تاریخ: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰.....
شماره: ۰۱۲:۲:۰:۴۱/الف/خ
پیوست: .....

پژوهشگر/پژوهشگران ارجمند **محمدجواد نورآبادی-امید صفری**

موضوع: **پذیرش مقاله**

**سلام علیکم**

با احترام و مسرت به استحضار می‌رساند، مقاله شما با عنوان **مروری بر تاثیر فیتاز بر زیست فراهمی پروتئین و فسفر در جیره غذایی آبزیان** در دهمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین المللی ماهی شناسی ایران به صورت ارائه **پوستر** مورد پذیرش قرار گرفته است.

امید است با حضور گرم خود و ارائه دستاوردهای علمی تان درجهت افزایش سطح علمی این کنفرانس یاریگرمان باشید.

با تجدید احترام

**صابر وطن دوست**

**دبیر علمی کنفرانس**

(۰۱۱) ۳۲۴۱۵۰۲۶
isi.conferences10.ir@gmail.com
http://isi-conferences10.ir

آدرس دبیرخانه: دانشگاه آزاد اسلامی واحد بابل

# مروری بر تاثیر فیتاز بر زیست فراهمی پروتئین و فسفر در جیره غذایی آبزیان

محمد جواد نورآبادی[1*]، امید صفری[2]

[1]گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

[2]گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

Email: nourabadi.mohammadjavad@mail.um.ac.ir

**چکیده**

در شرایط جهانی با توجه به ر شد سریع صنعت آبزی پروری، جهت بهینه سازی پرورش آبزیان ضمن توجه به کیفیت جیره غذایی آبزیان به عنوان امری ضروری تلقی می‌گردد. بیش از ۵۰ درصد از ذخایر فسفر (P) در دانه‌های اغلب حبوبات به صورت فسفر متصل به فیتات ذخیره می شود که برای حیوانات تک معده‌ایی از جمله بیشتر گونه‌های آبزیان زیست فراهم نمی‌باشد. بنابراین، حضور فیتات در آبزیان به طور مستقیم یا غیرمستقیم در اثرات منفی بر عملکرد رشد و استفاده از مواد معدنی، پروتئین و انرژی توسط آبزیان نشان داده می‌شود. فیتازها در طی دهه‌های گذشته در تولیدات طیور و خوک مورد استفاده قرار گرفته‌اند که عمدتاً به منظورکاهش اثرات زیست‌محیطی پساب‌های مزارع و کاهش هزینه‌های تغذیه از طریق صرفه جویی در مواد مغذی بوده ا ست. محققان و شرکت‌ها توجه فزاینده‌ای به ا ستفاده از آنزیم فیتاز در غلظت‌های بالا دا شته تا از این امر با کسب فسفر بیشتر، جذب مواد مغذی و عملکرد رشد در تک معده‌ایی‌ها بهبود یابد. استفاده از فیتازها در آبزیان هنوز در مرحله اولیه است، اما به عنوان یکی از مؤثرترین ابزارهای مورد استفاده توسط آبزی پروری برای گنجاندن مواد پروتئین گیاهی جایگزین در فرمول های غذایی، بهبود ر شد آبزیان و کنترل آلودگی محیطی مرتبط با جیره غذایی ارائه می شود. خواص ا سید فیتیک در محیط گوار شی، برهمکنش آن با سایر مواد معدنی، مواد مغذی و آنزیم‌های گوار شی و همچنین ا ستفاده از فیتازها برای جلوگیری از اثرات منفی فیتات بر قابلیت هضم مواد مغذی و آلودگی آب نیز مورد بحث قرار گرفته است.

**واژگان کلیدی: فیتات، فیتاز، آبزی، پروتئین، اسیدیته**

# A review on the effect of phytase on the bioavailability of protein and phosphorus in aquatic diets

**Mohammed Javad Nourabadi[1*], Omid Safari[2]**

[1]Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad
[2]Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad

E-mail: nourabadi.mohammadjavad@mail.um.ac.ir

## Abstract

In global conditions, due to the rapid growth of aquaculture industry, optimization of aquaculture while paying attention to the quality of the aquatic diet is considered essential. More than 50% of phosphorus reserves (P) in the seeds of leguminous elements are stored in the form of phosphorus bound to phytate, which is not the case for monogastric animals, including most aquatic species. Therefore, the presence of phytate in aquatic animals directly or indirectly has a negative effect on the performance and use of minerals, breeding and energy by aquatic animals. In the past decades, phytases have been used in poultry production and consumption for the purpose of environmental protection of farm effluents and reduction of feeding costs through food consumption. Studies and companies have paid increasing attention to the use of phytase enzyme in the above cases to improve nutrient absorption and growth performance in monogastrics by obtaining more phosphorus. The use of phytases in aquaculture is still at an early stage, but it is presented as one of the most important tools used by aquaculture to include alternative herbal medicines in feed formulas, improve aquatic growth and control the environment associated with feed ration. The properties of phytic acid in the digestive environment, its interaction with other minerals, nutrients and food enzymes, as well as the use of phytases to prevent negative nutrients for the use of nutrients and water are also used.

**Key words: Phytate, Phytase, Aquatic, Protein, Acidity**

**مقدمه**

سالانه ۱۲۰ میلیون تن نیتروژن گازی ($N_2$) به اشکال فعال نیتروژن (N) در سراسر جهان تبدیل می‌شود، در حالی که ۲۰ میلیون تن فسفر (P) از ذخایر جهانی سنگ فسفات برای مصارف مختلف صنعتی و کشاورزی استخراج می‌شود. بخش بزرگی از این عنا صر وارد محیط زی ست شده و به آرامی انعطاف‌پذیری اکو سی ستم‌های زمینی و آبی را فر سایش می‌دهند. به عنوان کشاورزی و دامداری زمینی، آبزی پروری یک فعالیت انسانی است که به انتشار مواد مغذی در محیط آبی کمک می‌کند (Smit *et al*., 2015). از آنجایی که فسفر یک ماده مغذی محدود کننده برای تولید اولیه در اکثر اکوسیستم‌های آبی است تخلیه آن به آب به طور مستقیم به یوتریفیکاسیون و شکوفایی بیش از حد جلبک‌ها کمک می‌کند که آب‌های طبیعی را تخریب می‌کند. از طرف دیگر، جهان اکنون با کاهش آب مواجه است. دسترسی کلی و افزایش قیمت ماده معدنی فسفر عمدتاً

به دلیل کاهش ذخایر جهانی سنگ فسفات است.(Mainston and Parr, 2002) در این زمینه، استفاده بهینه از این مواد مغذی توسط آبزی پروری به عنوان یک موضوع کلیدی مطرح می شود که رشد پایدار این فعالیت را در دهه‌های آینده تعیین می‌کند.

آبزی پروری در سی سال گذشته رشد قابل توجهی داشته است. در حالی که در سال ۱۹۷۴ تنها هفت درصد از ماهیان پرورشی را برای مصرف انسان تامین می‌کرد، این سهم در سال ۲۰۰۴ به ۳۹ درصد افزایش یافت که متشکل از ۴۹/۸ میلیون تن ماهیان باله دار (finfish species) می‌باشد (FAO, 2016). با این وجود، تقاضای مواد پروتئینی برای تولید آبزیان، در حال حاضر از عدم اطمینان زیادی در مورد پیش بینی این صنعت در آینده رنج می‌برد. یکی از نهاده‌های اصلی مورد استفاده از ابتدای صنعت خوراک برای آبزی پروری، پودرماهی (FM) از شیلات دریایی بود که بیش از یک دهه است که در بالاترین سطح بهره برداری قرار دارند. این منجر به کاهش تدریجی تولید جهانی پودر ماهی در دهه گذشته شده است. در مقابل، تقاضای جهانی به رشد خود ادامه می‌دهد و قیمت پودر ماهی را ۱۵۰ درصد از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ افزایش داده است (IndexMundi, 2015).

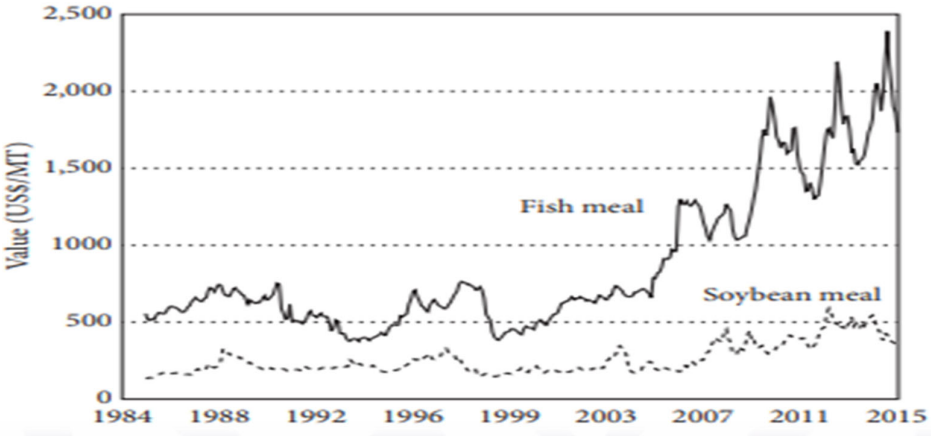
از آنجایی که در همان دوره سایر منابع پروتئین گیاهی قیمت خود را حفظ کردند، یا همان‌طور که در مورد کنجاله سویا ۵۶ درصد افزایش یافت (شکل ۱)، صنعت آبزیان مجبور شد منابع پروتئین گیاهی را با نرخ بالاتری در فرمولاسیون آبزیان بگنجاند. در این سناریو، تمایل آشکاری به کاهش محتوای پودر ماهی در فرمولاسیون خوراک ماهیان پرورشی در سال‌های اخیر، به ویژه در خوراک‌هایی که برای گونه‌های ماهی قزل آلا استفاده می‌شوند، وجود داشته است (Mallison, 2013) (شکل ۲). با این حال، عوامل ضد تغذیه ای (ANFs) موجود در اکثر ترکیبات گیاهی به عنوان عامل اصلی محدود کننده میزان گنجاندن این مواد در آبزیان در نظر گرفته می‌شوند (Gatlin *et al*., 2007).

عوامل ضد تغذیه ای به عنوان اجزای ذاتی موجود در ترکیبات گیاهی با تأثیر منفی بر مصرف خوراک، هضم، جذب مواد مغذی و رفاه حیوانات تعریف می‌شوند.منابع گیاهی مختلف مانند کنجاله سویا، کلزا، لوپین، آفتابگردان، از جمله، دارای طیف گسترده ای از عوامل ضد تغذیه‌ای مانند مهارکننده‌های پروتئاز، کربوهیدرات‌های غیر قابل هضم، لکتین‌ها، ساپونین‌ها، پلی ساکاریدهای غیر نشاسته ای (NSP) و اسید فیتیک هستند. علی‌رغم این‌که برخی از عوامل ضد تغذیه‌ای دارای قابلیت حرارت پذیری هستند، مانند بازدارنده‌های تریپسین که می‌توانند در طول اکستروژن جیره از نظر حرارتی از بین بروند، اسید فیتیک در برابر حرارت پایدار است (Storebakken *et al*., 2000). از این نظر، استفاده از آنزیم‌های با منشأ میکروبی به‌عنوان یک افزودنی غذایی، یکی از بزرگترین پیشرفت‌ها در علم تغذیه حیوانات برای غیرفعال کردن برخی از عوامل ضد تغذیه ای موجود در جیره‌های با محتوای بالای مواد گیاهی است.

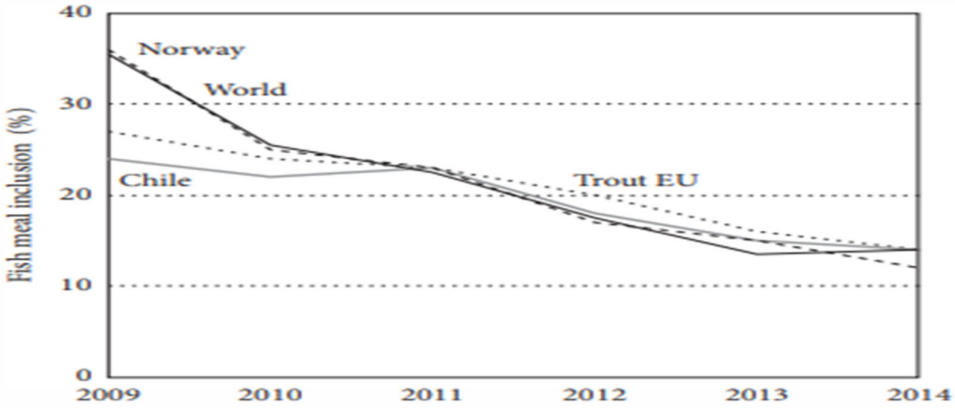
**اسید فیتیک**

اسید فیتیک یا هگزوفسفات اینوزیتول ترکیب آلی است که در بسیاری از مواد غذایی گیاهی یافت می‌شود و به عنوان فیتات (IP6) شناخته می شود که شکل اصلی منبع فسفر در ترکیبات گیاهی از جمله ذرت، گندم، برنج، عدس، سویا و به مقدار زیاد در غلات و بقولات می‌باشد. ترکیب شیمیایی اسید فیتیک میو اینوزیتول ۱،۲،۳،۴،۵،۶-هگزاکیس دی هیدروژن فسفات است (IUPAC-IUB, 1977). بین ۵۰ تا ۸۰ در صد از محتوای فسفر موجود در اغلب دانه‌های حبوبات به صورت فیتات (IP6) ذخیره می‌شود (Ravindran,1995) .در حین رشد دانه‌ها، فیتات در لایه آلورون و جوانه‌ی غلات و کریستال‌های گلوبوئید حبوبات تمجع می‌یابد. ساخت فیتات ( IP6) با تشکیل میو اینوزیتول شروع می‌شود و به دنبال آن یک

مرحله فسفوریلاسیون به مونوفسفات (IP1) و درآخر فسفوریلاسیون پنتاکیس فسفات (IP5) به IP6 تبدیل می‌شود (Loewus, 2002). در دانه‌های بالغ گیاهان و بیشتر مواد مورد استفاده در خوراک دام، اینوزیتول فسفات به شکل IP6 (90-95%)با مقدار نسبتاً کمی استرهای IP5 و تتراکی فسفات (IP4) است. مکانیسم استفاده از ذخایر IP6 در دانه‌ها اغلب شامل ذخیره انرژی، منبع کاتیون‌ها و پیش ساز دیواره سلولی میو اینوزیتول و برای شروع خواب می‌باشد. اسید فیتیک عمدتاً به‌عنوان نمک‌های کاتیون‌های تک و دو ظرفیتی مانند نمک پتاسیم (K) -منیزیم (Mg) در برنج و کلسیم (Ca) - نمک منیزیم - پتاسیم در دانه‌های سویا در مناطق مجزا وجود دارد. فیتات در حبوبات و غلات در هنگام رسیدن جمع می‌شود و با سایر مواد ذخیره سازی مانند نشاسته و لیپیدها همراه است. فیتات (IP6) موجود در گیاهان ممکن است بسته به گونه گیاهی، قسمت گیاه، مرحله فنولوژیکی و حاصلخیزی خاک متفاوت باشد و بین ۰/۰۵ در صد (برنج) و ۱/۲ در صد ( سبوس برنج) متغیر است.




شکل ۱. سیر تحول قیمت پودر ماهی و کنجاله سویا در ۳۰ سال گذشته.




شکل ۲. میزان گنجاندن پودر ماهی در جیره ماهی های آزاد.

**اسید فیتیک در دستگاه گوارش**

**اسید فیتیک و مواد معدنی**

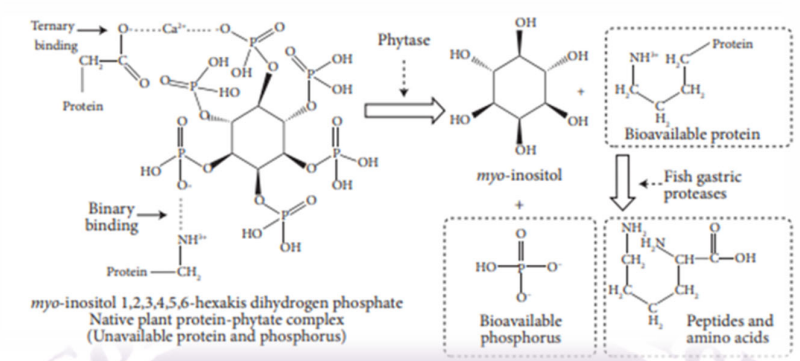
فسفات (IP6) به دلیل ساختار شیمیایی آن، یک ترکیب بسیار پایدار است. تفاوت آن با سایر مولکول‌های آلی در تعداد زیاد بخش‌های فسفات است که بار منفی بالایی را در محدوده وسیعی از اسیدیته ایجاد می‌کند. شش گروه فسفات مولکول می‌توانند در مجموع ۱۲ جایگاه واکنشی قابل جایگزینی با بارهای منفی در تفکیک کامل ایجاد کنند. بنابراین، فسفات قادر به اتصال کانی‌های دو و سه ظرفیتی است و کمپلکس‌های نامحلول بسیار پایداری را تشکیل می‌دهد. تحت شرایط فیزیولوژیکی نرمال، فسفات (IP6) می‌تواند با کاتیون‌های چند ظرفیتی مانند روی($Zn^{2+}$) مس($Cu^{2+}$) ، نیکل ($Ni^{2+}$) ، کبالت ($Co^{2+}$)، منگنز ($Mn^{2+}$)، کلسیم ($Ca^{2+}$) و آهن ($Fe^{2+}$) کمپلکس‌های نامحلول تشکیل دهد و کاهش قابلیت هضم این مواد معدنی را به همراه داشته باشد. حلالیت نمک‌های فسفات تا حد زیادی وابسته به اسیدیته است بطوریکه با افزایش اسیدیته کاهش می‌یابد و نمک‌های نامحلول اسید فیتیک در pH های خنثی تشکیل می‌شود (Cheryan, 1980).جیره غذایی حیوانات حاوی مقادیر زیادی کلسیم در مقایسه با سایر مواد معدنی کاتیونی است. بنابراین اسیدهای فیتیک عمدتاً با کلسیم در روده کوچک ترکیب می‌شوند. با توجه به پژوهش‌های انجام شده (Grynspan and Cheryan, 1983) نمک‌های فیتات در اسیدیته پایین بیشتر محلول هستند و تمایل دارند به صورت کمپلکس IP6-Ca دارند و در اسیدیته بالای ۴ رسوب می‌کنند. شدت این واکنش شیمیایی به نسبت مولی Ca:IP6 بستگی دارد و این نشان دهنده آن است که تنها درصد بسیار کمی از فیتات بومی موجود در ترکیبات گیاهی در اسیدیته دستگاه گوارش( بالاتر از ۴ باشد) به عنوان سوبسترای فیتاز، محلول و در دسترس خواهد بود(Grynspan and Cheryan,1983). از این نظر، حلالیت پایین فیتات در اسیدیته نزدیک به خنثی می‌تواند به‌ویژه برای فسفوریلاسیون فیتات توسط فیتازها در گونه‌های ماهی که قادر به اسیدی کردن شدید هضم نیستند، مناسب باشد. اسیدیته ی دستگاه گوارش در گونه‌های ماهی گوشتخوار عموماً بیشتر از خوک‌ها و طیور است. در ماهی‌های آزاد، اسیدیته معده در ماهی‌هانی که دائماً تغذیه می‌شوند، می‌تواند بین ۳/۵ تا ۵/۶ باشد و اسیدیته روده می‌تواند تا ۹ باشد. اسیدیته عموماً در آب شور بیشتر از گونه‌های ماهی‌های آب شیرین است و مانند حیوانات خشکی‌زی، ترشح HCl باعث کاهش اسیدیته معده در ماهی پس از مصرف خوراک می‌شود (Marquez *et al*., 2012). از سوی دیگر، غلظت مواد معدنی به طور کلی در آب شور بیشتر از ماهی‌های آب شیرین است، که در آن مواد معدنی موجود در آب همراه با خوراک مصرف می‌شوند و عمدتاً در روده و از طریق آبشش جذب می‌شوند. فیتات می‌تواند کمپلکس‌های یونی را با یون‌های معدنی دو و سه ظرفیتی مانند $Mg^{2+}$، $Zn^{2+}$ و $Ca^{2+}$ تشکیل دهد و فراهمی زیستی آن‌ها را برای رشد ماهی کاهش دهد. تغذیه ماهی قزل آلا اقیانوس اطلس (Salmo salar) با محتوای بالای فیتات از کنجاله سویا غلیظ (۰٫۹۳درصد) منجر به کاهش فراهمی زیستی و حفظ مواد معدنی (P، Ca، Mg و Zn) شد.

**اسید فیتیک و پروتئین**

علاوه بر اثرات شناخته شده اسید فیتیک بر قابلیت هضم فسفر و سایر مواد معدنی، شواهد فزاینده نشان می‌دهدکه فیتات ممکن اســـت بر قابلیت هضـــم پروتئین و اســـیدهای آمینه جیره غذایی در خوک، طیور و حتی آبزیان تأثیر بگذارد (Cowieson *et al*., 2006). ا سید فیتیک ممکن ا ست با پروتئین ها تعامل کند و ترکیب‌های پروتئین فیتات نامحلول را

در محدوده وسیعی از اسیدیته تشکیل دهد. اینکه فیتات بر حلالیت مواد مغذی مختلف تأثیر می‌گذارد یا نه، بستگی زیادی به اسیدیته دستگاه گوارش دارد. هنگامی که خوراک وارد معده می شود، فیتات یا تحت این شکل باقی می ماند، یا از هم گسسته و متصل می شود و کمپلکس های جدیدی با پروتئین‌ها تشکیل می‌دهد. اسید فیتیک می‌تواند کمپلکس‌های دوتایی (پروتئین-فیتات) یا سه تایی (پروتئین-معدنی-فیتات) ایجاد کند. برهمکنش پروتئین‌های فیتات تو سط کمپلکس‌های دوتایی از طریق پیوندهای یونی بین فیتات و باقی مانده‌های اسید آمینه بازی در مقادیر اسیدیته کمتر از نقطه ایزوالکتریک پروتئین‌ها انجام می‌شود. عوامل متعددی علاوه بر اسیدیته بر شدت برهمکنش‌های پروتئین باینری-فیتات تاثیر می‌گذارند. به عنوان مثال، $Ca2+$جیره غذایی دارای ظرفیت اتصال اسیدی بسیار بالایی است .(Lawlor *et al*., 2005) بنابراین، $Ca^{2+}$ موجود ممکن است کمپلکس‌های پروتئین- فیتات را جدا کند که به رقابت $Ca^{2+}$ با پروتئین برای دسترسی به مولکول‌های فیتات با بار منفی نسبت داده می‌شود. هنگامی که محتویات معده وارد روده می‌شود، اسیدیته آن از روده قدامی به روده خلفی تغییر می‌کند زیرا توسط انقباضات پریستالتیک تحریک می‌شود. در طول انتقال بین معده و روده پروگزیمال، جایی که بیشتر پروتئین‌ها به نقطه ایزوالکتریک خود می‌رسند، فیتات به تدریج از کمپلکس‌های دوتایی آزاد می‌شود تا واحدهای سه تایی پروتئین-کاتیون - فیتات را تشکیل دهد. این کمپلکس‌ها در مقادیر اسیدیته میانی پنج و بالا تر که معمولاً در محیط روده ای معمول ا ست، تشکیل می شوند، جایی که فیتات و پروتئین‌ها دارای بار منفی خالص هستند. کمپلکس‌های سه‌گانه پروتئین-معدنی-فیتات می‌توانند در روده کوچک که اجزای اصلی از طریق یک پل کاتیونی، معمولاً Ca2 که شایع‌ترین کاتیون دو ظرفیتی موجود در گوارش است، به هم متصل می‌شوند (Riche *et al*., 2001).

در یک تحقیق آزمایشگاهی (Morales *et al*., 2011) با شبیه سازی مقادیر اسیدیته روده ماهی قزل آلای رنگین کمان (۲/۵ در معده و ۸/۵در روده) و با ا ستفاده از ع صاره‌های گوار شی از همان گونه بدون افزودن فیتات به کازئین محلول و فیتاز به کنسانتره پروتئین سویا، هیچ نقش مرتبطی از کمپلکس‌های گیاهی را در فراهمی زیستی پروتئین‌های جیره غذایی ن شان نداد. این مطالعه تایید می‌کند که کمپلکس‌های سه تایی می‌توانند در طول فرآیند ه ضم وجود دا شته با شند اما از نظر دسترسی پروتئین کاهش‌دهنده فیتات تاثیر گذار نیستند. نمودار نظری اثر سودمند فیتاز بر فراهمی زیستی فسفر و پروتئین از طریق اختلال در کمپلکس‌های پروتئین باینری-فیتات و سه تایی پروتئین-کاتیون-فیتات در شکل ۳ نشان داده شده است.

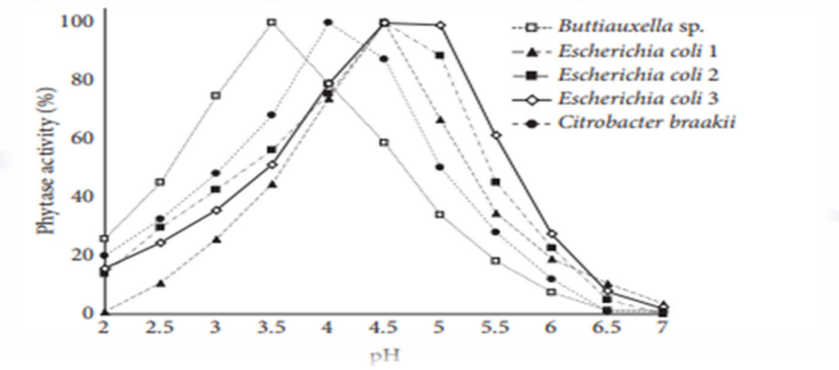



شکل ۳.اثرات مفید فرضی فیتاز بر فراهمی زیستی فسفر و پروتئین از طریق اختلال در کمپلکس‌های پروتئین باینری-IP6 و پروتئین-کاتیون-IP6 سه تایی.

## عوامل موثر بر کارایی فیتاز در آبزیان

### اسیدیته ی دستگاه گوارش

یکی از عوامل اصلی موثر بر عملکرد فیتازها، اسیدیته دستگاه گوارش است که می‌تواند در محدوده ۲ تا ۷ متفاوت باشد. با این حال، اکثر فیتازهای تجاری دارای طیف و سیعی از فعالیت بهینه در شرایط ا سیدی ه ستند، از این رو محل ا صلی اثر در سیستم گوارش حیوانات، معده ا ست. ا سیدیته معده و زمان ماندگاری معده عوامل ا صلی محدود کننده کارایی فیتاز هستند. کارایی فیتازهای تجاری مختلف در محدوده ۲/۵ الی ۶/۵ متفاوت اسـت (شـکل ۴). در میان منابع فیتاز، *E. coli* فیتازها در محدوده اسـیدیته گسـترده با اسـیدیته بهینه ۴/۵ فعال تر هسـتند، در حالی که Citrobacter و Buttiauxella sp. بهینه اسیدی بیشتری دارند (به ترتیب ۴و ۳/۵).




شکل ۴. فعالیت نسبی (٪) پنج فیتاز تجاری در محدوده اسیدیته ۲ الی ۷. با استفاده از ۵/۱ میلی مولار فیتات سدیم به عنوان سوبسترا، ۳۷ درجه سانتی‌گراد، زمان انکوباسیون ۳۰ دقیقه.

مشخصات فعالیت فیتاز می‌تواند برای فیتازهای *E. coli* مختلف به دلیل فناوری تولید و ارگانیسم بیان متفاوت باشد. با در نظر گرفتن مشخصات اسیدیته فیتازهای میکروبی مورد استفاده در تغذیه حیوانات، کارایی فیتازها می‌تواند در بین ماهیان دارای معده و فاقدمعده متفاوت باشد. اسیدیته دستگاه گوارش در ماهیان واجد معده مانند قزل آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، گربه ماهی (*Ictalurus punctatus*) و سایر ماهیان گوشتخوار برای هیدرولیز کارآمد فیتات تو سط فیتاز میکروبی مطلوب تر ا ست. با این حال، ا سیدیته در د ستگاه گوارش ماهیان واجد معده مانند کپور معمولی (*Carassius gibelio*) حدود ۶/۵ الی ۸/۵ است (Ji, 1999). تفاوت زیاد بین اسیدیته بهینه فیتاز و اسیدیته دستگاه گوارش ماهیان واجد معده، کارایی فیتاز را در این گونه ماهی‌ها محدود می‌کند. عدم کارایی بهینه فیتازهای ا سیدی در ماهیان واجد معده، نشان می‌دهد که استفاده از فیتازهای خنثی از جنس‌هایی مانند باسیلوس و پدوباکتر می‌تواند عملکرد و قابلیت هضم مواد مغذی را در برخی گونه‌ها مانند ماهی کپور (*Carassius gibelio*) افزایش دهد (Liu *et al*., 2012).

## دمای آب پردازش خوراک و آب پرورشی

علاوه بر اسیدیته، یکی دیگر از عوامل کلیدی موثر بر فعالیت فیتاز، دما است. اکثریت قریب به اتفاق فیتازها حرارت پذیر هستند، با دمای عملکردی مطلوب بین ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد. در طول فرآیند اکستروژن، مواد غذایی در معرض دماهای بالا قرار می‌گیرند. از این رو آنزیم تا حدی از بین می‌رود. پایداری دمایی فیتاز به عنوان یک ویژگی مطلوب در نظر گرفته می‌شود، زیرا اغلب فرآوری‌های خوراک دام مستلزم قرار گرفتن کوتاه مدت در معرض دماهای بالا است و در نهایت فعالیت آنزیم باید حفظ شود (Kumar *et al*., 2012). پیش تیمار فیتاز اجزای گیاهی قبل از فرآیند اکستروژن می‌تواند گزینه ای برای جلوگیری از دناتوره شدن آنزیم در اثر حرارت اضافی باشد. علاوه بر این، اسپری کردن خوراک پس از اکستروژن با سوسپانسیون فیتاز مایع گزینه دیگری برای حل مشکل دمای بالای اکستروژن است.

## مقاومت در برابر پروتئازهای گوارشی

فیتاز یک مولکول پروتئینی کاربردی است که می‌تواند توسط پروتئازهای درون زا در دستگاه گوارش حیوانات هیدرولیز شود. داده های آزمایشگاهی گزارش شده نشان می‌دهد که آ سپرژیلوس فیتاز در معرض پپ سین و پانکراتین خوک ها (۶۰ دقیقه، ۴۰ درجه سانتی‌گراد) می‌تواند به میزان بالایی تو سط هر دو پروتئاز غیرفعال شود (Elkhalil *et al*., 2007). فیتاز حا صل از آ سپرژیلوس که در معرض دو آنزیم پروتئاز پپسین و پانکراتین خوک قرار گرفت، تو سط هر دو آنزیم غیر فعال شد. مشخص شد که *با سیلوس آمیلولیکوفا سینس* (*Bacillus amyloliquefaciens*) فیتاز نسبت به غیرفعال شدن پپسین حساس ا ست (۳۲/۴ در صد فعالیت باقیمانده)، اما تقریباً به طور کامل به پانکراتین مقاوم بود (۹۸/۲در صد فعالیت باقیمانده). فیتاز حاصل از باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* به پپسین حساس بوده (با در صد غیرفعال سازی ۳۲/۴ در صد) و تقریبا بطور کامل (۹۸/۲ درصد) مقاوم به پانکراتین بود.

## جمع بندی

استفاده از اطلاعات و دانش روز دنیا در مورد فعل و انفعالات فیتاز و فیتات، و همچنین کشف منابع جدید فیتاز تولید شده توسط بیوتکنولوژی، تا حد زیادی از روش های تولید مقرون به صرفه برای بهبود تغذیه طیور و آبزیان به شمارمی‌رود. با این حال، تحقیقات بیشتر برای بهینه سازی عملکرد آنزیم ها در شرایط فیزیولوژیکی ماهی ضروری است.

## منابع

Cheryan, M. (1980). Phytic acid interactions in food systems. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 13:297-335.

Cowieson, A.J., Acamovic, T., Bedford, M.R. (2006). Phytic acid and phytase: implications for protein utilization by poultry. Poultry Sciences 85:878-885.

Elkhalil, E.A.I., Männer, K., Borriss, R., Simon, O. (2007). *In vitro* and *in vivo* characteristics of bacterial phytases and their efficacy in broiler chickens. British Poultry Science, 48: 64-70.

Gatlin III, D.M., Barrows, F.T., Bellis, D., Brown, P., Campen, J., Dabrowski, K., Gaylord, T.G., Hardy, R.W., Herman, E., Hu, G., Krogdahl, Å., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., Souza, E., Stone, D., Wilson, R., Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds – a review. Aquaculture Research, 38:551-579.

Grynspan, F., Cheryan, M. (1983). Calcium phyate: efect of pH and molar ratio on *in vitro* solubility. Journal of the American Oil Chemists' Society, 60:1761-1764.

IndexMundi (2015). Commodity price index. Available at: http://www.indexmundi.com.

Ji, H. (1999). Anti-nutritional factors in plant based fish feed. Fish Reserve, 19:22-24.

Liu, L.W., Su, J., Luo, Y. (2012). Effect of partial replacement of dietary monocalcium phosphate with neutral phytase on growth performance and phosphorus digestibility in gibel carp, *Carassius auratus gibelio* (Bloch). Aquaculture Research, 43:1404-1413.

Loewus, F. (2002). Biosynthesis of phytate in food grains and seeds. In: Reddy, N.R. and Sathe, S.K. (eds.) Food phytates. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 53-61.

Mainston, C. P., Parr, W. (2002). Phosphorus in rivers – ecology and management. Science of the Total Environment. 282-283:25-47.

Marquez, L., Robles, R., Morales, G.A., Moyano, F.J. (2012). Gut pH as a limiting factor for digestive proteolysis in cultured juveniles of the gilthead sea bream (*Sparus aurata*). Fish Physiology and Biochemistry, 38:859-869.

Menezes-Blackburn, D., Gabler, S., Greiner, R. (2015). Performance of seven commercial phytases *in* an *in vitro* simulation of poultry digestive tract. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 63(27): 6142-6149.

Morales, G.A., Moyano, F.J., Marquez, L. (2011). *In vitro* assessment of the effects of phytate and phytase on nitrogen and phosphorus bio accessibility within fish digestive tract. Animal Feed Science and Technology, 170:209-221.

Ravindran, V. (1995). Phytases in poultry nutrition: an overview. Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium, 7:135-139.

Riche, M., Trottier, N.L., Ku, P.K., Garling, D.L. (2001). Apparent digestibility of crude protein and apparent availability of individual amino acids in tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed phytase pretreated soybean meal diets. Fish Physiology and Biochemistry, 25:181-194.

Smit, A.L., Van Middelkoop, J.C., Van Dijk, W. and Van Reuler, H. (2015). A substance flow analysis of phosphorus in the food production, processing and consumption system of the Netherlands. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 103:1-13.

Storebakken, T., Shearer, K.D. and Roem, A.J. (2000). Growth, uptake and retention of nitrogen and phosphorus, and absorption of other minerals in Atlantic salmon *Salmo salar* fed diets with fish meal and soy-protein concentrate as the main sources of protein. Aquaculture Nutrition, 6:103-108.