Genc, M., Aktas, M., Genc, E., Yilmaz, E., 2007. Effects of dietary mannan oligosaccharide on growth, body composition and hepatopancreas histology of *Penaeus semisulcatus* (de Haan 1844). Aquaculture Nutrition 13, 156-161.

26. Gopalakannan, A., Arul, V., 2010. Enhancement of the innate immune system and disease-resistant activity in *Cyprinus carpio* by oral administration of β-glucan and whole cell yeast. Aquaculture research 41, 884-892.

27. Hardy, R.W., 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. Aquaculture Research 41, 770-776.

28. He, S., Zhou, Z., Meng, K., Zhao, H., Yao, B., Ringø, E., Yoon, I., 2011. Effects of dietary antibiotic growth promoter and *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on production, intestinal bacterial community, and nonspecific immunity of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus*

29. Jobling, M., 2003. The thermal growth coefficient (TGC) model of fish growth: a cautionary note. Aquaculture Research 34, 581-584.

30. Kam, S., Kenari, A.A., Younesi, H., 2012. Production of single cell protein in stickwater by Lactobacillus acidophilus and Aspergillus niger. Journal of aquatic food product technology 21, 403-417.

31. Kissinger, K.R., García-Ortega, A., Trushenski, J.T., 2016. Partial fish meal replacement by soy protein concentrate, squid and algal meals in low fish-oil diets containing *Schizochytrium limacinum* for longfin yellowtail Seriola rivoliana. Aquaculture 452, 37-44.

32. Li, P., Gatlin III, D.M., 2004. Dietary brewers yeast and the prebiotic Grobiotic™ AE influence growth performance, immune responses and resistance of hybrid striped bass (*Morone chrysops*× *M. saxatilis*) to *Streptococcus iniae* infection. Aquaculture 231, 445-456.

33. Li, W., Mo, W., Shen, D., Sun, L., Wang, J., Lu, S., Gitschier, J.M., Zhou, B., 2005. Yeast model uncovers dual roles of mitochondria in the action of artemisinin. PLoS genetics 1, e36.

34. Mahious, A., Gatesoupe, F., Hervi, M., Metailler, R., Ollevier, F., 2006. Effect of dietary inulin and oligosaccharides as prebiotics for weaning turbot, *Psetta maxima* (Linnaeus, C. 1758). Aquaculture International 14, 219.

35. Marković, Z., Poleksić, V., Lakić, N., Živić, I., Dulić, Z., Stanković, M., Spasić, M., Rašković, B., Sørensen, M., 2012. Evaluation of growth and histology of liver and intestine in juvenile carp (*Cyprinus carpio*, L.) fed extruded diets with or without fish meal. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 12, 301-308.

36. Miles, R.D., Chapman, F.A., 2006. The benefits of fish meal in aquaculture diets. IFAS Extension, University of Florida.

37. Pratoomyot, J., Bendiksen, E., Bell, J.G., Tocher, D.R., 2010. Effects of increasing replacement of dietary fishmeal with plant protein sources on growth performance and body lipid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture 305, 124-132.

38. Refstie, S., Baeverfjord, G., Seim, R.R., Elvebø, O., 2010. Effects of dietary yeast cell wall β-glucans and MOS on performance, gut health, and salmon lice resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed sunflower and soybean meal. Aquaculture 305, 109-116.

39. Reid, G., 2008. Probiotic Lactobacilli for urogenital health in women. Journal of clinical gastroenterology 42, S234-S236.

40. Ringø, E., Løvmo, L., Kristiansen, M., Bakken, Y., Salinas, I., Myklebust, R., Olsen, R.E., Mayhew, T.M., 2010. Lactic acid bacteria vs. pathogens in the gastrointestinal tract of fish: a review. Aquaculture Research 41, 451-467.

41. Sá, R., Bexiga, C., Veiga, P., Vieira, L., Erzini, K., 2006. Feeding ecology and trophic relationships of fish species in the lower Guadiana River Estuary and Castro Marim e Vila Real de Santo António Salt Marsh. Estuarine, coastal and shelf science 70, 19-26.

42. Salnur, S., Gultepe, N., Hossu, B., 2009. Replacement of fish meal by yeast (*Saccharomyces cerevisiae*): effects on digestibility and blood parameters for gilthead sea bream (*Sparus aurata*). Journal of Animal and Veterinary Advances 8, 2557-2561.

43. Satpathy, B., Mukherjee, D., Ray, A., 2003. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed conversion and body composition in rohu, *Labeo rohita* (Hamilton), fingerlings. Aquaculture Nutrition 9, 17-24.

44. Silva, J., Ribeiro, K., Silva, J., Cahú, T., Bezerra, R., 2014. Utilization of tilapia processing waste for the production of fish protein hydrolysate. Animal feed science and technology 196, 96-106.

45. Song, Z., Li, H., Wang, J., Li, P., Sun, Y., Zhang, L., 2014. Effects of fishmeal replacement with soy protein hydrolysates on growth performance, blood biochemistry, gastrointestinal digestion and muscle composition of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). Aquaculture 426, 96-104.

46. Staykov, Y., Spring, P., Denev, S., Sweetman, J., 2007. Effect of a mannan oligosaccharide on the growth performance and immune status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture International 15, 153-161.

47. Thoman, E.S., Davis, D.A., Arnold, C.R., 1999. Evaluation of growout diets with varying protein and energy levels for red drum (*Sciaenops ocellatus*). Aquaculture 176, 343-353.

48. Torrecillas, S., Makol, A., Caballero, M., Montero, D., Robaina, L., Real, F., Sweetman, J., Tort, L., Izquierdo, M., 2007. Immune stimulation and improved infection resistance in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed mannan oligosaccharides. Fish & Shellfish Immunology 23, 969-981.

49. Tukmechi, A., Andani, H.R.R., Manaffar, R., Sheikhzadeh, N., 2011. Dietary administration of beta-mercapto-ethanol treated *Saccharomyces cerevisiae* enhanced the growth, innate immune response and disease resistance of the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Fish & shellfish immunology 30, 923-928.

50. Welker, T.L., Lim, C., Yildirim-Aksoy, M., Shelby, R., Klesius, P.H., 2007. Immune response and resistance to stress and *Edwardsiella ictaluri* challenge in channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fed diets containing commercial whole-cell yeast or yeast subcomponents. Journal of the world Aquaculture Society 38, 24-35.