Journal of Applied Microbiology in Food Industry (Volume 12 – Issue 1) … Pages 19 to 38

The combined effect of dielectric barrier discharge plasma and phycocyanin pigment on increasing the shelf life of rainbow trout fillets

Maedeh Alsadat Seyedalangi[1], Amirhossein Sari[1], **Bahareh Norouzi[2*]**, Seyed Amirali Anvar[3]

[1] Department of physics, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

[2] Department of Biology, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

[3] Department of food Hygine, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received Date:2025.10.24 Accepted Date:2025.11.22

Abstract

This study investigated the synergistic effects of dielectric barrier discharge (DBD) plasma combined with phycocyanin (PC) pigment on quality preservation of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fillets during refrigerated storage. The experimental design evaluated microbial, physicochemical, and antioxidant parameters over an 18-day period at 4°C, with all analyses conducted in triplicate to ensure statistical reliability. Results demonstrated that the combined DBD-PC treatment effectively suppressed psychrotrophic bacterial proliferation, showing significantly lower counts compared to control samples and individual treatments ($p<0.05$). DBD plasma alone exhibited remarkable efficacy in reducing trimethylamine formation, a key indicator of fish spoilage. The combined treatment displayed superior antioxidant performance, achieving 80% inhibition of ABTS radicals and significantly enhanced ferric reducing antioxidant power (FRAP). Quality assessment revealed that the DBD-PC combination maintained better texture and color stability throughout storage. These findings provide compelling evidence that the integrated application of non-thermal plasma technology with natural bioactive compounds can extend the shelf life of rainbow trout fillets beyond 15 days under refrigeration conditions, while preserving nutritional and sensory qualities. This innovative approach offers promising potential for sustainable seafood preservation with reduced reliance on chemical additives.

Keywords: Rainbow trout, phycocyanin pigment, dielectric barrier discharge plasma, Cold Plasma

* bahare77biol@gmail.com

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

The combined effect of dielectric barrier discharge plasma and phycocyanin pigment on increasing the shelf life of rainbow trout fillets

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Seafood, particularly rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), is highly valued for its nutritional richness, providing essential omega-3 fatty acids, high-quality proteins, and vitamins such as D and B12 that are beneficial for cardiovascular and neurological health. However, its rapid perishability due to microbial growth and oxidative deterioration presents a major challenge for storage and commercialization. In recent years, non-thermal plasma technology and natural antioxidants have emerged as sustainable and efficient preservation strategies. Dielectric barrier discharge (DBD) plasma is known for its strong antimicrobial potential through the generation of reactive oxygen and nitrogen species (RONS), such as ozone, hydroxyl radicals, and atomic oxygen. Meanwhile, phycocyanin (PC), a natural blue pigment derived from *Spirulina platensis*, possesses both antioxidant and antimicrobial properties due to its phenolic structure and electron-donating capacity. This study aimed to evaluate, for the first time, the synergistic effects of DBD plasma and PC on the microbial, physicochemical, and antioxidant stability of rainbow trout fillets stored at 4 °C for 18 days. Two voltage levels (70 and 80 kV) and two exposure durations (2 and 5 min) were tested, both individually and in combination with PC treatment, to determine their efficacy in extending shelf life and preserving quality.

Materials and Methods

Phycocyanin was extracted and purified from Spirulina platensis cultivated in Zarrouk medium for 30 days at 28 °C under continuous illumination. The purified pigment, with a concentration of 0.065 mg/mL and a maximum absorption peak at 621.9 nm, was stabilized using citric acid and stored at − 20 °C. Rainbow trout were filleted into 5 × 5 × 1 cm pieces and divided into control (C), PC-only (PC-P), plasma-only, and combined plasma + PC groups. Plasma treatment was conducted using a DBD system equipped with two 15 cm aluminum electrodes separated by a 3 mm glass dielectric and a 2 cm discharge gap. Fillets were exposed to 70 kV and 80 kV for 2 and 5 min (P70:2, P70:5, P80:2, and P80:5), both with and without PC. Samples were stored at 4 °C for 18 days and analyzed on days 1, 3, 6, 9, 12, 15, and 18. Microbiological analyses included total viable count (TVC), *Staphylococcus aureus* (CoPS), and *Lactobacillus* spp. counts expressed as log CFU/g. Physicochemical properties (pH, peroxide value – PV, and trimethylamine – TMA) and antioxidant assays (ABTS radical scavenging and ferric reducing antioxidant power – FRAP) were also determined. Statistical analysis was conducted using one-way ANOVA and Tukey's test at a 95% confidence level ($p < 0.05$)

Results and Discussion

The combination of DBD plasma and PC significantly reduced microbial proliferation and delayed chemical spoilage compared with the control. In untreated samples, TVC increased from 3.38 log CFU/g on day 1 to 9.69 log CFU/g on day 18, exceeding the spoilage limit (7 log CFU/g) by day 6. In contrast, the P80:5 + PC treatment maintained TVC below 7 log CFU/g until day 15 and reached only 7.55 log CFU/g at day 18, indicating a pronounced inhibitory effect. Similarly, *Staphylococcus aureus* counts reached 9.33 log CFU/g in control samples but only 7.09 log CFU/g in P80:5 + PC. *Lactobacillus* spp. growth was also markedly suppressed: while controls rose from 0.22 to 9.39 log CFU/g, the P80:5 + PC treatment reached just 7.88 log CFU/g. Physicochemical parameters further confirmed spoilage inhibition. The acidity of control samples increased from 0.13 to 0.24, whereas P80:5 + PC showed the lowest rise (0.13 → 0.19). Peroxide value (PV) rose to 0.55 in controls but remained at 0.38 in P80:5 + PC by day 18, indicating a strong retardation of lipid oxidation. Likewise, TMA accumulation, a marker of protein degradation, was significantly lower in treated fillets, with values of 33.69 mg N/100 g for P80:5 + PC compared with 53.76 mg N/100 g in controls. The antioxidant activity of the treated samples increased markedly, supporting the protective role of PC. FRAP values in control fillets decreased from 16.87 to 9.26 µmol Fe^{2+}/g over 18 days, while P80:5 + PC retained 20.57 µmol Fe^{2+}/g, indicating superior reducing power. Similarly, the ABTS radical scavenging activity, which rose with oxidative stress in controls (4.47 → 12.58 mmol Trolox eq./g), was significantly lower in the combined treatment (1.54 → 2.52 mmol Trolox eq./g), confirming enhanced antioxidant defense. These results demonstrate that the synergistic interaction between DBD plasma and PC effectively balanced microbial inactivation and oxidative stabilization. The improvement can be attributed to the generation of RONS by plasma, which disrupted microbial membranes and biofilms, while PC provided phenolic antioxidants that neutralized residual radicals, prevented protein denaturation, and preserved lipid integrity. The high voltage (80 kV) and prolonged exposure (5 min) amplified both plasma-induced RONS formation and pigment penetration, maximizing the antimicrobial and antioxidant outcomes. Compared to DBD or PC alone, the combined treatment extended the shelf life of trout fillets from 6 to 15 days at 4 °C without compromising sensory quality.

Conclusion

The synergistic combination of DBD plasma and phycocyanin pigment represents a promising, non-thermal, and

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

eco-friendly preservation strategy for seafood products. The treatment effectively inhibited microbial growth, reduced oxidative spoilage, and enhanced antioxidant capacity, leading to a substantial extension of rainbow trout fillet shelf life under refrigeration. Quantitatively, the combined P80:5 + PC treatment maintained TVC below the spoilage threshold for up to 15 days, reduced TMA formation by approximately 37%, and improved FRAP by over 120% compared to controls. These findings highlight the potential of integrating DBD plasma and natural antioxidants such as PC for sustainable food preservation, aligning with global trends toward clean-label and chemical-free technologies. Further studies may explore optimization for industrial scalability and the mechanistic interactions between plasma-generated species and pigment molecules to enhance the stability and safety of perishable aquatic products.

.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

اثر هم افزایی پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک و رنگدانه فیکوسیانین بر افزایش ماندگاری فیله های ماهی قزل الای رنگین کمان

مائده السادات سیدالنگی[۱]، امیرحسین ساری[۱]، **بهاره نوروزی[۲]***، سید امیرعلی انوار[۳]

[۱] گروه فیزیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۲] گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۳] گروه بهداشت مواد غذایی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش:۱۴۰۴/۰۹/۰۱

چکیده

این مطالعه به ارزیابی اثربخشی درمان پلاسمای تخلیه سد دی‌الکتریک (DBD) ترکیب‌شده با رنگدانه فیکوسیانین (PC) در افزایش مدت نگهداری فیله‌های ماهی قزل‌آلای رنگین کمان Oncorhynchus mykiss که در دمای یخچال نگهداری می‌شود، پرداخته است. ویژگی‌های میکروبیولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی در طول دوره نگهداری ۱۸ روزه ارزیابی شد. تمامی آزمایشات در سه دور تکرار شد و انحراف معیارها بدست آمد. درمان ترکیبی DBD و PC به طور قابل توجهی تعداد کل باکتری‌های سرمادوست را در مقایسه با سایر نمونه‌ها در طول نگهداری مهار کرد. درمان با DBD همچنین به‌طور قابل توجهی سطح تری متیل‌آمین را در مقایسه با نمونه های کنترل کاهش داد ($p<0.05$). PCو DBD به‌طور ترکیبی ظرفیت‌های رادیکال ABTS را ۸۰٪ مهار کرده و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهش آهن را در مقایسه با نمونه های کنترل افزایش دادند. بنابراین، استفاده ترکیبی از DBD و PC نویدبخش افزایش مدت زمان نگهداری فیله های ماهی قزل آلای رنگین کمان تا بیش از ۱۵ روز در دمای ۴°C و یا دمای یخچال است.

کلید واژه ها : پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک، رنگدانه فیکوسیانین، ماهی قزل الای رنگین کمان

* bahare77biol@gmail.com

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

مقدمه

از نظر تغذیه‌ای، غذاهای دریایی، به ویژه قزل‌آلای رنگین‌کمان (Oncorhynchus mykiss)، مواد مغذی اساسی از جمله اسیدهای چرب امگا-۳، پروتئین‌های باکیفیت و ویتامین‌هایی مانند ویتامین D و B12 را ارائه می‌دهد که برای سلامت قلب، عملکرد مغز و رفاه کلی مفید هستند(۱). انتخاب این گونه به سه دلیل اصلی صورت گرفت: اول، اهمیت اقتصادی و گستردگی پرورش این ماهی در سطح جهان است که آن را به یکی از گونه‌های آبزی پرورشی کلیدی تبدیل کرده است. دوم، ویژگی‌های تغذیه‌ای ممتاز آن، به ویژه محتوای بالای اسیدهای چرب غیراشباع با زنجیره بلند (PUFA) مانند اسید چرب امگا-۳ است که نقش بسزایی در سلامت انسان دارد. با این حال، وجود همین ترکیبات ارزشمند، این ماهی را در معرض فساد سریع قرار می‌دهد؛ فرآیندهای اکسیداسیون لیپیدها و فعالیت‌های میکروبی (مانند باکتری‌های سایکروتروفیک) به سرعت باعث کاهش کیفیت حسّی، تغییر رنگ و ایجاد بوی نامطلوب می‌گردند. بنابراین، قزل‌آلای رنگین‌کمان به عنوان یک نمونه ایده‌آل برای ارزیابی اثربخشی روش‌های نوین نگهداری و بسته‌بندی در جهت افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت عمل می‌کند(۲).

با اولویت دادن به تازگی، تأمین‌کنندگان و خرده‌فروشان نه تنها انتظارات مصرف‌کنندگان را در مورد غذاهای دریایی با کیفیت برآورده می‌کنند، بلکه انتخاب‌های سالم را که به یک رژیم غذایی مغذی کمک می‌کند، حمایت می‌کنند(۳).

افزایش عمر مفید برای برآورده کردن انتظارات مصرف‌کنندگان ضروری است و هدف آن جلوگیری از رشد میکروبی، کاهش خطر فساد و به حداقل رساندن آلودگی باکتریایی است. تکنیک‌های مدرن مانند درمان با پلاسما سرد و افزودن رنگ‌دانه‌های آنتی‌اکسیدان مزایای قابل‌توجهی نسبت به روش‌های سنتی حفظ مواد غذایی در دستیابی به این اهداف ارائه می‌دهند(۴).

پلاسما، که غالباً به عنوان چهارمین حالت ماده شناخته می‌شود، شامل گازی داغ و یونیزه‌شده است که تعداد تقریبی برابر از یون‌های مثبت و الکترون‌های آزاد را در خود دارد. پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک (DBD) نوعی پلاسما غیرحرارتی است. این نوع پلاسما به دلیل ویژگی‌های خاص خود در ایجاد تخلیه‌های کنترل‌شده و محلی، به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد(۵). پلاسماهای DBD به دلیل توانایی در تولید گونه‌های فعال، از جمله اکسیژن فعال، ازن، و رادیکال‌های هیدروکسیل، در کاربردهای مختلف بسیار مفید هستند(۶). این گونه‌های فعال می‌توانند در فرآیندهای استریلیزاسیون، تصفیه آب، و اصلاح سطح مواد استفاده شوند. به‌ویژه در فرآیندهای استریلیزاسیون، DBD به‌خاطر تولید اتم‌های اکسیژن فعال و اوزون که باکتری‌ها و ویروس‌ها را غیرفعال می‌کنند، بسیار مؤثر است(۷). این عمل ضد میکروبی نه تنها به استریل کردن مؤثر محصولات غذایی کمک می‌کند بلکه نقش مهمی در افزایش عمر مفید غذا نیز ایفا می‌کند(۸).

محدودیت‌های سخت‌گیرانه بر رنگ‌ها و افزودنی‌های سنتزی، که به دلیل نگرانی‌های بهداشتی ایجاد شده‌اند، تولیدکنندگان مواد غذایی را به جستجوی گزینه‌های طبیعی سوق داده است. در میان این گزینه‌ها، رنگدانه‌های فیکوسیانین (PC) استخراج شده از اسپیرولینا، که یک سیانوباکتری با فواید سلامتی متعدد است، توجه قابل توجهی را به‌عنوان یک گزینه امن و طبیعی جلب کرده‌اند(۹). استفاده از PC نه تنها الزامات مقرراتی را برآورده می‌کند بلکه تعهد صنعت به ارائه محصولات غذایی ایمن، با کیفیت بالا و به طور طبیعی محافظت‌شده را نیز نشان می‌دهد(۱۰). تحقیقات نشان داده است که PC می‌تواند به طور مؤثری عمر مفید محصولات غذایی، از جمله قزل‌آلا، را افزایش دهد. این امر

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

با روند گسترده‌تر به سمت روش‌های حفظ طبیعی در صنعت غذا هماهنگ است(۱۱).

ترکیب نوآورانه‌ی درمان DBD و PC برای فیله‌های قزل‌آلا یک روش پیشگامانه برای افزایش عمر مفید این محصولات است، با توجه به عدم وجود تحقیق قبلی در مورد اثرات ترکیبی آن‌ها. این روش نوآورانه پتانسیل آن را دارد که عمر مفید را به طور قابل توجهی طولانی‌تر کند، که به نوبه خود خسارات اقتصادی صنعت آبزی‌پروری را کاهش داده و فیله‌های قزل‌آلا را تازه‌تر و از نظر تغذیه‌ای غنی‌تر به مصرف‌کنندگان ارائه می‌دهد. پیامدهای این پیشرفت چندجانبه است، شامل منافع اقتصادی، پایداری محیط زیست و افزایش رضایت مصرف‌کننده که بهبود قابل توجهی در روش‌های حفظ مواد غذایی به حساب می‌آید.

مهم‌ترین چالش این روش، هزینه بالای سرمایه‌گذاری و نیاز به اخذ تأییدیه‌های نظارتی است. با این حال، فرصت اصلی، تولید محصولی با ماندگاری بیشتر و برچسب "تمیز" برای پاسخگویی به تقاضای بازار است.

هدف این مطالعه بررسی اثرات هم‌افزای درمان DBD با ولتاژهای درمان ۷۰ و ۸۰ کیلو ولت و زمان‌های درمان ۲ و ۵ دقیقه، با حضور و عدم حضور PC است. این مطالعه ویژگی‌های میکروبی و شیمیایی، ویژگی‌های حسی و خواص آنتی‌اکسیدانی قزل‌آلا را در طول یک دوره ۱۸ روزه ذخیره‌سازی در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) بررسی خواهد کرد.

مواد و روش ها

استخراج و خالص سازی PC از مواد افزودنی Spirulina cyanobacteria

کشت سیانوباکتری اسپیرولینا در محیط مایع زاروک و در دمای ۲۸ درجه سلسیوس با نور فلورسنت برای ۳۰ روز انجام شد. PC با استفاده از سانتریفوژ، شستشو و لیوفیلیزاسیون استخراج شد و در دمای ۲۰- درجه سلسیوس با اضافه کردن اسید سیتریک برای پایداری ذخیره گردید. خلوص و غلظت فیکوسیانین با استفاده از اسپکتروفتومتری و فرمول ۱ تعیین شد(۱۲). مقدار حداقل مهارکنندگی (MIC) استخراج شده علیه E. coli و Staphylococcus aureus هم به‌طور جداگانه و هم در حضور اسید سیتریک اندازه‌گیری شد(۱۱).

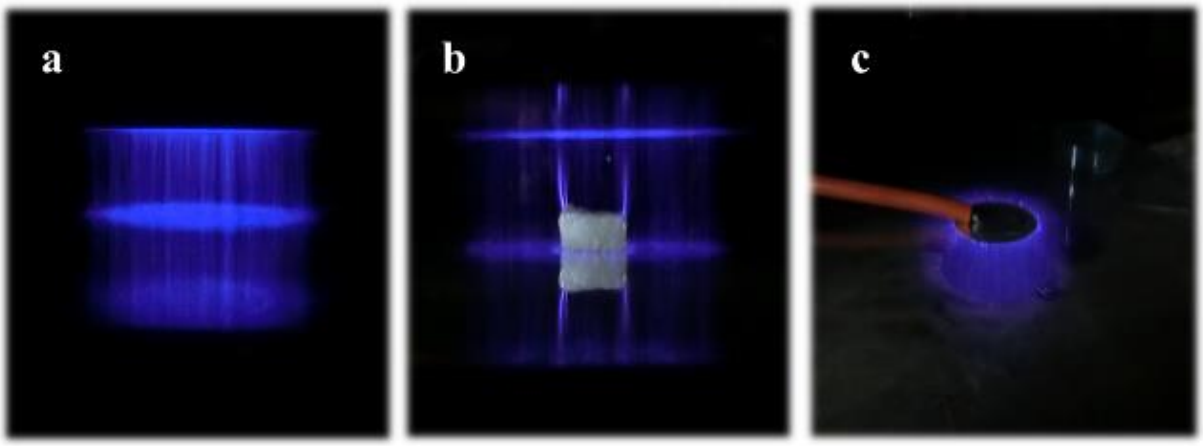
$$\text{خلوص PC} = \frac{A_{620}}{A_{280}} \qquad (1)$$

آماده سازی و درمان نمونه ها

ماهی های قزل‌آلا از بازار محلی تهیه و در آزمایشگاه فیله شدند. فیله ها به ابعاد ۵ سانتی‌متر × ۵ سانتی‌متر × ۱ سانتی‌متر برش داده شدند(۷). از میان آن‌ها، نیمی با PC پیش‌درمان شدند، سپس همه فیله ها در پتری دیش‌ها برای درمان با DBD قرار گرفتند. درمان با DBD در ولتاژ های ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و به مدت زمان مختلف، ۲ دقیقه و ۵ دقیقه، انجام شد. به‌طور کلی، ۱۰۰ فیله تحت شش شرایط درمانی مختلف قرار گرفتند: گروه کنترل بدون درمان DBDو PC را C، گروهی که فقط با PC درمان شد را PC-P، گروهی که با DBD به مدت ۲ دقیقه در ولتاژ ۷۰ کیلوولت و بدون PC درمان شد را P70:2-PC، گروهی که با DBD به مدت ۲ دقیقه در ولتاژ ۸۰ کیلوولت و بدون PC درمان شد را P80:2-PC، گروهی که با DBD به مدت ۵ دقیقه در ولتاژ ۷۰ کیلوولت و بدون PC درمان شد را P70:5-PC، گروهی که با DBD به مدت ۵ دقیقه در ولتاژ ۸۰ کیلوولت و بدون PC درمان شد را P80:5-PC، گروهی که با DBD به مدت ۲ دقیقه در ولتاژ ۷۰ کیلوولت در حضور PC درمان شد را P70:2+PC، گروهی که با DBD به مدت ۲ دقیقه در ولتاژ ۸۰ کیلوولت درحضور PC درمان شد را P80:2+PC، گروهی که با DBD به مدت ۵ دقیقه در ولتاژ ۷۰ کیلوولت درحضور PC درمان شد را P70:5+PC، گروهی که با DBD به مدت ۵ دقیقه در ولتاژ ۸۰ کیلوولت در حضور PC درمان شد را P80:5+PC، نامگذاری شده است

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

سیستم پلاسمای DBD شامل دو الکترود دایره‌ای از جنس آلومینیوم با قطر ۱۵ سانتی‌متر است که در آزمایشگاه ساخته شدند. یکی از الکترودها به منبع تغذیه ولتاژ بالا (HV) با فرکانس ۵۰ هرتز متصل است و به عنوان الکترود HV عمل می‌کند، در حالی که الکترود دیگر به زمین متصل است. الکترودها توسط یک دی‌الکتریک شیشه‌ای به ضخامت ۳ میلی‌متر از یکدیگر جدا شده و فاصله ثابت ۲ سانتی‌متر بین آن‌ها حفظ شد (شکل ۱). این فاصله در تمام آزمایشات ثابت باقی ماند.



شکل ۱. تشکیل پلاسمای DBD: (a) تشکیل پلاسما بین دو الکترود در نمای جانبی، (b) استفاده از درمان پلاسما برای فیله ماهی، و (c) نمای بالا که تشکیل پلاسما را نشان می‌دهد

پس از درمان، تمامی فیله ها در دمای ۴ درجه سلسیوس ذخیره شدند و طی یک دوره ۱۸ روزه در فواصل منظم (روزهای ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸) برای خواص میکروبیولوژیکی، شیمیایی، آنتی‌اکسیدانی و حسی ارزیابی شدند، و هر ارزیابی در سه تکرار انجام شد.

تجزیه و تحلیل های میکروبیولوژیکی

به منظور تعیین سرعت رشد میکروارگانیسم‌های فساد در محصولات غذایی، گروه‌های میکروبی خاصی تحلیل شدند. داده‌ها به صورت لگاریتم واحدهای کلنی در هر گرم (CFU/g)بیان شدند و میانگین‌ها و خطاهای استاندارد محاسبه گردیدند. شمارش باکتری‌های سرمادوست (TPC)با استفاده از روش پخش صفحه‌ای تعیین شد(۱۳). شمارش استافیلوکوکوس اورئوس کوآگولاز مثبت (CoPS)با استفاده از محیط کشت بائر-پارکر انجام شد(۱۴). شمارش باکتری‌های لاکتوباسیلوس (LB) با پیروی از پروتکل‌های تعیین شده به دست آمد(۱۵).

خواص فیزیکوشیمیایی

فیله‌های قزل‌آلا تحت ارزیابی‌های شیمیایی قرار گرفتند تا مقادیر اسیدیتهٔ(۱۶) ، عدد پروکساید(۱۷)(PV) ، و سطح‌های تری میتل امین(۱۸) (TMA) اندازه‌گیری شوند.

ارزیابی آنتی اکسیدانی

برای اندازه گیری ABTS ، ابتدا رادیکال‌های $ABTS^{\bullet+}$ در واکنش با محلول آنتی‌اکسیدان در غیاب نور تولید شدند و کاهش رنگ آن‌ها بر اساس تغییر جذب نور در طول موج مشخص اندازه‌گیری شد(۱۹). برای اندازه گیری FRAP ، ظرفیت اهداکنندگی الکترون آنتی‌اکسیدان‌ها با اندازه‌گیری تغییر رنگ محلول FRAP به دست امد(۲۰). میزان تغییر رنگ به‌عنوان شاخصی از قدرت آنتی‌اکسیدانی نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت.

تحلیل آماری

این مطالعه تأثیرات عوامل مختلف، از جمله مدت زمان و ولتاژ درمان با پلاسمای DBD در حضور و عدم حضور PC

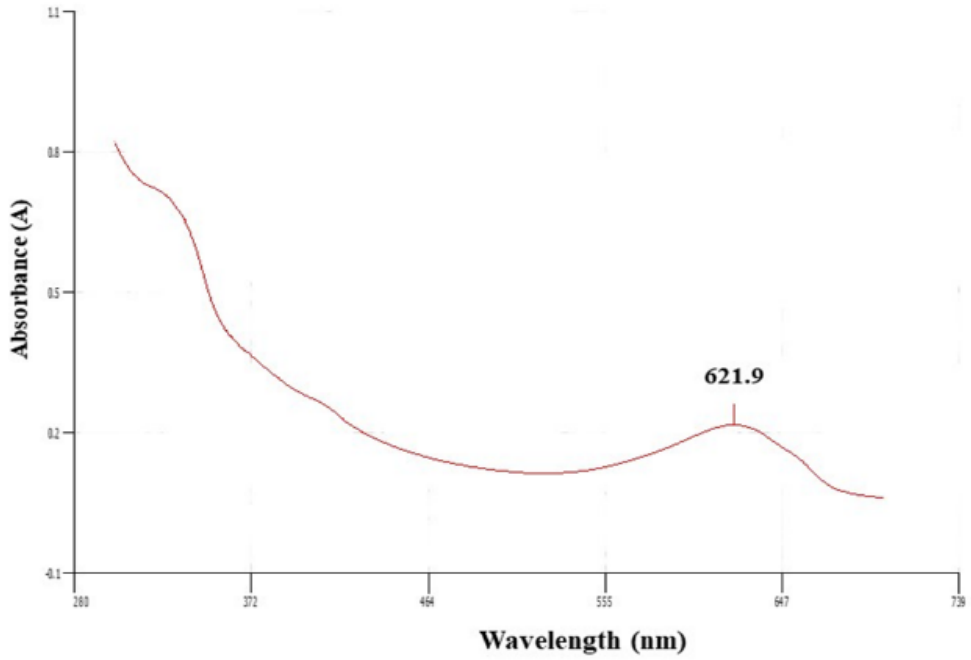
[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

بر عمر مفید فیله‌های قزل‌آلای رنگین کمان را بررسی می‌کند. ویژگی‌های میکروبیولوژیکی، شیمیایی و آنتی‌اکسیدانی فیله‌ها در طی ۱۸ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد ارزیابی و با فیله‌های کنترل مقایسه شد. تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد و تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای شناسایی تفاوت‌های معنادار بین متغیرها به کار رفت. آزمون توکی برای مقایسه میانگین‌ها استفاده می‌شود و نتایج با جداول و نمودارهای ایجاد شده با نرم‌افزار Excelارائه شد(۲۱).

نتایج

غلظت و خلوص PC

میزان غلظت و خلوص PC قبل و بعد از دیالیز اندازه‌گیری شد. در ابتدا، غلظت‌ها به ترتیب ۰.۲۳۸ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و ۰.۰۶۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بودند. پس از دیالیز، غلظت‌ها به طور جزئی افزایش یافتند و به ۰.۲۵۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و ۰.۰۶۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر رسیدند که نشان‌دهنده درجه کمی از تصفیه است. خاصیت فیکوسیانین با رسم نمودار (شکل ۲) ارزیابی شد که دارای قله ای با مقدار ۶۲۱.۹ بود که نشان‌دهنده درجه بالای خلوص است.



شکل ۲. نمودار تصفیه PC پس از دیالیز

تغییرات میکروبیولوژیکی در فیله های رنگین کمان Oncorhynchus mykissتیمار شده با DBD و PCطی ۱۸ روز در دمای ٤ درجه سانتی گراد

افزایش قابل توجهی در TPC در طول ۱۸ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتیگراد در همه نمونه‌ها مشاهده شد (جدول۱) ($p<0.05$).نمونه C بیشترین افزایش در TPC را داشت که از ۳.۳۸ log CFU/g به ۹.۶۹log CFU/gرسید، در حالی که نمونه P80:5+PC کمترین افزایش را داشت و از ۲.۵۳ log CFU/g به ۷.۵۵ log CFU/g رسید ($p<0.05$). درمان DBD به‌طور مؤثری TPCرا در همه نمونه‌ها با افزایش ولتاژ و مدت زمان کاهش داد. با این حال، اثر ترکیبی درمان DBD با PC نتایج بهتری را به همراه داشت. نرخ افزایش TPC در طول دوره نگهداری ۱۸ روزه در نمونه‌های P80:5-PC و P80:5+PCدر مقایسه با نمونه کنترل کندتر بود. علاوه بر این، اثر ترکیبی درمان DBD باPC ، به‌ویژه در مورد

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

P80:5+PC، به‌طور قابل توجهی نرخ افزایش TPC را مهار کرد($p<0.05$) .

جدول ۱. تغییرات TPC با تیمار DBD در ولتاژهای ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و مدت زمان ۲ و ۵ دقیقه، با و بدون تیمارPC ، روی فیله های رنگین کمان Oncorhynchus mykiss در طی یک دوره ذخیره سازی ۱۸ روزه در دمای ۴ درجه سانتی گراد. حروف کوچک نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ستون و حروف بزرگ نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ردیف است

TPC	روز اول	روز سوم	روز ششم	روز نهم	روز دوازدهم	روز پانزدهم	روز هیجدهم
C	3.38±0.007 7(a)(A)	5.40±0.008 8 (a)(B)	6.35±0.004 5(a)(C)	7.39±0.0026 (a)(D)	8.28±0.008 4(a)(E)	8.48±0.029 0(a)(F)	9.69±0.031 2(a)(G)
P70:2 -PC	3.28±0.012 (b)(A) 7	5.11±0.014 6 (b)(B)	6.21±0.005 8(b)(C)	6.35±0.0052 (b)(D)	7.39±0.003 6(b) (E)	8.25±0.012 3(b)(F)	9.23±0.006 7(b)(G)
P70:5 -PC	3.18±0.006 7 (c)(A)	4.88±0.022 8 (c)(B)	6.10±0.003 0(c)(C)	6.20±0.0071 (c)(D)	7.24±0.007 9(c) (E)	8.12±0.008 6(c)(F)	9.05±0.007 0(c)(G)
P80:2 -PC	3.01±0.010 4 (d)(A)	4.39±0.005 6(d)(B)	5.97±0.014 7(d)(C)	6.17±0.0119 (cd)(D)	7.05±0.008 0(d) (E)	7.88±0.010 4(d) (F)	8.69±0.031 2(d)(G)
P80:5 -PC	2.62±0.021 9(e)(A)	4.02±0.010 7(e)(B)	5.54±0.021 8(e)(C)	6.13±0.0103 (d)(D)	6.76±0.008 6(e) (E)	7.38±0.003 6(e)(F)	8.26±0.007 6(e)(G)
PC-P	3.18±0.015 8 (c)(A)	4.98±0.014 4(f)(B)	5.75±0.013 4(f)(C)	6.33±0.0055 (b)(D)	7.59±0.012 8(f) (E)	8.41±0.003 4(a) (F)	9.28±0.011 3(b)(G)
P70:2 +PC	3.05±0.008 9 (d)(A)	4.60±0.043 2(g)(B)	5.40±0.001 5(g)(C)	6.17±0.0077 (cd)(D)	7.11±0.008 8(g) (E)	7.96±0.008 8(d) (F)	9.10±0.010 9(c)(G)
P70:5 +PC	2.92±0.018 9(f)(A)	4.38±0.004 6(dh)(B)	5.07±0.011 7(h)(C)	5.48±0.0125 (e)(D)	6.97±0.009 6(h) (E)	7.63±0.002 72(f) (F)	8.53±0.034 7(f)(G)
P80:2 +PC	2.77±0.031 7 (g)(A)	4.28±0.009 7(h)(B)	5.04±0.016 5 (h)(C)	5.35±0.0062 (f)(D)	6.10±0.007 0(i) (E)	7.28±0.011 4(g) (F)	8.39±0.003 5(g)(G)
P80:5 +PC	2.53±0.022 4(h)(A)	3.84±0.016 2(i)(B)	4.75±0.026 9 (i)(C)	4.13±0.0129 (g)(D)	5.75±0.024 6(j) (E)	6.66±0.024 6(h) (F)	7.55±0.024 9(h)(G)

در طی دوره ذخیره‌سازی ۱۸ روزه در دمای ۴ درجه سانتیگراد، افزایش قابل توجهی در سطح استافیلوکوکوس در همه نمونه‌ها مشاهده شد (جدول ۲) ($p < 0.05$) . نمونه C بیشترین افزایش در سطح استافیلوکوکوس را نشان داد و از ۰ به۹.۳۳ log CFU/g رسید. در مقابل، P80:5+PC کمترین افزایش در سطح استافیلوکوکوس را نشان داد و تنها به۷.۰۹ log CFU/g رسید. علاوه بر این، در روز ۱۸، تفاوت معناداری بین نمونه‌های C، P80:2-PC، P70:5-PC و P80:2-PC مشاهده نشد ($p > 0.05$). به‌طور مشابه، در روز ۱۸ بین نمونه‌های P80:5+PC، P70:5+PC و P80:5+PC تفاوت معناداری یافت نشد ($p > 0.05$). جالب است که در روز ۱۸، نمونه PC-P مقدار کمتری (۸.۰۰ CFU/g) نسبت به نمونه C نشان داد ($p < 0$).

جدول ۲. تغییرات استاف با تیمار DBD در ولتاژهای ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و مدت زمان ۲ و ۵ دقیقه، با و بدون تیمار PC، روی فیله های رنگین کمان Oncorhynchus mykiss در طی یک دوره نگهداری ۱۸ روزه در دمای ۴ درجه سانتی گراد. حروف کوچک نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ستون و حروف بزرگ نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ردیف است

Staph	روز اول	روز سوم	روز ششم	روز نهم	روز دوازدهم	روز پانزدهم	روز هیجدهم
C	0.00±0.000 0(a)(A)	3.03±0.013 5(a)(B)	4.04±0.002 6(a)(C)	5.09±0.008 4(a)(D)	7.39±0.004 3(a)(E)	8.38±0.002 7(a)(F)	9.33±0.0030 (a)(G)

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

P70:2 -PC	0.00±0.000 0(a)(A)	2.83±0.027 5(ab)(B)	4.27±0.005 4(b)(C)	4.94±0.011 1(b)(D)	7.10±0.008 0(b)(E)	8.12±0.005 8(a)(F)	9.03±0.0072 (a)(G)
P70:5 -PC	0.00±0.000 0(a)(A)	1.62±0.810 5(b)(B)	4.08±0.003 1(c)(C)	4.75±0.080 8(c)(C)	6.97±0.020 9(c)(D)	8.31±0.004 4(a)(DE)	9.25±0.0050 (a)(E)
P80:2 -PC	0.00±0.000 0(a)(A)	2.23±0.123 0(ab)(B)	3.91±0.010 8(d)(C)	4.45±0.037 8(d)(D)	6.59±0.029 0(d)(E)	7.93±0.007 4(a)(F)	8.77±0.0105 (a)(G)
P80:5 -PC	0.00±0.000 0(a)(A)	2.23±0.165 1(ab)(B)	3.69±0.040 4(e)(C)	4.23±0.012 4(ef)(D)	6.32±0.017 9(e)(E)	7.38±0.002 7(b)(F)	7.92±0.0120 (bc)(G)
PC-P	0.00±0.000 0(a)(A)	3.28±0.007 9(a)(B)	4.20±0.006 3(b)(C)	5.11±0.011 6(a)(D)	5.94±0.007 2(f)(E)	7.15±0.005 4(b)(F)	8.00±0.0063 (b)(G)
P70:2 +PC	0.00±0.000 0(a)(A)	3.05±0.016 5(a)(B)	4.01±0.003 6(cd)(C)	4.89±0.013 6(bc)(D)	5.62±0.027 0(g)(E)	7.28±0.334 9(b)(F)	7.69±0.0219 (bcd)(F)
P70:5 +PC	0.00±0.000 0(a)(A)	2.87±0.018 5(ab)(B)	3.51±0.062 0(f)(C)	4.34±0.009 6(de)(D)	5.39±0.004 2(h)(E)	6.39±0.003 2(c)(F)	7.36±0.0049 (cde)(G)
P80:2 +PC	0.00±0.000 0(a)(A)	2.74±0.018 2(ab)(B)	3.37±0.002 8(g)(C)	4.13±0.007 0(f)(D)	5.12±0.007 8(i)(E)	6.07±0.005 3(cd)(F)	7.09±0.0061 (e)(G)
P80:5 +PC	0.00±0.000 0(a)(A)	2.49±0.050 5(ab)(B)	2.81±0.013 6(h)(B)	3.87±0.013 6(g)(C)	4.68±0.022 3(j)(D)	5.82±0.015 8(d)(E)	7.22±0.3649 (de)(F)

در روز اول، نمونه C حاوی ۰.۲۲ log CFU/g از باکتری لاکتوباسیلوس (LB) بود. با این حال، با تیمار DBD (۷۰ کیلو ولت، ۲ دقیقه)، این مقدار در همان روز به طور قابل توجهی به ۰.۰۹ log CFU/g کاهش یافت ($p < 0.05$) (جدول ۳) . با افزایش ولتاژ و زمان درمان، شمارش LBدر فیله‌های ماهی به طور قابل توجهی کاهش یافت و در نهایت به صفر رسید .($p < 0.05$) علاوه بر این، حضور PCدر فیله‌های درمان شده با DBD نیز منجر به ریشه‌کنی کامل LB شد. نمونه C بیشترین افزایش در LB را طی ۱۸ روز نشان داد، به طوری که از ۰.۲۲ log CFU/g به ۹.۳۹ log CFU/g رسید ($p < 0.05$) . با این حال، PCبه تنهایی رشد LB را به طور مؤثری کند کرد. کمترین شمارش LB در روز ۱۸ با تفاوت قابل توجهی نسبت به نمونه C در نمونه P80:5+PC (7.88 log CFU/g) (مشاهده شد. جالب توجه است که در روز ششم، شمارش LBدر نمونه کنترل از حد مجاز فساد (6 log CFU/g) فراتر رفت و به ۶.۳۶ log CFU/g رسید. همچنین، تمامی نمونه‌های درمان شده تا روز دوازدهم از این حد مجاز فراتر رفتند، به جز نمونه PC-P80:5 که در روز پانزدهم با مقداری برابر ۶.۸۴ log CFU/g از این حد گذشت.

جدول ۳. تغییرات Lb با تیمار DBD در ولتاژهای ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و مدت زمان ۲ و ۵ دقیقه، با و بدون تیمارPC ، روی فیله های رنگین کمان Oncorhynchus mykiss در طول یک دوره نگهداری ۱۸ روزه در دمای ۴ درجه سانتی گراد. حروف کوچک نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ستون و حروف بزرگ نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ردیف است

Lb	روز اول	روز سوم	روز ششم	روز نهم	روز دوازدهم	روز پانزدهم	روز هجدهم
C	0.22±0.030 6(a)(A)	3.10±0.008 4(a)(B)	5.38±0.004 5(a)(C)	6.36±0.004 9(a)(D)	7.37±0.005 8(a)(E)	8.26±0.010 4(a)(F)	9.39±0.003 3(a)(G)
P70:2 -PC	0.09±0.044 3(b)(A)	2.86±0.003 4(b)(B)	5.26±0.003 6(b)(C)	6.16±0.010 (b)(D)	7.18±0.007 5(bc)(E)	8.20±0.011 0(a)(F)	9.26±0.004 2(b)(G)
P70:5 -PC	0.00±0.000 0(c)(A)	2.79±0.012 9(b) (B)	5.03±0.012 7(c)(C)	5.91±0.019 8(c)(D)	6.84±0.012 9(d) (E)	7.96±0.026 2(b)(F)	9.08±0.007 5(c)(G)
P80:2 -PC	0.00±0.000 0(c)(A)	2.51±0.041 8(c) (B)	4.85±0.005 4(d)(C)	5.83±0.016 5 (d)(D)	6.76±0.013 1(e) (E)	7.44±0.022 9(c)(F)	8.73±0.011 7(d)(G)
P80:5 -PC	0.00±0.000 0(c)(A)	2.03±0.065 2(d) (B)	4.74±0.020 8(e)(C)	5.39±0.006 1(e)(D)	6.33±0.005 3(f) (E)	7.28±0.004 0(d)(F)	8.11±0.015 7(e)(G)

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

PC-P	0.00±0.000 0(c)(A)	3.35±0.005 0(e)(B)	5.29±0.003 3(b)(C)	6.06±0.007 7(f)(D)	7.19±0.005 7(b) (E)	8.05±0.021 1(e)(F)	9.14±0.005 5(f)(G)
P70:2 +PC	0.00±0.000 0(c)(A)	3.29±0.006 3(e) (B)	4.52±0.030 6(f)(C)	5.68±0.010 4(g)(D)	7.14±0.008 2(c) (E)	7.68±0.013 0(f)(F)	8.99±0.008 4(g)(G)
P70:5 +PC	0.00±0.000 0(c)(A)	3.23±0.006 5(e) (B)	4.29±0.007 0(g)(C)	5.37±0.006 4(e)(D)	6.30±0.005 7(f) (E)	7.26±0.009 7(d)(F)	8.36±0.008 2(h)(G)
P80:2 +PC	0.00±0.000 0(c)(A)	3.04±0.012 6(a) (B)	4.15±0.007 9(h)(C)	5.12±0.010 9(h)(D)	6.16±0.005 2(g) (E)	7.05±0.006 9(g)(F)	8.14±0.017 0(e)(G)
P80:5 +PC	0.00±0.000 0(c)(A)	2.89±0.011 8(b) (B)	3.77±0.006 5(i)(C)	4.75±0.020 0(i)(D)	5.87±0.006 6(h) (E)	6.84±0.011 7(h)(F)	7.88±0.008 3(i)(G)

تغییرات فیزیکوشیمیایی در فیله های رنگین کمان Oncorhynchus mykiss تیمار شده با DBD و PC طی ۱۸ روز در دمای ٤ درجه سانتی گراد

طی دوره نگهداری ۱۸ روزه، اسیدیته تمام نمونه‌ها به‌طور معناداری افزایش یافت ($p<0.05$) . نمونه C بیشترین نرخ افزایش اسیدیته را نشان داد که از ۰.۱۳ به ۰.۲۴ رسید، در حالی که نمونه‌های P70:5+PC و P80:5+PC کمترین نرخ افزایش را داشتند و از ۰.۱۳ به ۰.۱۹ رسیدند(جدول۴) ($p<0.05$). نمونه PC-P در طول کل دوره ۱۸ روزه به‌طور مداوم سطوح اسیدیته کمتری نسبت به نمونه C نشان داد ($p<0.05$)، که نشان‌دهنده توانایی مؤثر PC در کاهش سطوح اسیدیته است. علاوه بر این، نمونه C در تمام دوره نگهداری به‌طور مداوم بالاترین سطح اسیدیته را نشان داد، و تنها نمونه P70:2-PC در روز پانزدهم تفاوت معناداری نشان نداد ($p>0.05$). در مقابل، نمونه P80:5+PC به‌طور مداوم کمترین سطح اسیدیته را نشان داد و در روز سوم هیچ تفاوت معناداری با نمونه‌های P70:5+PC، P70:5-PC و P80:5-PC نداشت ($p>0.05$). نمونه‌هایی که فقط با DBD درمان شده بودند، سطوح اسیدیته کمتری نسبت به نمونه C نشان دادند و در روزهای اول، سوم، دوازدهم، پانزدهم و هجدهم تفاوت معناداری با نمونه PC-P نداشتند ($p>0.05$). علاوه بر این، درمان ترکیبی با DBD و PC به‌طور قابل‌توجهی نرخ افزایش اسیدیته را در مقایسه با نمونه کنترل در طول دوره ۱۸ روزه کاهش داد ($p < 0.05$).

جدول ٤. تغییرات اسیدیته با تیمار DBD در ولتاژهای ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و مدت زمان ۲ و ۵ دقیقه، با و بدون تیمارPC ، روی فیله های رنگین کمان Oncorhynchus mykiss طی یک دوره نگهداری ۱۸ روزه در دمای ۴ درجه سانتی گراد. حروف کوچک نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ستون و حروف بزرگ نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ردیف است

Acidity	روز اول	روز سوم	روز ششم	روز نهم	روز دوازدهم	روز پانزدهم	روز هجدهم
C	0.13±0.000 0(ab)(A)	0.16±0.000 7(a)(B)	0.18±0.0013 (a)(C)	0.19±0.001 5(a)(D)	0.20±0.000 5(a)(E)	0.22±0.000 5(a)(F)	0.24±0.00 13(a)(G)
P70:2 -PC	0.13±0.000 7(ab) (A)	0.15±0.001 3(b)(B)	0.17±0.0013 (b) (C)	0.18±0.000 0(b) (D)	0.19±0.000 3(b) (E)	0.21±0.000 3(a)(F)	0.23±0.00 05(b) (G)
P70:5 -PC	0.12±0.001 3(ab) (A)	0.13±0.000 6(c) (B)	0.15±0.0010 (c) (C)	0.17±0.000 7(cg) (D)	0.18±0.000 7(c) (E)	0.20±0.000 7(b)(F)	0.22±0.00 07 (c) (G)
P80:2 -PC	0.12±0.001 8(a) (A)	0.14±0.001 0(df) (B)	0.16±0.0000 0(de) (C)	0.17±0.001 0(df)(D)	0.19±0.001 5(d) (E)	0.21±0.001 4(c) (F)	0.22±0.00 07(d) (G)
P80:5 -PC	0.13±0.000 6(ab) (A)	0.14±0.000 7(e) (B)	0.16±0.0010 (df)(C)	0.16±0.000 7(eh)(D)	0.17±0.001 0(e) (E)	0.20±0.001 0(b)(F)	0.21±0.00 07(e) (G)
PC-P	0.13±0.000 0(ab) (A)	0.15±0.000 5(f)(B)	0.16±0.0007 (e) (C)	0.17±0.000 5(bf) (D)	0.18±0.001 0(d) (E)	0.19±0.001 3(b) (F)	0.20±0.00 13(e) (G)
P70:2 +PC	0.13±0.000 7(b) (A)	0.14±0.000 5(dg) (B)	0.16±0.0007 (f) (C)	0.17±0.000 7(dg) (D)	0.18±0.000 5(c) (E)	0.19±0.000 3(d) (F)	0.20±0.00 03(f) (G)
P70:5 +PC	0.13±0.001 0(ab) (A)	0.14±0.000 0(eg) (B)	0.15±0.0007 (c) (C)	0.16±0.000 0(e) (D)	0.17±0.000 7(e) (E)	0.18±0.001 0(e) (F)	0.19±0.00 00(g) (G)

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

P80:2 +PC	0.13±0.0000(ab) (A)	0.14±0.0007(d) (B)	0.15±0.0000(cf) (C)	0.17±0.0007(ch) (D)	0.17±0.0005(e) (E)	0.18±0.0009(f) (F)	0.19±0.0009(h) (G)
P80:5 +PC	0.13±0.0003(ab) (A)	0.13±0.0010(ce) (B)	0.14± 0.0010(g) (C)	0.16±0.0007(i) (D)	0.17±0.0006(f) (E)	0.17±0.0007(g) (F)	0.19±0.0010(g)(G)

در دوره نگهداری ۱۸ روزه، PVتمامی نمونه‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافت (جدول۵). در روز هجدهم، نمونه C بالاترین PV (0.55) را نشان داد، در حالی که کمترین PVدر نمونه P80:5+PC (0.38) مشاهده شد ($p < 0.05$). به استثنای روز اول، PVنمونه P-PC به طور قابل توجهی کمتر از نمونه C و نمونه P70:2-PC بود ($p < 0.05$). نرخ افزایش PV در دوره نگهداری ۱۸ روزه در نمونه‌های تحت درمان با DBD نسبت به نمونه C کندتر بود و در نمونه‌های تحت درمان با ترکیب DBD و PC حتی کندتر از نمونه‌های درمان شده با DBD تنها و نمونه C بود. در روز اول، تفاوت آماری معناداری بین نمونه C و نمونه‌های درمان شده تنها با DBD و نمونه P-PC مشاهده نشد ($p > 0.05$). با این حال، PVنمونه‌های P70:2+PC، P70:5+PC، P80:5+PC و P80:2+PCبه طور قابل توجهی کمتر از نمونه C بود ($p < 0.05$). در روز هجدهم، تفاوت آماری معناداری در PVبین نمونه‌های P-PC و P80:2-PC وجود نداشت. به جز روز اول، افزایش زمان درمان (از ۲ به ۵ دقیقه) در ولتاژ ثابت ۸۰ کیلوولت باعث کاهش قابل توجهی در PV شد ($p < 0.05$). در روز سوم، این نرخ کاهش در ولتاژ ثابت ۷۰ کیلوولت برای نمونه‌های P70:2-PC و P70:5-PCتفاوت آماری معناداری ایجاد نکرد ($p > 0.05$). علاوه بر این، افزایش ولتاژ باعث کاهش قابل توجهی در PVدر تمامی روزها به جز روز اول شد ($p < 0.05$). در روز اول، تفاوت آماری معناداری بین نمونه C و نمونه‌های درمان شده وجود نداشت ($p > 0.05$).

جدول ۵. تغییرات PV با تیمار DBD در ولتاژهای ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و مدت زمان ۲ و ۵ دقیقه، با و بدون تیمارPC ، روی فیله های رنگین کمان Oncorhynchus mykiss طی یک دوره ذخیره سازی ۱۸ روزه در دمای ۴ درجه سانتی گراد. حروف کوچک نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ستون و حروف بزرگ نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ردیف است

PV	**روز اول**	**روز سوم**	**روز ششم**	**روز نهم**	**روز دوازدهم**	**روز پانزدهم**	**روز هجدهم**
C	0.22±0.0014(a)(A)	0.27±0.0022(a)(B)	0.32±0.0030(a)(C)	0.36±0.0022(a)(D)	0.41±0.0016(a)(E)	0.46±0.0038(a)(F)	0.55±0.0028(a)(G)
P70:2 -PC	0.21±0.0008(a) (A)	0.27±0.0014(a)(B)	0.31±0.0025(a) (C)	0.35±0.0028(b) (D)	0.38±0.0028(b) (E)	0.44±0.0022(b)(F)	0.52±0.0008(b) (G)
P70:5 -PC	0.21±0.0014(ab) (A)	0.25±0.0008(b) (B)	0.29±0.0022(b) (C)	0.33±0.0022(c) (D)	0.37±0.0008(c) (E)	0.42±0.0022(c)(F)	0.50±0.0008(c) (G)
P80:2 -PC	0.20±0.0016(ab) (A)	0.24±0.0014(c) (B)	0.27±0.0030(c) (C)	0.31±0.0028(df) (D)	0.35±0.0022(d) (E)	0.41±0.0014(d) (F)	0.48±0.0016(d) (G)
P80:5 -PC	0.20±0.0022(ab) (A)	0.22±0.0028(d) (B)	0.26±0.0028(d)(C)	0.29±0.0028(e) (D)	0.34±0.0014(e) (E)	0.39±0.0014(e)(F)	0.45±0.0014(e) (G)
PC-P	0.21±0.0022(ab) (A)	0.23±0.0014(c)(B)	0.27±0.0016(c) (C)	0.32±0.0008(cd) (D)	0.37±0.0014(c) (E)	0.42±0.0014(c) (F)	0.48±0.0014(d) (G)
P70:2 +PC	0.20±0.0014(bc) (A)	0.22±0.0008(de) (B)	0.26±0.0014(cd) (C)	0.30±0.0014(f) (D)	0.35±0.0014(d) (E)	0.40±0.0014(d) (F)	0.45±0.0014(e) (G)
P70:5 +PC	0.19±0.0014(cd) (A)	0.21±0.0008(ef) (B)	0.25±0.0022(e) (C)	0.29±0.0008(e) (D)	0.34±0.0014(e) (E)	0.38±0.0008(e) (F)	0.42±0.0008(f) (G)
P80:2 +PC	0.18±0.0044(d) (A)	0.21±0.0014(f) (B)	0.24±0.0016(e) (C)	0.27±0.0014(g) (D)	0.32±0.0014(f) (E)	0.36±0.0008(f) (F)	0.40±0.0022(g) (G)
P80:5 +PC	0.18±0.0030(d) (A)	0.20±0.0008(g) (B)	0.22±0.0022(f) (C)	0.26±0.0022(h) (D)	0.30±0.0008(g) (E)	0.34±0.0008(g) (F)	0.38±0.0025(h)(G)

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

نتایج نشان می‌دهد که در دوره نگهداری ۱۸ روزه، مقدار TMA در تمام نمونه‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافته است، به طوری که نمونه C افزایش سریع‌تری نسبت به نمونه‌های تحت درمان نشان می‌دهد (جدول ۶). در ابتدا، تفاوت معنی‌داری در مقادیر TMA بین نمونه‌های تحت درمان و نمونه C مشاهده نمی‌شود ($p > 0.05$). تا روز نهم، مقدار TMA در نمونه C به ۰.۲۵ میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم می‌رسد، در حالی که نمونه P80:5+PC زیر این مقدار باقی می‌ماند. تا روز هجدهم، نمونه C بالاترین مقدار TMA (۵۳.۷۶ میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم) را ثبت می‌کند، در حالی که کمترین مقدار در نمونه P80:5+PC مشاهده می‌شود (۳۳.۶۹ میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم). افزایش زمان درمان در ولتاژ ۸۰ کیلوولت باعث کاهش قابل توجهی در مقادیر TMA می‌شود و این کاهش با طولانی‌تر شدن مدت زمان درمان بیشتر می‌شود. با این حال، این کاهش برای نمونه‌های درمان شده در ولتاژ ۷۰ کیلوولت در روزهای نهم و دوازدهم معنی‌دار نیست. علاوه بر این، افزایش ولتاژ به طور مداوم باعث کاهش مقادیر TMA می‌شود. همچنین، PC، چه با و چه بدون DBD، مقادیر TMA را به طور قابل توجهی نسبت به نمونه C در تمامی روزها به جز روز اول کاهش می‌دهد، که نشان‌دهنده پتانسیل کنترل TMA در ذخیره‌سازی محصولات ماهی با درمان‌های DBD و PC است.

جدول ٦) تغییرات TMAبا تیمار DBD در ولتاژهای ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و مدت زمان ۲ و ۵ دقیقه، با و بدون تیمارPC ، روی فیله های رنگین کمان Oncorhynchus mykiss در طول یک دوره نگهداری ۱۸ روزه در دمای ۴ درجه سانتی گراد تغییر می کند. حروف کوچک نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ستون و حروف بزرگ نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ردیف است

TMA	روز اول	روز سوم	روز ششم	روز نهم	روز دوازدهم	روز پانزدهم	روز هجدهم
C	0.12±0.0003(abd)(A)	0.19±0.0008(a)(A)	0.23±0.0005(a)(A)	0.25±0.0008(a)(B)	0.28±0.0010(a)(C)	0.31±0.0028(a)(D)	0.36±0.0003(a)(D)
P70:2-PC	0.12±0.0017(abc) (A)	0.17±0.0005(b)(AB)	0.22±0.0016(a) (A)	0.24±0.0005(b) (BC)	0.27±0.0003(b) (CD)	0.31±0.0018(a)(D)	0.34±0.0003(b) (E)
P70:5-PC	0.12±0.0006(abc) (AB)	0.17±0.0006(c) (AB)	0.21±0.0014(b) (A)	0.24±0.0005(b) (BC)	0.27±0.0006(bc) (CD)	0.30±0.0008(b)(D)	0.33±0.0003(c) (E)
P80:2-PC	0.12±0.0015(abcd) (AB)	0.16±0.0008(d) (A)	0.21±0.0015(c) (A)	0.23±0.0005(c) (BC)	0.26±0.0037(d) (BC)	0.27±0.0006(c) (CD)	0.30±0.0020(df) (D)
P80:5-PC	0.12±0.0011(c) (AB)	0.15±0.0005(e) (A)	0.19±0.0003(d)(A)	0.21±0.0011(d) (BC)	0.22±0.0017(e) (BC)	0.25±0.0008(d)(CD)	0.27±0.0014(e) (D)
PC-P	0.12±0.0003(ac) (A)	0.18±0.0005(f)(B)	0.21±0.0012(b) (C)	0.23±0.0029(c) (D)	0.26±0.0008(cd) (E)	0.29±0.0012(e) (F)	0.31±0.0014(d) (G)
P70:2+PC	0.12±0.0000(abc) (A)	0.16±0.0006(d) (B)	0.19±0.0008(d) (C)	0.22±0.0012(e) (D)	0.25±0.0008(f) (E)	0.27±0.0017(c) (F)	0.30±0.0008(f) (G)
P70:5+PC	0.11±0.0003(bd) (A)	0.14±0.0005(g) (B)	0.17±0.0014(e) (C)	0.20±0.0005(f) (D)	0.23±0.0000(g) (E)	0.27±0.0008(f) (F)	0.29±0.0008(g) (G)
P80:2+PC	0.12±0.0006(abcd) (A)	0.14±0.0003(h) (B)	0.17±0.0012(f) (C)	0.19±0.0000(g) (D)	0.22±0.0008(e) (E)	0.25±0.0012(d) (F)	0.27±0.0012(e) (G)
P80:5+PC	0.12±0.0005(d) (A)	0.14±0.0005(h) (B)	0.15±0.0011(g) (C)	0.18±0.0015(h) (D)	0.20±0.0000(h) (E)	0.23±0.0014(g) (F)	0.24±0.0017(h)(G)

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

تغییرات فعالیت آنتی اکسیدانی در فیله های رنگین کمان Oncorhynchus mykiss تیمار شده با DBD و PC طی ۱۸ روز در دمای ٤ درجه سانتی گراد

مقدار FRAP نمونه PC-P به طور قابل توجهی بالاتر از نمونه C و نمونه‌های تحت درمان با DBD به تنهایی در طول دوره نگهداری ۱۸ روزه است ($p<0.05$) (جدول ۷). در روز هجدهم، نمونه P80:5+PC بالاترین مقدار FRAP (۲۰.۵۷) را نشان می‌دهد و تفاوت معنی‌داری با نمونه P80:2+PC ندارد ($p>0.05$)، در حالی که نمونه C کمترین مقدار FRAP (۹.۲۶) را ثبت می کند. علاوه بر این، نمونه C بیشترین افزایش FRAP را در طول دوره ۱۸ روزه تجربه می‌کند (از ۱۶.۸۷ به ۹.۲۶)، در حالی که نمونه PC-P80:5 کمترین افزایش را نشان می‌دهد (از ۳۲.۷۴ به ۲۰.۵۷) ($p<0.05$). این یافته‌ها نشان می‌دهد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های تحت درمان با افزودن P80:5-PC و PC-P به طور قابل توجهی بهبود یافته است، که به ویژه در نمونه P80:5+PC مشهود است. همچنین، این مطالعه نشان‌دهنده پتانسیل استفاده از این ترکیبات به عنوان نگهدارنده‌های طبیعی برای افزایش ماندگاری محصولات غذایی است.

جدول ۷) تغییرات FRAP با تیمار DBD در ولتاژهای ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و مدت زمان ۲ و ۵ دقیقه، با و بدون تیمار PC، روی فیله های رنگین کمان Oncorhynchus mykiss در طی یک دوره ذخیره سازی ۱۸ روزه در دمای ۴ درجه سانتی گراد تغییر می کند. حروف کوچک نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ستون و حروف بزرگ نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ردیف است

FRAP	روز اول	روز سوم	روز ششم	روز نهم	روز دوازدهم	روز پانزدهم	روز هجدهم
C	16.87±0.04 30(a)(A)	16.53±0.07 44(a)(A)	16.23±0.043 0(a)(AB)	15.63±0.26 86(a)(B)	14.77±0.26 16(a)(C)	12.70±0.15 50(a)(D)	9.26±0.11 37(a)(E)
P70: 2-PC	17.05±0.07 44(a) (A)	16.57±0.08 60(a)(AB)	16.23±0.113 7(a) (AB)	15.80±0.23 94(a) (BC)	15.15±0.23 94(ab) (C)	13.22±0.23 94(ab)(D)	10.85±0.1 290(bc) (E)
P70: 5-PC	17.39±0.04 30(ab) (A)	17.13±0.15 50(b) (AB)	16.62±0.155 0(ab) (B)	15.93±0.17 20(a) (C)	15.24±0.07 44(ab) (D)	13.22±0.11 37(ab)(E)	10.21±0.0 744(ab) (F)
P80: 2-PC	17.91±0.17 20(bc) (A)	17.39±0.15 50(b) (AB)	16.96±0.086 0(bc) (BC)	16.49±0.26 16(ab) (C)	15.58±0.15 50(ab) (D)	13.69±0.19 71(bc) (E)	10.46±0.1 971(b) (F)
P80: 5-PC	18.55±0.18 74(c) (A)	18.12±0.15 50(c) (AB)	17.48±0.113 7(c)(BC)	17.00±0.11 37(b) (C)	16.06±0.15 50(b) (D)	14.38±0.08 60(c)(E)	11.75±0.2 979(c) (F)
PC-P	32.31±0.11 37(d) (A)	29.30±0.07 44(d)(B)	27.37±0.148 9(d) (C)	25.43±0.07 44(c) (D)	23.41±0.31 01(c) (E)	21.09±0.23 94(d) (F)	17.13±0.2 275(d) (G)
P70: 2+PC	32.62±0.31 01(d) (A)	29.73±0.11 37(d) (B)	28.10±0.155 0(e) (C)	26.42±0.11 37(d) (D)	24.53±0.14 89(d) (E)	22.03±0.22 75(e) (F)	19.11±0.0 744(e) (G)
P70: 5+PC	32.31±0.04 30(d) (A)	30.85±0.07 44(e) (B)	28.92±0.074 4(f) (C)	27.24±0.07 44(de) (D)	25.43±0.07 44(e) (E)	23.32±0.04 30(f) (F)	18.77±0.3 749(e) (G)
P80: 2+PC	32.66±0.07 44(d) (A)	30.85±0.07 44(e) (B)	29.13±0.113 7(fg) (C)	27.54±0.15 50(e) (D)	25.86±0.11 37(ef) (E)	23.50±0.07 44(f) (F)	19.71±0.1 137(ef) (G)
P80: 5+PC	32.74±0.23 94(d) (A)	31.37±0.07 44(e) (B)	29.69±0.074 4(g) (C)	28.06±0.86 02(e) (D)	26.55±0.04 30(f) (E)	24.40±0.07 44(g) (F)	20.57±0.1 550(f)(G)

نتایج نشان می‌دهد که مقادیر ABTS در نمونه‌های تنها با DBD درمان‌شده، در روز اول تفاوت معنی‌داری با نمونه C ندارند ($p>0.05$) (جدول ۸). با این حال، از روز سوم به بعد، مقادیر ABTS در نمونه‌های P80:2-PC و P80:5-PC در مقایسه با نمونه C به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد ($p<0.05$). علاوه بر این، به جز روز اول، مقادیر ABTS در نمونه‌های تنها با DBD درمان‌شده با افزایش ولتاژ از ۷۰ به ۸۰ کیلوولت به طور معنی‌داری کاهش یافته و در مقایسه

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

با نمونه C تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهد ($p<0.05$). برعکس، نمونه‌های تحت درمان با PC، چه با DBD و چه بدون آن، بهبود در ظرفیت حذف رادیکال ABTS نشان می‌دهند. به طور مشخص، در روز اول، مقادیر ABTS از ۴.۴۷ در نمونه C به ۱.۵۴ در نمونه PC به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد ($p<0.05$). علاوه بر این، در طول دوره ۱۸ روزه، هیچ تفاوت آماری معنی‌داری در مقادیر ABTS بین نمونه‌های درمان‌شده با PC با و بدون درمان DBD وجود ندارد ($p>0.05$). در روز هجدهم، نمونه C بالاترین مقدار ABTS (۱۲.۵۸) را دارد، در حالی که نمونه P80:5+PC کمترین مقدار (۲.۵۲) را دارد. با این حال، تفاوت آماری معنی‌داری بین نمونه P80:5+PC و نمونه‌های P80:2+PC و P70:5+PC وجود ندارد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که ترکیب PC با درمان DBD می‌تواند به طور موثری ظرفیت حذف رادیکال ABTS را در نمونه‌های غذایی افزایش دهد.

جدول ۸) تغییرات ABTS با تیمار DBD در ولتاژهای ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و مدت زمان ۲ و ۵ دقیقه، با و بدون تیمار PC، روی فیله های رنگین کمان Oncorhynchus mykiss در طی یک دوره ذخیره سازی ۱۸ روزه در دمای ۴ درجه سانتی گراد تغییر می کند. حروف کوچک نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ستون و حروف بزرگ نشان دهنده تغییرات قابل توجه در ردیف است

ABTS	روز اول	روز سوم	روز ششم	روز نهم	روز دوازدهم	روز پانزدهم	روز هجدهم
C	4.47±0.0999(a)(A)	4.81±0.0171(a)(A)	5.02±0.0377(a)(A)	5.93±0.0517(a)(B)	7.64±0.2252 (a)(C)	11.92±0.2828(a)(D)	12.58±0.1186(a)(D)
P70:2-PC	4.34±0.1750(a) (A)	4.63±0.0624(ab)(AB)	4.29±0.0206(b) (A)	5.57±0.0924(a) (BC)	6.33±0.1733 (b) (CD)	7.17±0.3485 (b)(D)	12.03±0.2806(b) (E)
P70:5-PC	4.56±0.1016(a) (AB)	4.55±0.0805(b) (AB)	3.88±0.0296(c) (A)	4.98±0.0000(b) (BC)	5.60±0.1022 (c) (CD)	5.96±0.1414 (c)(D)	9.41±0.0662(b) (E)
P80:2-PC	4.16±0.3702(a) (AB)	3.35±0.0668(c) (A)	3.49±0.0136(d) (A)	4.54±0.1780(c) (BC)	4.93±0.16.90(cd) (BC)	5.32±0.1621 (cd) (CD)	6.16±0.0374(c) (D)
P80:5-PC	4.03±0.4215(a) (AB)	3.13±0.0284(c) (A)	3.25±0.0521(e)(A)	4.29±0.1304(c) (BC)	4.40±0.2369 (d) (BC)	5.04±0.1221 (d)(CD)	5.48±0.0296(d) (D)
PC-P	1.54±0.0264(b) (A)	1.96±0.0335(d)(B)	2.08±0.0500(f) (B)	2.21±0.0505(d) (B)	2.55±0.0196 (e) (C)	3.03±0.1154 (e) (D)	3.31±0.0321(e) (E)
P70:2+PC	1.54±0.0255(b) (A)	1.88±0.0068(d) (B)	2.03±0.0516(f) (B)	24.83±0.0368(d) (C)	2.44±0.0131 (e) (C)	2.86±0.0666 (e) (D)	3.02±0.0179(e) (D)
P70:5+PC	1.54±0.0179(b) (A)	1.90±0.0301(d) (B)	2.00±0.0461(f) (BC)	2.09±0.0448(d) (BC)	2.27±0.0733 (e) (CD)	2.60±0.1165 (e) (DE)	2.78±0.1162(ef) (E)
P80:2+PC	1.54±0.0213(b) (A)	1.86±0.0129(d) (B)	1.97±0.0450(f) (BC)	2.04±0.0557(d) (BC)	2.15±0.0414 (e) (C)	2.46±0.0899 (e) (D)	2.69±0.0948(f) (D)
P80:5+PC	1.54±0.0228(b) (A)	1.84±0.0224(d) (B)	1.95±0.0437(f) (BC)	2.00±0.0413(d) (BC)	2.10±0.0442 (e) (CD)	2.26±0.0247 (e) (D)	2.52±0.0850(f)(E)

بحث

این مطالعه با هدف افزایش ماندگاری فیله‌های ماهی قزل‌آلا در دمای ۴ درجه سانتیگراد به مدت هجده روز انجام شد. دو ولتاژ درمانی (۷۰ و ۸۰ کیلوولت) و دو زمان درمانی (۲ و ۵ دقیقه) در DBD بررسی شدند. علاوه بر این، اثر ترکیبی DBDبا PC در غلظت ۰.۰۶۵ میلی‌گرم/میلی‌لیتر نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که DBD به تنهایی ماندگاری فیله‌ها را نسبت به نمونه C افزایش داد و درمان ترکیبی DBD و PC نشان داد که به طور قابل توجهی مؤثرتر از هر یک از درمان‌ها به تنهایی است.

ماهی حاوی آنتی‌اکسیدان‌ها است و استفاده از روش‌های ضد میکروبی قوی مانند DBD به طور موثری ماندگاری آن را افزایش می‌دهد. ترکیب DBD با PC غنی از آنتی‌اکسیدان

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

به تعادل استرس اکسیداتیو در بافت ماهی کمک می‌کند . PCبا تثبیت رادیکال‌های آزاد و کاهش واکنش‌های اکسیداتیو، درمان DBD را مکمل می‌کند. آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند PC با اهدا الکترون به رادیکال‌های آزاد، آن‌ها را تثبیت کرده و واکنش‌پذیری آن‌ها را کاهش می‌دهند. استفاده ازPC ، یک آنتی‌اکسیدان گیاهی، اثربخشی درمان DBD را افزایش داده و با مهار استرس اکسیداتیو، ماندگاری ماهی را افزایش می‌دهد.

درمان DBD گونه‌های فعال اکسیژن و نیتروژن (RONS) مانند ازن، رادیکال‌های هیدروکسیل، اکسیژن اتمی، تابش UV، فوتون‌ها، گونه‌های واکنش شیمیایی و نیتریک اکسید تولید می‌کند که به فیله‌های ماهی نفوذ کرده و غشاهای سلولی باکتری‌ها را تخریب می‌کنند(۲۲). این امر پاسخ‌های استرسی در باکتری‌ها را تحریک کرده و منجر به آسیب و مرگ سلولی می‌شود. علاوه بر این، DBDبیوفیلم‌های باکتریایی را مختل می‌کند و باکتری‌ها را در معرض عوامل ضد میکروبی و استرس‌های محیطی قرار می‌دهد(۲۳). پلاسمای تولید شده توسط DBD حاوی هیدروژن پراکسید (H2O2)است که به سلول‌های باکتری نفوذ کرده و آسیب اکسیداتیو و مرگ سلولی ایجاد می‌کند(۲۴). DBDبه طور موثری سطوح فیله‌های ماهی را ضدعفونی کرده و بار میکروبی اولیه را کاهش داده و رشد باکتری‌ها را در طول نگهداری محدود می‌کند. افزایش زمان درمان و ولتاژ تولید RONSرا افزایش داده و فعالیت ضد میکروبی را تقویت می‌کند. زمان‌های درمان طولانی‌تر اجازه می‌دهد RONS به عمق بیشتری نفوذ کرده و باکتری‌ها را در معرض مدت طولانی‌تری قرار دهد(۲۵). ولتاژ بالاتر واکنش‌های پلاسما را شدت بخشیده و تولید RONS و کارایی ضد میکروبی را افزایش می‌دهد. ترکیب درمان طولانی‌تر و ولتاژ بالاتر باعث تقویت غیرفعال‌سازی باکتری‌ها می‌شود(۲۶).

PCدارای خواص ضد میکروبی است و غشاهای باکتریایی را تخریب کرده و اسیدیته را تغییر می‌دهد که رشد باکتری‌ها را مختل می‌کند. این ممکن است محدودیت در دسترسی به مواد مغذی را ایجاد کرده و تکثیر باکتری‌ها را بیشتر مهار کند(۲۷). علاوه بر این، طبق مطالعه Abou Elmaaty و همکاران(۲۸)، حضور فنل‌ها در رنگدانه فیکوسیانین می‌تواند خواص ضد میکروبی به این رنگدانه بدهد. درمان ترکیبی به صورت هم‌افزایی فعالیت ضد میکروبی را افزایش داده، سلول‌های باکتریایی را تخریب کرده و بیوفیلم‌ها را مختل کرده و در نتیجه بار میکروبی روی سطوح فیله‌های ماهی را کاهش داده و ماندگاری را افزایش داده و کیفیت را حفظ می‌کند. علاوه بر این، PCاز طریق منافذ ایجاد شده توسط درمان DBD به سلول‌های باکتری نفوذ کرده و باعث مرگ سلولی می‌شود. ولتاژ بالاتر و زمان‌های درمان طولانی‌تر نفوذ رنگدانه را تسهیل کرده و باعث تقویت اثرات بر پارامترهای میکروبی و شیمیایی می‌شود. بنابراین، درمان ترکیبی نتایج برتری را در تنظیمات ولتاژ و مدت زمان بالا نشان می‌دهد.

در این مطالعه، افزایش ولتاژ از ۷۰ به ۸۰ کیلوولت و افزایش مدت زمان از ۲ به ۵ دقیقه در طول درمان DBD به طور موثر باکتری‌های آزمایش شده را کاهش داد. ترکیب DBDبه عنوان یک روش اکسیداتیو و ضد میکروبی قوی با PC به عنوان یک عامل پایدار کننده و آنتی‌اکسیدان قوی نتایج بهتری در مهار بار میکروبی نسبت به درمان‌های فردی نشان داد.

مطمئناً، با توجه به اینکه PC می‌تواندROS ، اوزون و رادیکال‌های آزاد تولید شده توسط DBD را متعادل کند، می‌توان نتیجه گرفت که اشعهUV ، فوتون‌ها، ذرات باردار و سایر گونه‌های واکنش‌پذیر درDBD ، همراه با فنول‌های موجود درPC ، نقش مهمی در مهار بار میکروبی نمونه‌ها دارند(۷). برخلاف یافته‌های کیم و همکاران(۲۹)، که نشان می‌داد DBD تأثیری در کاهش لاکتوباسیلوس ندارد، مشاهده می‌شود که لاکتوباسیلوس با درمانDBD ، هم با و هم بدونPC ، نسبت به نمونه کنترل کاهش می‌یابد ($p<0.05$).

ابتدا، اسیدیته پس از درمان کمی افزایش می‌یابد اما در طول دوره ۱۸ روزه کاهش می‌یابد، به طوری که نمونه کنترل بالاترین اسیدیته و نمونه P80:5+PC کمترین را دارد. انباشت ترکیبات بازی در طی تجزیه نوکلئوتیدها و

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

پروتئین‌ها اسیدیته فیله ماهی را افزایش می‌دهد که به دناتوراسیون پروتئین‌ها و کاهش گروه‌های اسیدی مرتبط است(۳۰). روزهای بعدی کاهش اسیدیته را نشان می‌دهند که ممکن است به دلیل تجزیه یون‌های H^+ و تولید اسید نیتریک/نیتروژن باشد. پلاسما DBD گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن و نیتروژن (RONS) تولید می‌کند که ممکن است اسیدیته گوشت ماهی را از طریق تعامل با اجزای بافت و گونه‌های پلاسما واکنش‌دهنده با آب تغییر دهد(۳۱). افزایش ولتاژ و مدت زمان درمان DBD تشکیل فاز مایع غیرآبی (NAPs)را به دلیل افزایش تولید پلاسما و تعامل با بافت‌ها افزایش می‌دهد و نفوذ گونه‌های واکنش‌پذیر را به عمق بیشتری می‌دهد. با این حال، در طول ذخیره‌سازی، کاهش گونه‌های واکنش‌پذیر تولید شده توسط DBD تشکیل NAPsرا کاهش می‌دهد. تعامل با ترکیبات بافتی و عوامل محیطی مانند دما و مواجهه با اکسیژن پایداری NAPs را در طول ذخیره‌سازی بیشتر مهار می‌کند(۳۲). PC به عنوان یک آنتی‌اکسیدان، می‌تواند فرآیندهای اکسیداتیو القا شده توسط DBDرا کاهش دهد و ممکن است اسیدیته را نسبت به درمان DBD به تنهایی تثبیت کند.

شاخص‌های هدف برای اکسیداسیون لیپید، مانند PV ، معمولاً برای ارزیابی محصولات اولیه اکسیداسیون لیپید استفاده می‌شوند. گونه‌های *Pseudomonas*که حاوی آنزیم‌های لیپاز و فسفولیپاز هستند، می‌توانند سطح اسیدهای چرب آزاد را افزایش دهند که به اکسیداسیون مستعد بوده و منجر به تولید ناپایدار هیدروپراکسیدهای لیپید می‌شود(۳۳). افزایش مقدار پراکسید معمولاً ناشی از فعالیت لیپازهای درون‌زادی یا لیپاز میکروبی است. کاهش مقدار پراکسید در فیله‌های ماهی نشان‌دهنده مهار اکسیداسیون لیپید به دلیل درمان با PC و DBD است(۳۴). توانایی PC در خنثی‌سازی ROS تولید شده توسط DBD به اثر حفاظتی قابل توجه آن بر روی لیپیدها در برابر فرآیندهای اکسیداتیو کمک می‌کند.

پس از هجده روز، مقدار TMA در هر فیله به طور روزانه زیر یک واحد باقی می‌ماند. افزایش ولتاژ و مدت زمان درمان DBD میزان TMA را نسبت به کنترل کاهش می‌دهد(۱۳) . DBDبا PC کمترین مقادیر TMA را نشان می‌دهد($p<0.05$) ، در حالی که PC به تنهایی مقادیر را در اکثر روزها نسبت به کنترل کاهش می‌دهد .($p<0.05$) طبق گزارش Olatundeا و همکاران(۳۰)، کاهش بار میکروبی با کاهش TMA ارتباط دارد. خواص ضد میکروبی ترکیب DBD وPC ، به ویژه در ولتاژ و زمان‌های بالاتر، به سرعت رشد باکتری‌ها و دامیناسیون ترکیبات غیرپروتئینی را کاهش می‌دهد. ذخیره‌سازی طولانی‌تر باعث افزایش پروفیرآیلاسیون میکروبی و افزایش TMA به دلیل تجزیه پروتئین می‌شود. درمان‌های DBD و PC به طور مؤثر رشد میکروبی را مهار کرده و افزایش TMA ناشی از تجزیه پروتئین را کنترل می‌کنند .تیمار ترکیبی همچنین با کاهش باکتری‌های تولید کنندهH_2S ، تبدیل TMA را کاهش می‌دهد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی به عنوان یک معیار حیاتی از بیواکتیویته پروتئین عمل می‌کند. طبق گزارش باو و همکاران، بهینه‌سازی ولتاژ و زمان درمان در درمان DBD می‌تواند فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد. بنابراین، فیله‌های ماهی درمان شده با DBD با افزایش ولتاژ درمان به ۸۰ kV و افزایش زمان درمان به ۵ دقیقه، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی بهتری نشان می‌دهند. استرس اکسیداتیو، که یکی از عوامل اختلالات و بیماری‌های سلولی است، می‌تواند با PC که به طور مؤثری از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو ناشی از ROS محافظت می‌کند، کاهش یابد(۳۵). سطح بالای ABTS در PC نشان‌دهنده پتانسیل آن به عنوان یک افزودنی مؤثر است(۳۶). در مقایسه با مطالعات قبلی(۳۷)، اثر ترکیبی درمان PC و DBD به طور قابل توجهی سطح ABTSرا کاهش می‌دهد و P80:5+PC در تمام روزها کمترین سطح را نشان می‌دهد. علاوه بر این، آزمایش FRAPبهبود قابل توجهی در ظرفیت اهداکنندگی الکترون‌های آنتی‌اکسیدانی را با درمان PC و DBD نشان

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

می‌دهد. به طور کلی، درمان ترکیبی DBD و PC اثرات قوی بر فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی فیله‌های ماهی نشان می‌دهد و اثرات مثبت درمان DBD به تنهایی را تکمیل می‌کند.

نتیجه گیری

استفاده از PC و پلاسما DBD به‌عنوان یک روش امیدوارکننده برای افزایش مدت نگهداری فیله‌های ماهی قزل‌آلای Oncorhynchus mykiss مطرح می‌شود. مطالعه ما نشان می‌دهد که درمان با PC و پلاسما DBD به طور مؤثر رشد میکروبی را مهار می‌کند و خواص انتی اکسیدانی را افزایش میدهد و در نهایت کیفیت کلی و طول عمر فیله‌های ماهی قزل‌آلا را از ۳ روز به ۱۵ روز بهبود می‌بخشد. درمان ترکیبی اثرات هم‌افزایی را نشان می‌دهد، به طوری که PC خواص آنتی‌اکسیدانی را ارائه می‌دهد و پلاسما DBD مزایای ضد میکروبی را ارائه می‌دهد. این یافته‌ها پتانسیل استفاده از رنگدانه‌های طبیعی و فناوری‌های پلاسما نوآورانه در حفظ غذاهای دریایی را برجسته می‌کند و به نگرانی‌های کیفیت و ایمنی در صنعت غذا پاسخ می‌دهد. تحقیقات و بهینه‌سازی بیشتر پارامترهای درمانی برای بهره‌برداری کامل از مزایای این روش‌ها و تسهیل کاربرد عملی آن‌ها در محیط‌های تجاری ضروری است.

.

.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

منابع

۱. Milijasevic JB, Milijasevic M, Djordjevic V, editors. Modified atmosphere packaging of fish–an impact on shelf life. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 2019: IOP Publishing.

۲. Sampels S. The effects of processing technologies and preparation on the final quality of fish products. Trends in Food Science & Technology. 2015;44(2):131–46.

۳. Zhao Y-M, de Alba M, Sun D-W, Tiwari B. Principles and recent applications of novel non-thermal processing technologies for the fish industry—A review. Critical reviews in food science and nutrition. 2019;59(5):728–42.

۴. Pan Y, Cheng JH, Sun DW. Cold plasma-mediated treatments for shelf life extension of fresh produce: A review of recent research developments. Comprehensive Reviews in Food science and Food safety. 2019;18(5):1312–26.

۵. Pankaj SK, Wan Z, Keener KM. Effects of cold plasma on food quality: A review. Foods. 2018;7(1):4.

۶. Rao W, Li Y, Dhaliwal H, Feng M, Xiang Q, Roopesh M, et al. The application of cold plasma technology in low-moisture foods. Food Engineering Reviews. 2023;15(1):86–112.

۷. Olatunde OO, Benjakul S, Vongkamjan K. Cold plasma combined with liposomal ethanolic coconut husk extract: A potential hurdle technology for shelf-life extension of Asian sea bass slices packaged under modified atmosphere. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2020;65:102448.

۸. Ke Z, Bai Y, Bai Y, Chu Y, Gu S, Xiang X, et al. Cold plasma treated air improves the characteristic flavor of Dry-cured black carp through facilitating lipid oxidation. Food Chemistry. 2022;377:131932.

۹. Fernandes R, Campos J, Serra M, Fidalgo J, Almeida H, Casas A, et al. Exploring the benefits of phycocyanin: From Spirulina cultivation to its widespread applications. Pharmaceuticals. 2023;16(4):592.

۱۰. Thevarajah B, Nishshanka GKSH, Premaratne M, Nimarshana P, Nagarajan D, Chang J-S, et al. Large-scale production of Spirulina-based proteins and c-phycocyanin: A biorefinery approach. Biochemical Engineering Journal. 2022;185:108541.

۱۱. Nowruzi B, Porzani SJ. Study of temperature and food-grade preservatives affecting the in vitro stability of phycocyanin and phycoerythrin extracted from two Nostoc strains. Acta Biologica Slovenica. 2022;65(1):28–47.

۱۲. Ismail GA, Allam NG, El-Gemizy WM, Salem MA. The role of silver nanoparticles biosynthesized by Anabaena variabilis and Spirulina platensis cyanobacteria for malachite green removal from wastewater. Environmental Technology. 2021;42(28):4475–89.

۱۳. Olatunde OO, Benjakul S, Vongkamjan K. Combined effects of high voltage cold atmospheric plasma and antioxidants on the qualities and shelf-life of Asian sea bass slices. Innovative food science & emerging technologies. 2019;54:113–22.

۱۴. Ambrosio RL, Gogliettino M, Agrillo B, Proroga YT, Balestrieri M, Gratino L, et al. An Active Peptide-Based Packaging System to Improve the Freshness and Safety of Fish Products: A Case Study. Foods. 2022;11(3):338.

۱۵. Capelli F, Tappi S, Gritti T, de Aguiar Saldanha Pinheiro AC, Laurita R, Tylewicz U, et al. Decontamination of food packages from SARS-CoV-2 RNA with a cold plasma-assisted system. Applied Sciences. 2021;11(9):4177.

۱۶. Wu J, Cui C, Li L. Effect of cold plasma on lipid oxidation of fish and fish-based products: a review. International Journal of Food Science & Technology. 2024;59(3):1958–67.

۱۷. Shiekh KA, Benjakul S. Effect of high voltage cold atmospheric plasma processing on the quality and shelf-life of Pacific white shrimp treated with Chamuang leaf extract. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2020;64:102435.

۱۸. Rebouças LdOS, do Vale Figueiredo JP, da Silva MC, Campelo JMSdM, Rebouças RBG, Alves-Junior C, et al. Cold Plasma: An Alternative in Litopenaeus vannamei Shrimp Preservation. Journal of Agricultural Studies. 2021;9(2):521–36.

۱۹. Molina-Hernandez JB, Laika J, Peralta-Ruiz Y, Palivala VK, Tappi S, Cappelli F, et al. Influence of Atmospheric Cold Plasma Exposure on Naturally Present Fungal Spores and Physicochemical Characteristics of Sundried Tomatoes (Solanum lycopersicum L.). Foods. 2022;11(2):210.

۲۰. Bao T, Hao X, Shishir MRI, Karim N, Chen W. Cold plasma: an emerging pretreatment technology for the drying of jujube slices. Food Chemistry. 2021;337:127783.

۲۱. Yücer TD, Beyatlı Y, Pabuçcu K. The antiproliferative and antimicrobial effects of cultivated Anabaena circinalis Rabenhorts ex Bornet and Flahault and Nostoc entophytum Bornet and Flahault. Tropical Journal of Pharmaceutical Research. 2018;17(8):1571–7.

۲۲. Cai Z, Wang J, Liu C, Chen G, Sang X, Zhang J. Effects of High Voltage Atmospheric Cold Plasma Treatment on the Number of Microorganisms and the Quality of Trachinotus ovatus during Refrigerator Storage. Foods. 2022;11(17):2706.

۲۳. Rathod NB, Ranveer RC, Bhagwat PK, Ozogul F, Benjakul S, Pillai S, et al. Cold plasma for

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

the preservation of aquatic food products: An overview. Comprehensive reviews in food science and food safety. 2021;20(5):4407–25.
۲۴. Gu X, Huang D, Chen J, Li X, Zhou Y, Huang M, et al. Bacterial inactivation and biofilm disruption through indigenous prophage activation using low-intensity cold atmospheric plasma. Environmental Science & Technology. 2022;56(12):8920–31.
۲۵. Maybin J-A, Thompson TP, Flynn PB, Skvortsov T, Hickok NJ, Freeman TA, et al. Cold atmospheric pressure plasma-antibiotic synergy in Pseudomonas aeruginosa biofilms is mediated via oxidative stress response. Biofilm. 2023;5:100122.
۲۶. Baik KY, Jo H, Ki SH, Kwon G-C, Cho G. Synergistic effect of hydrogen peroxide and cold atmospheric pressure plasma-jet for microbial disinfection .Applied Sciences. 2023;13(5):3324.
۲۷. Etemadi A, Azizi A, Pourhajibagher M, Chiniforush N. In Vitro Efficacy of Antimicrobial Photodynamic Therapy with Phycocyanin and Diode Laser for the Reduction of Porphyromonas gingivalis. Journal of Lasers in Medical Sciences. 2022;13.
۲۸. Abou Elmaaty T, Sayed-Ahmed K, Elsisi H, Magdi M. Optimization of extraction of natural antimicrobial pigments using supercritical fluids: A review. Processes. 2022;10(10):2111.
۲۹. Kim H-J, Jayasena D, Yong H, Jo C. Quality of cold plasma treated foods of animal origin. Cold plasma in food and agriculture. 2016:273–91.
۳۰. Olatunde OO, Benjakul S, Vongkamjan K. Comparative study on nitrogen and argon-based modified atmosphere packaging on microbiological, chemical, and sensory attributes as well as on microbial diversity of Asian sea bass. Food Packaging and Shelf Life. 2019;22:100404.
۳۱. Giannoglou M, Dimitrakellis P, Efthimiadou A, Gogolides E, Katsaros G. Comparative study on the effect of cold atmospheric plasma, ozonation ,pulsed electromagnetic fields and high-pressure technologies on sea bream fillet quality indices and shelf life. Food Engineering Reviews. 2021;13(1):175–84.
۳۲. Guo H, Wang Y, Liao L, Li Z, Pan S, Puyang C, et al. Review on remediation of organic-contaminated soil by discharge plasma: Plasma types, impact factors, plasma-assisted catalysis, and indexes for remediation. Chemical Engineering Journal. 2022;436:135239.
۳۳. Nirmal NP, Benjakul S. Retardation of quality changes of Pacific white shrimp by green tea extract treatment and modified atmosphere packaging during refrigerated storage. International Journal of Food Microbiology. 2011;149(3):247–53.
۳۴. Yarnpakdee S, Benjakul S, Senphan T. Antioxidant activity of the extracts from freshwater macroalgae (Cladophora glomerata) grown in Northern Thailand and its preventive effect against lipid oxidation of refrigerated eastern little tuna slice. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2018;19(3):209–19.
۳۵. Safari R, Raftani Amiri Z, Esmaeilzadeh Kenari R. Antioxidant and antibacterial activities of C-phycocyanin from common name Spirulina platensis. Iranian journal of fisheries sciences. 2020;19(4):1911–27.
۳۶. Qiao B-W, Liu X-T, Wang C-X, Song S, Ai C-Q, Fu Y-H. Preparation, characterization ,and antioxidant properties of phycocyanin complexes based on sodium alginate and lysozyme. Frontiers in Nutrition. 2022;9:890942.
۳۷. Esua OJ, Sun D-W, Cheng J-H, Wang H, Lv M. Functional and bioactive properties of Larimichthys polyactis protein hydrolysates as influenced by plasma functionalized water-ultrasound hybrid treatments and enzyme types. Ultrasonics Sonochemistry. 2022;86:106023.

.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]