University of Hormozgan

Journal of Aquatic Ecology

ISSN Print: 2322-2751 ISSN Online: 2980-9355

Homepage: https://jae.hormozgan.ac.ir

Liposomal taurine enrichment of Artemia: Effects on the growth, survival, and carcass quality of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larvae

Mina Emadabadi[1], Delaram Nakhbeh Zare[1], Alireza Salarzadeh[1]✉, Maziar Yahyavi[1], and Mohammad Seddiq Mortazavi[2]

1. Department of Fishery, BA.C., Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran.
2. Persian Gulf and Oman Sea Ecological Research Center, Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Abbas, Hormozgan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 27 August 2025
Accepted: 24 September 2025
Published: 15 February 2026

✉**Corresponding Author:**
Reza1375@iau.ac.ir

Keywords:
whiteleg shrimp,
Artemia,
liposomal taurine,
growth,
survival.

ABSTRACT

Taurine is an essential micronutrient for the larval development of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), yet its bioavailability in culture systems is often limited by rapid leaching. This study evaluated the effects of liposomal taurine enrichment of *Artemia* on growth performance, survival, and carcass quality of shrimp larvae during the critical Mysis 3 to postlarva 5 stages. Larvae were obtained from a commercial hatchery and reared under controlled conditions. Five taurine enrichment levels (0, 100, 200, 400, and 600 mg L^{-1}) were tested in triplicate over an 8-day feeding trial. Taurine-enriched *Artemia* significantly improved larval dry weight, body length, and survival compared with the control treatment ($p < 0.05$). The highest performance was achieved at 400 mg L^{-1}, resulting in a dry weight of 163.2 µg ind^{-1} and a survival rate of 84.7%. Carcass composition analysis showed increased crude protein and taurine contents in enriched treatments, while total lipid content remained unaffected. In addition, fatty acid profiles, particularly docosahexaenoic acid (DHA) and eicosapentaenoic acid (EPA), were enhanced at the optimal enrichment level. Polynomial regression analysis estimated the optimal taurine enrichment level to be approximately 390–405 mg L^{-1}. Overall, the results demonstrate that liposomal taurine enrichment of *Artemia* is an effective strategy to improve nutritional quality, growth performance, and survival of *L. vannamei* larvae, with clear implications for commercial shrimp hatchery production.

CC BY NC

Publisher: University of Hormozgan

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Global shrimp aquaculture depends heavily on strong larval performance, with *Litopenaeus vannamei* dominating production owing to its rapid growth and broad environmental tolerance (Asmild *et al*., 2024). However, the Mysis 3 to postlarva 5 (M3–PL5) developmental window remains a critical bottleneck in hatchery production, where deficiencies in live-feed micronutrition—particularly taurine and long-chain polyunsaturated fatty acids (LC-PUFAs)—can severely limit growth and survival (Hansen and Møller, 2021; Huang *et al.,* 2022). Taurine is conditionally essential in many aquatic larvae and plays key roles in osmoregulation, membrane stabilization, bile acid conjugation, lipid metabolism, neuro-sensory development, and immune and oxidative homeostasis (Salze and Davis, 2015; Shi *et al*., 2023). Nevertheless, free taurine is highly water-soluble and rapidly leaches from live feeds, reducing its bioavailability to larvae (Watson *et al.,* 2015). Liposomal delivery systems can encapsulate hydrophilic compounds, reduce nutrient loss through leaching, and enhance targeted delivery via enriched live feeds such as *Artemia* (Özkızılcık and Chu, 1994; Pattni *et al.,* 2015; Hawkyard and Koch, 2016; Large *et al.,* 2021). Building on these principles, the present study evaluated the effects of taurine-loaded liposomal enrichment of *Artemia* on shrimp larval performance and estimated the optimal enrichment level using quadratic polynomial regression models.

Materials and Methods

Larvae at the Mysis 3 (M3) stage were obtained from Sanderf Hatchery (Jask, Iran) and acclimated to laboratory conditions at the Persian Gulf Ecology Research Center (Bandar Abbas, Iran). A completely randomized design was used to evaluate taurine–liposome enrichment at five levels: 0 (control), 100, 200, 400, and 600 mg L^{-1}, with three replicate 60-L tanks per treatment (200 larvae $tank^{-1}$). The feeding trial lasted 8 days (M3 to PL5), during which larvae were fed taurine-enriched *Artemia* four times daily. Seawater was filtered, chlorinated, and subsequently dechlorinated prior to use. Key water quality parameters were maintained within optimal ranges for shrimp larvae: salinity 40–42‰, temperature 28 ± 1 °C, pH 8.0 ± 0.2, dissolved oxygen 5.5–6.5 mg L^{-1}, and low concentrations of unionized ammonia and nitrite (Lin and Chen, 2001; Valencia-Castañeda et al., 2018). Daily water exchange rates of 30–40% were applied throughout the experiment. Taurine-loaded liposomes were prepared using the thin-film hydration method with a phosphatidylcholine: cholesterol ratio of 7:3, followed by homogenization and brief sonication. Liposome particle size (~100–150 nm), polydispersity index (PDI < 0.3), and encapsulation efficiency were verified using dynamic light scattering and HPLC-FLD following o-phthalaldehyde derivatization (Danaei *et al.,* 2018; Lombardo and Kiselev, 2022; Santini et al., 2022). *Artemia* nauplii (Instar II) were enriched for 12 h in taurine-liposome solutions corresponding to each treatment level, then thoroughly rinsed with clean seawater prior to feeding (Hawkyard and Koch, 2016; Van Stappen *et al*., 2024).

At the end of the trial, final dry weight (µg ind^{-1}; 70 °C for 24 h), total length (measured under a stereomicroscope), and survival (%) were recorded. Whole-body proximate composition was analyzed for crude protein (Kjeldahl method) and total lipid (Soxhlet extraction), while taurine content was quantified by HPLC. Fatty acid profiles were determined by GC-MS following fatty acid methyl ester (FAME) derivatization (Randall, 2011; Sáez-Plaza *et al.,* 2013; Hewavitharana, 2020). Data were tested for normality (Shapiro–Wilk) and homogeneity of

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

variances (Brown–Forsythe) prior to one-way ANOVA, followed by Tukey's HSD post hoc test ($p < 0.05$). Effect sizes (η^2) and corresponding 95% confidence intervals were reported where applicable. Dose–response relationships were modeled using quadratic polynomial regression, and stationary points were used to estimate optimal taurine enrichment levels (Lakens, 2013; Chen and Chen, 2025).

Results

Taurine enrichment significantly increased larval dry weight, total length, and survival compared with the control treatment ($p < 0.05$). The 400 mg L^{-1} treatment yielded the best overall performance, with dry weight reaching 163.2 ± 4.8 µg ind^{-1} compared with 118.6 ± 3.5 µg ind^{-1} in the control (+37.6%), and survival increasing from 69.2 ± 2.8% to 84.7 ± 2.1%. Total length was also significantly greater at enrichment levels of 200–400 mg L^{-1}. In contrast, a modest decline in performance was observed at 600 mg L^{-1}, indicating a saturating, inverted-U dose–response pattern. Crude protein content and whole-body taurine concentration increased with taurine enrichment, peaking near 400 mg L^{-1} (65.2 ± 1.3% DW and 14.8 ± 0.5 mg g^{-1} DW, respectively), whereas total lipid content did not differ significantly among treatments. Taurine enrichment was also associated with higher proportions of long-chain polyunsaturated fatty acids, particularly docosahexaenoic acid (DHA) and eicosapentaenoic acid (EPA), which were highest at approximately 400 mg L^{-1} (DHA: 8.4 ± 0.3%; EPA: 6.7 ± 0.2% of total fatty acids), suggesting enhanced lipid uptake and retention during early larval development. Quadratic polynomial regression models were significant for both dry weight and survival ($p < 0.01$), estimating optimal taurine enrichment levels of approximately 390 mg L^{-1} for growth ($R^2 = 0.88$) and 405 mg L^{-1} for survival ($R^2 = 0.91$). The overlapping optimal range of 380–410 mg L^{-1} maximized both endpoints, consistent with physiological sufficiency at intermediate doses and diminishing returns at higher enrichment levels.

Conclusion

Liposomal taurine enrichment of *Artemia* represents an effective and operationally simple strategy to enhance growth, survival, and biochemical quality of *L. vannamei* larvae during the M3–PL5 developmental window. The mechanistic basis for these effects is well supported: liposomal encapsulation reduces taurine leaching and improves nutrient delivery, while taurine itself contributes to osmoregulation, membrane integrity, bile salt conjugation, lipid digestion and absorption, neuro-sensory development, and antioxidant and immune function (Salze and Davis, 2015; Pattni et al., 2015; Large et al., 2021; Shi et al., 2023). Quadratic dose–response models converged on an optimal enrichment level near 400 mg L^{-1}, balancing maximal biological performance with practical hatchery applicability. Although the present study was conducted over a short time frame under controlled laboratory conditions, future research should extend assessments into the nursery phase, incorporate oxidative stress and immune biomarkers (e.g., malondialdehyde, phenoloxidase activity), and disentangle the relative contributions of taurine and liposomal phospholipids through the inclusion of empty-liposome and free-taurine control treatments. Despite these limitations, the results provide strong evidence that liposomal taurine enrichment can be readily integrated into live-feed enrichment protocols to produce higher-quality post larvae and improve overall hatchery efficiency.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

بوم‌شناسی آبزیان
شاپا چاپی: ۲۷۵۱-۲۳۲۲ شاپا الکترونیکی: ۹۳۵۵-۲۹۸۰
https://jae.hormozgan.ac.ir
دانشگاه هرمزگان

غنی‌سازی آرتمیا با تائورین لیپوزومی و اثرات آن بر رشد، بقاء و کیفیت لاشه لاروهای میگوی سفید غربی (*Litopenaeus vannamei*)

مینا عمادآبادی[۱]، دلارام نخبه زارع[۱]، علیرضا سالارزاده[۱]✉، مازیار یحیوی[۱]، محمد صدیق مرتضوی[۲]

۱. گروه شیلات، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران.

۲. پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان ، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس ، هرمزگان.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶

✉ **نویسنده مسئول:**
Reza1375@iau.ac.ir

کلیدواژه‌ها:
میگوی سفید غربی،
آرتمیا،
تائورین لیپوزومی،
رشد،
بقاء.

چکیده

تائورین یک ریزمغذی کلیدی برای تکامل لاروهای میگوی سفید غربی (*Litopenaeus vannamei*) است، اما به دلیل آب‌شویی سریع در سیستم‌های پرورشی، زیست‌فراهمی آن محدود می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی اثرات غنی‌سازی آرتمیا با تائورین لیپوزومی بر رشد، بقاء و کیفیت لاشه لاروهای میگو در مراحل بحرانی مایسیس ۳ تا پست‌لارو ۵ انجام شد. لاروها از یک کارگاه تکثیر تجاری تأمین و تحت شرایط کنترل‌شده پرورش یافتند. تیمارها شامل پنج سطح غنی‌سازی (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر) با سه تکرار و طی مدت ۸ روز بودند. نتایج نشان داد غنی‌سازی آرتمیا با تائورین لیپوزومی موجب بهبود معنی‌دار ($p < ۰/۰۵$) در وزن خشک، طول بدن و نرخ بقاء لاروها نسبت به گروه شاهد گردید. بهترین عملکرد در سطح ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (وزن خشک ۱۶۳/۲ میکروگرم در لارو؛ بقاء ۸۴/۷ درصد). بررسی ترکیب بدن نشان داد که میزان پروتئین خام و تائورین در تیمارهای غنی‌شده افزایش یافت، در حالی که چربی کل تغییر محسوسی نداشت. همچنین پروفایل اسیدهای چرب، به‌ویژه DHA و EPA، در سطح بهینه بهبود یافت. تحلیل رگرسیونی چندجمله‌ای سطح بهینه تائورین را حدود ۳۹۰ تا ۴۰۵ میلی‌گرم در لیتر برآورد کرد. این نتایج نشان می‌دهد غنی‌سازی آرتمیا با تائورین لیپوزومی رویکردی مؤثر برای ارتقای تغذیه، بقاء و کیفیت لارو در عملیات تکثیر تجاری میگو است.

ناشر: دانشگاه هرمزگان.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

مقدمه

صنعت پرورش میگو، به‌عنوان یکی از زیربخش‌های بنیادین آبزی‌پروری، طی دهه‌های اخیر گسترش قابل‌توجهی یافته است و امروزه در مقیاس جهانی، نقش تعیین‌کننده‌ای در تأمین امنیت غذایی، ایجاد اشتغال و ارزآوری ایفا می‌کند (Naylor *et al*., 2023; Garlock *et al*., 2024). میگوی سفید غربی (*Litopenaeus vannamei*) به دلیل خصوصیاتی نظیر سرعت رشد بالا، دامنه تحمل محیطی وسیع و بازده اقتصادی مطلوب، به گونه غالب در صنعت پرورش بسیاری از کشورها تبدیل شده است (Asmild *et al*., 2024; Sha *et al*., 2025). با وجود این، دوره تکامل لاروی از مرحله مایسیس ۳ تا پست لارو ۵ همچنان به‌عنوان یکی از مراحل بحرانی در فرآیند تولید محسوب می‌شود؛ زیرا کیفیت تغذیه در این بازه زمانی کوتاه، اثرات مستقیم و ماندگاری بر شاخص‌های بقا، رشد و سلامت در مراحل بعدی پرورش دارد(Wang *et al*., 2020; Huang *et al*., 2022) . غذای زنده رایج در کارگاه‌های تکثیر، ناپلیوس آرتمیا است که به دلیل ارزش تغذیه‌ای مطلوب و قابلیت هضم بالا، کاربرد گسترده‌ای دارد. با این حال، این موجود زنده به‌طور طبیعی از کمبود برخی ریزمغذی‌های کلیدی، از جمله اسیدهای چرب غیراشباع با زنجیره بلند (LC-PUFA) و تائورین، رنج می‌برد و از این‌رو نیازمند غنی‌سازی هدفمند است (Hansen and Møller, 2021; Cho *et al*., 2022). تائورین، یک اسید آمینه سولفونیک «الزاما ضروری»، در فرآیندهای فیزیولوژیک بنیادین نظیر تنظیم اسمزی، حفظ پایداری غشای سلولی، متابولیسم لیپیدها، کنژوگاسیون اسیدهای صفراوی، تکامل سیستم عصبی–بینایی و تعدیل پاسخ‌های ایمنی و آنتی‌اکسیدانی، نقش حیاتی ایفا می‌کند. کمبود این ترکیب می‌تواند به اختلال در رشد و کاهش نرخ بقا منجر شود (Salze and Davis, 2015; Shi *et al*., 2023).

چالش اصلی در افزودن مستقیم تائورین به محیط پرورش، آب‌شویی سریع آن و در نتیجه، کاهش زیست فراهمی این ترکیب در ستون آب است (Watson *et al*., 2015). از این‌رو، به‌کارگیری فناوری‌های نوینِ حامل‌محور به‌ویژه روش ریزپوشانی با استفاده از لیپوزوم‌ها، اهمیت ویژه‌ای یافته است. لیپوزوم‌ها به‌عنوان وزیکول‌های دولایه فسفولیپیدی، قادر به محافظت از ترکیبات آب‌دوست و فراهم‌سازی امکان رهایش کنترل‌شده آن‌ها هستند (Pattni *et al*., 2015; Large *et al*., 2021). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که لیپوزوم‌ها می‌توانند به‌عنوان یک حامل مؤثر در فرآیند زیست‌کپسوله‌سازی و غنی‌سازی خوراک‌های زنده نظیر آرتمیا و روتیفر، جهت انتقال ترکیبات محلول در آب به مراحل لاروی آبزیان، مورد استفاده قرار گیرند (Özkızılcık and Chu, 1994; Hawkyard *et al*., 2016; Hawkyard *et al*., 2025). علاوه بر این، شواهد اخیر در خصوص میگوی *L. vannamei* نشان می‌دهد که افزودن تائورین به جیره غذایی می‌تواند مقاومت در برابر تنش‌های محیطی (به‌عنوان مثال، شوری پایین) و شاخص‌های عملکردی در مرحله پست‌لاروی را بهبود بخشد (Wang *et al*., 2025). بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر غنی‌سازی ناپلیوس آرتمیا با سطوح مختلف تائورین لیپوزومی بر شاخص‌های رشد، نرخ بقا و ترکیبات شیمیایی بدن لارو میگوی *L. vannamei* در بازه مایسیس ۳ تا پست لارو ۵ و همچنین تعیین سطح بهینه این ترکیب با استفاده از تحلیل رگرسیون چندجمله‌ای درجه دوم، طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به مدت هشت روز در محل پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان (بندرعباس، ایران) اجرا شد. لاروهای میگوی سفید غربی (*L. vannamei*) در مرحله مایسیس۳ از یک کارگاه تکثیر تجاری (شرکت سندرف، جاسک) تأمین گردید. فرآیند انتقال لاروها به آزمایشگاه در مدت زمان کمتر از شش ساعت و تحت شرایط کنترل‌شده انجام پذیرفت و طی آن، عملیات هم‌دماسازی و سازگاری تدریجی با آب مورد استفاده در آزمایشگاه به‌دقت اجرا شد.

آب دریای مورد استفاده در این پژوهش، پس از انتقال از ساحل بندرعباس، ابتدا از فیلترهای کیسه‌ای با چشمه ۵۰ و ۵ میکرون عبور داده شد تا تصفیه فیزیکی صورت گیرد و سپس با استفاده از هیپوکلریت سدیم (با غلظت مؤثر کلر ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) به

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

مدت ۲۴ ساعت گندزدایی گردید. کلر باقیمانده در آب، پیش از ورود به سیستم پرورشی، با افزودن سدیم تیوسولفات خنثی‌سازی شد. پارامترهای کیفی آب در مخازن پرورش به‌صورت روزانه پایش و در محدوده بهینه برای لارو میگو به شرح زیر حفظ گردید:

شوری :۴۰–۴۲ گرم بر لیتر(‰) (شورسنج دیجیتال، ATAGO, Japan)

دما: ۱±۲۸ درجه سانتی گراد (دماسنج دیجیتال، Hanna Instruments, Italy)

pH : ۰/۲ ± ۸ (pH متر رومیزی، Mettler Toledo, Switzerland)

اکسیژن محلول (DO): ۵/۵–۶/۵ میلی‌گرم بر لیتر (DO متر، YSI ProODO, USA)

به‌منظور حفظ کیفیت پایدار آب، روزانه ۳۰ تا ۴۰ درصد از حجم آب هر مخزن، پس از سیفون‌کردن فضولات، با آب دریای آماده‌سازی‌شده جایگزین گردید. حد مجاز آمونیاک بر اساس مطالعات پیشین در زمینه سمیت حاد آن برای لارو و پست‌لارو *L. vannamei* تعیین گردید (Lin and Chen, 2001; Valencia-Castañeda *et al*., 2018).

لیپوزوم‌های حامل تائورین با استفاده از روش هیدراتاسیون لایه نازک سنتز شدند. بدین منظور، فسفاتیدیل‌کولین و کلسترول با نسبت وزنی ۷:۳ در حلال کلروفرم: متانول (۲:۱ حجمی) حل گردیدند. سپس حلال آلی با استفاده از یک تبخیرکننده چرخان (روتاری اواپراتور) تحت خلاء و در دمای ۴۰ درجه سلسیوس تبخیر شد تا لایه نازک و یکنواخت لیپیدی در کف بالن تشکیل شود. در مرحله بعد، این لایه با محلول آبی تائورین (۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در بافر فسفات سالین، pH=7.4) هیدراته گردید. سوسپانسیون لیپوزومی حاصل، ابتدا به مدت ۳۰ دقیقه هموژنیزه و سپس برای یکنواخت‌سازی ابعاد، به مدت ۵ دقیقه تحت امواج فراصوت (سونیکاسیون) با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز قرار گرفت (Lombardo and Kiselev, 2022; Riccardi *et al*., 2024) .

جهت سنجش اندازه ذرات و شاخص چندپراکندگی (PDI) با استفاده از دستگاه تفرق دینامیک نور (DLS) اندازه‌گیری به عمل آمد. هدف دستیابی به میانگین قطر هیدرودینامیکی ذرات در محدوده ۱۰۰ تا ۱۵۰ نانومتر و PDI کمتر از ۰/۳ بود که معرف پایداری و توزیع اندازه همگن نانوحامل‌ها است(Danaei *et al*., 2018).

بازده کپسوله‌سازی :میزان تائورین محصورشده در لیپوزوم‌ها با روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا و به‌کارگیری آشکارساز فلورسانس پس از مشتق‌سازی با اُ–فتال‌آلدهید (OPA) تعیین گردید (Bahrehmand Namaghi *et al*., 2021; Santini *et al*., 2022).

سیست‌های آرتمیا پس از مرحله کپسول‌زدایی و ضدعفونی، در آب دریا با شوری ۳۵ گرم بر لیتر، دمای ۲۸ درجه سانتی گراد و تحت هوادهی و نورپردازی مداوم، تفریخ شدند. ناپلیوس‌های تازه تفریخ‌شده، پس از رسیدن به مرحله رشدی Instar II که در آن تغذیه فعال دهانی آغاز می‌گردد (حدود ۸-۱۲ ساعت پس از تفریخ)، برداشت شدند. انتخاب این مرحله به‌منظور تضمین حداکثر کارایی در فرآیند زیست‌کپسوله‌سازی (bioencapsulation) صورت گرفت. ناپلیوس‌های جمع‌آوری‌شده به مدت ۱۲ ساعت در ظروف غنی‌سازی حاوی سوسپانسیون لیپوزوم تائورین با غلظت‌های ۰ (گروه شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر قرار داده شدند. پس از اتمام دوره غنی‌سازی، ناپلیوس‌ها به‌منظور حذف لیپوزوم‌های آزاد، سه مرتبه با آب دریای فیلترشده شستشو داده شدند. این پروتکل بر مبنای کارایی اثبات‌شده لیپوزوم‌ها در انتقال ترکیبات آب‌دوست به زئوپلانکتون‌ها طراحی شد(Hawkyard and Koch, 2016; Van Stappen *et al*., 2024).

این پژوهش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار برای هر تیمار به اجرا درآمد. در هر یک از مخازن فایبرگلاس ۶۰ لیتری، تعداد ۲۰۰ قطعه لارو مایسیس۳ (با تراکم اولیه ۳.۳ لارو بر لیتر) ذخیره‌سازی شد. دوره آزمایش از مرحله مایسیس ۳ تا پایان پست لارو ۵ به مدت هشت روز ادامه یافت. تغذیه لاروها چهار نوبت در روز و به‌صورت انحصاری با ناپلیوس‌های

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

آرتمیای غنی‌شده مطابق با هر تیمار، تا حد سیری ظاهری انجام پذیرفت (Huang *et al*., 2022; Van Stappen *et al*., 2024).

سنجش شاخص‌های رشد و بقا: در پایان دوره آزمایش، تعداد ۳۰ قطعه لارو به صورت تصادفی از هر واحد آزمایشی (تکرار) نمونه‌برداری شد تا شاخص‌های عملکرد رشد ارزیابی شوند. برای تعیین وزن خشک نهایی (میکروگرم بر لارو)، نمونه‌ها در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد تا دستیابی به وزن ثابت خشک شده و سپس با ترازوی دیجیتال با دقت بالا توزین شدند. طول کل بدن (میلی‌متر)، از نوک روستروم تا انتهای تلسون، با استفاده از استریومیکروسکوپ مجهز به میکرومتر چشمی اندازه‌گیری و ثبت گردید.

برای ارزیابی پایداری زیستی جمعیت در پایان دوره لاروی، نرخ بازماندگی (Survival Rate) بر اساس شمارش مستقیم و با بهره‌گیری از رابطه (۱) محاسبه گردید:

رابطه ۱: $SR(\%)=(N_f/N_i)\times 100$

در این رابطه N_f= تعداد نهایی لاروهای زنده در پایان دوره آزمایش و N_i= تعداد اولیه لاروهای ذخیره‌سازی شده در هر واحد آزمایشی می باشند.

جهت آنالیز بیوشیمیایی بدن در پایان دوره آزمایش، نمونه‌های تلفیقی شامل ۵۰ قطعه لارو از هر تکرار به صورت تصادفی جمع‌آوری گردید. این نمونه‌ها پس از شستشو با آب مقطر دیونیزه، بلافاصله منجمد شده و تا زمان انجام آنالیز در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

اندازه‌گیری محتوای پروتئین کل بر مبنای تعیین نیتروژن آلی به روش کجلدال (Sáez-Plaza et al., 2013) انجام شد. این فرآیند شامل سه مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون است ، که با استفاده از رابطه (۲) و (۳) محاسبه گردید:

محاسبه درصد نیتروژن کل (N) :

رابطه ۲: $N(\%) = ((V_s-V_b)\times M \times 1.4007)/W$

تبدیل نیتروژن به پروتئین خام (CP) :

رابطه ۳: $CP(\%) = N(\%) \times 6.25$

در این رابطه ها **Vs**: حجم اسید مصرفی جهت تیتراسیون نمونه (میلی‌لیتر)، **V_b**: حجم اسید مصرفی جهت تیتراسیون شاهد/بلانک (میلی‌لیتر)، **M**: مولاریته دقیق اسید استاندارد (HClیا H_2SO_4) و **W**: وزن دقیق نمونه خشک (گرم).

سنجش محتوای چربی خام بر اساس روش وزن‌سنجی (Gravimetric) و استخراج با حلال آلی (اتر نفت یا هگزان) طبق پروتکل Randall (2011) صورت پذیرفت. آنالیز کمی اسید آمینه تائورین با استفاده از سیستم کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) انجام شد. پروفایل اسیدهای چرب نمونه‌ها نیز پس از استخراج چربی کل و تهیه مشتقات متیل استر(FAME) ، با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی–طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) آنالیز شدند.(Hewavitharana, 2020)

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

داده‌های حاصل، پس از آزمون نرمال بودن توزیع (آزمون شاپیرو–ویلک) و همگنی واریانس‌ها (آزمون براون–فورسایت)، با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها در صورت وجود اختلاف معنی‌دار، با بهره‌گیری از پس‌آزمون توکی انجام شد. به‌منظور تعیین سطح بهینه تائورین لیپوزومی در جیره، از مدل رگرسیون چندجمله‌ای درجه دوم استفاده گردید و نقطه بهینه از طریق مشتق‌گیری و یافتن نقطه ایستایی منحنی برآورد شد (Chen and Chen, 2025). کلیه تحلیل‌های آماری در سطح معنی‌داری P<۰/۰۵ اجرا شدند و اندازه اثر ($\eta 2$) به همراه بازه اطمینان ۹۵٪ برای متغیرهای کلیدی گزارش گردید (Lakens, 2013).

نتایج

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که غنی‌سازی آرتمیا با لیپوزوم‌های حاوی تائورین، تأثیر معنی‌داری بر افزایش وزن خشک و طول کل بدن لاروهای میگوی وانامی (*L. vannamei*) داشت (p<۰/۰۵) .تجزیه و تحلیل داده‌ها حاکی از آن بود که بیشترین میزان وزن خشک (۴/۸ ± ۱۶۳/۲ µ g/ind) در تیمار حاوی ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تائورین مشاهده گردید که در مقایسه با گروه شاهد (۳/۵ ± ۱۱۸/۶ µ g/ind) ، افزایشی معادل ۳۷/۶ درصد را نشان داد. همچنین، طول کل بدن در لاروهای تغذیه‌شده با دوزهای ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تائورین، به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها بود (جدول ۱).

نرخ بقاء لاروها نیز تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی بهبود یافت (p<۰/۰۵). بالاترین نرخ بقاء (۲/۱ ± ۸۴/۷ درصد) در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین آن (۲/۸ ± ۶۹/۲ درصد) در گروه شاهد به ثبت رسید. شایان ذکر است که در دوز ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، کاهش نسبی در شاخص‌های رشد و بقاء در مقایسه با دوز ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد که این امر، بیانگر وجود یک دامنه بهینه برای مکمل‌سازی تائورین است.

جدول ۱. شاخص‌های رشد و نرخ بقاء لاروهای میگوی وانامی (*L. vannamei*) تغذیه‌شده با آرتمیای غنی‌شده با دوزهای مختلف لیپوزوم تائورین طی یک دوره ۸ روزه (از مرحله M3 تا PL5) (Mean±SD) (n =۳)

دوز تائورین($mg\ L^{-1}$)	وزن خشک($\mu g\ ind^{-1}$)	طول کل(mm)	نرخ بقاء(%)
۰ (شاهد)	۱۱۸/۶ ± ۳/۵ ^{d}	۴/۲۴ ± ۰/۰۶ ^{c}	۶۹/۲ ± ۲/۸ ^{b}
۱۰۰	۱۳۳/۱ ± ۰/۴ ^{c}	۴/۴۲ ± ۰/۰۷ ^{c}	۷۵/۱ ± ۲/۲ ^{b}
۲۰۰	۱۵۱/۰ ± ۴/۱ ^{b}	۴/۷۱ ± ۰/۰۸ ^{b}	۸۱/۲ ± ۲/۰ ^{ab}
۴۰۰	۱۶۳/۲ ± ۴/۸ ^{a}	۴/۸۹ ± ۰/۰۹ ^{a}	۸۴/۷ ± ۲/۱ ^{a}
۶۰۰	۱۵۶/۴ ± ۴/۵ ^{a}	۴/۷۶ ± ۰/۰۸ ^{ab}	۷۹/۶ ± ۲/۳ ^{ab}

*حروف بزرگ متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار است (p<۰/۰۵).

بررسی ترکیبات شیمیایی بدن لاروها نشان داد که میزان پروتئین خام و تائورین در تیمارهای غنی‌شده با لیپوزوم تائورین، به طور معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد بود(p<۰/۰۵). در مقابل، تفاوت معنی‌داری در میزان چربی کل بین تیمارهای مختلف مشاهده

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

نگردید($p>۰/۰۵$) ، هرچند روند کاهشی ملایمی در سطوح بالاتر تائورین قابل تشخیص بود (جدول ۲). بیشترین مقادیر پروتئین خام (۱/۳ ± ۶۵/۲ درصد وزن خشک) و تائورین(mg/g وزن خشک ۰/۵ ± ۱۴/۸) در لاروهای تغذیه شده با دوز ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تائورین ثبت شد.

جدول ۲. ترکیب شیمیایی لاشه لاروهای *L. vannamei* (درصد بر پایه ماده خشک) تحت تیمارهای مختلف لیپوزوم تائورین (Mean±SD) (n =۳)

دوز تائورین($mg\ L^{-1}$)	پروتئین خام(% DW)	چربی کل(% DW)	تائورین($mg\ g^{-1}$ DW)
۰ (شاهد)	۶۱/۴ ± ۱/۲ ^{c}	۹/۴ ± ۰/۳ ^{a}	۸/۵ ± ۰/۴ ^{d}
۱۰۰	۶۲/۸ ± ۱/۱ ^{bc}	۹/۲ ± ۰/۴ ^{a}	۱۰/۹ ± ۰/۴ ^{c}
۲۰۰	۶۴/۱ ± ۱/۲ ^{ab}	۹/۱ ± ۰/۳ ^{a}	۱۳/۶ ± ۰/۵ ^{b}
۴۰۰	۶۵/۲ ± ۱/۳ ^{a}	۹/۰ ± ۰/۴ ^{a}	۱۴/۸ ± ۰/۵ ^{a}
۶۰۰	۶۴/۸ ± ۱/۰ ^{a}	۹/۱ ± ۰/۳ ^{a}	۱۴/۵ ± ۰/۶ ^{a}

*حروف بزرگ متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار است ($p<۰/۰۵$).

نتایج تحلیل پروفایل اسیدهای چرب نشان داد که درصد اسیدهای چرب غیراشباع با زنجیره بلند(LC-PUFA) ، به‌ویژه دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) و ایکوزاپنتانوئیک اسید(EPA) ، در لاروهایی که با آرتمیای غنی‌شده تغذیه شدند، افزایش معنی‌داری یافت ($P<۰/۰۵$). تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بالاترین مقادیر DHA (۰/۳ ± ۸/۴) و EPA (۰/۲ ± ۶/۷) درصد از کل اسیدهای چرب را به خود اختصاص داد (جدول ۳). این یافته‌ها نشان می‌دهد که غنی‌سازی با لیپوزوم‌های تائورین، علاوه بر شاخص‌های رشد، بر بهبود پروفایل لیپیدی بدن لاروها نیز تأثیر مثبت دارد.

جدول ۳. پروفایل اسیدهای چرب اصلی (٪) در لاشه لاروهای *L. vannamei* تحت تیمارهای مختلف لیپوزوم تائورین (Mean±SD) (n =۳

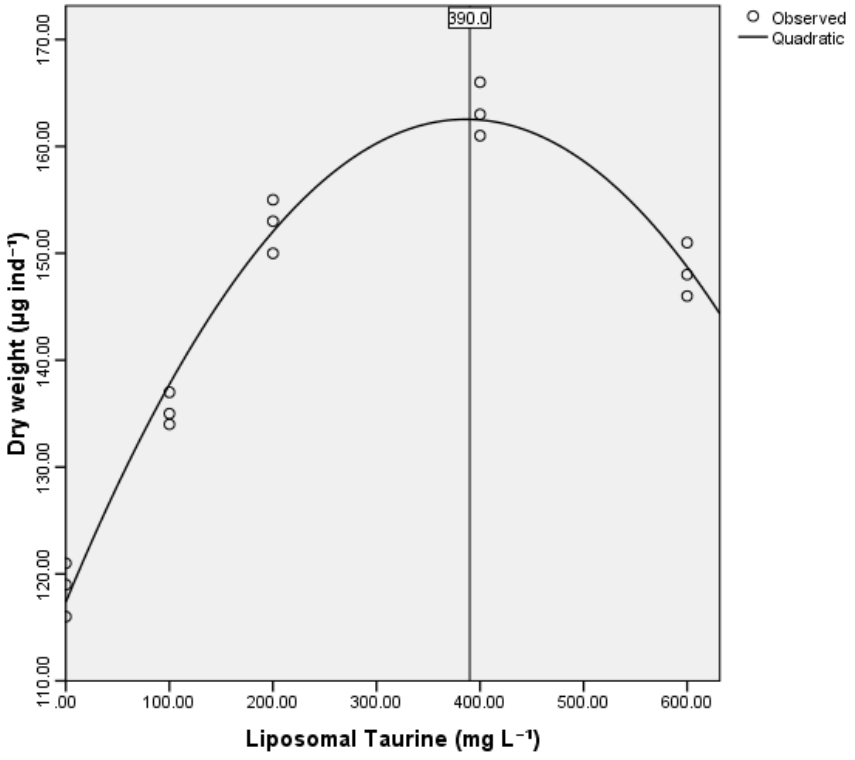
دوز تائورین ($mg\ L^{-1}$) / اسید چرب	۰ (شاهد)	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰
14:0 (Myristic)	۲/۱ ± ۰/۱^{a}	۲/۰ ± ۰/۱^{a}	۱/۹ ± ۰/۱^{a}	۱/۸ ± ۰/۱^{a}	۱/۹ ± ۰/۱^{a}
16:0 (Palmitic)	۱۷/۵ ± ۰/۵^{a}	۱۷/۰ ± ۰/۵^{a}	۱۶/۷ ± ۰/۵^{a}	۱۶/۳ ± ۰/۴^{a}	۱۶/۵ ± ۰/۴^{a}
18:0 (Stearic)	۶/۸ ± ۰/۲^{a}	۶/۶ ± ۰/۲^{a}	۶/۴ ± ۰/۲^{a}	۶/۲ ± ۰/۲^{a}	۶/۳ ± ۰/۲^{a}
ΣSFA	۲۶/۴ ± ۰/۶^{a}	۲۵/۶ ± ۰/۵^{a}	۲۵/۰ ± ۰/۶^{a}	۲۴/۳ ± ۰/۵^{a}	۲۴/۷ ± ۰/۶^{a}
16:1n-7 (Palmitoleic)	۴/۳ ± ۰/۲^{a}	۴/۵ ± ۰/۲^{a}	۴/۶ ± ۰/۲^{a}	۴/۷ ± ۰/۲^{a}	۴/۶ ± ۰/۲^{a}
18:1n-9 (Oleic)	۹/۶ ± ۰/۳^{a}	۹/۸ ± ۰/۳^{a}	۱۰/۰ ± ۰/۳^{a}	۱۰/۲ ± ۰/۳^{a}	۱۰/۱ ± ۰/۳^{a}
ΣMUFA	۱۴/۱ ± ۰/۴^{a}	۱۴/۳ ± ۰/۳^{a}	۱۴/۶ ± ۰/۴^{a}	۱۴/۹ ± ۰/۳^{a}	۱۴/۷ ± ۰/۴^{a}
18:2n-6 (LA)	۴/۲ ± ۰/۲^{a}	۴/۱ ± ۰/۲^{a}	۴/۰ ± ۰/۲^{a}	۳/۹ ± ۰/۲^{a}	۴/۰ ± ۰/۲^{a}
20:4n-6 (ARA)	۲/۳ ± ۰/۱^{a}	۲/۲ ± ۰/۱^{a}	۲/۱ ± ۰/۱^{a}	۲/۱ ± ۰/۱^{a}	۲/۲ ± ۰/۱^{a}

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

Σn-6 PUFA	۶/۵ ± ۰/۲^{a}	۶/۳ ± ۰/۲^{a}	۶/۱ ± ۰/۲^{a}	۶/۰ ± ۰/۲^{a}	۶/۲ ± ۰/۲^{a}
18:3n-3 (ALA)	۱/۰ ± ۰/۱^{b}	۱/۱ ± ۰/۱^{b}	۱/۲ ± ۰/۱^{ab}	۱/۳ ± ۰/۱^{a}	۱/۲ ± ۰/۱^{ab}
20:5n-3 (EPA)	۵/۰ ± ۰/۲^{c}	۵/۵ ± ۰/۲^{bc}	۶/۲ ± ۰/۲^{ab}	۶/۷ ± ۰/۲^{a}	۶/۴ ± ۰/۲^{a}
22:6n-3 (DHA)	۶/۲ ± ۰/۳^{c}	۶/۸ ± ۰/۳^{bc}	۷/۷ ± ۰/۳^{ab}	۸/۴ ± ۰/۳^{a}	۸/۰ ± ۰/۳^{a}
Σn-3 PUFA	۱۲/۱ ± ۰/۴^{c}	۱۲/۹ ± ۰/۳^{bc}	۱۴/۲ ± ۰/۴^{ab}	۱۵/۱ ± ۰/۵^{a}	۱۴/۷ ± ۰/۴^{a}
ΣPUFA	۱۸/۶ ± ۰/۵^{c}	۱۹/۲ ± ۰/۴^{bc}	۲۰/۳ ± ۰/۴^{ab}	۲۱/۱ ± ۰/۵^{a}	۲۰/۹ ± ۰/۵^{a}
n-3/n-6 ratio	۱/۸۶ ± ۰/۰۵^{c}	۲/۰۵ ± ۰/۰۵^{bc}	۲/۳۳ ± ۰/۰۶^{ab}	۲/۵۲ ± ۰/۰۷^{a}	۲/۳۷ ± ۰/۰۶^{a}

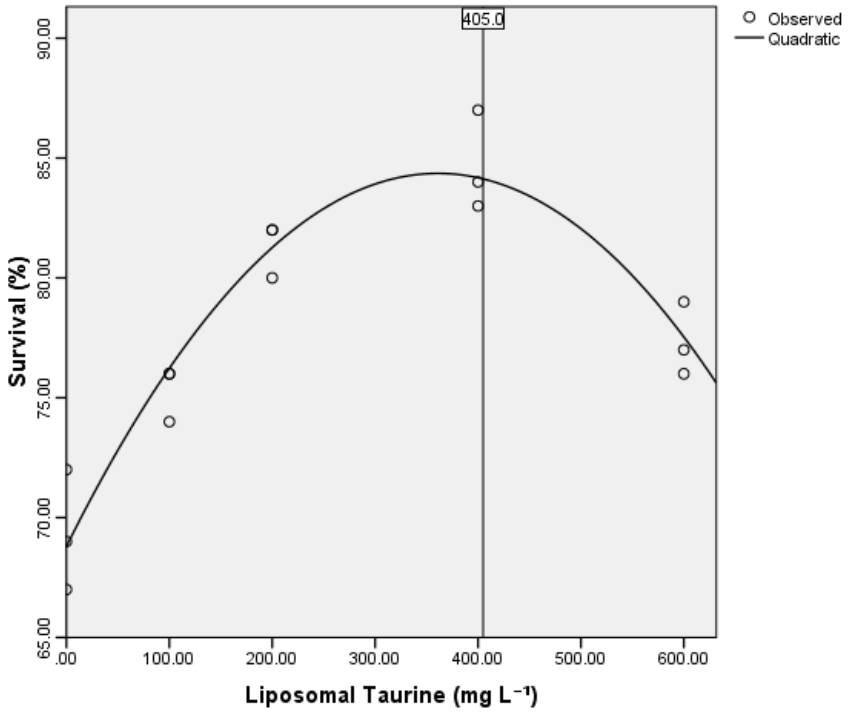
*حروف بزرگ متفاوت در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی دار است (p<۰/۰۵).

به منظور تعیین سطح بهینه تائورین در جیره غذایی، از مدل رگرسیون سهمی درجه‌دوم استفاده شد. نتایج تحلیل، ارتباط سهمی و معنی‌دار میان سطح لیپوزوم تائورین و شاخص‌های وزن خشک و بقاء را تأیید کرد(p<۰/۰۱). بر اساس این مدل، سطح بهینه تائورین برای دستیابی به حداکثر وزن خشک، ۳۹۰ میلی‌گرم بر لیتر (R^2 =۰/۸۸)(شکل ۱) ، و برای کسب بالاترین نرخ بقاء، ۴۰۵ میلی‌گرم بر لیتر (R^2 = ۰/۹۱) (شکل ۲)، برآورد گردید. این یافته‌ها نشان می‌دهد که دامنه غلظتی ۳۹۰ تا ۴۰۵ میلی‌گرم بر لیتر تائورین، می‌تواند به عنوان ناحیه بهینه برای حداکثرسازی هم‌زمان رشد و بقای لاروها در نظر گرفته شود. کاهش عملکرد مشاهده‌شده در دوز ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیز با الگوی پس از اوج این مدل رگرسیونی مطابقت دارد.



شکل ۱. رابطه رگرسیونی سهمی درجه دوم بین غلظت تائورین لیپوزومی و میانگین وزن خشک نهایی لاروهای میگوی وانامی (*L. vannamei*).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]



شکل ۲. رابطه رگرسیونی سهمی درجه دوم بین غلظت تائورین لیپوزومی و نرخ بقای لاروهای میگوی وانامی (*L. vannamei*)

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که غنی‌سازی آرتمیا با لیپوزوم‌های حاوی تائورین، شاخص‌های رشد، نرخ بقا و کیفیت لاشه لارو میگوی سفید غربی (*L. vannamei*) را در بازه زمانی حساس M3 تا PL5 به شکل معنی‌داری بهبود می‌بخشد. در این میان، غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، مطلوب‌ترین پاسخ‌های زیستی را به همراه داشت. این یافته‌ها با مجموعه مستندات علمی پیشین که تائورین را به عنوان یک ریزمغذی کلیدی و اسید آمینه الزاما ضروری برای آبزیان، به‌ویژه در مراحل اولیه تکامل، معرفی می‌کنند، هم‌خوانی دارد(Salze and Davis, 2015; Shi *et al*., 2023; To and Liou, 2021).

تائورین، به عنوان یک اسید آمینه گوگرددار با عملکردهای فیزیولوژیک چندگانه، در تنظیم اسمزی، حفظ پایداری غشای سلولی، تعدیل انتقال یون‌ها و ایفای نقش‌های شبه‌نوروترانسمیتری و نورومدولاتوری مشارکت دارد. شواهد علمی نشان می‌دهد که این ترکیب از طریق بهبود بهره‌وری انرژی، افزایش جذب اسیدهای آمینه، تسهیل سنتز پروتئین و ارتقاء کارایی گوارش، فرایند رشد را تسریع می‌کند. هم‌زمان، تائورین با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) و کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن(ROS) ، ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانی را تقویت می‌نماید؛ این سازوکارها در مراحل لاروی که اندام‌هایی نظیر دستگاه عصبی–بینایی و سایر بافت‌ها در حال تکوین هستند، از اهمیت حیاتی برخوردار است (Salze and Davis, 2015; Shen *et al*., 2019; Liu *et al*., 2022). بر همین اساس، افزایش وزن خشک، طول کل و نرخ بقای مشاهده‌شده در تیمارهای غنی‌شده با تائورین در این تحقیق، با این مکانیسم‌های فیزیولوژیک قابل تبیین است.

یکی از چالش‌های اصلی در مکمل‌سازی با تائورین، حلالیت بالای آن در آب و استهلاک سریع (آب‌شویی) در محیط کشت است. استفاده از حامل‌های لیپوزومی، که دارای ساختار دو لایه فسفولیپیدی هستند، راهکاری مؤثر برای محافظت از ترکیبات آب‌دوست، کنترل رهایش آن‌ها و افزایش زیست‌فراهمی محسوب می‌شود. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که غنی‌سازی غذای زنده (روتیفر

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

و آرتمیا) با تائورین محصور شده در لیپوزوم، در مقایسه با افزودن تائورین آزاد به محیط، به سطوح بالاتر این ترکیب در بدن موجود زنده و در نهایت، به عملکرد بهتر لاروها منجر می‌شود .(Hawkyard *et al*., 2015; Hawkyard *et al*., 2016) مزیت‌های فنی لیپوزوم‌ها به عنوان یک سامانه نوین دارورسانی، شامل پایداری بالا، رهایش هدفمند و کنترل‌شده، در متون علمی به اثبات رسیده است .(Liu *et al*., 2022; Lombardo and Kiselev, 2022) این شواهد، برتری عملکردی تیمارهای لیپوزومی را نسبت به گروه شاهد در مطالعه حاضر توجیه می‌کند.

افزایش میزان پروتئین خام و غلظت تائورین در کل بدن لاروهای تیمارهای غنی‌شده، با نقش شناخته‌شده این اسید آمینه در بهبود کارایی مصرف پروتئین مطابقت دارد. بهبود پروفایل اسیدهای چرب بلندزنجیره غیراشباع(LC-PUFAs) ، به‌ویژه دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) و ایکوزاپنتانوئیک اسید(EPA) ، نیز از دیگر نتایج قابل توجه بود که می‌توان آن را به چند سازوکار مرتبط دانست: نخست، تائورین از طریق پیوندشدن با اسیدهای صفراوی ، به بهبود فرایند امولسیون و جذب لیپیدها و در نتیجه، افزایش بازجذبLC-PUFA ها کمک می‌کند. دوم، خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن با مهار پراکسیداسیون لیپیدی، به حفظ و پایداری این اسیدهای چرب حساس در بدن یاری می‌رساند. سوم، ساختار فسفولیپیدی خود لیپوزوم (عمدتاً فسفاتیدیل‌کولین) نیز می‌تواند به طور مستقل جذب و انتقال لیپیدها را در دستگاه گوارش لارو تسهیل نماید (Salze and Davis, 2015). بنابراین، ارتقای پروفایل لیپیدی مشاهده‌شده، حاصل بهبود توأمان هضم، جذب و کاهش استرس اکسیداتیو است.

تحلیل رگرسیون چندجمله‌ای درجه دوم، یک الگوی پاسخ به دوز به شکل سهمی معکوس را آشکار ساخت که بر اساس آن، غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به عنوان سطح بهینه برای شاخص‌های رشد و بقا تعیین گردید. این الگو با یافته‌های متعدد در حوزه تغذیه آبزیان که یک محدوده بهینه برای تائورین (وابسته به گونه، مرحله تکاملی و فرمولاسیون جیره) را گزارش کرده‌اند، هم‌سو است. افزایش دوز مکمل از سطح کمبود به کفایت، پاسخ فیزیولوژیک را بهبود می‌بخشد، اما استفاده بیش از حد آن ممکن است فاقد مزیت اضافی بوده و حتی به عنوان یک بار متابولیک عمل کند .(Salze and Davis, 2015) از منظر روش‌شناختی، به‌کارگیری مدل‌های رگرسیون چندجمله‌ای برای برآورد نقطه بهینه، یک رویکرد استاندارد و توصیه‌شده در مطالعات تعیین نیازمندی‌های تغذیه‌ای آبزیان است (Chen and Chen, 2025).

افزایش نرخ بقا در تیمارهای تحت غنی‌سازی، احتمالاً ناشی از اثرات ترکیبی تغذیه‌ای و ایمنی‌زایی تائورین است. این ترکیب با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهشROS ، به تقویت سیستم ایمنی ذاتی و تعدیل پاسخ‌های التهابی کمک می‌کند. مطالعات پیشین بر روی میگوی *L. vannamei* نیز نشان داده‌اند که مکمل‌سازی با تائورین، علاوه بر رشد، به بهبود سلامت روده، ارتقاء شاخص‌های ایمنی و افزایش مقاومت در برابر تنش شوری پایین منجر می‌شود (Liu *et al*., 2022; Shi *et al*., 2023; Wang *et al*., 2025). این مستندات، مبانی بیولوژیک افزایش بقای مشاهده‌شده در این پژوهش را تقویت می‌کنند.

از منظر کاربردی، بهبود رشد و بقا در مراحل حساس لاروی در کارگاه‌های تکثیر میگو، به کاهش نرخ تلفات اولیه، تولید پست‌لارو با کیفیت بالاتر و در نهایت، افزایش سودآوری اقتصادی منجر خواهد شد. از آنجا که بخش قابل توجهی از هزینه‌های تولید در صنعت آبزی‌پروری به خوراک و ضریب تبدیل آن اختصاص دارد، راهبردهای تغذیه‌ای نوین مبتنی بر فناوری‌های رهایش کنترل‌شده که بازده زیستی مکمل‌ها را افزایش می‌دهند، پتانسیل بالایی برای بهبود شاخص‌های اقتصادی تولید دارند (Abate *et al*., 2016; Villarreal, 2023).

با وجود نتایج مطلوب، این پژوهش دارای محدودیت‌هایی نیز بود. آزمایش در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی و در یک دوره زمانی کوتاه (M3–PL5) انجام شد. لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، ارزیابی‌های بلندمدت تا پایان دوره نرسری و پرورش، سنجش مستقیم بیومارکرهای مرتبط با استرس اکسیداتیو(مانندMDA) و پاسخ ایمنی (مانند فعالیت فنول‌اکسیداز) و همچنین تحلیل جامع اقتصادی طرح انجام پذیرد. افزون بر این، برای تفکیک اثرات تائورین از فسفولیپیدهای تشکیل‌دهنده پوسته لیپوزوم،

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

طراحی تیمارهای شاهد اضافی شامل لیپوزوم‌های خالی (بدون تائورین) و مقایسه آن با تیمار حاوی تائورین آزاد ضروری به نظر می‌رسد(Monroig *et al*., 2007; Hawkyard *et al*., 2015).

نتیجه گیری

غنی‌سازی آرتمیا با استفاده از تائورین محصور شده در لیپوزوم طی دوره لاروی M3 تا PL5 ، یک راهکار مؤثر برای بهبود شاخص‌های رشد، نرخ بقا و کیفیت بیوشیمیایی لاشه لاروهای میگوی *L. vannamei* محسوب می‌شود. بر اساس نتایج این مطالعه، غلظت بهینه تائورین حدود ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برآورد گردید. به‌کارگیری حامل‌های لیپوزومی با کاهش هدررفت مکمل و افزایش زیست‌فراهمی آن، می‌تواند به عنوان مبنایی برای توسعه پروتکل‌های کارآمد غنی‌سازی غذای زنده در صنعت تکثیر میگو مورد توجه قرار گیرد.

حامی مالی

نویسندگان بدین‌وسیله از پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور برای فراهم سازی زیرساخت‌ها و پشتیبانی فنی و نیز پرسنل محترم آزمایشگاه سنجش دستگاهی به ویژه در سنجش‌های HPLC و GC–MS برای همراهی دقیق در اندازه‌گیری تائورین و پروفایل اسیدهای چرب در اجرای این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از همکاری ارزشمند کارگاه تکثیر و پرورش سندرف (جاسک) در تأمین لاروها و هماهنگی‌های اجرایی قدردانی می‌شود.

References

Abate, T.G., Nielsen, R. and Tveterås, R., 2016. Cost-effectiveness analysis of live feed used in larval rearing of turbot. *Aquaculture Nutrition*, 22, pp. 425–434. https://doi.org/10.1111/anu.12307.

Asmild, M., Hukom, V., Nielsen, R. and Nielsen, M., 2024. 'Is economies of scale driving the development in shrimp farming from Penaeus monodon to *Litopenaeus vannamei*? The case of Indonesia', *Aquaculture*, 579, p. 740178. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740178.

Bahrehmand Namaghi, B., Hedayati, M., Fakhari, S. and Heydari, R., 2021. Green-vortex-assisted DLLME coupled to HPLC for taurine in energy drinks. *Analytical Methods,* 13, pp. 200–209. https://doi.org/10.1039/D0AY01972D.

Chen, H.Y. and Chen, C., 2025. Importance of Using Modern Regression Analysis for Response Surface Models in Science and Technology. *Applied Sciences,* 15(13), p. 7206. https://doi.org/10.3390/app15137206.

Chen, R. and Chen, J., 2025. Response surface methodology in aquaculture nutrition: An overview. *Aquaculture Journal*, 3(2), p. 14. https://doi.org/10.3390/aquacj3020014.

Cho, J.H., Kim, J.H., Park, J.W. and Baek, H.J., 2022. 'A preliminary study on the effects of taurine-enriched rotifers on the growth and survival of the small yellow croaker *Larimichthys polyactis* larvae', *Animals*, 12(11), p. 1403. https://doi.org/10.3390/ani12111403.

Danaei, M., Dehghankhold, M., Ataei, S., Hasanzadeh Davarani, F., Javanmard, R., Dokhani, A., Khorasani, S., and Mozafari, M. R., 2018. Impact of Particle Size and Polydispersity Index on the Clinical Applications of Lipidic Nanocarrier Systems. *Pharmaceutics*, 10(2), p. 57. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics10020057.

Garlock, T. M., Asche, F., Anderson, J. L., Eggert, H., Anderson, T. M., Che, B., Chávez, C. A., Chu, J., Chukwuone, N., Dey, M. M., Fitzsimmons, K., Flores, J., Guillen, J., Kumar, G., Liu, L., Llorente, I., Nguyen, L., Nielsen, R., Pincinato, R. B. M., … Tveteras, R., 2024. Environmental, economic,

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

and social sustainability in aquaculture: the aquaculture performance indicators. *Nature Communications*, 15(1). https://doi.org/10.1038/s41467-024-49556-8

Hansen, B.W. and Møller, S., 2021. 'A bibliometric survey of live feed for marine finfish larvae production', *Aquaculture Research*, 52(11), pp. 5124–5135. https://doi.org/10.1111/are.15460.

Hawkyard, M. and Koch, J.F., 2016. The use of liposomes to enrich rotifers and Artemia with amino acids (taurine, leucine). *Aquaculture Nutrition,* 22, pp. 1130–1140. https://doi.org/10.1111/anu.12317.

Hawkyard, M., Laurel, B., Barr, Y., Hamre, K. and Langdon, C., 2015. Evaluation of liposomes for the enrichment of rotifers (*Brachionus* sp.) with taurine and their subsequent effects on larval northern rock sole. *Aquaculture*, 441, pp. 118–125. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.012.

Hawkyard, M., Stuart, K., Langdon, C. and Drawbridge, M., 2016. The enrichment of rotifers (*Brachionus plicatilis*) and *Artemia franciscana* with taurine liposomes and effects on California yellowtail larvae. *Aquaculture Nutrition*, 22, pp. 273–285. https://doi.org/10.1111/anu.12317.

Hawkyard, M.M., Lynam, M.M., Varga, Z.M. and Langdon, C.J., 2025. 'Use of liposome-enriched rotifers to estimate the optimal taurine concentration for feeding larval Seriola dorsalis', *Aquaculture International*. https://doi.org/10.1007/s10499-025-02112-7.

Hewavitharana, A.K., 2020. A review of extraction of fats from food and FAMEs preparation for GC-MS. *Arabian Journal of Chemistry,* 13(8), pp. 6865–6875. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.039.

Huang, H., Zeng, C. and Southgate, P.C., 2022. Live feeds in aquaculture: recent advances and future prospects. *Frontiers in Marine Science,* 9, p. 864165. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.864165.

Lakens, D., 2013. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science. *Frontiers in Psychology,* 4, 863. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863.

Large, D.E., Abdelmessih, R.G., Fink, E.A. and Auguste, D.T., 2021. 'Liposome composition in drug delivery: design, synthesis, characterization, and clinical application', *Advanced Drug Delivery Reviews*, 176, p. 113851. https://doi.org/10.1016/j.addr.2021.113851.

Lin, Y.C. and Chen, J.C., 2001. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* juveniles at different salinity levels. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,* 259(1), pp. 109–119. https://doi.org/10.1016/S0022-0981(01)00227-1.

Liu, P., Chen, G. and Zhang, J., 2022. A review of liposomes as a drug delivery system: Current status of approved products, regulatory environments, and future perspectives. *Molecules*, 27, p. 1372. https://doi.org/10.3390/molecules27041372.

Lombardo, D. and Kiselev, M.A., 2022. Methods of Liposomes Preparation: Formation and Control of Size and Structure. *Pharmaceutics,* 14(3), p. 543. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14030543.

Monroig, Ó., Navarro, J.C., Amat, F. and Hontoria, F., 2007. Enrichment of *Artemia* nauplii in vitamin A, vitamin C and methionine using liposomes. *Aquaculture*, 269, pp. 504–513. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.02.056.

Özkızılcık, S. and Chu, F.L.E., 1994. Uptake and metabolism of liposomes by *Artemia* nauplii. *Aquaculture,* 119(2–3), pp. 141–153. https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90108-2.

Pattni, B.S., Chupin, V.V. and Torchilin, V.P., 2015. 'New developments in liposomal drug delivery', *Chemical Reviews*, 115(19), pp. 10938–10966. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00046.

Randall, E.L., 2011. Soxhlet extraction: past and present. *Analytical Methods,* 3, pp. 1523–1531. https://doi.org/10.1039/C0AY00569J.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

Riccardi, D., Baldino, L., and Reverchon, E., 2024. Liposomes, transfersomes and niosomes: production methods and their applications in the vaccinal field. *Journal of Translational Medicine*, 22(1). https://doi.org/10.1186/s12967-024-05160-4

Sáez-Plaza, P., Navas, M.J., Wybraniec, S., Michałowski, T. and Asuero, A.G., 2013. An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. *Talanta,* 112, pp. 85–102. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.03.046.

Salze, G.P. and Davis, D.A., 2015. Taurine: a critical nutrient for future fish feeds. *Aquaculture*, 437,pp . 215–229. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.12.006.

Santini, A., Novellino, E. and Armini, V., 2022. Analytical determination of taurine in food and biological matrices: an overview. *Foods,* 11(5), p. 682. https://doi.org/10.3390/foods11050682.

Sha, H.N., Lu, Y.M., Zhan, P.P., Chen, J., Qiu, Q.-F. and Xiong, J.B., 2025. 'Beneficial effects of probiotics on *Litopenaeus vannamei* growth and immune function via the recruitment of gut Rhodobacteraceae symbionts', *Zoological Research*, 46(2), pp. 388–400. https://doi.org/10.24272/j.issn.2095-8137.2024.364.

Shen, G., Wang, S., Dong, J., Feng, J., Xu, J., Xia, F., Wang, X., and Ye, J., 2019. Metabolic Effect of Dietary Taurine Supplementation on Grouper (Epinephelus coioides): A 1H-NMR-Based Metabolomics Study. *Molecules*, 24(12), p. 2253. https://doi.org/10.3390/molecules24122253

Shi, M., Yao, X., Qu, K., Liu, Y., Tan, B., and Xie, S., 2023. Effects of taurine supplementation in low fishmeal diet on growth, immunity and intestinal health of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Reports*, 32, p. 101713. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101713

To, V.A. and Liou, C.H., 2021. Taurine supplementation enhances the replacement level of fishmeal by soybean concentrate in diets of juvenile Pacific white shrimp. *Aquaculture Research*, 52(8), pp. 3771–3784. https://doi.org/10.1111/are.15222.

Valencia-Castañeda, G., Frías-Espericueta, M.G., Vanegas-Pérez, R.C., Chávez-Sánchez, M.C. and Páez-Osuna, F., 2018. Acute toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to *Litopenaeus vannamei* postlarvae in low-salinity water. *Environmental Toxicology and Pharmacology,* 60, 212–219. https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.05.002.

Van Stappen, G., Sorgeloos, P. and Rombaut, G. (eds.), 2024. Manual on Artemia production and use. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 702. Rome: FAO. https://doi.org/10.4060/cd0313en.

Villarreal, H., 2023. Shrimp farming advances, challenges, and opportunities. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(5), pp. 1092–1095. Portico. https://doi.org/10.1111/jwas.13027

Wang, H., Du, X., Zou, J., Wang, M., Lei, Y., Zhang, B., Zhao, Y., Jiang, L., Chen, X., and Wang, Q., 2025. Taurine Supplementation Enhances the Resistance of *Litopenaeus vannamei* Postlarvae to Low-Salinity Stress. *Biology*, 14(8), p. 1082. https://doi.org/10.3390/biology14081082

Wang, Y., Wang, K., Huang, L., Dong, P., Wang, S., Chen, H., Lu, Z., Hou, D., and Zhang, D., 2020. Fine-scale succession patterns and assembly mechanisms of bacterial community of *Litopenaeus vannamei* larvae across the developmental cycle. *Microbiome*, 8(1). https://doi.org/10.1186/s40168-020-00879-w

Watson, A.M., Barrows, F.T. and Place, A.R., 2015. 'Leaching of taurine from commercial-type aquaculture feeds', *Aquaculture Research*, 46(6), pp. 1510–1517. https://doi.org/10.1111/are.12309.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]