Journal of Aquaculture Development
Vol. 20, No. 2, 2026, Pages: 109-123
DOI: 10.71901/jad-2026-1-893

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

The application of organic acids as feed additives in sustainable aquaculture: Effects on growth, nutrient absorption, and microbial load control

Hadiseh Alizadeh[1], Bahram Falahatkar[2*]

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

Received: 29 April 2025 **Accepted: 22 August 2025**

Extended Abstract:

Introduction: Aquaculture is currently the fastest-growing sector of animal protein production, playing a vital role in global food security. However, challenges such as rising feed costs, disease outbreaks, and restrictions on antibiotic growth promoters have intensified the need for alternative feed additives. Organic acids and their salts have gained significant attention due to their multifaceted benefits including antimicrobial properties, enhancement of nutrient digestibility, immune stimulation, and environmental sustainability. This extended abstract provides an overview of the current knowledge regarding the use of organic acids in aquaculture, summarizing their mechanisms of action, potential benefits, limitations, and future research directions.

Methodology: This review article is based on a comprehensive analysis of published peer-reviewed papers, conference proceedings, and experimental reports that investigate the dietary application of organic acids in finfish aquaculture. Studies included were selected based on their relevance to fish growth performance, digestive physiology, immune modulation, and microbial balance. Both freshwater and marine aquaculture species such as tilapia, rainbow trout, carp, and seabream were considered. Attention was also given to comparative differences among carnivorous and omnivorous fish species to highlight species-specific responses.

Finding: Organic acids such as formic, acetic, propionic, butyric, citric, lactic, and malic acids have been widely tested as dietary additives in aquaculture. Their mechanisms of action are diverse, including the reduction of intestinal pH, suppression of pathogenic bacteria, stimulation of digestive enzymes, and improvement in mineral bioavailability. Research demonstrates that supplementation with these acids improves feed utilization, enhances weight gain, and reduces feed conversion ratio (FCR). For instance, sodium butyrate has been reported to nourish intestinal epithelial cells and improve immune responses, while citric acid improves calcium and phosphorus absorption. Beyond growth performance, organic acids also contribute to microbial balance by suppressing harmful species such as Escherichia coli and Vibrio spp. while promoting beneficial bacteria such as Lactobacillus spp. Their immunomodulatory effects include increased white blood cell counts, activation of macrophages, and upregulation of immune-related genes like *IL-1β* and *TNF-α*.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

Nevertheless, there are challenges associated with their use. Excessive supplementation, particularly with formic and propionic acids, can cause hyperacidity leading to intestinal mucosal damage and reduced enzyme activity. Species-specific differences are also evident; carnivorous fish such as rainbow trout and cobia generally tolerate organic acids better due to their highly acidic stomachs, while omnivorous species such as Nile tilapia, which have weaker gastric buffering, are more prone to negative effects. Additionally, legal regulations on permissible levels of organic acids in feed differ between regions, complicating their universal adoption.

Conclusion: In conclusion, organic acids offer great promise as sustainable alternatives to antibiotics in aquaculture, with proven benefits for growth, nutrient absorption, microbial balance, and immune defense. Their potential role in improving product quality and reducing the environmental impact of aquaculture systems also makes them attractive for future development. However, the variability of responses among species, risks associated with overdosing, and regulatory challenges highlight the need for species-specific formulations and carefully designed feeding protocols. Future research should focus on clarifying molecular mechanisms, developing encapsulation technologies to improve stability, and evaluating long-term safety under commercial farming conditions. With targeted applications, organic acids can significantly enhance the sustainability and profitability of modern aquaculture.

Conflict of Interest: There is no conflict of interest between the authors of the article

Acknowledgment: The authors of the article are grateful for the support of their respected colleagues.

Keywords: Organic acids, Aquaculture, Antibiotic alternatives, Growth, Immunity

* *Corresponding Author falahatkar@guilan.ac.ir*

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

نشریه توسعه آبزی‌پروری، سال بیستم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۵، صفحه های ۱۲۳-۱۰۹
DOI: 10.71901/jad-2026-1-893

"مقاله پژوهشی"

کاربرد اسیدهای آلی به‌عنوان افزودنی‌های غذایی در آبزی‌پروری پایدار: تأثیر بر رشد، جذب مواد مغذی و کنترل بار میکروبی

حدیثه علیزاده[۱]، بهرام فلاحتکار[۲*]

۱-گروه شیلات، دانشکده علوم دام و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲-گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۳۱

چکیده

استفاده از اسیدهای آلی در تغذیه ماهی به‌عنوان یک راهکار کلیدی در آبزی‌پروری مطرح شده است که هدف آن بهبود سلامت و عملکرد رشد گونه‌های مختلف ماهی است. با افزایش نظارت‌های قانونی و تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات ماهی ایمن و با کیفیت، علاقه فزاینده‌ای به جایگزین‌هایی برای محرک‌های رشد آنتی‌بیوتیکی به‌وجود آمده است. تحقیقات نشان داده‌اند که گنجاندن اسیدهای آلی در جیره غذایی ماهی فواید قابل توجهی از جمله بهبود قابلیت هضم مواد مغذی، تقویت پاسخ ایمنی و کاهش بار میکروبی در سیستم‌های آبزی‌پروری دارند. به‌عنوان مثال، اسیدهای آلی می‌توانند pH روده را کاهش دهند، که این امر رشد باکتری‌های مفید را تقویت و در عین حال پاتوژن‌های مضر مانند *Escherichia coli* و *Salmonella* را مهار می‌کند. در نتیجه تعادل میکروبیوم روده را بهبود می‌بخشد. با این‌حال، اثربخشی اسیدهای آلی بسته به عواملی مانند گونه ماهی، دوز و ترکیب غذایی می‌تواند متفاوت باشد و نیازمند کاربردهای متناسب برای دستیابی به نتایج بهینه است. علی‌رغم مزایای آن، استفاده از اسیدهای آلی در تغذیه ماهی بدون چالش نیست. نگرانی‌هایی درباره اثرات منفی احتمالی ناشی از غلظت‌های بیش از حد، مانند آسیب بافتی و افزایش التهاب، به‌ویژه در گونه‌هایی مانند تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*) گزارش شده‌است. علاوه بر این، تنوع در پاسخ‌های خاص گونه‌ای و پیچیدگی‌های قانونی پیرامون استفاده از اسیدهای آلی چالش‌هایی را ایجاد می‌کند که تولیدکنندگان آبزیان باید با آنها روبرو شوند. گونه‌های مختلف ماهیان واکنش‌های متفاوتی به مکمل‌های اسید آلی در جیره نشان می‌دهند که عمدتاً ناشی از تفاوت‌های فیزیولوژیک در دستگاه گوارش و الگوهای تغذیه‌ای آنهاست. به‌طور مشخص، گونه‌های گوشت‌خوار مانند کوبیا (*Rachycentron canadum*) و قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) با دارا بودن معده توسعه‌یافته و اسیدیته پایین (pH ≈ ۲-۴)، تحمل بیش‌تری نسبت به اسیدهای آلی افزوده‌شده دارند. در مقابل، گونه‌های همه‌چیزخوار مانند تیلاپیای نیل به‌دلیل ظرفیت بافری محدود معده، pH گوارشی بالاتر (pH ≈ ۴-۶) و ساختار روده‌ای حساس، مستعد اختلالات ناشی از اسیدیته اضافی (Hyperacidity) هستند، که می‌تواند منجر به تخریب مخاط روده، اختلال در فعالیت آنزیم‌های گوارشی و کاهش جذب مواد مغذی گردد. این تنوع فیزیولوژیک، لزوم طراحی گونه-محور (Species-specific) جیره‌های حاوی اسیدهای آلی را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. پژوهش‌های آینده در این حوزه، پتانسیل بالایی برای بهینه‌سازی سلامت آبزیان، کاهش وابستگی به آنتی‌بیوتیک‌ها و توسعه آبزی‌پروری پایدار در مواجهه با چالش‌های سیستم‌های متراکم پرورشی دارند. در مجموع، استفاده هدفمند از اسیدهای آلی در جیره‌های غذایی ماهی، با در نظر گرفتن ویژگی‌های گونه‌ای و تنظیم دقیق دوز مصرف، می‌تواند نقش مؤثری در ارتقاء سلامت، بهبود عملکرد رشد و توسعه پایدار صنعت آبزی‌پروری ایفا کند.

کلمات کلیدی: اسیدهای آلی، آبزی‌پروری، جایگزین‌های آنتی‌بیوتیکی، رشد، ایمنی

*عهده‌دار مکاتبات: falahatkar@guilan.ac.ir

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

مقدمه

افزایش جمعیت انسانی به‌ویژه در قرن حاضر، نیاز روزافزون به منابع پروتئینی حیوانی را تشدید کرده است. در این میان، آبزی‌پروری به‌عنوان سریع‌ترین بخش تولید پروتئین حیوانی، نقش حیاتی در امنیت غذایی جهانی ایفا می‌کند. با این وجود، محدودیت‌های جغرافیایی، چالش‌های زیست‌محیطی و هزینه‌های فزاینده خوراک (۷۰–۶۰٪ هزینه‌های تولید)، بهینه‌سازی عملکرد رشد را به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده‌است. در این راستا، محرک‌های رشد نظیر اسیدهای آلی، پروبیوتیک‌ها، آنزیم‌ها و مشتقات گیاهی با هدف بهبود ضریب تبدیل غذایی (FCR)، تقویت سلامت روده و کاهش تلفات مورد توجه قرار گرفته‌اند (Onomu and Okuthe, 2024).

استفاده از محرک‌های رشد آنتی‌بیوتیکی در جیره ماهی و میگو در صنعت آبزی پروری به‌خوبی پذیرفته شده است. این محرک‌ها می‌توانند سبب بهبود افزایش وزن زنده، ضریب تبدیل خوراک و میزان بقا شوند، اما نگرانی‌های عمومی خصوصا در اتحادیه اروپا در ارتباط با مقاوم شدن عوامل بیماری‌زا و مسائل زیست‌محیطی سبب ممنوعیت یا کاهش استفاده از این مواد در سراسر جهان شده است. متعاقباً، توجه صنعت خوراک آبزیان، به دیگر افزودنی‌های خوراکی به‌منظور حفظ عملکرد و افزایش میزان بقا در آبزی پروری معطوف شده است (Lückstädt, 2008).

در میان جایگزین‌های پیشنهادی، اسیدهای آلی و نمک‌های آنها به‌دلیل ویژگی‌های ضد میکروبی، بهبود هضم پذیری مواد مغذی و تقویت سد مخاطی روده، جایگاه ویژه‌ای یافته‌اند (Hosseini *et al*., 2023). مطالعات پایه‌ای که نخستین بار در دام و طیور انجام شد (Kirchgessner *et al*., 1995) و سپس در آبزیان تأیید گردید، نشان می‌دهند که مکمل‌سازی جیره با اسیدهای آلی از طریق کاهش pH دستگاه گوارش، جمعیت پاتوژن‌های گرم‌منفی مانند *Aeromonas hydrophila* و *Vibrio* spp. را با اختلال در غشای سلولی و مهار متابولیسم میکروبی سرکوب می‌کند (Hosseinifar *et al*., 2018)، جذب مواد معدنی (به‌ویژه فسفر، کلسیم و روی) را از طریق تشکیل کمپلکس‌های محلول و کاهش پیوند با فیتات‌ها افزایش می‌دهد (Ng and Koh, 2017)، و فعالیت آنزیم‌های گوارشی (پپسین و تریپسین) را با کاهش pH بهینه محیط فعالیت آنزیم‌ها و القای ترشح پانکراسی تحریک می‌کند (Dawood *et al*., 2020). با این‌حال، پاسخ گونه‌های مختلف آبزی (گوشت‌خوار در مقابل غیرگوشت‌خوار) به این مکمل‌ها به‌دلیل تفاوت‌های فیزیولوژیک در ساختار معده، ظرفیت بافری و میکروبیوم روده، به‌طور معنی‌داری متفاوت است (Zhou *et al*., 2008). این مقاله، با هدف بررسی عمیق‌تر مکانیسم‌های اثر، دوزهای بهینه و چالش‌های کاربردی اسیدهای آلی در گونه‌های کلیدی آبزی‌پروری تهیه شده‌است.

منابع و تولید اسیدهای آلی

اسیدهای آلی عمدتاً از طریق تخمیر میکروبی کربوهیدرات‌ها توسط گونه‌های مختلف باکتریایی در مسیرهای متابولیکی و شرایط گوناگون تولید می‌شوند. این فرآیند تخمیر، منجر به تولید اسیدهای آلی با وزن مولکولی پایین مانند اسید استیک، اسید پروپیونیک و اسید بوتیریک می‌شود که به‌ویژه در روده بزرگ انسان و حیوانات توسط جوامع میکروبی بی‌هوازی در

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

غلظت‌های بالا تشکیل می‌شوند (Pandey and Satoh, 2008; Koh *et al*., 2014). بسیاری از اسیدهای آلی کوتاه‌زنجیره (C1-C7) به‌طور طبیعی به‌عنوان اجزای عادی بافت‌های گیاهی و حیوانی وجود دارند که نشان‌دهنده نقش اساسی آنها در سیستم‌های بیولوژیک است. این اسیدها همچنین در فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف حیوانات از جمله گوارش و متابولیسم نقش دارند (Koh *et al*., 2014).

اسیدهای آلی می‌توانند با فلزات قلیایی مانند پتاسیم (K)، سدیم (Na) یا کلسیم (Ca) ترکیب شده و نمک‌های تک یا دوگانه تشکیل دهند. این نمک‌ها ممکن است مزایای اضافی در تغذیه و نگهداری داشته باشند و کاربردهای اسیدهای آلی در خوراک دام، به‌ویژه در فرمولاسیون خوراک ماهی را گسترش دهند (Pandey and Satoh, 2008; Koh *et al*., 2014).

زمینه تاریخی در تغذیه ماهی

استفاده از اسیدهای آلی در نگهداری ماهی و احشای آن برای تولید سیلاژ به‌طور گسترده‌ای رواج داشته است. این تکنیک که به دهه ۱۹۳۰ باز می‌گردد که در ابتدا شامل استفاده از اسیدهای سولفوریک و هیدروکلریک برای حفظ ضایعات ماهی بود. این روش منجر به افزایش علاقه جامعه علمی به تأثیرات اسیدهای آلی کوتاه‌زنجیره بر خوراک ماهی و مزایای بالقوه آنها برای سلامت و رشد ماهی شده‌است (Busti *et al*., 2020).

انواع اسیدهای آلی

اسیدهای آلی از اجزای ضروری در تغذیه ماهی هستند که نقش‌های مختلفی از بهبود سلامت روده تا افزایش جذب مواد مغذی ایفا می‌کنند. آنها را می‌توان بر اساس ساختار شیمیایی و عملکردهای متابولیک دسته‌بندی کرد. در جدول ۱ انواع اسیدهای آلی مورد استفاده در تغذیه آبزیان، همراه با فرمول شیمیایی و نقش کلیدی آنها خلاصه شده است. استفاده صحیح از این اسیدهای آلی می‌تواند عملکرد رشد و پاسخ‌های ایمنی ماهی را بهبود بخشد. این امر چالش‌های ناشی از شیوع بیماری در سیستم‌های متراکم آبزی‌پروری را کاهش می‌دهد.

مکانیسم‌های اثر اسیدهای آلی

اسیدهای آلی از طریق چندین مکانیسم مرتبط، نقش مهمی در بهبود سلامت و عملکرد ماهی‌ها ایفا می‌کنند. اثربخشی آنها ناشی از توانایی‌شان در تغییر میکروبیوتای روده، بهبود جذب مواد مغذی و اثرات ضد میکروبی است.

خواص ضد باکتریایی

یکی از مکانیسم‌های اصلی اسیدهای آلی، فعالیت ضد باکتریایی آنهاست. این اسیدها با کاهش pH روده، رشد پاتوژن‌های حساس به اسید مانند *E. coli* و *Salmonella* را مهار می‌کنند، در حالی‌که برای باکتری‌های مفید مانند *Lactobacillus* spp. اثر کم‌تری دارند (Pelyuntha *et al*., 2022; Chen *et al*., 2024; Torres-Maravilla *et al*., 2024). این اثر ضد میکروبی انتخابی نه‌تنها به حفظ تعادل میکروبیوم روده کمک می‌کند، بلکه با کاهش بار پاتوژن‌ها، سلامت کلی را بهبود می‌بخشد.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

جدول ۱: انواع اسیدهای آلی رایج در آبزی‌پروری
Table 1: Common types of organic acids in aquaculture

Common name	Type of acid	Chemical formula	Properties and their role in aquaculture	References
Formic acid	Short-chain fatty acid	HCOOH	Reduces intestinal pH and inhibits the growth of pathogenic bacteria	Pandey and Satoh (2008)
Acetic acid	Short-chain fatty acid	CH_3COOH	Improves microbial balance and increases feed digestibility	Ng and Koh (2017)
Propionic acid	Short-chain fatty acid	C_2H_5COOH	Prevents mold growth and enhances gut health	Fabay *et al*. (2022)
Butyric acid	Short-chain fatty acid	C_3H_7COOH	Nourishes intestinal epithelial cells, strengthens immunity	Pelyuntha *et al*. (2022)
Lactic acid	Fermentation-derived organic acid	$C_3H_6O_3$	Increases beneficial bacteria population and improves protein absorption	Chen *et al*. (2024)
Citric acid	Tricarboxylic acid	$C_6H_8O_7$	Increases bioavailability of calcium and phosphorus	Freitag (2007)
Malic acid	Natural organic acid	$C_4H_6O_5$	Aids energy metabolism and stabilizes digestive function	Alizadeh *et al*. (2019a,b, 2020)
Fumaric acid	Natural organic acid	$C_4H_4O_4$	Antibacterial properties and reduces microbial load in the digestive tract	Huyben *et al*. (2021)

تعدیل میکروبیوتای روده

تحقیقات نشان داده‌اند که اسیدهای آلی غذایی می‌توانند تغییراتی در ترکیب میکروبیوتای روده گونه‌های آبزی ایجاد کنند. به‌عنوان مثال، Busti و همکاران (۲۰۲۰) دریافتند که اسیدهای آلی باعث افزایش باکتری‌های مفید مانند *Lactobacillus* و *Leuconostoc* در روده ماهی سی باس اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) شده و در عین حال باکتری‌های مضر التهاب‌زا را کاهش می‌دهند. علاوه بر این، قرار گرفتن در معرض اسیدهای آلی می‌تواند میکروبیوتای روده را بازسازی کند و با افزایش بیان ژن‌های مرتبط با ایمنی، پاسخ‌های ایمنی و خواص پری‌بیوتیکی را تقویت نماید. به‌عنوان مثال، مکمل‌سازی سدیم بوتیرات در جیره ماهی سی باس آسیایی (*Lates calcarifer*) منجر به افزایش باکتری‌های گرم‌مثبت در انتهای روده شد (Goh *et al*., 2025). اگرچه این امر ممکن است سلامت روده را بهبود بخشد، اما پیامدهای بلندمدت تغییر میکروبیوتای روده هنوز نامشخص است و نیاز به تحقیقات بیشتر دارد تا از بروز عدم تعادل‌های احتمالی که می‌تواند سلامت ماهی را تحت تأثیر قرار دهد، جلوگیری شود.

بهبود جذب مواد مغذی

ثابت شده است که اسیدهای آلی، قابلیت هضم مواد مغذی و جذب مواد معدنی را در ماهی‌ها افزایش می‌دهند. آن‌ها فعالیت آنزیم‌های پانکراس را بهبود

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

بخشیده، رشد اپیتلیال روده را تحریک می‌کنند و در دسترس بودن مواد معدنی ضروری مانند فسفر، منیزیم و کلسیم را افزایش می‌دهند (Alizadeh *et al*., 2019a, 2020; Dostani Dezfoli *et al*., 2019; Fabay *et al*., 2022). به‌عنوان مثال، یک مطالعه گزارش کرده است که افزودن ترکیب خاصی از اسیدهای آلی به جیره غذایی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*)، موجب بهبود حفظ مواد مغذی و قابلیت هضم کلی شد. همچنین، این اسیدها ممکن است فعالیت آنزیم‌های گوارشی را افزایش دهند (Badzohreh *et al*., 2020) و به جذب مؤثرتر مواد مغذی کمک کنند (Pelyuntha *et al*., 2022).

پاسخ ایمنی و وضعیت سلامت

مصرف اسیدهای آلی به‌نظر می‌رسد پاسخ ایمنی در ماهی‌ها را نیز بهبود می‌بخشد. خاصیت اسیدی آن‌ها می‌تواند با افزایش مقاومت در برابر پاتوژن‌های مختلف، سلامت کلی آبزیان پرورشی را تقویت کند (Ng and Koh, 2017; Chen *et al*., 2024). مطالعات نشان داده‌اند که اسیدهای آلی ممکن است اثرات ضدالتهابی داشته باشند که منجر به بهبود عملکرد رشد و مقاومت در برابر بیماری‌ها می‌شود (Chen *et al*., 2024). به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای بازماندگی ماهیان قزل آلای رنگین کمان تغذیه شده با هومیک اسید در مواجهه با باکتری *Yersinia ruckeri* به‌میزان چشمگیری بالاتر از ماهیان تغذیه نشده با اسید آلی بود (Yilmaz *et al*., 2018). همچنین در مطالعاتی بر روی بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان و ماهی اسکار (*Astronotus ocellatus*)، تعداد گلبول‌های سفید در ماهیان تغذیه شده با اسیدهای آلی به‌میزان قابل توجهی افزایش یافت (Hadidi and Taati, 2016; Seleymani Iraei *et al*., 2012). اسیدهای آلی همچنین به سلامت کلی آبزیان کمک می‌کنند. خواص ضد میکروبی آنها به‌ویژه در برابر باکتری‌های گرم‌منفی حساس به اسید مانند *E. coli* و گونه‌های *Vibrio* مؤثر است، در حالی‌که تأثیر کم‌تری بر باکتری‌های مقاوم به اسید مانند *Lactobacillus* دارند (Pelyuntha *et al*., 2022). این مهار انتخابی باکتری‌های بیماری‌زا مقاومت در برابر بیماری را در ماهی‌ها افزایش داده و منجر به کاهش عفونت‌ها و جمعیت‌های سالم‌تر می‌شود (Alizadeh *et al*., 2019b; Simón *et al*., 2020).

مزایای اسیدهای آلی در تغذیه ماهی

اسیدهای آلی به‌دلیل فواید چندجانبه‌شان در تغذیه و سلامت ماهی‌ها، توجه قابل‌ملاحظه‌ای را در آبزی‌پروری به خود جلب کرده‌اند. این ترکیبات، از جمله اسید فرمیک، اسید بوتیریک و اسید پروپیونیک، نقش حیاتی در بهبود کارایی و اثربخشی خوراک ماهی ایفا می‌کنند (Ng and Koh, 2017; Busti *et al*., 2020). از جمله این مزایا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

بهبود قابلیت هضم مواد مغذی

یکی از مزایای اصلی استفاده از اسیدهای آلی در جیره غذایی ماهی، افزایش قابلیت هضم مواد مغذی است. با کاهش pH خوراک، اسیدهای آلی ظرفیت بافری را کاهش داده و منجر به فعال‌سازی بهتر آنزیم‌های گوارشی مانند پپسین می‌شوند (Ng and Koh, 2017). این امر به نوبه خود هضم بهینه پروتئین و جذب بهتر مواد مغذی را تسهیل می‌کند. علاوه بر این، اسیدهای آلی با مواد معدنی ضروری مانند کلسیم،

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

فسفر، منیزیم و روی کمپلکس تشکیل داده و قابلیت هضم آن‌ها را بهبود می‌بخشند (Ng and Koh, 2017; da Silva *et al*., 2022).

کاهش بار میکروبی

استفاده از اسیدهای آلی در خوراک ماهی به‌طور قابل‌توجهی بار میکروبی را کاهش می‌دهد که می‌تواند تأثیرات مثبتی بر سیستم‌های آبزی‌پروری داشته باشد. کاهش باکتری‌های بیماری‌زا در روده ماهی منجر به آلودگی میکروبی کم‌تر در مدفوع و در نهایت بهبود کیفیت آب در محیط‌های پرورش، به‌ویژه در مخازن آب و سیستم‌های آبزی‌پروری مداربسته می‌شود (da Silva *et al*., 2022; Fabay *et al*., 2022).

بهبود عملکرد رشد

تحقیقات نشان داده‌اند که اسیدهای آلی می‌توانند تأثیر مثبتی بر عملکرد رشد گونه‌های مختلف ماهی داشته باشند. به‌عنوان مثال، دوزهای خاصی از سدیم بوتیرات و مخلوط‌های اسیدهای آلی با افزایش وزن و بهبود ضریب تبدیل غذایی مرتبط بوده‌اند (Lückstädt, 2007; Pelusio *et al*., 2020). با این‌حال، اثربخشی اسیدهای آلی ممکن است بسته به گونه ماهی، نوع اسید و دوز مصرفی متفاوت باشد که نشان‌دهنده ضرورت کاربردهای اختصاصی برای حداکثر بهره‌وری است (Lückstädt, 2008; Pelusio *et al*., 2020).

روش‌های کاربرد

اسیدهای آلی در آبزی‌پروری عمدتاً به‌عنوان مکمل‌های غذایی برای بهبود عملکرد رشد و سلامت گونه‌های ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های کاربرد آنها بر اساس نوع اسید مورد استفاده، گونه پرورشی و اهداف خاص عملیات آبزی‌پروری متفاوت بوده و می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مکمل‌سازی خوراک

اسیدهای آلی اغلب مستقیماً در فرمولاسیون خوراک ماهی گنجانده می‌شوند. این روش با هدف بهبود بهره‌وری و قابلیت هضم خوراک از طریق تغییر محیط روده انجام می‌شود. افزودن اسیدهایی مانند سیتریک، استیک و هیدروکلریک نشان داده است که باعث فعال‌سازی پپسین می‌شود و در نتیجه هضم پروتئین و جذب مواد معدنی را در گونه‌هایی مانند تیلاپیا افزایش می‌دهد (Pelyuntha *et al*., 2022; Chen *et al*., 2024). لازم به ذکر است که pH خوراک نقش مهمی در اثربخشی این مکمل‌ها دارد، که نشان می‌دهد نوع خاص اسید ممکن است کم‌تر از اسیدیته کلی جیره اهمیت داشته باشد (Asriqah *et al*., 2018). از جمله روش‌های مکمل‌سازی اسیدهای آلی در خوراک آبزیان می‌توان از اختلاط مستقیم با خوراک (پیش از پلت‌سازی)، که اسیدهای آلی به‌صورت مایع یا پودری مستقیما به اجزای جیره اضافه و قبل از فرآیند پلت‌سای کاملا مخلوط می‌شوند (Ng and Koh, 2017)، استفاده از طریق آب محیط پرورش، که اسیدهای آلی مستقیما به آب استخرها یا سیستم‌های مداربسته اضافه می‌شوند (Chen *et al*., 2024)، فناوری‌های نوین و نانوکپسول‌ها (Encapsulation)، که اسیدهای آلی در پوشش‌های لیپیدی یا پلیمری (مانند نانو ذرات کیتوسان) محافظت می‌شوند تا در دمای پلت‌سازی تخریب نشوند (Khursheed Khan *et al*., 2024)، و استفاده از

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

نمک‌های اسیدی، که نمک‌های پتاسیمی یا کلسیمی اسیدهای آلی به جیره افزوده می‌شوند (Luckstadt, 2008) اشاره نمود.

تصفیه آب

اسیدهای آلی علاوه بر خوراک، از طریق آب نیز قابل استفاده هستند. این روش کیفیت میکروبی آب در سیستم‌های پرورش ماهی را بهبود می‌بخشد. ایجاد محیط اسیدی، بقای عوامل بیماری‌زا را کاهش داده و خطر عفونت ماهی‌ها را کم می‌کند (Ng and Koh, 2017). برنامه‌های درمانی معمولاً ترکیبی از روش‌های متناسب با نیازهای مزرعه بوده که کیفیت میکروبی آب را تضمین می‌نماید. برخی از مزایا و چالش‌های استفاده از اسیدهای آلی در تغذیه آبزیان در جدول ۲ به‌طور خلاصه آورده شده است.

ملاحظات ذخیره‌سازی و حمل ونقل

اسیدهای آلی به‌دلیل ماهیت خورنده‌ای که دارند، چالش‌های خاصی در نگهداری و جابجایی ایجاد می‌کنند. برخی اسیدها مانند اسید فرمیک و پروپیونیک نیاز به راهکارهای ویژه نگهداری دارند تا از تخریب ظروف و ایمنی استفاده اطمینان حاصل شود (Chen *et al*., 2024). مدیریت صحیح این جنبه‌ها برای حفظ اثربخشی اسیدهای آلی و رعایت مقررات ایمنی ضروری است.

چالش‌های نظارتی

علاقه فزاینده به اسیدهای آلی، به‌ویژه پس از ممنوعیت محرک‌های رشد آنتی‌بیوتیکی در چندین کشور، با چالش‌های نظارتی همراه شده است. قوانین کشورهای مختلف در مورد استفاده از اسیدهای آلی در خوراک دام متفاوت است که می‌تواند پذیرش و گسترش بازار آن‌ها را پیچیده کند (Pelyuntha *et al*., 2022; Chen *et al*., 2024). رعایت این مقررات برای آبزی‌پروران که به‌دنبال استفاده مؤثر از اسیدهای آلی هستند، حیاتی است. با افزایش نگرانی‌ها در مورد مقاومت ضد میکروبی، مراجع نظارتی در سراسر جهان محدودیت‌های سختگیرانه‌ای بر استفاده از محرک‌های رشد آنتی‌بیوتیکی در خوراک دام اعمال کرده‌اند. در نتیجه، تقاضا برای جایگزین‌های ایمن و طبیعی افزایش یافته و علاقه به اسیدهای آلی بیش‌تر شده است (Butucel *et al*., 2022). با این‌حال، چارچوب نظارتی استفاده از اسیدهای آلی می‌تواند به‌طور قابل توجهی در مناطق مختلف متفاوت باشد و تولیدکنندگان باید این مقررات را به‌دقت رعایت کنند تا ضمن رعایت قوانین، انتظارات مصرف‌کنندگان در مورد ایمنی و اثربخشی را نیز برآورده سازند.

ملاحظات اقتصادی

پیامدهای اقتصادی استفاده از اسیدهای آلی در جیره غذایی ماهی‌ها باید به دقت ارزیابی شود. اگرچه برخی مطالعات نشان‌دهنده بهبود عملکرد رشد و بازده خوراک با مکمل‌سازی اسیدهای آلی هستند (Rsd *et al*., 2024)، اما مقرون‌به‌صرفه بودن این تغییرات غذایی به عوامل مختلفی از جمله قیمت بازار مواد تشکیل‌دهنده خوراک و پاسخ‌های رشد خاص مشاهده‌شده در گونه‌های مختلف ماهی بستگی دارد. بنابراین، تحلیل‌های جامع هزینه-فایده برای تولیدکنندگانی که در نظر دارند اسیدهای آلی را در استراتژی‌های تغذیه‌ای خود بگنجانند، ضروری است.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

عوامل کلیدی در ارزیابی اقتصادی عبارتند از: هزینه‌های اولیه تهیه اسیدهای آلی، تغییرات در بازده تولید و عملکرد رشد، کاهش هزینه‌های درمان بیماری‌ها، افزایش کیفیت و ارزش بازار محصول نهایی و صرفه جویی‌های ناشی از کاهش ضریب تبدیل غذایی. تولیدکنندگان باید این عوامل را در کنار هم سنجیده و با در نظر گرفتن شرایط خاص مزرعه خود، تصمیم‌گیری نمایند.

جدول ۲: مزایا و چالش‌های استفاده از اسیدهای آلی در تغذیه آبزیان.

Table 2: Advantages and challenges of using organic acids in aquatic nutrition

Organic acids	Function	Effects	References
Advantages			
Improving the gut microbiome	Increasing beneficial bacteria such as *Lactobacillus* and reducing pathogens like *Vibrio* and *E. coli* through lowering gut pH	Reducing the gut pathogen load	Zhou *et al*. (2008); Torres-Maravilla et al. (2024)
Enhancing nutrient digestibility	Increasing the activity of digestive enzymes (amylase, protease) and improving the absorption capacity of amino acids and fats	Improving FCR	Alizadeh *et al*. (2019b); Kotzamanis et al. (2007)
Increasing growth and production efficiency	Increasing final weight and improving specific growth rate through enhanced digestion and energy metabolism	Increasing the final weight of fish	Ng and Koh (2017)
Strengthening the immune response	Increasing the expression of immune genes such as *IL-1β* and *TNF-α*, and improving macrophage phagocytic activity	Increasing disease resistance	Huyben *et al*. (2021)
Reducing the need for antibiotics	A sustainable alternative to antibiotic growth promoters, reducing the risk of antibiotic resistance	Reducing antibiotic use	Katya *et al*. (2018)
Improving carcass and meat quality	Increasing the storage of beneficial fats (omega-3 fatty acids) and improving sensory properties (taste, color) in the final products	Improving the profile of beneficial fatty acids	Hussein *et al*. (2023)
Challenges			
Toxicity at high doses	High doses of formic acid or propionic acid can cause intestinal tissue necrosis or increased inflammation	Increased tissue damage at high doses	Kumar *et al*. (2011)
Species-specific responses	Differences in species' responses to organic acids; carnivorous and omnivorous fish have different requirements	Reduced growth in some species	Ng and Koh (2017)
Legal challenges	Legal restrictions on the permissible levels of organic acids that can be added to feed, particularly in Europe and North America	Requiring separate registration permits	Butucel *et al*. (2022)
Interaction with other dietary components	Interaction with proteins, fats, and fiber; may affect the activity of organic acids	Reduced efficacy in high-fiber diets	Chen *et al*. (2024)
Low stability in the environment	Reduced effectiveness of certain acids in saltwater or at high temperatures (above 28°C)	Reduced antibacterial activity	Katya *et al*. (2018)

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

نتیجه‌گیری و چشم‌اندازهای پژوهشی

مطالعات حاضر به‌وضوح نشان می‌دهند که اسیدهای آلی و نمک‌های آنها به‌عنوان جایگزین‌های مؤثری برای آنتی‌بیوتیک‌ها در صنعت آبزی‌پروری عمل می‌کنند. این ترکیبات از طریق سه مکانیسم اصلی شامل بهبود فرآیندهای گوارشی، تعدیل ترکیب میکروبیوتای روده و تقویت سد روده‌ای، سلامت و عملکرد رشد آبزیان را به‌ویژه در گونه‌های فاقد معده اسیدی قوی مانند تیلاپیا و کپور (*Cyprinus carpio*) ارتقا می‌دهند. با این وجود، اثربخشی مطلوب مستلزم در نظر گرفتن ویژگی‌های گونه‌ای، تنظیم دقیق دوز مصرفی و غلبه بر چالش‌های فنی موجود است.

در راستای پاسخ به این چالش‌ها و تکمیل دانش موجود، پژوهش‌های آتی باید تمرکز ویژه‌ای بر کشف مکانیسم‌های مولکولی ناشناخته داشته باشند. تحلیل تغییرات بیان ژن‌های مرتبط با ناقلین معدنی نظیر SLC34A2و TRPV6، پروتئین‌های اتصال کننده مانند occludin وclaudin-5، و همچنین مسیرهای سیگنالینگ کلیدی از جمله mTOR و NF-κB ضروری به نظر می‌رسد. بررسی تغییرات اپی‌ژنتیک در ژن‌های ایمنی روده نیز می‌تواند زوایای جدیدی از نحوه تأثیر این ترکیبات را آشکار سازد.

به‌موازات این مطالعات بنیادین، تعیین پروتکل‌های بهینه گونه‌محور برای ماهیان اقتصادی مهم، در اولویت قرار دارد. این امر مستلزم انجام مطالعات دوز–پاسخ دقیق با در نظر گرفتن تداخلات فرمولاسیونی، به‌ویژه تأثیر همزمان اسیدهای آلی با منابع مختلف لیپیدی و سطوح متغیر پروتئین جیره است. همچنین توسعه فناوری‌های نوین برای غلبه بر محدودیت‌های عملیاتی، از جمله طراحی ریزکپسول‌های نانولیپیدی مقاوم به دمای پلت‌سازی و سیستم‌های رهاسازی هدفمند در روده میانی، از ضروریات این حوزه پژوهشی محسوب می‌شود.

ارزیابی ایمنی بلندمدت مصرف اسیدهای آلی نیز نیازمند توجه ویژه است. پایش شاخص‌های استرس اکسیداتیو مانند مالون دی آلدهید و سوپراکسید دیسموتاز، بررسی عملکرد کبدی از طریق آنزیم‌های آلانین آمینوترانسفراز و آسپارتات آمینوترانسفراز و تحلیل تأثیر بر پروفیل اسیدهای چرب ضروری نظیر ایکوزاپنتانوئیک اسید و دوکوزاهگزانوئیک اسید در کیفیت نهایی محصول باید در دستور کار پژوهش‌های آتی قرار گیرد. در نهایت، بررسی سینرژیسم اسیدهای آلی با پروبیوتیک‌های اختصاصی مانند *Lactobacillus plantarum* و توسعه فناوری‌های پایش آنلاین pH روده‌ای می‌تواند گام مؤثری در جهت توسعه سیستم‌های هوشمند تغذیه در آبزی‌پروری مدرن باشد. فناوری‌های پایش آنلاین pH روده‌ای مبتنی بر حسگرهای زیستی خوراکی (Ingestible Biosensors) که به‌طور بی‌سیم داده‌های اسیدیته روده را در زمان واقعی به پلتفرم‌های هوش مصنوعی منتقل می‌کنند، امکان تنظیم خودکار دوز اسیدهای آلی در جیره غذایی را فراهم ساخته و با ادغام این سیستم‌ها در زیرساخت اینترنت اشیاء مزارع، توسعه سیستم‌های هوشمند تغذیه در آبزی‌پروری مدرن را محقق می‌سازند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از حمایت های همکاران محترم کمال تشکر را دارند.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

منابع

1. Alizadeh, H. and Falahatkar, B., 2020. Effects of dietary organic acids on growth performance and physiology of fish. *8th Iranian Conference of Ichthyology Tarbiat Modares University*, Mazandaran, Noor, October 2020. [In Persian]
2. Alizadeh, H., Oraji, H., Falahatkar, B. and Efatpanah, I., 2019a. Effect of dietary Malic acid on growth performance and body composition of juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 27(6), pp.1-12. DOI: 10.22092/isfj.2019.118318 [In Persian]
3. Alizadeh, H., Oraji, H., Falahatkar, B. and Efatpanah, I., 2019b. Effect of dietary malic acid on hematological, biochemical and immunological indices of juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869). *Journal of Fisheries*, *72*(4), pp.419-436. DOI: 10.22059/jfisheries.2020.297616.1138 [In Persian]
4. Asriqah, L., Nugroho, R.A. and Aryani, R., 2018. Effect of various organic acid supplementation diets on *Clarias gariepinus* BURCHELL, 1822: Evaluation of growth, survival and feed utilization. *F1000Research*, 7(1), 1465. DOI: 10.12688/f1000research.15954.1
5. Badzohreh, G., Zarei, S., Davoodi, R., Nasifi Bahabadi, M., Salehi, F., Morshedi, V., Sotudeh, E., 2020. Effects of different levels of dietary butyric acid on some growth performance, immunity and digestive enzymes activity of yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus* Houttuyn, 1782). *Aquatic Animals Nutrition*, *6*(3), pp.55-67. DOI: 10.22124/janb.2021.18938.1124 [In Persian]
6. Busti, S., Rossi, B., Volpe, E., Ciulli, S., Piva, A., D'Amico, F., Soverini, M., Candela, M., Gatta, P.P., Bonaldo, A., Grilli, E. and Parma, L., 2020. Effects of dietary organic acids and nature identical compounds on growth, immune parameters and gut microbiota of European sea bass. *Scientific Reports*, *10*(1), 21321. DOI: 10.1038/s41598-020-78441-9
7. Butucel, E., Balta, I., McCleery, D., Marcu, A., Stef, D., Pet, I., Callaway, T., Stef, L. and Corcionivoschi, N., 2022. The prebiotic effect of an organic acid mixture on *Faecalibacterium prausnitzii* metabolism and its anti-pathogenic role against *Vibrio parahaemolyticus* in shrimp. *Biology*, 12(1), 57. DOI: 10.3390/biology12010057
8. Chen, J., He, S., Zhang Z., Li, J., Zhang, X., Li, J., Xu, J., Zheng, P., Xian, J. and Lu, Y., 2024. Application of organic acid salts as feed additives in some aquatic organisms: Potassium diformate. *Fishes*, *9*(3), 85. DOI: 10.3390/fishes9030085
9. da Silva, V.G., Favero, L.M., Mainardi, R.M., Ferrari, N.A., Chideroli, R.T., Di Santis, G.W., de Souza, F.P., da Costa, A.R., Gonçalves, D.D., Nuez-Ortin, W.G., Isern-Subich, M.M., de Oliveira-Junior, A.G., Lopera-Barrero, N.M. and de Pádua Pereira, U., 2023. Effect of an organic acid blend in Nile tilapia growth performance, immunity, gut microbiota, and resistance to challenge against francisellosis. *Research in Veterinary Science*, *159*(1), pp.214-224. DOI: 10.1016/j.rvsc.2023.04.019
10. Dawood, M.A.O., Zommara, M., Eweedah, N.M. and Helal, A., 2020. The evaluation of growth performance, blood health, oxidative status and immune-related gene expression in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed dietary nanoselenium sphere produced by lactic acid bacteria. *Aquaculture*, *515*(15), 734571. DOI10.1016/j.aquaculture.2019.73457
11. Dostani Dezfoli, M., Rajabzadeh Ghatrami, E. and Abdi, R., 2019. Effects of sodium diformate and citric acid on body composition, serum enzymes activity and alimentary canal tissue of the juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic*

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

Animals Nutrition, *5*(2), pp.27-38. DOI: 10.22124/janb.2020.15896.1082 [In Persian]

12. Fabay, R.V., Serrano Jr, A.E., Alejos, M.S. and Fabay, J.V., 2022. Effects of dietary acidification and acid source on fish growth and feed efficiency (Review). *World Academy of Sciences Journal*, *4*(3), pp.2632-2919. DOI: 10.3892/wasj.2022.156
13. Freitag, M., 2007. Organic acids and salt promote performance and health in animal husbandry. In: Luckstadt C, editor. Acidifier in animal nutrition. A Guide for Feed Preservation and Acidification to promote Animal Performance. 1st ed: Nottingham University press, Nottingham, UK; pp.1-11.
14. Goh, C., Gibson-Kueh, S., Bal, D., Chen, I.T., Nuez-Ortín, W., Domingos, J.S. and Shen, X., 2025. A synergistic blend of dietary organic acids, monoglycerides and phytobiotics enhance growth performance, intestinal mucosal height, and anti-viral immune gene expression in juvenile Barramundi (*Lates calcarifer*). *Aquaculture Reports*, *41*(2), 102692. DOI: 10.1016/j.aqrep.2025.102692
15. Hadidi, S. and Taati, R., 2016. Effect of different levels of dietary Biotronic™ as acidifier supplement on feed efficiency and some hematological and immune parameters of tiger Oscar (*Astronotus ocellatus*). *Iranian Veterinary Journal*, *12*(3), pp.32-41. DOI: 10.22055/ivj.2016.34438 [In Persian]
16. Hosseini, S.M., Yousefi, M., Afzali-Kordmahalleh, A., Pagheh, E. and Taheri Mirghaed, A., 2023. Effect of dietary lactic acid supplementation on the activity of digestive and antioxidant enzymes, gene expression, and bacterial communities in the intestine of Common carp, *Cyprinus carpio*. *Animals*, *13*(12), 1934. DOI: 10.3390/ani13121934
17. Hosseinifar, S.H., Sun, Y.Z., Wang, A. and Zhang, Z., 2018. Probiotics as means of diseases control in aquaculture, a review of current knowledge and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*, *12*(9), pp.24-29. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02429
18. Hussein, E.E., Habiba, M.M., Ashry, A.M., Al-Zayat, A.M., Teiba, I.I., Shehata, A.I., Shahin, S.A., El-Ratel, I.T., Mzengereza, K., Tembo, M. and El Basuini, M.F., 2023. Effects of dietary supplementation with organic acids mixture on growth, feed efficiency, hematobiochemical parameters, immunity, and intestinal microbiota of Gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. *Aquaculture Reports*, *23*(1), 101846. DOI: 10.1016/j.aqrep.2023.101846
19. Huyben, D., Chiasson, M., Lumsden, J.S., Pham, P.H. and Chowdhury, M.A.K., 2021. Dietary Microencapsulated Blend of Organic Acids and Plant Essential Oils Affects Intestinal Morphology and Microbiome of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Microorganisms*, *9*(10), 2063. DOI: 10.3390/microorganisms9102063
20. Katya, K., Park, G., Bharadwaj, A.S., Browdy, C.L., Vazquez-Anon, M., Bai, S.C., 2018. Organic acids blend as dietary antibiotic replacer in marine fish olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture Research*, *49*(1), pp.137-149. DOI: 10.1111/are.13749
21. Khursheed Khan, S., Dutta, J., Ahmad, I. and Ashraf Rather, M., 2024. Nanotechnology in aquaculture: Transforming the future of food security. *Food Chemistry*: *X*, *24*(7), 101974. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101974
22. Kirchgessner, M. and Roth, F.X., 1995. Organic acids as a feed additive in pig nutrition. *Animals*, *43*(1), pp.253-254. DOI: 10.22358/jafs/69953/1998
23. Koh, C.B., Romano, N., Siti Zahrah, A. and Ng, W.K., 2014. Effects of a dietary organic acids blend and oxytetracycline on the growth, nutrient

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

Volpe, E., Ciulli, S., Piva, A., D'Amico, F., Scicchitano, D., Candela, M., Gatta, P.P., Bonaldo, A. and Grilli, E., 2020. Effects of increasing dietary level of organic acids and nature-identical compounds on growth, intestinal cytokine gene expression and gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at normal and high temperature. *Fish and Shellfish Immunology*, *107*(1), pp.324-335. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.10.021

31. Pelyuntha, W., Yafa, A., Charoenwong, B. and Vongkamjan, K., 2022. Effectiveness of the organic acid-based antimicrobial agent to prevent bacterial contamination in fish meal. *Animals*, *12*(23), 3367. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12233367
32. Rsd, R., Pamungkas, W., Handajani, H. and Puspaningsih, D., 2024. Sustaining aquaculture: Organic acid as feed additives in aquaculture. In: Gabriel, N.N., Abasubong, K.P., Erasmus, V.N., Kamble, M.T. (Eds). Sustainable feed ingredients and additives for aquaculture farming. Sustainability Sciences in Asia and Africa. Springer, Singapore. pp. 481-500.
33. Simón, R., Docando, F., Nuñez-Ortiz, N., Tafalla, C. and Díaz-Rosales, P., 2021. Mechanisms used by probiotics to confer pathogen resistance to teleost fish. *Frontiers in Immunology*, *12*(1), 653025. DOI: 10.3389/fimmu.2021.653025
34. Soleymani Iraei, M., Sajjadi, M.M., Keramat Amirkolaei, A., Fathi, A. and Karimzadeh, S., 2012. Effects of different levels of organic acids on growth performance, body composition and hematological parameters of rainbow trout fry (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, *1*(3), pp.1-14. [In Persian]
35. Torres-Maravilla, E., Parra, M., Maisey, K., Vargas, R.A., Cabezas-Cruz, A., Gonzalez, A., Tello, M. and Bermúdez-Humarán, L.G., 2024. Importance of probiotics in fish utilization and total cultivable gut microbiota of the red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp., and resistance to *Streptococcus agalactiae*. *Aquaculture Research*, *47*(2), pp.357-369. DOI: 10.1111/are.12492
24. Kotzamanis, Y.P., Gisber, E., Gatesoup, F.J., Zambonino Infant, J. and Cahu, C., 2007. Effect of different dietary levels of fish protein hydrolysates on growth, digestive enzyme, gut microbiota, and resistance to *Vibrio anguillarum* in European sea bass (*Dicentrachus labrax*) larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology*, *147*(1), pp.205-214. DOI: 10.1016/j.cbpa.2006.12.037
25. Lückstädt, C., 2007. Effect of organic acid containing additives in worldwide aquaculture-sustainable production the non-antibiotic way. In: Acidifier in Animal Nutrition-A Guide for Feed Preservation and Acidification to Promote Animal Performance. Nottingham University Press, Nottingham; pp, 71-77.
26. Luckstadt, C., 2008. The use of acidifiers in fish nutrition. *Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, *3*(044), pp.1-8. DOI: 10.1079/PAVSNNR20083044
27. Ng, W.K. and Koh, C.B., 2017. The utilization and mode of action of organic acids in the feeds of cultured aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, *9*(4), pp.342-368. DOI: 10.1111/raq.12141
28. Onomu, A.J. and Okuthe, G.E., 2024. The role of functional feed additives in enhancing aquaculture sustainability. *Fishes*, *9*(5), 167. DOI: 10.3390/fishes9050167
29. Pandey, A. and Satoh, S., 2008. Effects of organic acids on growth and phosphorus utilization in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Fisheries Science*, *74*(4), pp.867-874. DOI: 10.1111/j.1444-2906.2008.01601.x
30. Pelusio, N.F., Rossi, B., Parma, L.,

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]

aquaculture: Towards the identification and design of novel probiotics. *Microorganisms*, *12*(3), 626. DOI: DOI:10.3390/microorganisms12030626

36. Yilmaz, S., Ergun, S., Çelik, E.Ş., Yigit, M., 2018. Effects of dietary humic acid on growth performance, haemato-immunological and physiological responses and resistance of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* to *Yerdinia ruckeri*. *Aquaculture Research*, *49*(3), pp.3338-3349. DOI: 10.1111/are.13798
37. Zhou, Z., Liu, Y., Wang, P., He, S., Yao, B., Gao, X. and Wang, X., 2008. The effect of dietary potassium diformate on growth performance, feed conversion and intestinal microbiota of hybrid tilapia. Book of Abstract XIII International and Feeding, June 1-5, Brazil, p.193.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-893]