

"مقاله پژوهشی"

اثرات جایگزینی پودر ماهی جیره غذایی با مخمر (*Saccharomyces cerevisiae*) بر شاخص های رشد و تغذیه بچه ماهیان قزل آلائی رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

اصغر خسروی فارسانی^{*}، ایرج هاشم زاده سقرلو^۱، اسماعیل پیرعلی خیرآبادی^۱

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 تک یاخته (*Saccharomyces cerevisiae*) بر شاخص های رشد و تغذیه بچه ماهیان قزل آلائی رنگین کمان 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 + یک سوم پروتئین تک یاخته، تیمار ۳ حاوی دوسوم پروتئین تک یاخته + یک سوم پودر ماهی و تیمار ۴ یا صرفاً پروتئین تک یاخته بودند. در پایان دوره ی آزمایشی، براساس نتایج به دست آمده، بهترین عملکرد شاخص های رشد (میانگین وزن نهایی، نرخ رشد ویژه و شاخص وضعیت) به طور معنی داری در تیمارهای ۱ و ۲ (به ویژه تیمار ۲) به دست آمد و تیمارهای ۳ و ۴ (به ویژه تیمار ۴) دارای پایین ترین میزان عملکرد بودند. در مورد شاخص کبدی و احشایی، اختلاف معنی داری بین تیمارها مشاهده نگردید ($P > 0.05$). بهترین میزان ضریب تبدیل غذایی 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 معنی داری نداشتند ($P > 0.05$). در پایان، با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می گردد جهت اقتصادی تر کردن جیره غذایی بچه ماهیان قزل آلائی رنگین کمان، حداقل ۲۵ درصد و حداکثر ۵۰ درصد پودر ماهی با پروتئین تک یاخته ی مخمر ساکارومیسس سرویزیه جایگزین شود.

کلمات کلیدی: پودر ماهی، پروتئین تک یاخته، *Saccharomyces cerevisiae*، رشد، تغذیه، قزل آلائی رنگین کمان

* عهده دار مکاتبات (✉). asgharkhosravi69@gmail.com

مقدمه

مهم‌ترین هدف در آبی پروری 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 مورد نیاز 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 مورد نیاز 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 آبی 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., 2006; Sa et al., 2011). در بین اقلام غذایی مورد استفاده 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 آبی پروری می‌باشد (Miles and Chapman, 2016; Kissinger et al., 2006). مهم‌ترین مزایای پودر ماهی در جیره غذایی شامل قابلیت هضم بالا (تقریباً ۹۰ درصد)، عدم حضور یا میزان ناچیز ترکیبات ضد مغذی، تعادل مناسب آمینو اسیدهای ضروری و خوش‌خوراکی می‌باشد (Hardy, 2010). یکی از فاکتورهای مهم محدودکننده توسعه صنعت آبی پروری، 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 میکروارگانیسم‌ها 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 از جمله

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 (قرل‌آلای 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 در نظر گرفته 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.

ارگانسیم‌هایی 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 قرل‌آلای رنگین‌کمان به‌صورت ماهی شماره یک اکثر کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهیان سردابی در بیشتر نقاط جهان درآمده است. از خصوصیتی 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 آبریزی‌پروری (در مقابل توسعه صرفاً اقتصادی)، با بهره‌گیری از سیستم‌های پیشرفته و مکانیزاسیون، نه تنها در بهینه‌سازی مصرف آب در این حوزه و افزایش کمی و کیفی 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

تهیه ماهی و مدیریت سیستم آزمایشی

بچه ماهیان قزل آلا ی رنگین کمان مورد نیاز به تعداد ۴۸۰۰ عدد و با میانگین وزنی $5/05 \pm 0/29$ گرم از همان کارگاه تکثیر و پرورش محل انجام آزمایش تهیه و به حوضچه های در نظر گرفته شده جهت انجام آزمایش منتقل گردید و به مدت ۴۸ ساعت (جهت تخلیه کامل دستگاه گوارش) نگهداری شدند و سپس تقسیم بندی بچه ماهیان در تیمارهای آزمایشی مختلف در ۱۶ حوضچه ی پرورشی (۴ تیمار هریک ۴ تکرار) صورت پذیرفت. در هر یک از حوضچه های آزمایشی، به طور یکسان، ۳۰۰ عدد بچه ماهی قرار گرفت و کلیه حوضچه های آزمایشی در شرایط محیطی یکسان قرار گرفتند. منبع آب مورد استفاده در سیستم آزمایشی از آب چاهک و در تمامی حوضچه های آزمایشی یکسان بود ولی ورودی و خروجی هریک از حوضچه ها 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 حوضچه ها با استفاده از نمک ضد عفونی (برای هر حوضچه به میزان ۵۰۰ گرم نمک) می شدند. اطلاعات کامل مربوط به هر تیمار و تکرار آزمایشی شامل تاریخ، تعداد دفعات غذاهای، میانگین اولیه، میزان غذای داده شده، تلفات، علائم رفتاری بچه ماهیان، استفاده از دارو یا مکمل غذایی و همچنین فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی 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 مورد استفاده 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)	MI CO2	۲۶۰۰
P 205 (in DMS)	درصد	۲/۲۰
pH	-	۵/۶
انرژی (Power)	درصد	۴۵۰

زیست سنجی ماهیان

غذادهی قطع گردید و سپس بیومتری انجام شد. جهت بررسی میزان عملکرد رشد و تغذیه بچه ماهیان قزل-آلای رنگین کمان از فرمول‌های زیر استفاده گردید (Song et al., 2014; Pratoomyot et al., 2010).

جهت بیومتری بچه ماهیان، وزن آن‌ها توسط ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم و طول با خط کش با دقت ۰/۱ سانتی-متر در طول دوره آزمایشی انجام شد. همچنین به منظور کاهش استرس، ۲۴ ساعت قبل از نمونه برداری،

وزن اولیه بدن (گرم) - وزن نهایی بدن (گرم) = (WG) افزایش وزن (گرم)
 کل روزهای پرورش / ۱۰۰ × (وزن اولیه - ln - وزن نهایی) = (SGR) نرخ رشد ویژه
 وزن کل بدن (گرم) / ۱۰۰ × وزن کبد (گرم) = (HSI) شاخص کبدی
 وزن کل بدن (گرم) / ۱۰۰ × وزن احشاء (گرم) = (VSI) شاخص احشایی
 طول کل بدن / ۱۰۰ × وزن بدن (گرم) = (CF) ضریب چاقی
 افزایش وزن (گرم) / غذای مصرف شده (گرم) = (FCR) نسبت تبدیل غذایی
 غذای مصرف شده (گرم) / ۱۰۰ × افزایش وزن (گرم) = (FER) کارایی غذایی
 پروتئین مصرف شده (گرم) / افزایش وزن (گرم) = (PER) نسبت بازده پروتئینی
 تعداد ماهی در هر تانک / کل وزن غذای خورده شده = (TFI) کل غذای مصرف شده به ازای یک ماهی
 تعداد روزهای پرورش / وزن غذای خورده شده (g) = (DFI) دریافت غذای روزانه

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. در ابتدا شرط نرمال بودن داده‌ها با آزمون Shapiro-Wilk و همگنی واریانس‌ها با آزمون Leven تست شد. جهت آنالیز داده‌ها از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه استفاده شد و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال (p ≤ ۰/۰۵) با پس آزمون Duncan، بررسی شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار 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 بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین کمان 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 شاخص‌های رشد (میانگین وزن نهایی، نرخ رشد ویژه، شاخص وضعیت) به طور معنی‌داری در تیمار ۱ و ۲ (به ویژه 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 تک یاخته بر رشد بچه ماهیان قزل آلالی رنگین کمان

شاخص تیمار	میانگین وزن نهایی	نرخ رشد ویژه	ضرب 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 + یک سوم پروتئین تک یاخته؛ تیمار ۳: دوسوم پروتئین تک یاخته + یک سوم پودر ماهی؛ تیمار ۴: صرفاً پروتئین تک یاخته/حروف متفاوت نشانه اختلاف معنی دار بین تیمارهای آزمایشی است.

شاخص های تغذیه ای

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 مختلف آزمایشی اختلاف معنی داری نشان نداد ($P > 0.05$).

نتایج حاصل از اثرات جایگزینی پودر ماهی جیره غذایی با پروتئین تک یاخته (ساکارومیسس سرویزیه) بر شاخص های تغذیه ای بچه ماهیان قزل آلالی رنگین کمان به صورت میانگین داده ها $\pm$ خطای استاندارد در جدول ۴ آمده است. براساس نتایج به دست آمده، اختلاف معنی داری در بین تیمارهای آزمایشی مشاهده گردید ($P < 0.05$). بطوریکه بهترین میزان ضریب تبدیل غذایی

جدول ۴. نتایج اثرات جایگزینی پودر ماهی جیره با پروتئین تک یاخته بر تغذیه بچه ماهیان قزل آلالی رنگین کمان

شاخص تیمار	ضرب 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 + یک سوم پروتئین تک یاخته؛ تیمار ۳: دوسوم پروتئین تک یاخته + یک سوم پودر ماهی؛ تیمار ۴: صرفاً پروتئین تک یاخته/حروف متفاوت نشانه وجود اختلاف معنی دار بین تیمارهای آزمایشی است.

بحث

در بازار نه تنها مواد مغذی مورد نیاز برای عملکردهای معمول فیزیولوژیک را تأمین می کنند، بلکه ممکن است به عنوان واسطه هایی نیز عمل کنند که از طریق آنها، ماهیان ترکیبات مفید دیگری را نیز دریافت کرده که این ترکیبات بر سلامت آنها اثر می گذارند (Gatlin, 2002). با وجود اینکه مفهوم غذاهای کاربردی در

تغذیه صحیح به عنوان یک عامل ضروری برای بهبود رشد و حفظ سلامت ماهیان شناخته شده است و لازمه رشد سریع و پایدار صنعت آبرزی پروری، تهیه جیره غذایی با بیشترین کیفیت و کمترین هزینه برای نیل به حداکثر رشد می باشد. جیره های غذایی موجود

صنعت آبرزی پروری، 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 آبرزیان 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 cerevisiae*) به‌عنوان یک پروبیوتیک مخمری حاوی ترکیبات پروتئینی و محرک‌های ایمنی مختلف همچون بتاگلوکان‌ها، اسیدهای نوکلئیک، الیگوساکاریدهای مانان و کیتین می‌باشد. این میکروارگانیسم باعث افزایش رشد، تقویت پاسخ‌های ایمنی و بهبود مقاومت در برابر شرایط نامساعد محیطی گونه‌های مختلف آبرزیان می‌شود. کاربرد مخمر در آبرزی پروری از امتیازات ویژه مانند تولید آسان، سریع و ارزان و مقاومت بالا طی فرآیند عمل‌آوری برخوردار است (Dimitroglou et al., 2010; Reid, 2008; Ringø et al., 2009). از سوی دیگر، مخمرها به دلیل طبیعی بودن، اثرات منفی بر محیط و موجودات مصرف‌کننده ندارند. به علاوه نیازی به جداکردن اجزاء تشکیل‌دهنده 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 پریبیوتیک‌ها ایجاد می‌کند (Gatesoupe, 2007).

(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 پودر کامل 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 همانطور که دیواره سلولی برداشته می‌شود، محتوای پروتئین انحلال بیشتری نسبت به مخمر کامل یا هیدرولیز شده نشان می‌دهد (Refstie et al., 2010). محمدنژاد شמושکی و مازینی، (۱۳۹۱).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که جایگزینی پودر ماهی با پروتئین تک‌یاخته‌ی *Saccharomyces cerevisiae* 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 تک یاخته در سطوح بالاتر (دوسوم پروتئین تک یاخته - یک سوم پودر ماهی و تیمار صرفاً پروتئین تک یاخته)، نتوانسته نیازهای غذایی بچه ماهیان را برآورده سازد و سبب کاهش معنی دار عملکرد رشد و تغذیه‌ی آن‌ها نسبت به دیگر تیمارهای آزمایشی شده است. که می‌توان آن را به اسیدهای آمینه‌ی پروتئین تک یاخته و البته رژیم گوشت‌خواری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان نسبت داد. با توجه به نتایج می‌توان این گونه استنباط کرد که احتمالاً جایگزینی پودر ماهی با پروتئین تک یاخته در سطح ۵۰ درصد (یک دوم پروتئین تک یاخته و یک دوم پودر ماهی) می‌تواند هم از نظر اقتصادی، به صرفه باشد و هم اینکه نه تنها اثرات منفی بر ماهیان ندارد بلکه احتمالاً به علت 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 تیلایپای نیل (Abdel-Tawwab et al., 2008)؛ محصول تخمیری ساکارومایسس سرویزیا در تیلایپای هیبرید (He et al., 2009)؛ پروبیوتیک ساکارومایسس سرویزیا در هامور ماهی (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 (مخمیری یا باکتریایی) و بخصوص ترکیب همزمان پروبیوتیک‌های باکتریایی و مخمیری 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 رنگین کمان می‌گردد.

پروبیوتیک تجاری مانان‌الیگوساکاریدها (MOS) از بخش دیواره بیرونی مخمر ساکارومایسس 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 به عنوان منبع انرژی مهم برای باکتری‌های اسید لاکتیک می‌باشد (Staykov et al., 2007). همچنین بتاگلوکان، پلی ساکاریدی غیرنشاسته‌ای و محلول در آب است که از دیواره سلولی مخمر ساکارومایسس سرویزیا استخراج شده و دارای پیوندهایی می‌باشد که از واحدهای بتا (۱-۳) و بتا (۱-۶) تشکیل شده است. بتاگلوکان به دلیل آرایش انعطاف‌پذیر آن، محلول در آب بوده و معمولاً 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

در سطوح بالا بلکه در سطح ۲۵ درصد جایگزینی و احتمالاً ۵۰ درصد جایگزینی.

نتیجه گیری کلی

به طور کلی می توان این گونه نتیجه گرفت که استفاده از پروتئین تک یاخته همچون مخمر *Saccharomyces cerevisiae* به واسطه ی دارا بودن میزان پروتئین بالا و اثرات پریوتیکی، می توان سبب بهبود عملکرد رشد و تغذیه در بچه ماهیان قزل آلا ی 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 تک یاخته در سطوح بالا، بر عملکرد رشد و تغذیه ی آن اثرات منفی دارد. از این رو پیشنهاد می گردد جهت اقتصادی تر کردن جیره غذایی بچه ماهیان قزل آلا ی رنگین کمان، حداقل ۲۵ درصد و حداکثر ۵۰ درصد پودر ماهی با پروتئین تک یاخته ی مخمر *Saccharomyces cerevisiae* 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. آنزیم های سرم خون و سیستم آنتی اکسیدانی کبد ماهیان کفال خاکستری (*Mugil cephalus*) تغذیه شده با سطوح مختلف مخمر نانویی (*Saccharomyces cerevisiae*). نشریه توسعه آبرزی پروری. ۱۵ (۳)، ۱-۱۱.
۲. بابازاده میکلا، م.، سلطانی، م.، کمالی، الف.، سعیدی اصل، م. ۱۳۹۵. مطالعه امکان تولید پروتئین تک یاخته

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 می بخشد. مطالعات آن ها نشان داد که MOS سبب تولید گلوکز کبدی شده که انرژی لازم برای سوخت و ساز بافت های بدن را فراهم آورده و باعث ارتقا رشد و بهتر شدن ضریب تبدیل غذایی می شود. همچنین استفاده از پری بیوتیک های مانان الیگوساکارید و بتاگلوکان در ماهیان سیم دریایی (Salnur et al., 2009)، میگوی پاسبید غربی (Bai et al., 2010) و استفاده از پری بیوتیک فروکتوالیگوساکارید در جیره غذایی تاسماهی سیری، گربه ماهی آفریقایی و لاروماهیان کفشک تیز دندان (Mahious et al., 2006)، کپور هندی رو هو (Andrews et al., 2009) با تأثیر بر باکتری های مفید روده سبب افزایش حجم آن ها در روده شده و در نهایت با افزایش قابلیت هضم پذیری ترکیبات مفید غذایی بر بهبود عملکرد رشد و تغذیه آبریان تأثیر گذار خواهند بود. افزودن پری بیوتیک ایمونوزن (ترکیبی از مانان الیگوساکارید و بتاگلوکان) نیز به جیره غذایی فیل ماهیان جوان می تواند در سطوح پایین به عنوان 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 cerevisiae* بر ماهی قزل آلا ی رنگین کمان بود؛ البته نه

پایان نامه کارشناسی ارشد تکثیر و پرورش آبزیان. دانشگاه ارومیه. ۸۲ صفحه.

۸. محمدنژاد شמושکی، م.، مازینی، م. ۱۳۹۱. تأثیر پروبیوتیک مخمر نانویی (*Saccharomyces cerevisiae*) روی رشد و بازماندگی بچه ماهی کلمه (*Rutilus rutilus caspicus*). نشریه توسعه آبی پروری. ۱۰۳-۱۱۱.

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

۱۰. جعفرنوده، ع.، سوداگر، م.، حیدری، م.، اصلان پرویز، ح. ۱۳۸۹. تأثیر پروبیوتیک ایمونژن 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. Almáida-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 sharpnose seabream (*Diplodus puntazzo*) hepatocytes

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، ۱۶-۹.

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 سرویزیه 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 زیست‌شناسی ایران). ۴، ۵۴۳-۵۵۲.

۶. قانعی تهرانی، م. ۱۳۹۴. دستورالعمل فنی پرورش قزل‌آلای 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 تأثیر پروبیوتیک‌های ساکارومیسس سرویزیه و لاکتوباسیلوس کازئی بر رشد، بقاء، پاسخ‌های ایمنی و مقاومت در برابر برخی از استرس‌های محیطی و مواجهه باکتریایی در ماهی قزل‌آلای رنگین کمان.

- 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* 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

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.
- female $\times$ *Oreochromis aureus* male). *Journal of animal science* 89, 84-92.
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* $\times$ *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.

yeast or yeast subcomponents. Journal of the world Aquaculture Society 38, 24-35.

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