بهره‌برداری و پرورش آبزیان
جلد پنجم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵
http://japu.gau.ac.ir

توسعه آبزی‌پروری پایدار با استفاده از فن‌آوری توده‌سازی زیستی

*محمدحسین خانجانی[۱]، مرتضی علیزاده[۲] و احمد رفیعی‌پور[۳]
[۱]دانشجوی دکتری گروه شیلات، دانشگاه جیرفت، [۲]سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، [۳]استادیار گروه شیلات، دانشگاه جیرفت
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۲۱

چکیده

با افزایش جمعیت جهان، صنایع تولید غذا از قبیل آبزی‌پروری نیاز هست که به خوبی گسترش یابد. یک فن‌آوری جدید که فن‌آوری توده‌سازی زیستی (بیوفلوک) نامیده می‌شود، می‌تواند اهداف آبزی پروری پایدرار را با استفاده از سیستم بدون تعویض آب دنبال کند. فن‌آوری توده‌سازی زیستی از سیستم‌های آبزی پروری سازگار با محیط‌زیست است که به‌عنوان یک سیستم جایگزین مؤثر مورد توجه قرار گرفته است، مواد مغذی را به‌طور پیوسته بازیافت و دوباره آن‌ها را به‌عنوان غذا در دسترس آبزی قرار می‌دهد. این فن‌آوری براساس تنظیم نسبت کربن به نیتروژن برای توسعه جوامع میکروبی و توده زیستی می‌باشد که سبب شده میکروب‌ها نیتروژن غیرآلی دفع شده را برداشت و پروتئین میکروبی را تولید کنند. این توده‌های میکروبی سبب بهبود کیفیت آب می‌شوند. تعویض محدود آب، به حداقل رساندن پساب خروجی، حفظ کیفیت آب، تأمین غذا، کاهش مصرف پروتئین در خوراک، رشد مطلوب، امنیت زیستی و تولید محصول ارگانیک از مزایای این فن‌آوری می‌باشد، که در دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه مروری معرفی فن‌آوری توده‌ساز زیستی به‌عنوان یک راهبرد مهم در ارتقاء و توسعه پایدار آبزی‌پروری کشور و استفاده مفید از منابع آبی، مورد بحث قرار خواهد گرفت.

واژه‌های کلیدی: آبزی‌پروری پایدار، فن‌آوری توده‌سازی زیستی

*مسئول مکاتبه: m.h.khanjani@gmail.com

مقدمه

رشد کنونی جمعیت جهان و نیاز روز افزون به پروتئین، مستلزم تبیین راهکارهای صحیح در تأمین این ماده غذایی است. در همین راستا آبزی‌پروری از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و می‌تواند یکی از محورها و راهبردهای تولید پروتئین موردنیاز باشد. برای گسترش تولیدات آبزی‌پروری باید سه هدف عمده آبزی پروری پایدار را در نظر گرفت. هدف اول این‌که توسعه آبزی‌پروری باید تولیدات بیشتر را بدون افزایش قابل توجه استفاده از منابع طبیعی (آب و زمین) مدنظر قرار دهد (آونیملچ، ۲۰۰۹). هدف دوم این‌که توسعه سیستم‌های پایدار که اثرات زیان‌آوری بر محیط‌زیست نداشته باشند مورد توجه قرار گیرد (نایلور و همکاران، ۲۰۰۰) و هدف سوم ایجاد سیستم‌هایی است که نسبت هزینه/ سود را در جهت حمایت اقتصادی جامعه و پایداری تولید فراهم کند (آونیملچ، ۲۰۰۹). توسعه صنعت آبزی‌پروری آلودگی‌های زیست‌محیطی را در سال‌های اخیر به دنبال داشته است و در نتیجه توجه به مدیریت و نوع سیستم پرورشی که با محیط‌زیست سازگار باشد کاملاً ضروری است. علاوه‌بر این، گسترش آبزی‌پروری به‌دلیل محدودیت اراضی مناسب و همچنین وابستگی بالا به آرد و روغن ماهی به‌عنوان مواد مهم تشکیل دهنده خوراک آبزیان پرورشی، آبزی‌پروری تجاری را با مشکلات زیادی مواجه کرده است. زیرا هزینه‌های خوراک حداقل ۵۰ درصد از کل هزینه‌های آبزی پروری را که عمدتاً به هزینه‌های پروتئین موجود در جیره‌های تجاری مربوط می‌شود، تشکیل می‌دهد (دی سچریور و همکاران، ۲۰۰۸). امروزه توجه به سیستم‌های آبزی‌پروری مدار بسته به‌دلیل امنیت زیستی بیشتر و مزایای زیست‌محیطی در حال افزایش است. هنگامی که آب در سیستم‌های پرورشی مدار بسته به‌صورت چرخه‌ای مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد برخی از خطرات مانند ورود پاتوژن‌ها و گونه‌های بیگانه به سیستم پرورش و مشکلات مربوط به تخلیه آب زائد که باعث ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردد، کاهش می‌یابد (رآی، ۲۰۱۲). استفاده از فن‌آوری‌های جدید و مناسب مانند توده‌سازی زیستی[1] در تکثیر و پرورش ماهی و میگو از اهمیت بالایی برخوردار بوده که می‌تواند اهداف مهم آبزی‌پروری پایدار را دنبال نماید. فن‌آوری توده‌ساز زیستی از سیستم‌های آبزی‌پروری سازگار با محیط‌زیست است که از مواد مغذی و آلی بازیافت شده در فرآیند تولید، استفاده مجدد می‌نماید (امرنسیانو و همکاران، ۲۰۱۲). عملکرد این سیستم مبتنی‌بر رشد میکروارگانیسم‌ها در محیط

1- Biofloc Technology, BFT

با حداقل تعویض آب مفید می‌باشد. این فن‌آوری مزیت‌های مهمی از جمله به حداقل رساندن مصرف آب و بازیافت مواد مغذی و آلی حاصل از متابولیسم آبزی پرورشی را دارد، ضمن آن‌که ورود عوامل بیماری‌زا به محیط پرورش را کاهش داده و منجر به بهبود امنیت زیستی در مزرعه می‌گردد (آونیملچ، ۲۰۰۷). تولید در سیستم توده‌ساز زیستی در مقیاس بزرگ، می‌تواند اهمیت زیست‌محیطی در بوم سازگان دریایی و ساحلی را به‌همراه داشته و با جایگزین شدن سویا یا آرد ماهی با ترکیبات توده زیستی در تغذیه آبزی، اثرات سوء زیست‌محیطی پساب‌های آبزی‌پروری را کنترل کرد. از طرف دیگر، با استفاده از سیستم توده‌ساز زیستی، سطوح مایکوتوکسین‌ها و فاکتورهای ضد تغذیه‌ای در خوراک آبزی محدود شده و میزان مصرف خوراک که هزینه‌های زیادی را در بردارد، به‌طور کلی کاهش می‌یابد (کوهن و همکاران، ۲۰۱۲). کاهش ضریب تبدیل غذایی و بهبود نرخ رشد (واسیلسکی و همکاران، ۲۰۰٦؛ خانجانی و همکاران، ۲۰۱٦) در میگو و حتی در ماهی با استفاده از سیستم پرورش توده‌ساز زیستی گزارش شده است. این فن‌آوری اخیراً در پرورش متراکم میگو، تیلاپیا، کپور و گربه ماهی به‌کار گرفته شده و معلوم گردیده که توده زیستی میکروبی نقش اصلی را در بهبود کیفیت آب، تولید مکمل غذای طبیعی، بهبود رشد و سلامت آبزی پرورش داده شده به عهده دارد (ایکس یو و پن، ۲۰۱۳). هدف از این مطالعه بررسی فن‌آوری توده‌ساز زیستی و پتانسیل به‌کارگیری آن در توسعه آبزی پروری پایدار در کشور می‌باشد.

فن‌آوری توده‌ساز زیستی: بر طبق تحقیقات امرنسیانو و همکاران (۲۰۱۱)، فن‌آوری توده‌ساز زیستی برای اولین بار در اوایل سال ۱۹۷۰ در موسسه تحقیقات فرانسه برای بهره‌برداری از دریا (مرکز اقیانوس آرام)[1] با گونه‌های مختلف پنائیده (Penaeidae) شامل ***Penaeus monodon, Penaeus merguiensis, P. vannamei*** و ***Penaeus stylirostris*** (سوهیر، ۱۹۸٦) انجام شد. در سال‌های ۱۹۸۰ و آغاز ۱۹۹۰ مؤسسه آبزی‌پروری دریایی ایالات متحده آمریکا فن‌آوری BFT را برای تیلاپیا و میگوی سفید غربی استفاده کردند. با توجه به کاربرد تجاری فن‌آوری توده‌ساز زیستی، در سال ۱۹۸۸ در تاهیتی مزارع مختلف با استفاده از تانک‌های بتونی ۱۰۰۰ مترمربعی و تعویض آب محدود، تولید جهانی (۲۰ تا ۲۵ تن/ هکتار/ با دو محصول در سال) را ثبت کردند (امرنسیانو و همکاران، ۲۰۱۳). امروزه، BFT به‌طور موفقیت‌آمیزی در مزارع میگو با مقیاس بزرگ در آسیا، آمریکای لاتین و مرکزی و همچنین در کشت گلخانه با مقیاس کوچک در ایالات متحده آمریکا، کره جنوبی، برزیل، ایتالیا،

1- French Research Institute for Exploitation of the Sea, Oceanic Center of Pacific

چین، اندونزی، مالزی توسعه یافته است. در حال حاضر، بسیاری از مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی در حال انجام مطالعات مختلف بر فن‌آوری توده‌ساز زیستی هستند که عمدتاً به دنبال به‌کارگیری توده زیستی در زمینه‌های کلیدی مانند مدیریت رشد، تغذیه، تولید مثل، اکولوژی میکروبی، بیوتکنولوژی و اقتصاد می‌باشند (امرنسیانو و همکاران، ۲۰۱۳). در این فن‌آوری با مدیریت صحیح، از جمعیت باکتری‌ها در آب به‌طور مؤثر استفاده می‌شود (آونیملچ، ۲۰۰۹). باکتری‌ها هنگامی که یک پرورش متراکم ایجاد می‌شود، تمایل به تشکیل توده‌های زیستی دارند. توده‌های زیستی معمولاً شامل مخلوطی ناهمگن از سلول‌های زنده، مرده و دتریتوس (ذرات آلی) هستند و مجموعه‌ای از ارگانیسم‌های مختلف شامل باکتری‌ها، جلبک‌های رشته‌ای، پروتوزوآ، نماتودها، کپه‌پودها، روتیفرها، کلوئیدها، ذرات آلی و غیرآلی، پلی‌مرهای آلی، کاتیون‌ها و سلول‌های مرده است که می‌تواند به بیش از ۱۰۰۰ میکرومتر برسد (واللی و همکاران، ۲۰۱۵). قطر آن‌ها ۰/۱ تا ۲ میلی‌متر و هر سانتی‌متر مکعب توده زیستی شامل ۱۰ تا ۳۰ میلی‌گرم ماده خشک است (آونیملچ، ۲۰۰۹). انواع توده‌های زیستی دارای شکل‌های نامنظم، محدوده گسترده‌ای از اندازه ذرات و همچنین به راحتی قابل تراکم، بسیار متخلخل و نفوذپذیر می‌باشند (خانجانی، ۲۰۱۵). میکروارگانیسم‌ها در توده زیستی دو نقش عمده را بر عهده دارند: حفظ کیفیت آب، با جذب ترکیبات نیتروژن در استخر و تولید پروتئین میکروبی و نقش تغذیه‌ای، افزایش امکان پرورش با کاهش ضریب تبدیل غذایی و کاهش هزینه‌های غذا است (امرنسیانو و همکاران، ۲۰۱۲؛ خانجانی و همکاران، ۲۰۱٦). تنوع جوامع میکروبی در توده زیستی عملکردهایی از قبیل معدنی کردن مواد زائد، بهبود مصرف و استفاده از پروتئین و کاهش فرصت برای غالب شدن سویه‌های بیماری‌زا در استخر دارد. بیومس میکروبی روی غذای خورده نشده، مواد دفعی ماهی و تولیدات غیرآلی نیتروژنی که منجر به حذف این اجزاء ناخواسته از آب می‌شود، رشد می‌کنند. عامل محرک اصلی برای رشد متراکم باکتری‌های هتروتروف مصرف کربن آلی است (آونیملچ، ۲۰۱۲).

در حال حاضر، BFT معادل

سیستم‌های بر اساس باکتری‌های معلق یا لجن فعال[1] (راکوسی و همکاران، ۲۰۰٤)

سیستم بدون تعویض بر اساس باکتری‌های اتوتروفیک هتروتروفیک[2] (واسیلسکی و همکاران، ۲۰۰٦)

1- Active-sludge or suspended bacterial-based system

2- Zero Exchange Autotrophic Heterotrophic System (ZEAH)

سیستم‌های رشد معلق[1] (هارگریوس، ۲۰۰۶)

سیستم‌های توده میکروبی[2] (بالستر و همکاران، ۲۰۱۰)

سیستم‌های تولید پروتئین تک سلولی[3] (امرنسیانو و همکاران، ۲۰۱۲)

استفاده شده است ولی اکثر محققین BFT را به‌عنوان مرجع به‌کار می‌برند، در فن‌آوری BFT، تحقیقات در زمینه استفاده از توده زیستی به‌عنوان یک منبع پروتئینی (ترکیب با خوراک‌های تجاری) متمرکز شده است. چنین منبع غذایی که در این حالت تولید می‌شود، خوراک توده زیستی[4] و اساساً بیوراکتورها نامیده می‌شود (کوهن و همکاران، ۲۰۰۹).

ارزش غذایی توده زیستی و استفاده از آن به‌عنوان خوراک: توده زیستی به‌عنوان یک منبع غذایی غنی در سیستم‌های بدون تعویض آب تولید شده که در تمام ساعت شبانه روز در دسترس آبزی می‌باشد (آونیملچ، ۲۰۰۷). توده‌های زیستی ترکیبات متنوعی شامل پروتئین میکروبی (بالستر و همکاران، ۲۰۱۰؛ هارگریوس، ۲۰۱۳) پلی‌مر آلی (Poly-β-hydroxybutyrate PHB) ایجاد شده توسط باکتری‌ها (دی سچریور و همکاران، ۲۰۰۸)، میکروجلبک، پروتوزوآ، نماتودها (واللی و همکاران، ۲۰۱۵)، کپه‌پودها و روتیفرها (رای و همکاران، ۲۰۱۰) را دارند. PHB یک پلی‌مر تجزیه‌پذیر زیستی با چندین مزیت شامل کمک به بهبود قابلیت هضم در روده، افزایش اسیدهای چرب غیراشباع و بهبود رشد در ماهی و میگو می‌باشد (کرب و همکاران، ۲۰۱۰؛ امرنسیانو و همکاران، ۲۰۱۳).

خوراک‌های تجاری ممکن است همه مواد مغذی موردنیاز برای رشد ماهی را فراهم نکنند. برخی از مواد مغذی (ویتامین‌ها و مواد معدنی) از توده زیستی موجود در تانک پرورش تأمین می‌شود. بنابراین توده زیستی می‌تواند به‌عنوان منبع غذایی مکمل برای ماهی استفاده شود (ایکس یو و پن، ۲۰۱۳). مصرف و تولید دوباره توده‌های زیستی کارایی استفاده از خوراک را با بازیافت خوراک‌های ته نشین شده و برخی از مواد مغذی دفع شده افزایش می‌دهد (هارگریوس، ۲۰۰۶). عملکرد رشد میگوی سفید غربی در سیستم BFT به‌دلیل حضور و تولید توده زیستی همراه با جیره مصنوعی مناسب است که غذای طبیعی همراه با جیره فرموله، یک زنجیره غذایی پیچیده را تشکیل داده که میگو از آن استفاده

1- Suspended- growth systems
2- Microbial floc systems
3- Single- cell protein production system
4- Biofloc meal

می‌کند (خانجانی و همکاران، ۲۰۱۵). سیستم BFT یک منبع طبیعی غنی از پروتئین- چربی قابل دسترس در مخازن پرورش برای ماهی می‌باشد. در ستون آب تعامل پیچیده‌ای بین ماده آلی، بستر فیزیکی و طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها مانند فیتوپلانکتون، باکتری‌های آزاد و متصل و فیلتر فیدرکنندگانی مانند روتیفرها، مژه‌داران، تاژکداران تک یاخته و کپه پودها برقرار است. این تولیدات طبیعی نقش مهمی را در بازیافت مواد مغذی و حفظ کیفیت آب ایفا می‌کنند (آونیملچ، ۲۰۰۷). در مطالعه‌ای روی تیلاپیا در سیستم BFT مشخص شد که زمان ماندگاری ارگانیسم‌ها در توده زیستی حدود ۱۰ ساعت می‌باشد (آونیملچ و کوچبا، ۲۰۰۹). به‌این معنی است که توسط ماهی و احتمالاً دیگر ارگانیسم‌ها مصرف می‌شوند. کاهش تعداد میکروب‌ها و از طرف دیگر تولید میکروب‌های جدید در توده‌ها ۲ تا ۳ بار در روز تغییر می‌کند که عمدتاً سلول‌های جدید و فعال جایگزین می‌شوند (دی سچریور و همکاران، ۲۰۰۸). توده‌های زیستی روی تمام ترکیبات بدن میگوی سفید غربی پرورش یافته در شرایط بدون تعویض آب تأثیر می‌گذارند به‌طوری که میزان چربی کل و خاکستر بدن تحت شرایط BFT افزایش می‌یابد (خانجانی و همکاران، ۲۰۱۶). افزایش میزان چربی کل بدن در سیستم پرورشی بدون تعویض آب به جذب مؤثر چندین اسید چرب مثل پالمیتیک[1] و هپتادیکنوئیک[2] اسید از توده زیستی نسبت داده شده است. مطالعات نشان داده جذب مواد مغذی به‌دلیل وجود مقادیر بیشتری از اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب (PUFA و HUFA) و دیگر عناصر غذایی در توده زیستی، بهتر است (ایزکویردو و همکاران، ۲۰۰۶). افزایش کل میزان خاکستر بدن میگو تحت حضور توده‌های زیستی به‌دلیل در دسترس بودن پیوسته مواد معدنی فراوان و عناصر کمیاب در توده‌ها می‌باشد (ایکس یو و پن، ۲۰۱۲). توده‌های زیستی یا میکروارگانیسم‌های متصل به آن تأثیر مثبتی روی فعالیت آنزیم‌های گوارشی میگو می‌گذارند (ایکس یو و همکاران، ۲۰۱۳). این توده‌ها فعالیت‌های پروتئازی و آمیلازی نسبتاً بالایی را ارائه می‌دهند. این آنزیم‌های میکروبی به شکستن پروتئین، کربوهیدرات و سایر ترکیبات غذایی کمک می‌کنند و خوراک را به واحدهای کوچک‌تر تجزیه و قابلیت هضم و جذب خوراک را تسهیل می‌کنند (ایکس یو و پن، ۲۰۱۳) پس از این‌که غذا همراه با توده میکروبی فرو برده شد، توده زیستی به‌عنوان آنزیم خارجی مکمل در جیره غذایی عمل کرده و بر عملکرد آنزیم‌های دستگاه گوارش تأثیر مثبت می‌گذارد (لین و همکاران، ۲۰۰۷). پژوهش‌ها ثابت کرده است که حضور توده‌های زیستی در سیستم پرورش میگو، رشد را ۱۵ درصد افزایش و ضریب تبدیل

1- Palmitoleic
2- Heptadecenoic

غذایی را ٤٠ درصد کاهش می‌دهد که نشان دهنده این است که میگوها می‌توانند از کیفیت تغذیه این توده‌ها (ویتامین، مواد معدنی، لیپید و پروتئین اضافی) بهره‌مند شوند (واسیلسکی و همکاران، ٢٠٠٦) و توده‌های زیستی قادرند ٢٠ تا ٣٠ درصد جایگزین خوراک میگوی سفید غربی شوند به‌طوری که هزینه‌های تولید در این سیستم تا ١٥ درصد کاهش می‌یابد (خانجانی، ٢٠١٥). در واقع، خوراک خوب و متعادل می‌تواند بدون استفاده از پروتئین‌های دریایی و با حضور توده‌های زیستی تولید شود (آونیملچ، ٢٠١٢). ترکیبات بیوشیمیایی و غذایی توده‌های زیستی با توجه به شرایط محیطی، نوع کربن استفاده شده، سن توده، میزان مواد جامدمعلق، شوری، تراکم ذخیره‌سازی، شدت نور، جوامع باکتریایی و فیتوپلانکتون و نسبت آن‌ها متفاوت می‌باشد (امرنسیانو و همکاران، ٢٠١٣). توده‌های تازه معمولاً با باکتری‌های هتروتروف و توده‌های قدیمی‌تر با قارچ‌ها غالب هستند (کوهن و لاورنس، ٢٠١٢) در توده‌های زیستی محتوای خاکستر، پروتئین و چربی می‌تواند بسیار متغیر باشد (جدول ١).

جدول ١- آنالیز تقریبی توده‌های زیستی در مطالعات مختلف.

منابع	فیبر خام درصد	چربی درصد	کربوهیدرات درصد	پروتئین خام درصد	خاکستر درصد
مک این توش و همکاران، ٢٠٠٠		١٢/٥		٤٣	٢٦/٥
تاکون و همکاران، ٢٠٠٢		٢/٦		٣١/٢	٢٨/٢
سوارس و همکاران، ٢٠٠٤		٨-٢		٤٢-١٢	٤٦-٢٢
واسیلسکی و همکاران، ٢٠٠٦		٠/٥	٢٣/٦	٣١/١	٤٤/٨
جو و همکاران، ٢٠٠٨a		٢/٣ -١/٢		٤١/٩-٢٦	٤٠/٧ -١٨/٣
جو و همکاران، ٢٠٠٨b	١٢/٤	١/٩		٣٠/٤	٣٨/٩
کوهن و همکاران، ٢٠٠٩	١٢/٦	١/١٣	٣٦/٤	٤٩	١٣/٤
کوهن و همکاران، ٢٠١٠	١٦/٢	<٠/١	٢٥/٣	٣٨/٨	٢٤/٧
مایکا و همکاران، ٢٠١٢	١٠/٤ -٨/٧	٣/٦-٢/١		٤٣/١ -٢٨/٨	٤٢/٩ -٢٢/١
امرنسیانو و همکاران، ٢٠١٢	٠/٨	٠/٥	٢٩/١	٣٠/٤	٣٩/٢
امرنسیانو و همکاران، ٢٠١٢	١/٥ -٣/٥	٠/٤ -٠/٧	٢٢/٨ -٢٩/٩	١٨/٢ -٢٩/٣	٥١/٨ -٤٣/٧
امرنسیانو و همکاران، ٢٠١٢	٢/١ -٣/٤	٠/٣ -٠/٧	٢٠/٢ -٣٥/٧	١٨/٤ -٢٦/٣	٤١/٥ -٣٤/٥
امرنسیانو و همکاران، ٢٠١٢	٣/١-٣/٢	٠/٥-٠/٦	١٨/١-٢٢/٧	٢٨-٣٠/٤	٣٥/٨-٣٩/٦
خانجانی و همکاران، ٢٠١٦		٠/٨٦±٠/٠٦		٢٧/٤٣±١/٠٤	٣٩/٨٣±٠/٧٧
خانجانی و همکاران، ٢٠١٦		١/١٤±٠/٠٩		٢٣/١±٠/٨	٢١/٨١±١/١٥
خانجانی و همکاران، ٢٠١٦		٢/١٨±٠/١٣		٣٠/٧٣±٠/٨٣	٢٩/٩٧±١/٣٦
خانجانی و همکاران، ٢٠١٦		١/٢٤±٠/٠٤٥		٢٥/٤٦±١/٢٨	٣٤/٧٣±٠/٧٥

به‌کارگیری فن‌آوری توده‌ساز زیستی در جهت آبزی‌پروری پایدار: طی سال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینه به‌کارگیری فن‌آوری‌های نوین (آبزی‌پروری چند گونه‌ای، آبزی‌پروری ترکیبی، سیستم مداربسته، آکواپونیک و اخیراً فن‌آوری BFT) در آبزی‌پروری جهت افزایش تولید انجام شده است. هیچ فن‌آوری بدون نقص نیست در مورد فن‌آوری توده‌سازی زیستی توجیح آن و متقاعد کردن پرورش دهنده به راه‌اندازی آن نسبت به استخرهای معمولی مشکل‌تر است (خانجانی، ۲۰۱۵). از طرف دیگر خشکسالی‌های پیاپی، کمبود و گران بودن آب جهت توسعه آبزی‌پروری، اثرات مخرب پساب‌های آبزی‌پروری بر محیط زیست، آلودگی‌ها و شیوع بیماری‌های عفونی و در نتیجه توجه به امنیت زیستی مزرعه منجر شده که میزان تعویض آب در مزارع به حداقل ممکن برسد (آونیملچ، ۲۰۰۹). تجربیات موفق فن‌آوری توده‌سازی زیستی و همچنین مزایای اقتصادی این فن‌آوری لازم است به‌صورت شفاف و عملی به پرورش‌دهندگان آموزش داده شود. یکی از بخش‌های مهم در راه اندازی فن‌آوری BFT در آبزی‌پروری پایش و ارزیابی استخرها می‌باشد. پایش کیفیت آب از جمله تعیین و تثبیت غلظت کل مواد جامد معلق، مواد جامد قابل ته نشین، تعداد هواده‌ها، نوع آن‌ها و محل قرار گیری در استخر حائز اهمیت می‌باشد (دی سچریور و همکاران، ۲۰۰۸). تحقیقات آینده بر نقش و اهمیت فن‌آوری BFT تنظیم شده که پروش‌دهنده را به راه‌اندازی این تکنیک متقاعد کند. مصرف‌کنندگان هم لازم است که نسبت به خرید تولیدات آبزی‌پروری ارگانیک از استخرهای BFT ترغیب شوند. بازیافت مدفوع و تبدیل آن به خوراک و خورده شدن توسط آبزی ممکن است، سبب شود که مصرف‌کننده از خرید چنین محصولاتی خودداری کند. اما با افزایش جمعیت، برنامه‌های راهبردی در آبزی‌پروری نیاز هست تا ذخایر ماهیان وحشی را حفظ و قیمت ماهیان خوراکی را کنترل کند (جیانگ، ۲۰۱۰). افزایش جمعیت به دنبال آن کمبود غذاهای دریایی و افزایش فشار بر ذخایر طبیعی ماهیان سبب افزایش قیمت ماهی می‌شود (پرسون و همکاران، ۲۰۱۰). در مقابل سیاست برنامه‌های راهبردی شیلات حفظ و کاهش قیمت آبزیان و افزایش ذخایر ماهیان تجاری مهم می‌باشد. بنابراین فن‌آوری BFT می‌تواند فشار بر ذخایر آبزیان را کاهش و رفاه اجتماعی را با کاهش هزینه‌های تولید ماهی، بهبود دهد که برای پرورش‌دهنده و مصرف‌کننده سودمند باشد. مصرف‌کننده ضمانت می‌خواهد ماهی که تولید می‌شود برای سلامتی‌اش مضر نباشد، در تولید آن به محیط‌زیست احترام گذاشته شود و توجهات اخلاقی و اجتماعی نیز رعایت شود. فن‌آوری توده‌ساز زیستی در این زمینه موفق عمل کرده است. محققان زیادی به دنبال تلفیق این فن‌آوری با روش‌های دیگر آبزی پروری

هستند تا کیفیت آب و اثرات آن را کنترل نمایند. ترکیب سیستم BFT با حضور پریفیتون (آسدوززمان و همکاران، ۲۰۰۸)، ترکیب جوامع هتروتروفیک با اتوتروفیک در سیستم پرورش برای کنترل عوامل محیطی (آونیملچ، ۲۰۱۲)، استفاده از فرآیندهای نیتروفیکاسیون، دنیتروفیکاسیون و اکسیداسیون بی‌هوازی آمونیاک برای حذف نیتروژن (کومار و لین، ۲۰۱۰) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این محققین نشان داد که فن‌آوری‌های مذکور با صرف انرژی پایین توانایی کنترل ترکیبات مضر را در سیستم‌های آبزی‌پروری دارند. محققین دیگر استفاده از سیستم BFT برای پرورش چند گونه‌ای را به‌صورت پرورش ماهی تیلاپیا با سبزیجات، پرورش میگو با میکروجلبک، صدف‌ها و جلبک‌های دریایی بررسی کرده‌اند، که به نتایج مثبتی دست یافته‌اند (کوهن و همکاران، ۲۰۰۹). فن‌آوری BFT را می‌توان با استخرهای چند گونه‌ای ترکیب نمود به‌طوری که سبب بهبود کیفیت آب، قابلیت دسترسی به غذای طبیعی، عملکرد بهتر جیره غذایی، رشد و تولید شود (راحمن و همکاران، ۲۰۰۸) در کشورهای مختلف پرورش ترکیبی ماهی تیلاپیا با میگو در سیستم توده‌ساز زیستی بر اساس پایه باکتریایی انجام شده که نتایج موفقیت‌آمیزی به دنبال داشته است.

هنگامی که ماهی تیلاپیا در تراکم ۲۰ تا ۲۵ قطعه در مترمکعب ذخیره‌سازی می‌شود ماکزیمم محصول ۱۵ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده می‌شود (جدول ۲)، برای عملکرد مطلوب این سیستم غلظت مواد جامد معلق ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و مواد جامد ته نشین شده ۲۰ تا ۲۵ میلی‌لیتر بر لیتر بایستی حفظ شود. در این سیتم نیاز مستقیم انرژی برای هر واحد تولید ماهی حدود ۳/۵ تا ٤ کیلو وات بر کیلوگرم، کارایی استفاده از آب بسیار بالا حدود ۱۰۰ لیتر بر کیلوگرم می‌باشد. جایگزین شدن آب به میزان تبخیر روزانه حدود ۰/۲ تا ۰/٤ درصد حجم تانک نیاز است (آونیملچ، ۲۰۱۲؛ هارگریوس، ۲۰۱۳).

جدول ۲- عملکرد تولید در سیستم توده‌سازی زیستی (BFT) برای میگو و تیلاپیا در تراکم‌های مختلف (هارگریوس، ۲۰۱۳).

گونه پرورشی	تراکم ذخیره‌سازی	هوادهی (hp/ha)	میزان تولید
میگو	۱۲۵ تا ۱۵۰ پست لارو در مترمربع	۲۵ تا ۳۵	۲۰ تا ۲۵ تن در هکتار
میگو	۲۰۰ پست لارو در مترمربع	۱۵۰	۵ تا ۷ کیلوگرم در مترمربع
میگو	۳۰۰ تا ۵۰۰ جوونایل در مترمربع	-	٤ تا ۷ کیلوگرم در مترمربع
تیلاپیا	۲۰ تا ۲۵ قطعه در مترمکعب	۱۳۰ تا ۱۵۰	۱۵ تا ۲۰ کیلوگرم در مترمکعب

مقایسه سیستم معمولی و BFT برای پرورش ماهی تیلاپیا: پتانسیل سیستم BFT را در مورد تیلاپیا می‌توان محاسبه و بررسی نمود. برای ماهی تیلاپیا معمولاً خوراکی با ۳۰ درصد پروتئین و ضریب تبدیل غذایی ۲/۲ استفاده می‌شود (کان گومبی و همکاران، ۲۰۰۷).

۱. در پرورش تیلاپیا (در سیستم معمولی) ۲/۲ کیلوگرم خوراک با ۳۰ درصد پروتئین برای تولید یک کیلوگرم ماهی استفاده می‌شود.

- ۲/۲ × ۰/۳=۰/٦٦ کیلوگرم پروتئین برای تولید یک کیلوگرم ماهی استفاده می‌شود.
- ۰/۲۵ × ۰/٦٦= ۰/۱۷ کیلوگرم پروتئین توسط ماهی جذب و مصرف می‌شود (۲۵ درصد از خوراک توسط ماهی مصرف می‌شود.

۲. در سیستم BFT بخشی از خوراک به‌عنوان فلوک بازیافت می‌شود که به‌عنوان منبع غذایی توسط آبزی مصرف می‌شود، بنابراین غذایی کمتری نیاز می‌باشد. F مقدار غذایی است که به سیستم BFT اضافه می‌شود.

- (F × ۰/۳) کیلوگرم پروتئین برای تولید یک کیلوگرم ماهی استفاده می‌شود.
- ۰/۳ × (F × ۰/۲۵)= F × ۰/۰۷۵ کیلوگرم پروتئین برای تولید یک کیلوگرم ماهی مصرف می‌شود، ۰/۷۵ از خوراک ورودی مصرف نمی‌شود و به‌عنوان توده بازیافت می‌شود.
- (F × ۰/۷۵) کیلوگرم غذا بازیافت می‌شود.
- ۰/۳ × (F × ۰/۷۵) =F × ۰/۲۳ کیلوگرم پروتئین بازیافت و استفاده مجدد می‌شود.
- به فرض این‌که ماهی فقط ۲۵ درصد از توده میکروبی را مصرف کند.
- ۰/۲۵ × (F × ۰/۲۳) =۰/۰٦ کیلوگرم پروتئین از توده میکروبی برای تولید هر کیلوگرم ماهی مصرف می‌شود.

۳. مقدار خوراک ورودی که برای سیستم BFT نیاز هست قابل محاسبه می‌باشد، کل نیاز پروتئینی ماهی ۰/۱۷ کیلوگرم پروتئین به ازای هر کیلوگرم ماهی می‌باشد.

- کل نیاز پروتئین= پروتئین به‌دست آمده از خوراک + پروتئین به‌دست آمده از توده زیستی = ۰/۱۷
- کل نیاز پروتئین= (F × ۰/۰٦ + F ×۰/۰۷۵) = ۰/۱۷
- مقدار خوراکی که نیاز هست به‌کارگیری شود (F) حدود ۱/۳ کیلوگرم می‌باشد.

٤. محاسبه مقدار کربن آلی که برای رشد و توسعه توده‌های زیستی نیاز می‌باشد.

o ۰/۷۵× ۱/۳ =۱ کیلوگرم مقدار خوراک کاهش یافته (حدود ۱/۳ کیلوگرم خوراک برای تولید ۱ کیلوگرم ماهی) که توسط ماهی مصرف نمی‌شود (حدود ۷۵ درصد از خوراک توسط ماهی مصرف نمی‌شود).

o ۰/۳ × ۱ = ۰/۳ کیلوگرم پروتئین به ازای هر کیلوگرم تولید ماهی، استفاده نمی‌شود.

o ۰/۱٦ × ۰/۳ = ۰/۰٤۸ کیلوگرم نیتروژن (به ازای هر کیلوگرم ماهی تولید شده) مصرف نمی‌شود (۱٦ درصد از میزان پروتئین، نیتروژن می‌باشد) و به بیومس توده زیستی بازیافت می‌شود. توده‌های زیستی نسبت کربن به نیتروژن ٤ دارند (آونیملچ، ۱۹۹۹).

o ٤ × ۰/۰٤۸ = ۰/۱۹ کیلوگرم کربن در بیومس میکروبی به ازای هر کیلوگرم تولید ماهی، ایجاد می‌شود. همه نیتروژن زائد باید در توده‌های زیستی جذب شوند. حاصل بیومس میکروبی حدود ۰/۵ به‌دست می‌آید (آونیملچ، ۱۹۹۹).

o ۰/۵ /۰/۱۹ =۰/۳۸ کیلوگرم کربن نیاز هست که به آب اضافه شود تا نیتروژن زائد توسط توده‌های زیستی جذب شود (به ازای هر کیلوگرم تولید ماهی)، در مورد استات (حاوی ٤۰ درصد کربن) که به‌عنوان منبع کربن استفاده شود.

o ٤/ ۰/۳۸ =۰/۹۵ کیلوگرم استات نیاز هست به آب اضافه شود (به ازای هر کیلوگرم تولید ماهی).

۵. محاسبه مقایسه هزینه‌های تولید ماهی تیلاپیا در سیستم معمولی و BFT (تأکید بر خوراک)

- در سیستم معمولی (به ازای تولید ۱ کیلوگرم ماهی)

o ۲/۲ کیلوگرم خوراک × ۵۰۰۰ (به فرض، قیمت هر کیلو خوراک) =۱۱۰۰۰ تومان به ازای هر کیلوگرم ماهی تولید شده

- در سیستم BFT (به ازای تولید ۱ کیلوگرم ماهی)

o ۱/۳ کیلوگرم خوراک × ۵۰۰۰ (به فرض، قیمت هر کیلو خوراک) + (۰/۹۵ کیلوگرم استات × ۳۰۰۰ (به فرض، قیمت یک کیلوگرم استات) = ۹۳۵۰ تومان به ازای هر کیلوگرم ماهی تولید شده

در مجموع حدود ۱۵ درصد هزینه‌های تولید خوراک در سیستم BFT کاهش می‌یابد.

گونه‌های مناسب برای پرورش در سیستم BFT: همه گونه‌های آبزی برای استفاده در سیستم BFT مناسب نیستند. به‌نظر می‌رسد برخی از ویژگی‌های لازم برای دستیابی به عملکرد رشد بهتر مانند مقاومت به تراکم بالا، تحمل سطوح متوسط اکسیژن محلول (تقریباً ۳ تا ٦ میلی‌گرم در لیتر)، فیلترفیدر بودن، عادت همه چیزخواری و یا قابلیت سازگاری دستگاه گوارش به جذب بهتر ذرات میکروبی،

بایستی از ویژگی‌های گونه موردنظر باشد. همچنین گونه‌های که بتوانند غلظت‌های بالایی از مواد جامد در آب و به‌طور کلی کیفیت آب ضعیف را تحمل کنند، برای پرورش در این سیستم مناسب هستند. تاکنون گونه‌های از قبیل میگوی سفیدغربی، تیلاپیا، گربه ماهی، کپور و باس مخطط به‌طور موفقیت‌آمیز در این سیستم پرورش داده شده‌اند (هارگریوس، ۲۰۱۳).

کنترل آمونیاک در سیستم BFT با تنظیم نسبت کربن به نیتروژن: نیتروژن در سیستم BFT به‌صورت ازت مولکولی، آمونیاک، آمونیوم، نیتریت، نیترات و نیتروژن آلی وجود دارد. مشکل بزرگ در این سیستم نیتروژن غیرآلی (آمونیاک و نیتریت) می‌باشد که سمی هستند. به‌طور طبیعی به مقدار کافی نیتروژن در استخرها برای تولید سلول جدید وجود دارد. مواد پروتئینی فقیر و غنی از کربن (مثل سلولز، نشاسته، آرد گندم، ملاس و غیره) به سیستم BFT اضافه می‌شود و افزایش نسبت کربن (۱۰ تا ۲۰) به نیتروژن (۱) سبب تقویت جذب نیتروژن توسط باکتری‌ها و تسریع در کاهش میزان آمونیوم در مقایسه با نیتریفیکاسیون می‌شود (کرب و همکاران، ۲۰۱۲).

نسبت کربن به نیتروژن بالا برای تضمین رشد بهینه باکتری‌های هتروتروف ضروری است (امرنسیانو و همکاران، ۲۰۱۲) و از این انرژی برای نگهداری و همچنین برای تولید سلول‌های جدید استفاده می‌شود. منبع کربن به‌عنوان یک بستر برای سیستم‌های عامل BFT و تولید سلول‌های پروتئین میکروبی عمل می‌کند (آونیملچ، ۲۰۰۷). با اضافه کردن کربوهیدرات به آب و تنظیم نسبت کربن به نیتروژن باکتری‌های هتروتروف مواد مغذی را جذب نموده و تشکیل توده‌های زیستی را بهینه می‌نمایند و در نتیجه منجر به حذف نیتروژن آمونیاکی کل (TAN) و نیتریت می‌گردند (آسدوززمان و همکاران، ۲۰۰۸). اضافه کردن مواد کربن‌دار به‌عنوان یک روش مناسب برای جلوگیری از افزایش سطح نیتروژن غیرآلی در استخر پرورش شناخته شده است به‌طوری که ۲۰ تا ۲۵ گرم مواد کربن‌دار برای حذف ۱ گرم نیتروژن غیرآلی نیاز است (آونیملچ، ۲۰۰۹). در مطالعه خانجانی (۲۰۱۵) بیان شد که با اضافه کردن منابع آلی کربن‌دار (ملاس، نشاسته و آرد گندم) و حفظ نسبت کربن به نیتروژن در حد مطلوب (۱۵ به ۱) در سیستم پرورش بدون تعویض آب می‌توان کیفیت مناسب آب را حفظ کرد و مانع از افزایش ترکیب سمی آمونیاک شد. همچنین نتایج داده‌ها نشان داد که ملاس، نشاسته و آرد گندم می‌تواند به‌عنوان منابع کربن آلی خوب برای حفظ نسبت کربن به نیتروژن بالا در مخازن پرورش میگوی سفید غربی باشد. جهت انتخاب نوع منبع کربن بایستی قابلیت هضم کربوهیدرات، میزان محتوای پروتئین و هزینه هر واحد آن در نظر گرفته شود. کربوهیدرات‌های پیچیده اغلب حاوی

پروتئین هستند که در هنگام محاسبه کربوهیدرات موردنیاز جهت حفظ نسبت بالای کربن به نیتروژن (۱۰ تا ۲۰) بایستی میزان پروتئین آن‌ها لحاظ شود (آونیملچ، ۲۰۰۹). هنگامی که منبع کربن به محیط پرورش اضافه می‌شود به سرعت توسط جامعه میکروبی ساکن در محیط متابولیز می‌شود. یک راه حل مناسب برای غلبه بر مشکل سمیت مواد زائد، اضافه کردن تدریجی مواد کربن‌دار به میزان کمتر نسبت به اضافه کردن یکباره به استخر می‌باشد (کرب و همکاران، ۲۰۱۰). اضافه کردن منابع کربن علاوه بر کنترل و کاهش تولید غلظت نیتروژن سمی غیرآلی در تانک‌های میگو با تنظیم نسبت کربن به نیتروژن و تولید توده زیستی به‌عنوان خوراک مکمل برای میگوها استفاده شده که می‌توان درصد پروتئین جیره و میزان خوراک ورودی به مخازن پرورش را با جایگزین کردن توده‌های میکروبی کاهش داد (خانجانی، ۲۰۱۵). اضافه کردن ملاس به تانک‌های پرورش سبب تحریک رشد باکتری‌های هتروتروف می‌شود که حضور این توده باکتریایی سبب حفظ کیفیت آب در حد اپتیمم می‌گردد (خانجانی و همکاران، ۲۰۱٦). اضافه کردن کربوهیدرات به سیستم‌های بدون تعویض آب برای پرورش متراکم میگوی سفید غربی به‌طور قابل توجهی کیفیت آب، فعالیت‌های باکتریایی و رشد زئوپلانکتون‌ها را بهبود می‌دهد و در نتیجه باعث عملکرد بهتر رشد می‌شود و منابع کربوهیدرات اضافه شده به ستون آب در توده‌سازی زیستی مؤثر هستند (گائو و همکاران، ۲۰۱۲).

تنظیم نسبت کربن به نیتروژن بر اساس آونیملچ (۲۰۰۹): کنترل تجمع نیتروژن غیرآلی در استخرها بر اساس فرآیندهای میکروبی تثبیت نیتروژن و متابولیسم کربن می‌باشد. باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌های دیگر از کربوهیدرات‌ها (ملاس، نشاسته، آردگندم، سلولز و غیره) به‌عنوان غذا استفاده می‌کنند، تا با دریافت انرژی، رشد سلول‌های جدید و پروتئین‌ها را تولید کنند.

رابطه (۱) CO_2 + انرژی + کربن جذب شده در سلول‌های میکروبی ⟶ کربن آلی

درصد کربن جذب شده نسبت به کربن خوراک متابولیز شده به‌عنوان کارایی تبدیل میکروبی[1] تعریف می‌شود که در محدوده ٤۰ تا ٦۰ درصد می‌باشد (آونیملچ، ۱۹۹۹). نیتروژن به‌عنوان ترکیب مهم برای ساخت پروتئین سلول‌های جدید می‌باشد. استفاده میکروب‌ها از کربوهیدرات با تثبیت نیتروژن غیرآلی همراه است. این فرآیند به‌عنوان اساس فرآیند میکروبی و به‌طور ویژه عملکرد هر توده

1- Microbial conversion efficiency (E)

میکروبی می‌باشد. اضافه کردن کربوهیدرات به سیستم‌های آبزی‌پروری متراکم روش مناسب برای کاهش غلظت نیتروژن غیرآلی است. مقدار کربوهیدراتی (CH) که برای کاهش آمونیوم نیاز هست به آسانی قابل محاسبه می‌باشد.

بر طبق رابطه ۱ و تعریف کارایی تبدیل میکروبی (E)، مقدار جذب میکروبی کربن، هنگامی که مقدار معینی از کربوهیدرات متابولیز شده است به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

رابطه (۲) $C_{mic}= CH\times \%C \times E$

که C_{mic} مقدار کربن جذب شده توسط میکروارگانیسم‌ها و C درصد میزان کربن موجود در کربوهیدرات اضافه شده (تقریباً ۵۰ درصد برای اغلب منابع کربن) می‌باشد. مقدار نیتروژن موردنیاز برای تولید مواد سلولی جدید بسته به نسبت کربن به نیتروژن در بیومس میکروبی حدود ٤ می‌باشد (آونیملچ، ۱۹۹۹).

رابطه (۳) $N=C_{mic}/[C/N]_{mic}= CH\times \%C \times E/[C/N]_{mic}$

مقادیر تقریبی برای C درصد، E و $[C/N]_{mic}$ به‌ترتیب ۰/۵، ۰/٤ و ٤ می‌باشد.

رابطه (٤) $CH= N/ (۰/۵ \times ۰/۴/۴) = N/۰/۰۵$

طبق رابطه ٤ و به‌فرض این‌که کربوهیدرات اضافه شده حاوی ۵۰ درصد کربن است، کربوهیدرات موردنیاز برای کاهش غلظت ۱ میلی‌گرم نیتروژن (۱ گرم نیتروژن بر مترمکعب) حدود ۲۰ گرم بر مترمکعب می‌باشد. یک رویکرد متفاوت در مورد تخمین مقدار کربوهیدرات موردنیاز برای تثبیت آمونیوم دفع شده توسط ماهی و میگو وجود دارد. ماهی و میگو فقط حدود ۲۵ درصد از نیتروژن موجود در خوراک را جذب می‌کنند (بوید و تاکر، ۲۰۰۹). مابقی به‌صورت آمونیوم و نیتروژن آلی در مدفوع یا خوراک باقی مانده دفع می‌شود. می‌توان فرض کرد که آزاد شدن آمونیوم به‌درون آب (به‌طور مستقیم با دفع یا به‌طور غیرمستقیم با تجزیه میکروبی نیتروژن آلی باقی‌مانده) حدود ۵۰ درصد از نیتروژن خوراک است.

رابطه (۵) $N= Feed\times \%N\ Feed\times \%N\ excretion$

تعویض آب جزئی و حذف لجن اضافی از استخر مقدار نیتروژن آزاد شده را کاهش می‌دهد که قابل محاسبه و تخمین می‌باشد. در استخرهای بدون تعویض آب همه آمونیوم در استخر باقی می‌ماند. مقدار کربوهیدرات موردنیاز برای تبدیل آمونیوم آزاد شده به پروتئین‌های میکروبی را می‌توان با استفاده از رابطه ٤ و ٥ محاسبه نمود.

نسبت کربن به نیتروژن و مقدار کربوهیدرات موردنیاز معادل میزان پروتئین خوراک را می‌توان با استفاده از رابطه ٦ محاسبه نمود.

رابطه (٦)

CH= Feed×٪N Feed× ٪N excretion/٠/٠٥

- تقریباً ١٥/٥ تا ١٦ درصد پروتئین، نیتروژن می‌باشد (آونیملچ، ٢٠٠٩).

به‌فرض این‌که خوراکی با ٣٠ درصد پروتئین (٤/٨ درصد نیتروژن) و ٥٠ درصد نیتروژن خوراک دفع شود (درصد نیتروژن دفعی) در نتیجه خواهیم داشت:

رابطه (٧)

CH= Feed×٠/٠٤٨ × ٠/٥/٠/٠٥ = ٠/٤٨ × Feed

بر طبق رابطه ٧ خوراکی که ٣٠ درصد پروتئین دارد باید با بخش اضافی از ٤٨ درصد مواد کربن دار بدون هیچ‌گونه پروتئینی تعدیل شود. درصد پروتئین تصحیح شده[1] طبق رابطه ٨.

رابطه (٨)

CPP = ٪CP Feed/(١+ F_{CHO})

F_{CHO}= kg CHO supplement /kg Feed

CPP = ٪٣٠/ (١+ ٠/٤٨) = ٠/٣٠ /(١/٤٨) = ٠/٢٠٢٧

نسبت کربن به نیتروژن طبق رابطه ٩ قابل محاسبه است.

رابطه (٩)

C/N ratio = ٠/٥/(CPP × ٠/١٦)

C/N ratio = ٠/٥/(٠/٢٠٢٧× ٠/١٦) =١٥/٤٢

تقریباً ٥٠ درصد وزن کل خوراک کربن می‌باشد.

خوراکی با ٣٠ درصد پروتئین، میزان کربن= ٥٠٠ گرم بر کیلوگرم خوراک

میزان پروتئین= ٣٠٠ گرم بر کیلوگرم خوراک، میزان نیتروژن= ٤٨ گرم نیتروژن بر کیلوگرم خوراک

1- Corrected protein percentage (CPP)

نسبت کربن به نیتروژن در خوراک = (۵۰۰/۴۸) = ۱۰/۴۱

با اضافه کردن مقدار کربوهیدرات موردنیاز (۰/۴۸) نسبت کربن به نیتروژن را می‌توان تا میزان (۱۵/۴۲) تعدیل نمود. در جدول ۳ نسبت کربن به نیتروژن در خوراک میگو و میزان کربوهیدرات موردنیاز به ازای هر کیلوگرم خوراک جهت تعدیل نسبت کربن به نیتروژن ارائه شده است.

جدول ۳- نسبت کربن به نیتروژن در خوراک میگو و میزان کربوهیدرات موردنیاز به ازای هر کیلوگرم خوراک جهت تعدیل نسبت کربن به نیتروژن (برگرفته از آونیملچ، ۱۹۹۹).

خوراک میگو		جذب ۱۰۰ درصدی آمونیوم با باکتری‌های هتروتروف	
درصد پروتئین	نسبت کربن به نیتروژن در خوراک	کیلوگرم کربوهیدرات موردنیاز به ازای هر کیلوگرم خوراک	نسبت کربن به نیتروژن
٪۳۵	۸/۹	۰/۵۶	۱۳/۹
٪۳۰	۱۰/٤	۰/٤۸	۱۵/٤
٪۲۵	۱۲/۵	۰/٤۰	۱۷/۵

محاسبه کربن موردنیاز برای تشکیل توده زیستی بر اساس کرب و همکاران (۲۰۱۲)

- به‌فرض، غذادهی روزانه دو درصد وزن ماهی (کراگ و هل فریچ، ۲۰۰۲)
- ۲۰ گرم غذا به ازای هر کیلوگرم ماهی در روز داده می‌شود
- اگر غذا حاوی ۲۵ درصد پروتئین باشد
- ۵ گرم پروتئین به ازای هر کیلوگرم ماهی در روز اضافه می‌شود
- ۱٦ درصد پروتئین نیتروژن می‌باشد (کراگ و هل فریچ، ۲۰۰۲)
- ۰/۸ گرم نیتروژن به ازای هر کیلوگرم ماهی در هر روز اضافه می‌شود
- به‌طور میانگین ۷۵ درصد از نیتروژن غذا در آب آزاد می‌شود (آمونیفیکاسیون، غذای خورده نشده به‌همراه دفع) (پیدراهیتا، ۲۰۰۳)
- ۰/٦ گرم نیتروژن به ازای هر کیلوگرم ماهی در هر روز در آب آزاد می‌شود
- میکروارگانیسم‌ها حداقل به نسبت کربن به نیتروژن ۱۰ نیاز دارند (آونیملچ، ۱۹۹۹).
- ٦ گرم کربن به ازای هر کیلوگرم ماهی در هر روز برای تشکیل توده زیستی نیاز است.
- ۵۰ درصد از ماده خشک اکثر ترکیبات آلی، کربن می‌باشد.

- روزانه ۱۲ گرم از ماده خشک ترکیبات آلی کربن‌دار برای تشکیل توده زیستی لازم است.

سیستم BFT یا میکسوتروفیک: در سیستم BFT سه دسته ارگانیسم اثرگذار شامل فتواتوتروف‌ها[1]، شیمواتوتروف‌ها[2] و هتروتروف‌ها[3] وجود دارد (آونیملچ، ۲۰۱۲) (جدول ٤). دسته اول شامل فیتوپلانکتون‌ها که در حضور نور کارایی بالاتری دارند و دارای ارزش غذایی بالا (به دلیل دارا بودن کاروتنوئید و اسیدهای چرب غیراشباع) هستند. در سیستم‌های متکی به فتواتوتروف‌ها نوسانات پارامترهای محیطی اکسیژن، دی اکسید کربن، pH و آمونیاک دیده می‌شود که ممکن است بر عملکرد رشد و بقای آبزی تأثیر بگذارد. دسته دوم شیمواتوتروف‌ها که طی فرایند نیتروفیکاسیون، باکتری نیتروزموناس آمونیاک را به نیتریت و باکتری نیتروباکتر، نیتریت را به نیترات تبدیل می‌کنند. غلظت آمونیاک و نیتریت، اکسیژن محلول، دما، قلیائیت، شوری، pH، سوبسترای مناسب، میزان مواد جامد معلق از فاکتورهای اثرگذار بر فرایند نیتروفیکاسیون هستند. دسته سوم باکتری‌های هتروتروف (گونه‌های باسیلوس با فرایند جذب) که نقش اصلی را در سیستم BFT دارند. غلظت آمونیاک، نسبت کربن به نیتروژن، اکسیژن محلول، دما، قلیائیت، شوری، میزان نور و pH از فاکتورهای تأثیرگذار بر ترکیب جوامع میکروبی در سیستم BFT است (تیمونس و همکاران، ۲۰۰٦؛ آوینملچ، ۲۰۱۲). در سیستم مذکور باکتری‌های هتروترف را می‌توان با دستکاری نسبت کربن به نیتروژن (بالای ۱۰)، کاهش تعویض آب، حذف مواد جامد و افزایش هوادهی و گردش آب در مخازن تحریک نمود. ضریب رشد باکتری‌های هتروتروف ۱۰ برابر بالاتر از باکتری‌های نیتریفیکانت می‌باشد (هارگریوس، ۲۰۰٦). شرایط مناسب برای فعالیت این باکتری‌ها بدین صورت است که مقدار زیادی غذای قابل دسترس برای باکتری وجود داشته باشد (استخر با مواد آلی ته نشین شده پر شده باشد)، تانک یا استخر به‌طور کامل (٢٤ ساعت در روز) هوادهی شود، تعداد باکتری‌ها در تانک BFT بایستی 10^{6} تا 10^{9} باکتری در یک سانتی‌متر مکعب باشد (آوینملچ، ۲۰۰۹).

1- Photoautotrophic
2- Chemoautotrophic
3- Heterotrophic

جدول ٤- تأثیر حضور باکتری‌های مختلف بر پارامترهای کیفی آب در سیستم BFT (ابلینگ و همکاران، ۲۰۰٦؛ آوینملچ، ۲۰۱۲).

پارامتر	فتواتوتروفیک	شیمواتوتروفیک	هتروتروفیک
آمونیاک	کاهش	افزایش سپس کاهش	کاهش
نیتریت	بی‌تأثیر	افزایش سپس کاهش	بی‌تأثیر
نیترات	کاهش	افزایش	بی‌تأثیر
pH	در حضور نور (افزایش)، تاریکی (کاهش)	کاهش	کاهش
قلیائیت	در هنگام مصرف آمونیاک (کاهش)، مصرف نیتریت (افزایش)	کاهش	کاهش
اکسیژن	افزایش	کاهش	کاهش
دی‌اکسیدکربن	در حضور نور (کاهش)، تاریکی (افزایش)	افزایش	افزایش
نیتروژن کل	بی‌تأثیر	افزایش	افزایش
سرعت رشد	سریع	کند	خیلی سریع، با توجه به شرایط ۱۰ تا ٤۰ برابر بیشتر از شیمواتوتروف‌ها
فرایند غالب	Photosynthesis Assimilation Removal	Nitrification Conversion	Assimilation بیشترین کارایی را در سیستم BFT دارد

تهیه توده زیستی: جهت ایجاد سیستم تولید توده زیستی، در ابتدا بایستی مخازن موردنظر با آب دریای فیلتر شده (فیلتر شنی) پر شوند. برای تشکیل توده زیستی، از مواد آلی شامل خوراک‌های غیرقابل مصرف برای آبزی، آرد و سبوس گندم و ملاس به‌عنوان سوبستراهای آلی استفاده می‌شود (خانجانی، ۲۰۱٦). مواد کربن‌دار پس از توزین به درون ظروف پلاستیکی یک لیتری ریخته شود و به‌خوبی با آب مخزن پرورش مخلوط گردد و به‌طور یکنواخت در سرتاسر سطح مخزن بعد از استفاده خوراک توزیع شود. تا توسعه توده‌های میکروبی را تقویت کند، به‌منظور تقویت فعالیت باکتری‌های هتروتروف جهت تشکیل توده زیستی، نسبت کربن به نیتروژن در سیستم بالای ۱۵ در نظر گرفته می‌شود (آونیملچ، ۲۰۰۹). کود شیمیایی اوره با ٤٦ درصد ازت جهت تأمین نیتروژن (به میزان ۰/۵ تا ۲/۵ میلی‌گرم نیتروژن در لیتر) و خاک رس (تقریباً ۵۰ کیلوگرم در هکتار، به تناسب ظرف کشت) نیز جهت کمک به تشکیل توده میکروبی پس از نرم شدن و عبور از الک (با شماره چشمه ۲۷۰، ذراتی به اندازه ۵۳ میکرون و کمتر عبور می‌دهد) به مخازن تشکیل توده میکروبی اضافه می‌شود. هوادهی نیز به

منظور اختلاط آب و تأمین اکسیژن با سه سنگ هوا در مخازن انجام می‌گیرد، تشکیل توده زیستی ممکن است چند هفته به طول انجامد (خانجانی، ۲۰۱٦). در طی دوره تشکیل توده زیستی اول جلبک‌ها توسعه می‌یابند، بعد از آن فوم یا کف تشکیل و در نهایت حالت قهوه‌ای که نشانه حضور و فعالیت باکتری‌های هتروتروف است ایجاد می‌گردد. در طی دوره آزمایش زمانی‌که آبزی در مخازن وجود دارد بایستی پارامترهای فیزیکوشیمیایی (دما، اکسیژن، pH، قلیائیت، نیتروژن کل، آمونیوم، نیتریت و نیترات) آب را اندازه‌گیری کرد و پاسخ به برخی از اندازه‌گیری‌ها را سریع انجام داد (خانجانی و همکاران، ۲۰۱۵).

- اگر میزان آمونیاک بالا بود: افزودن کربوهیدرات به مخزن، کاهش پروتئین در خوراک
- اگر میزان نیتریت بالا بود: چک کردن مناطق کم اکسیژن، جمع‌آوری لجن، قرار داد هواده و اضافه کربن
- اگر حجم توده میکروبی پایین باشد: افزودن کربوهیدرات
- اگر حجم توده بیش از حد بالا باشد: خروج مواد دفعی و مقداری از توده‌ها

همچنین بایستی در مخازن پرورشی BFT میزان مواد جامد قابل ته نشین[1] را با کمک قیف‌های ایمهوف (مدرج شده)، (اندازه‌گیری در ۱۵ الی ۲۰ دقیقه تا به خوبی ته نشین شود) و کل مواد جامد معلق[2] را اندازه‌گیری کرد تا بخوبی بتوان سیستم را مدیریت نمود (آونیملچ و کوچبا، ۲۰۰۹).

فاکتورهای مؤثر در تشکیل و ساختار توده زیستی

هوادهی: انتخاب نوع هواده، محل قرارگیری هواده و شدت هوادهی نقش بسیار مهمی در شکل‌گیری، اندازه و همچنین از هم پاشیدگی توده زیستی دارد. اندازه توده زیستی بر ارزش غذایی آن تأثیر می‌گذارد، در نتیجه برای گونه آبزی حائز اهمیت است (گارتون- تجلدستو و همکاران، ۲۰۰٦).

اکسیژن محلول: اکسیژن محلول در سیستم BFT از اهمیت بالایی برخوردار است. بر فعالیت باکتری‌ها در توده‌های هوازی، ساختار و سایز توده زیستی، شاخص حجم توده میکروبی (دی سچریور و همکاران، ۲۰۰۸)، تنوع ارگانیسم‌ها در توده (مارتینز و همکاران، ۲۰۰۳) و عملکرد رشد گونه آبزی (کولت، ۲۰۰٦) تأثیرگذار است.

1- Settled Solid
2- Total Suspended Solid

کربن آلی: مواد آلی کربن‌دار به دو صورت ساده (ملاس، شکر، دکستروز و...) و پیچیده (سلولز، نشاسته، آرد گندم و...) به سیستم BFT اضافه می‌شود که هر کدام اثرات متفاوتی دارند (خانجانی و همکاران، ۲۰۱٦). مواد آلی کربن‌دار بر فعالیت باکتری‌ها، ساختار و سایز توده میکروبی، شاخص حجم، ترکیب شیمیایی توده میکروبی، میزان کیفیت آب و عملکرد رشد گونه آبزی تأثیرگذار است (خانجانی و همکاران، ۲۰۱٦).

شوری: شوری فاکتور مهمی است که بر غلظت توده زیستی تشکیل شده در مخازن پرورش تأثیر می‌گذارد (دکامپ و همکاران، ۲۰۰۳). با افزایش شوری (به‌دلیل حضور یون‌های دو بار مثبت) ذرات تمایل به تشکیل توده داشته و اندازه توده میکروبی افزایش می‌یابد (آونیملچ، ۱۹۹۹؛ امرنسیانو و همکاران، ۲۰۱۲).

دما: تأثیر دما در سیستم BFT پیچیده است. بین میزان دما و شکل ظاهری توده میکروبی ارتباط وجود دارد به‌طوری که با کاهش دما از هم پاشیدگی توده اتفاق می‌افتد که احتمالاً به‌دلیل کاهش فعالیت باکتری‌ها در توده میکروبی می‌باشد (وایلن و همکاران، ۲۰۰۰). میزان دما بر فعالیت باکتری‌ها در توده، ساختار و سایز توده میکروبی، شاخص حجم توده زیستی (با افزایش دما تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد تولید پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی توسط باکتری‌ها افزایش می‌یابد)، متابولیسم میکروبی، تشکل پلی‌مرهای آلی، مقدار اکسیژن محلول و عملکرد رشد گونه آبزی تأثیرگذار است (دی سچریور و همکاران، ۲۰۰۸).

pH: pH از فاکتورهای مهمی است که به پایداری مطلوب توده‌های زیستی در استخر پرورش کمک می‌کند. میزان pH بر پایداری و شکل‌گیری توده زیستی و عملکرد رشد گونه آبزی تأثیرگذار است (دی سچریور و همکاران، ۲۰۰۸).

ساز و کار باند شدن سلول‌های میکروبی در تشکیل توده‌های زیستی: توده‌سازی جوامع میکروبی فرایند پیچیده‌ای است که در تشکیل آن فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی دخیل هستد (دی سچریور و همکاران، ۲۰۰۸). سازوکارهای متعددی وجود دارند که بر روی تشکیل، شکل ظاهری و پایداری توده میکروبی تأثیر می‌گذارند. بسیاری از ارگانیسم‌ها ترکیبات پلی‌مری از جنس هومیک، پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها را دفع می‌کنند که سطح خارجی آن‌ها را می‌پوشانند این پلی‌مرهای لزج به عنوان چسب عمل می‌کنند و سلول‌ها و ذرات دیگر را به هم ادغام کرده و توده زیستی تشکیل

می‌دهند. سازوکار دیگر در ارتباط با تعادل بین نیروهای جاذبه (مولکولی، دو قطبی، پیوند هیدروژنی) و نیروهای دافعه الکترواستاتیک می‌باشد. اغلب ارگانیسم‌ها دارای بار منفی بوده و باعث دافعه الکترواستاتیک متقابل می‌شوند. اگر این دافعه کاهش یابد، پس از آن نیروهای جاذبه قوی می‌تواند رخ دهد این مورد زمانی اتفاق می‌افتد که غلظت نمک بالاست و یون‌های چند ظرفیتی در محیط وجود دارد (آونیملچ، ۲۰۱۲). یون‌های کلسیم و آلومینیوم تشکیل توده پایدار را تحریک می‌کنند، علاوه‌بر این، ارگانسیم‌ها (جلبک، قارچ یا باکتری) در اتصال بین اجزای تشکیل‌دهنده توده‌های مختلف کمک می‌کنند (دی سچریور و همکاران، ۲۰۰۸). از ویژگی‌های دیگر میکروگراف‌های توده زیستی، ساختار باز توده‌ها می‌باشد. این ویژگی مهم سبب می‌شود آب و مواد شیمیایی از سرتاسر توده جریان یابد که برای تأمین مواد مغذی و حذف متابولیت‌های داخل و خارج بیومس در توده میکروبی مؤثر است. از دیگر مزیت‌های توده زیستی از نظر فرم میکروبی این است که اکثریت سلول‌ها در توده در برابر برداشت با پروتوزوآ و دیگر شکارچیان محافظت شده و برداشت به لایه خارجی توده زیستی محدود می‌شود. تخلخل بالای توده زیستی سبب می‌شود چگالی توده‌ها نسبتاً پایین بیاید که این عمل توده‌های زیستی را معلق در آب حفظ می‌کند و سرعت رسوب را کاهش می‌دهد (آونیملچ، ۲۰۰۹).

چالش‌ها: کنترل میزان مواد جامد معلق (TSS) در تانک‌های BFT حائز اهمیت می‌باشد که با سطوح اکسیژن محلول، دی اکسید کربن، pH و ترکیبات غیرآلی نیتروژن در ارتباط بوده (رای و همکاران، ۲۰۱۰) و همچنین از بسته شدن آبشش جلوگیری می‌کند. افزایش بیش از حد مواد جامد معلق منجر به کاهش اکسیژن، افزایش دی‌اکسیدکربن و pH می‌شود و در مدت زمان کوتاهی (کمتر از یک ساعت) سیستم کارایی خود را از دست می‌دهد. برخی مواقع در هنگام توسعه توده‌ها تراکم باکتری‌های رشته‌ای[1] به‌طور غیرقابل پیش‌بینی افزایش می‌یابند که حالت "filamentous bulking" را ایجاد می‌کند که کنترل TSS را با مشکل مواجه کرده و با آبشش‌های میگو درگیر شده و منجر به مرگ و میر می‌شود. اکولوژی میکروبی توده‌های زیستی در سطح پایه مورد بررسی قرار گرفته است، به‌خصوص نقش توده زیستی در کنترل یا تشویق باکتری‌های بیماری‌زا به‌ویژه ویبریوها لازم است که در آینده بررسی شود. تاکنون بیش از ۲۰۰۰ گونه باکتری در سیستم BFT شناسایی شده است (این-کون، ۲۰۱۲) ویبریوها در سیستم‌های BFT میگو تجمع کرده و با تغییر شرایط سیستم (غلظت‌های کم یا

1- Filamentous bacteria

زیاد مواد جامد معلق) می‌توانند منجر به بیماری‌زایی شوند. در اغلب سیستم‌های چرخشی آبزی‌پروری بویژه سیستم‌های BFT، مواد مغذی و معدنی (به‌ویژه فلزات) در آب تجمع می‌کند. در استخرهای میگو با تعویض آب محدود، نیترات تا چند صد میلی‌گرم در لیتر می‌تواند تجمع یابد که در یک سطحی مصرف غذا توسط میگو کاهش می‌یابد، در سیستم‌های دریایی حفظ غلظت نیترات حدود ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر روشی مؤثر برای کاهش تولید حجم بالایی از سولفید هیدروژن سمی است. در همین راستا مدیریت کیفیت آب، کنترل باکتریایی و آلودگی امری ضروری در سیستم BFT است که بایستی مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

در مطالعه (خانجانی، ۲۰۱۵) تأثیر نسبت‌های مختلف غذادهی بر کیفیت آب، عملکرد رشد، ترکیبات بدن و بیوفلوک و همچنین بقای میگوی سفید غربی (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) در سیستم BFT بررسی شد. نتایج نشان داد که سیستم BFT سبب بهبود کیفیت آب و عملکرد رشد میگو می‌شود به‌طوری که بیشترین pH، آمونیاک و نیتریت در تیمار آب شفاف (همراه با تعویض آب) به‌دست آمد و کمترین pH، آمونیاک و نیتریت در تیمارهای بیوفلوک (BFT) دیده شد. نتایج مطالعه نشان داد که حضور توده‌های زیستی توانایی تأمین بخشی از خوراک میگو را دارد و می‌توان حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد غذای روزانه میگوی را با توده‌های زیستی جایگزین کرد. امنیت زیستی، اثرات زیست‌محیطی مزارع پرورش، تهیه خوراک مناسب از اولویت‌های مهم در صنعت آبزی‌پروری است. در پرورش آبزیان، تأثیر قابل توجهی از شیوع بیماری در طول دو دهه گذشته تا حد زیادی مدیریت مزارع آبزیان را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار داده است. لاروها، خوراک‌های آلوده و آب ورودی مسیر اصلی برای معرفی پاتوژن به مزارع می‌باشد. فن‌آوری BFT مزیت‌های آشکاری از جمله تعویض محدود آب در طی دوره پرورش و بهبود کیفیت آب برای چرخه بعدی، بازیافت مواد مغذی دفعی از طریق توده‌های زیستی، استفاده محدود از منابع طبیعی، به حداقل رساندن خروجی آب کارگاه به رودخانه‌ها، کاهش اثرات زیست‌محیطی، کنترل نیتروژن غیرآلی سمی و تبدیل به پروتئین میکروبی، مصرف پروتئین میکروبی توسط آبزی و درنتیجه کاهش هزینه خوراک، به‌کارگیری خوراک‌های با پروتئین کمتر، بهبود رشد، بهبود امنیت زیستی از طریق کاهش ورود پاتوژن‌ها و کاهش ضریب تبدیل غذایی دارد (امرنسیانو و همکاران، ۲۰۱۲؛ خانجانی و همکاران، ۲۰۱۶). این ویژگی‌ها سیستم BFT را

به‌عنوان یک سیستم پایدار برای گسترش آبزی پروری معرفی می‌کند. فن‌آوری BFT اهداف مهم آبزی‌پروری پایدار (زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی) را دنبال می‌کند که این مهم سبب توسعه این تکنیک خواهد شد. محققان به دنبال توسعه و راه‌اندازی این سیستم در مزارع پرورش‌دهندگان هستند. راه‌اندازی این فن‌آوری به‌عنوان اساس آبزی‌پروری پایدار به‌ویژه در پرورش ماهی تیلاپیا، کپور و میگوی سفید غربی در کشور نیازمند همکاری محققین، پرورش‌دهندگان و مصرف‌کنندگان می‌باشد.

پیشنهادات

۱. استانداردسازی روش‌ها، تکنیک‌ها و تجهیزات برای ساخت استخر، مدیریت ذخیره‌سازی و برداشت در سیستم‌های آبزی‌پروری BFT موردنیاز است.

۲. به‌کارگیری این تکنولوژی برای پرورش میگوی سفید غربی، تیلاپیا و کپور در سیستم‌های گلخانه‌ای به‌عنوان گونه‌های سازگار با این سیستم در کشور

منابع

1. Asaduzzaman, M., Wahab, M.A., Verdegem, M.C.J., Huque, S., Salam, M.A., and Azim, M.E. 2008. C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance Freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. Aquaculture. 280: 117-123.
2. Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. Aquaculture. 176: 227–235.
3. Avnimelech, Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. Aquaculture. 264: 140-147.
4. Avnimelech, Y. 2009. Biofloc Technology: A Practical Guide Book. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA. 182p. Avnimelech, Y. 2012. Biofloc Technology: A Practical Guide Book, 2nd Edition. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. 272p.
5. Avnimelech, Y., and Kochba, M. 2009. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in biofloc tanks, using N-15 tracing. Aquaculture. 287: 163–168.
6. Ballester, E.L.C., Abreu, P.C., Cavalli, R.O., Emerenciano, M., Abreu, L., and Wasielesky, W.Jr. 2010. Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. Aquaculture Nutrition. 16: 163-172.

7. Boyd, C.E., and Tucker, C.S. 2009. Pond aquaculture water quality management, Springer international editor, 700p.
8. Colt, J. 2006. Water quality requirements for reuse systems. Aquacultural Engineering. 34(3): 143–156.
9. Crab, R., Chielens, B., Wille, M., Bossier, P., and Verstraete, W. 2010. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. Aquaculture Research. 41: 559-567.
10. Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., and Verstraete, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. Aquaculture. 356–357: 351–356.
11. Craig, S., and Helfrich, L.A. 2002. Understanding fish nutrition, feeds and feeding (Publication 420–256). Virginia Cooperative Extension, Yorktown (Virginia). 4p.
12. De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., and Verstraete, W. 2008. The basics of bioflocs technology: the added value for aquaculture. Aquaculture. 277: 125–137.
13. Decamp, O., Cody, J., Conquest, L., Delanoy, G., and Tacon, A.G.J. 2003. Effect of salinity on natural community and production of *Litopenaeus vannamei* (Boone) within experimental zero-water exchange culture systems. Aquaculture Research. 34: 345-355.
14. Ebeling, J.M., Timmons, M.B., and Bisogni, J.J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture production systems. Aquaculture. 257: 346–358.
15. Emerenciano, M., Ballester, E.L.C., Cavalli, R.O., and Wasielesky, W. 2012. Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for Pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). Aquaculture Research. 43: 447–457.
16. Emerenciano, M., Ballester, E.L.C., Cavalli, R.O., and Wasielesky, W. 2011. Effect of biofloc technology (BFT) on the early postlarval stage of Pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis*: growth performance, floc composition and salinity stress tolerance. Aquaculture International. 19: 891-901.
17. Emerenciano, M., Cuzon, G., Arévalo, M., Miquelajauregui, M.M., and Gaxiola, G. 2013. Effect of short-term fresh food supplementation on reproductive performance, biochemical composition and fatty acid profile of *Litopenaeus vannamei* (Boone) reared under biofloc conditions. Aquaculture International. 21: 987–1007.
18. Gao, L., Shan, H.W., Zhang, T.W., Bao, W.Z., and Ma, S.J. 2012. Effects of carbohydrate addition on *Litopenaeus vannamei* intensive culture in a zero-water exchange system. Aquaculture. 343: 89-96.

19. Garatun-Tjeldsto, O., Ottera, H., Julshamn, K., Austreng, E. 2006. Food ingestion in juvenile cod estimated by inert lanthanide markers- effects of food particle size. Ices Journal of Marine Science. 63(2): 311–319.
20. Hargreaves, J.A. 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. Aquacultural Engineering. 34: 344–363.
21. Hargreaves, J.A. 2013. Biofloc production system for aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center Publication No, 4503.
22. In-Kwon, J. 2012. Biofloc as disease control. International Water Congress, Busan, Korea.
23. Izquierdo, M., Forster, I., Divakaran, S., Conquest, L., Decamp, O., and Tacon, A., 2006. Effect of green and clear water and lipid source on survival, growth and biochemical composition of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture Nutrition. 12: 192–202.
24. Jiang, S. 2010. Aquaculture, capture fisheries, and wild fish stocks. Resource Energy Economics. 32: 65–77.
25. Ju, Z.Y., Forster, I., Conquest, L., and Dominy, W. 2008a. Enhanced growth effects on shrimp (*Litopenaeus vannamei*) from inclusion of whole shrimp floc or floc fractions to a formulated diet. Aquaculture Nutrition. 14: 533–543.
26. Ju, Z.Y., Forster, I., Conquest, L., Dominy, W., Kuo, W.C., and Horgen, F.D., 2008b. Determination of microbial community structures of shrimp floc cultures by biomarkers and analysis of floc amino acid profiles. Aquaculture Research. 39: 118–133.
27. Kang'ombe, J., Likongwe, J.S., Eda, H., and Mtimuni, J.P. 2007. Effect of varying dietary energy level on feed intake, feed conversion, whole-body composition and growth of Malawian tilapia, *Oreochromis shiranus*-Boulenger. Aquaculture Research. 38(4): 373–380.
28. Khanjani, M.H., Alizadeh, M., Sajjadi M.M., and Sourinejad, I. 2015. Effects of different carbon sources on water quality, growth performance and survival of Western white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) in zero-water exchange system. Iranian Scientific Fisheries Journal. 24(3): 77-91. (In Persian)
29. Khanjani, M.H., Alizadeh, M., Sajjadi, M.M., and Sourinejad, I. 2015. Effect of different feeding levels on water quality, growth performance and survival of western white shrimp (*litopenaeus vannamei* boone, 1931) post larvae with application of biofloc technology. Iranian Scientific Fisheries Journal. 24(2): 13-28. (In Persian)
30. Khanjani, M.H., Sajjadi, M.M., Alizadeh, M., and Sourinejad, I. 2016. Nursery performance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) cultivated in a biofloc system: the effect of adding different carbon sources. Aquaculture Research. 1–11, doi: 10.1111/are.12985.
31. Khanjani, M.H., Sajjadi, M.M., Alizadeh, M., and Sourinejad, I. 2016. Study on nursery growth performance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*

Boone, 1931) under different feeding levels in zero water exchange system. Iranian Journal of Fisheries Sciences. 15(4): 1465-1484.
32. Kuhn, D.D., and Lawrence, A. 2012. Ex-situ biofloc technology. In: Avnimelech, Y., editor. Biofloc technology- a practical guide book, 2nd ed., The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA. Pp: 217-230.
33. Kuhn, D.D., Boardman, G.D., Lawrence, A.L., Marsh, L., Flick, G.J. 2009. Microbial floc meals as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. Aquaculture. 296: 51–57.
34. Kuhn, D.D., Lawrence, A.L., Boardman, G.D., Patnaik, S., Marsh, L., and Flick, G.J. 2010. Evaluation of two types of biofloc derived from biological treatment of fish effluent as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture. 303: 28–33.
35. Kumar, M., and Lin, J.G. 2010. Co-existence of anammox and denitrification for simultaneous nitrogen and carbon removal strategies and issues. Journal of Hazardous Materials. 178: 1–9.
36. Lin, S., Mai, K., and Tan, B. 2007. Effects of exogenous enzyme supplementation in diets on growth and feed utilization in tilapia, *Oreochromis niloticus×O. aureus*. Aquaculture Research. 38: 1645–1653.
37. Maicá, P.F., Borba, M.R., and Wasielesky, W.Jr. 2012. Effect of low salinity on microbial floc composition and performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles reared in a zero-water-exchange super-intensive system. Aquaculture Research. 43: 361–370.
38. Martins, A.M.P., Heijnen, J.J., Van Loosdrecht, M.C.M. 2003. Effect of dissolved oxygen concentration on sludge settleability. Applied Microbiology and Biotechnology. 62: 586–593.
39. McIntosh, R.P. 2000. Changing paradigms in shrimp farming. IV. Low protein feeds and feeding strategies. The Global Aquaculture Advocate. 44–50 (April).
40. Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., and Troell, M. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. Nature. 405: 1017 -1024.
41. Péron, G., Mittaine, J.F., and Le Gallic, B. 2010. Where do fishmeal and fish oil products come from? An analysis of the conversion ratios in the global fishmeal industry. Marine Policy. 34: 815–820.
42. Piedrahita, R.H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. Aquaculture. 226: 35–44.
43. Rahman, M.M., Nagelkerke, L.A.J., Verdegem, M.C.J., Wahab, M.A., and Verreth, J.A.J. 2008. Relationships among water quality, food resources, fish diet and fish growth in polyculture ponds: a multivariate approach. Aquaculture. 275: 108–115.

44. Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Thoman, E.S., and Shultz, R.C. 2004. Intensive tank culture of tilapia with a suspended, bacterial based treatment process: new dimensions in farmed tilapia. In: Bolivar, R., Mair, G., Fitzsimmons, K., editors. Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Pp: 584–596.
45. Ray, A. 2012. Biofloc technology for super-intensive shrimp culture. In: Avnimelech, Y., editor. Biofloc technology- a practical guide book, 2nd ed., The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA. Pp: 167-188.
46. Ray, J.A., Lewis, B.L., Browdy, C.L., and Leffler, J.W. 2010. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, super intensive culture systems. Aquaculture. 299: 89-98.
47. Sohier, L. 1986. Microbiologie appliquée à l'aquaculture marine intensive. Pp: 119. Thèse Doctorat d'Etat, Université Aix-Marseille II Marseille, France.
48. Tacon, A.G.J., Cody, J.J., Conquest, L.D., Divakaran, S., Forster, I.P., and Decamp, O.E. 2002. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. Aquaculture Nutrition. 8: 121–139.
49. Timmons, M.B., Holder, J.L., and Ebeling, J.M. 2006. Application of microbead biological filters. Aquacultural Engineering. 34: 332–343.
50. Valle, B.C.S., Dantas, Jr., Silva, J.F.X., Bezerra, R.S., Correia, E.S., Peixoto, S.R.M., and Soares, R.B. 2015. Replacement of fish meal by fish protein hydrolysate and biofloc in diets of *Litopenaeus vannamei* postlarvae. Aquaculture Nutrition. 21: 105–112.
51. Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A., and Browdy, C.L. 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture. 258: 396-403.
52. Wasielesky, W.Jr., Froes, C., Fóes, G., Krummenauer, D., Lara, G., and Poersch, L., 2013. Nursery of *Litopenaeus vannamei* reared in a biofloc system: the effect of stocking densities and compensatory growth. Journal of Shellfish Research. 32(3): 799-806.
53. Wilen, B.M., Nielsen, J.L., Keiding, K., Nielsen, P.H. 2000. Influence of microbial activity on the stability of activated sludge flocs. Colloids and Surfaces Biointerfaces. 18(2): 145–156.
54. Xu, W.J., and Pan, L.Q. 2012. Effects of bioflocs on growth performance, digestive enzyme activity and body composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* in zero-water exchange tanks manipulating C/N ratio in feed. Aquaculture. 356: 147–152.
55. Xu, W.J., and Pan, L.Q. 2013. Dietary protein level and C/N ratio manipulation in zero-exchange culture of *Litopenaeus vannamei*: Evaluation of inorganic

nitrogen control, biofloc composition and shrimp performance. Aquaculture Research. 45: 1842–1851.

56. Xu, W.J., Pan, L.Q., Sun, X.H., and Huang, J. 2013. Effects of bioflocs on water quality, and survival, growth and digestive enzyme activities of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in zero-water exchange culture tanks. Aquaculture Research. 44: 1093-1102.