



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

Maedeh Alsadat Seyedalangi¹, Amirhossein Sari¹, **Bahareh Norouzi^{2*}**, Seyed Amirali Anvar³

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 Hygiene, 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

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 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ over 18 days, while P80:5 + PC retained 20.57 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$, 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

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.

.



اثر هم افزایی پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک و رنگدانه فیکوسیائین بر افزایش ماندگاری فیله های ماهی قزل آلاي رنگين کمان

مائه السادات سيدالنكي^۱، امير حسين ساري^۱، بهاره نوروزي^{۲*}، سيد امير علي انوار^۳

^۱ گروه فزيك، واحد علوم و تحقيقات، دانشگاه آزاد اسلامي، تهران، ايران

^۲ گروه زيست شناسي، واحد علوم و تحقيقات، دانشگاه آزاد اسلامي، تهران، ايران

^۳ گروه بهداشت مواد غذايي، واحد علوم و تحقيقات دانشگاه آزاد اسلامي، تهران، ايران

تاريخ دريافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۲ تاريخ پذيرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱

چکیده

اين مطالعه به ارزيابي اثربخشي درمان پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک (DBD) تركيب شده با رنگدانه فیکوسیائین (PC) در افزايش مدت نگهداري فیله های ماهی قزل آلاي رنگين کمان *Oncorhynchus mykiss* که در دمای يخچال نگهداري می شود، پرداخته است. ويژگي های میکروبیولوژيکي، فزيکوشيميائي و آنتي اکسيداني در طول دوره نگهداري ۱۸ روزه ارزيابي شد. تمامی آزمايشات در سه دور تکرار شد و انحراف معيارها بدست آمد. درمان ترکيبي DBD و PC به طور قابل توجهي تعداد کل باکتری های سرمادوست را در مقايسه با ساير نمونه ها در طول نگهداري مهار کرد. درمان با DBD همچنين به طور قابل توجهي سطح تري متيل آمين را در مقايسه با نمونه های کنترل کاهش داد ($p < 0.05$). PC و DBD به طور ترکيبي ظرفيت های راديکال ABTS را ۸۰٪ مهار کرده و فعاليت آنتي اکسيداني کاهش آهن را در مقايسه با نمونه های کنترل افزايش دادند. بنابرین، استفاده ترکيبي از DBD و PC نويدبخش افزايش مدت زمان نگهداري فیله های ماهی قزل آلاي رنگين کمان تا بيش از ۱۵ روز در دمای ۴°C و يا دمای يخچال است.

کلید واژه ها : پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک، رنگدانه فیکوسیائین، ماهی قزل آلاي رنگين کمان

* bahare77biol@gmail.com

پلازما سرد و افزودن رنگدانه های آنتی اکسیدان مزایای قابل توجهی نسبت به روش های سنتی حفظ مواد غذایی در دستیابی به این اهداف ارائه می دهند (۴).

پلازما، که غالباً به عنوان چهارمین حالت ماده شناخته می شود، شامل گازی داغ و یونیزه شده است که تعداد تقریبی برابر از یون های مثبت و الکترون های آزاد را در خود دارد. پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک (DBD) نوعی پلازما غیر حرارتی است. این نوع پلازما به دلیل ویژگی های خاص خود در ایجاد تخلیه های کنترل شده و محلی، به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد (۵). پلاسمای DBD به دلیل توانایی در تولید گونه های فعال، از جمله اکسیژن فعال، ازن، و رادیکال های هیدروکسیل، در کاربردهای مختلف بسیار مفید هستند (۶). این گونه های فعال می توانند در فرآیندهای استریلیزاسیون، تصفیه آب، و اصلاح سطح مواد استفاده شوند. به ویژه در فرآیندهای استریلیزاسیون، DBD به خاطر تولید اتم های اکسیژن فعال و اوزون که باکتری ها و ویروس ها را غیر فعال می کنند، بسیار مؤثر است (۷). این عمل ضد میکروبی نه تنها به استریل کردن مؤثر محصولات غذایی کمک می کند بلکه نقش مهمی در افزایش عمر مفید غذا نیز ایفا می کند (۸).

محدودیت های سخت گیرانه بر رنگ ها و افزودنی های سنتزی، که به دلیل نگرانی های بهداشتی ایجاد شده اند، تولید کنندگان مواد غذایی را به جستجوی گزینه های طبیعی سوق داده است. در میان این گزینه ها، رنگدانه های فیکوسیانیین (PC) استخراج شده از اسپیرولینا، که یک سیانوباکتری با فواید سلامتی متعدد است، توجه قابل توجهی را به عنوان یک گزینه امن و طبیعی جلب کرده اند (۹). استفاده از PC نه تنها الزامات مقرراتی را برآورده می کند بلکه تعهد صنعت به ارائه محصولات غذایی ایمن، با کیفیت بالا و به طور طبیعی محافظت شده را نیز نشان می دهد (۱۰). تحقیقات نشان داده است که PC می تواند به طور مؤثری عمر مفید محصولات غذایی، از جمله قزل آلا، را افزایش دهد. این امر

مقدمه

از نظر تغذیه ای، غذاهای دریایی، به ویژه قزل آلی رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، مواد مغذی اساسی از جمله اسیدهای چرب امگا-۳، پروتئین های باکیفیت و ویتامین هایی مانند ویتامین D و B12 را ارائه می دهد 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 گونه های آبی پرورشی کلیدی تبدیل کرده است. دوم، ویژگی های تغذیه ای ممتاز آن، به ویژه محتوای بالای اسیدهای چرب غیر اشباع 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 می دهد؛ فرآیندهای اکسیداسیون لیپیدها و فعالیت های میکروبی (مانند باکتری های سایکروتروفیک) به سرعت باعث کاهش کیفیت حسی، تغییر رنگ و ایجاد بوی نامطلوب می گردند. بنابراین، قزل آلی رنگین کمان به عنوان یک نمونه ایده آل برای ارزیابی اثربخشی روش های نوین نگهداری و بسته بندی در جهت افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت عمل می کند (۲).

با اولویت دادن به تازگی، تأمین کنندگان و خرده فروشان نه تنها انتظارات مصرف کنندگان را در مورد غذاهای دریایی با کیفیت برآورده می کنند، بلکه انتخاب های سالم را که به یک رژیم غذایی مغذی کمک می کند، حمایت می کنند (۳).

افزایش عمر مفید برای برآورده کردن انتظارات مصرف کنندگان ضروری است و هدف آن جلوگیری از رشد میکروبی، کاهش خطر فساد و به حداقل رساندن آلودگی باکتریایی است. تکنیک های مدرن مانند درمان با

فیکوسیائین با استفاده از اسپکتروفتومتری و فرمول ۱ تعیین شد (۱۲). مقدار حداقل مهارکنندگی (MIC) استخراج شده علیه *E. coli* و *Staphylococcus aureus* هم به طور جداگانه و هم در حضور اسید سیتریک اندازه گیری شد (۱۱).

$$PC = \frac{A_{620}}{A_{280}} \quad (1)$$

آماده سازی و درمان نمونه ها

ماهی های قزل آلا از بازار محلی تهیه و در آزمایشگاه فیله شدند. فیله ها به ابعاد ۵ سانتی متر × ۵ سانتی متر × ۱ سانتی متر برش داده شدند (۷). از میان آن ها، نیمی با PC پیش درمان شدند، سپس همه فیله ها در پتری دیش ها برای درمان با DBD قرار گرفتند. درمان با DBD در ولتاژهای ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و به مدت زمان مختلف، ۲ دقیقه و ۵ دقیقه، انجام شد. به طور کلی، ۱۰۰ فیله تحت شش شرایط درمانی مختلف قرار گرفتند: گروه کنترل بدون درمان DBD و 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 در حضور PC درمان شد را P80:2+PC، گروهی که با DBD به مدت ۵ دقیقه در ولتاژ ۷۰ کیلوولت در حضور 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

با روند گسترده تر به سمت روش های حفظ طبیعی در صنعت غذا هماهنگ است (۱۱).

ترکیب نوآورانه ی درمان DBD و PC برای فیله های قزل آلا یک روش پیشگامانه برای افزایش عمر مفید این محصولات است، با توجه به عدم وجود تحقیق قبلی در مورد اثرات ترکیبی آن ها. این روش نوآورانه پتانسیل آن را دارد که عمر مفید را به طور قابل توجهی طولانی تر کند، که به نوبه خود خسارات اقتصادی صنعت آبروری را کاهش داده و فیله های قزل آلا را تازه تر و از نظر تغذیه ای غنی تر به مصرف کنندگان ارائه می دهد. پیامدهای این پیشرفت چندجانبه است، شامل منافع اقتصادی، پایداری محیط زیست و افزایش رضایت مصرف کننده که بهبود قابل توجهی در روش های حفظ مواد غذایی به حساب می آید.

مهم ترین چالش این روش، هزینه بالای سرمایه گذاری و نیاز به اخذ تأییدیه های نظارتی است. با این حال، فرصت اصلی، تولید محصولی با ماندگاری بیشتر و برجسته "تمیز" برای پاسخگویی به تقاضای بازار است.

هدف این مطالعه بررسی اثرات هم افزای درمان DBD با ولتاژهای درمان ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و زمان های درمان ۲ و ۵ دقیقه، با حضور و عدم حضور PC است. این مطالعه ویژگی های میکروبی و شیمیایی، ویژگی های حسی و خواص آنتی اکسیدانی قزل آلا را در طول یک دوره ۱۸ روزه ذخیره سازی در دمای یخچال (۴ درجه سانتی گراد) بررسی خواهد کرد.

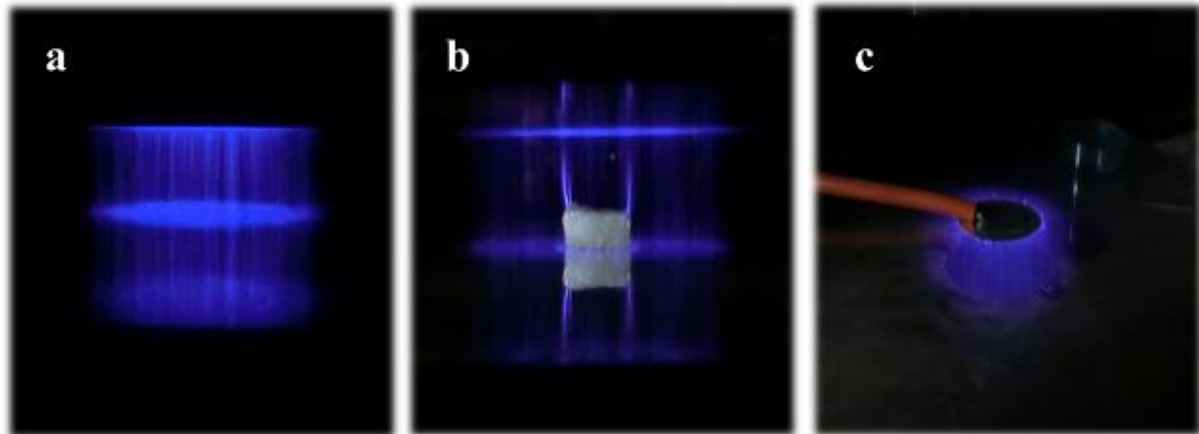
مواد و روش ها

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

الکترودها توسط یک دی الکتریک شیشه ای به ضخامت ۳ میلی متر از یکدیگر جدا شده و فاصله ثابت ۲ سانتی متر بین آنها حفظ شد (شکل ۱). این فاصله در تمام آزمایشات ثابت باقی ماند.

سیستم پلاسمای DBD شامل دو الکتروود دایره ای از جنس آلومینیوم با قطر ۱۵ سانتی متر است که در آزمایشگاه ساخته شدند. یکی از الکترودها به منبع تغذیه ولتاژ بالا (HV) با فرکانس ۵۰ هرتز متصل است و به عنوان الکتروود HV عمل می کند، در حالی که الکتروود دیگر به زمین متصل است.



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

خواص فیزیکوشیمیایی

فیله های قزل آلا تحت ارزیابی های شیمیایی قرار گرفتند تا مقادیر اسیدیته (۱۶)، عدد پروکساید (۱۷) (PV)، و سطح های تری میتل امین (۱۸) (TMA) اندازه گیری شوند.

ارزیابی آنتی اکسیدانی

برای اندازه گیری ABTS، ابتدا رادیکال های $ABTS^{\bullet+}$ در واکنش با محلول آنتی اکسیدان در غیاب نور تولید شدند و کاهش رنگ آنها بر اساس تغییر جذب نور در طول موج مشخص اندازه گیری شد (۱۹). برای اندازه گیری FRAP، ظرفیت اهداکنندگی الکترون آنتی اکسیدان ها با اندازه گیری تغییر رنگ محلول FRAP به دست آمد (۲۰). میزان تغییر رنگ به عنوان شاخصی از قدرت آنتی اکسیدانی 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

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، آنتی اکسیدانی و حسی ارزیابی شدند، و هر ارزیابی در سه تکرار انجام شد.

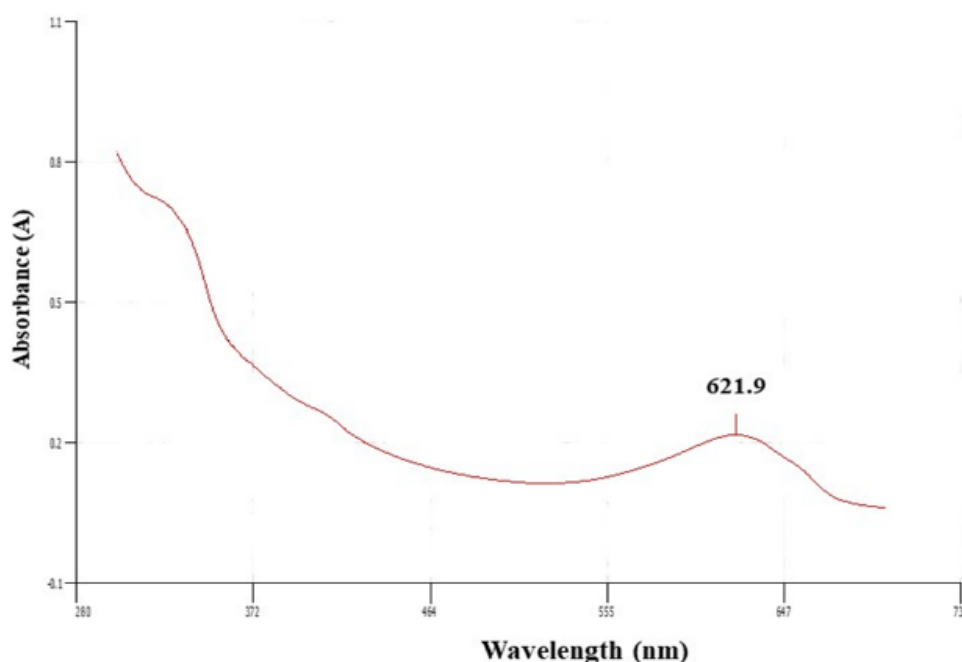
تجزیه و تحلیل های میکروبیولوژیکی

به منظور تعیین سرعت رشد میکروارگانیسم های فساد در محصولات غذایی، گروه های میکروبی خاصی تحلیل شدند. داده ها به صورت لگاریتم واحدهای کلنی در هر گرم (CFU/g) بیان شدند و میانگین ها و خطاهای استاندارد محاسبه گردیدند. شمارش باکتری های سرمادوست (TPC) با استفاده از روش پخش صفحه ای تعیین شد (۱۳). شمارش استافیلوکوکوس اورئوس کوآگولاز مثبت (CoPS) با استفاده از محیط کشت بائر-پارکر انجام شد (۱۴). شمارش باکتری های لاکتوباسیلوس (LB) با پیروی از پروتکل های تعیین شده به دست آمد (۱۵).

نتایج

غلظت و خلوص PC

میزان غلظت و خلوص PC قبل و بعد از دیالیز اندازه گیری شد. در ابتدا، غلظت‌ها به ترتیب ۰.۲۳۸ میلی گرم بر میلی لیتر و ۰.۰۶۳ میلی گرم بر میلی لیتر بودند. پس از دیالیز، غلظت‌ها به طور جزئی افزایش یافتند و به ۰.۲۵۱ میلی گرم بر میلی لیتر و ۰.۰۶۵ میلی گرم بر میلی لیتر رسیدند که نشان دهنده درجه کمی از تصفیه است. خاصیت فیکوسیاینین با رسم نمودار (شکل ۲) ارزیابی شد که دارای قله ای با مقدار ۶۲۱.۹ بود که نشان دهنده درجه بالای خلوص است.



شکل ۲. نمودار تصفیه PC پس از دیالیز

افزایش را داشت و از $\log \text{CFU/g}$ ۲.۵۳ به $\log \text{CFU/g}$ ۷.۵۵ رسید ($p < 0.05$). درمان DBD به طور مؤثری TPC را 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+PC در مقایسه با نمونه کنترل کمتر بود. علاوه بر این، اثر ترکیبی درمان DBD با PC، به ویژه در مورد

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 Excel ارائه شد (۲۱).

تغییرات میکروبیولوژیکی در فیله‌های رنگین کمان *Oncorhynchus mykiss* تیمار شده با DBD و PC طی ۱۸ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد

افزایش قابل توجهی در TPC در طول ۱۸ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در همه نمونه‌ها مشاهده شد (جدول ۱) ($p < 0.05$). نمونه C بیشترین افزایش در TPC را داشت که از $\log \text{CFU/g}$ ۳.۳۸ به $\log \text{CFU/g}$ ۹.۶۹ رسید، در حالی که نمونه P80:5+PC کمترین

P80:5+PC، به طور 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 تیمار PC، 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)

تفاوت معناداری بین نمونه های C، P80:2-PC، P70:5-PC و P80:2-PC مشاهده نشد ($p > 0.05$). به طور مشابه، در روز ۱۸ بین نمونه های 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 ($CFU/g \ 8.00$) نسبت به نمونه C نشان داد ($p < 0$).

در طی دوره ذخیره سازی ۱۸ روزه در دمای ۴ درجه سانتیگراد، افزایش قابل توجهی در سطح استافیلوکوکوس در همه نمونه ها مشاهده شد (جدول ۲) ($p < 0.05$). نمونه C بیشترین افزایش در سطح استافیلوکوکوس را نشان داد و از ۰ به $9.33 \log CFU/g$ رسید. در مقابل، P80:5+PC کمترین افزایش در سطح استافیلوکوکوس را نشان داد و تنها به $7.09 \log CFU/g$ رسید. علاوه بر این، در روز ۱۸،

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)

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

روز نشان داد، به طوری که از $\log \text{CFU/g}$ ۰.۲۲ به $\log$

CFU/g ۹.۳۹ رسید ($p < 0.05$) . با این حال، PC به

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 ($7.88 \log \text{CFU/g}$)

(مشاهده شد. جالب توجه است که در روز ششم، شمارش

LB در نمونه کنترل از حد مجاز فساد ($6 \log \text{CFU/g}$)

فراتر رفت و به $\log \text{CFU/g}$ ۶.۳۶ 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 $\log \text{CFU/g}$ ۶.۸۴ از این حد گذشت.

در روز اول، نمونه C حاوی $\log \text{CFU/g}$ ۰.۲۲ از باکتری

لاکتوباسیلوس (LB) بود. با این حال، با تیمار DBD (7.0

کیلو ولت، ۲ دقیقه)، این مقدار در همان روز به طور قابل

توجهی به $\log \text{CFU/g}$ ۰.۰۹ کاهش یافت ($p < 0.05$)

(جدول ۳). با افزایش ولتاژ و زمان درمان، شمارش

LB در فیله‌های ماهی به طور قابل توجهی کاهش یافت و در

نهایت به صفر رسید ($p < 0.05$). علاوه بر این، حضور

PC در فیله‌های درمان شده با DBD نیز منجر به ریشه‌کنی

کامل LB شد. نمونه C بیشترین افزایش در LB را طی ۱۸

جدول ۳. تغییرات Lb 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 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	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)
-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)
P70:5	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)
-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)
P80:2							
-PC							
P80:5							
-PC							

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

تغییرات فیزیوشیمیایی در فیله های رنگین کمان Oncorhynchus mykiss تیمار شده با DBD و PC طی ۱۸ روز در دمای ۴ درجه سانتی گراد

طی دوره نگهداری ۱۸ روزه، اسیدیته تمام نمونه ها به طور 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 نمونه های P70:5+PC و P80:5+PC کمترین نرخ افزایش را داشتند و از ۰.۱۳ به ۰.۱۹ رسیدند (جدول ۴) ($p < 0.05$). نمونه PC-P در طول کل دوره ۱۸ روزه به طور مداوم سطوح اسیدیته کمتری نسبت به نمونه C نشان داد ($p < 0.05$), که نشان دهنده توانایی مؤثر PC در کاهش سطوح اسیدیته است. علاوه بر این، نمونه C در تمام دوره

نگهداری به طور 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 به طور مداوم کمترین سطح اسیدیته را نشان داد و در روز سوم هیچ تفاوت معناداری با نمونه های P70:5+PC، P70:5-PC و P80:5-PC نداشت ($p > 0.05$). نمونه هایی 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 به طور قابل توجهی نرخ افزایش اسیدیته را در مقایسه با نمونه کنترل در طول دوره ۱۸ روزه کاهش داد ($p < 0.05$).

جدول ۴. تغییرات اسیدیته 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* 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

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

P80:2	0.13±0.000	0.14±0.000	0.15±0.0000	0.17±0.000	0.17±0.000	0.18±0.000	0.19±0.00
+PC	0(ab) (A)	7(d) (B)	(cf) (C)	7(ch) (D)	5(e) (E)	9(f) (F)	09(h) (G)
P80:5	0.13±0.000	0.13±0.001	0.14±	0.16±0.000	0.17±0.000	0.17±0.000	0.19±0.00
+PC	3(ab) (A)	0(ce) (B)	0.0010(g)	7(i) (D)	6(f) (E)	7(g) (F)	10(g)(G)
			(C)				

و P80:5+PC، P70:5+PC، P70:2+PC به P80:2+PC به طور قابل توجهی کمتر از نمونه C بود ($p < 0.05$). در روز هجدهم، تفاوت آماری معناداری در PV بین نمونه‌های PC-P 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-PC تفاوت آماری معناداری ایجاد نکرد ($p > 0.05$). علاوه بر این، افزایش ولتاژ باعث کاهش قابل توجهی در PV در 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 ($p > 0.05$).

در دوره نگهداری ۱۸ روزه، PV تمامی نمونه‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافت (جدول ۵). در روز هجدهم، نمونه C بالاترین (0.55) PV را نشان داد، در حالی که کمترین PV در نمونه P80:5+PC (0.38) مشاهده شد ($p < 0.05$). به استثنای روز اول، PV نمونه PC-P 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 PC و DBD 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 PC-P مشاهده نشد ($p > 0.05$). با این حال، PV نمونه‌های

جدول ۵. تغییرات PV با تیمار DBD در ولتاژهای ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و مدت زمان ۲ و ۵ دقیقه، با و بدون تیمار PC، روی فیله‌های 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±0.002 2(a)(B)	0.32±0.003 0(a)(C)	0.36±0.002 2(a)(D)	0.41±0.001 6(a)(E)	0.46±0.003 8(a)(F)	0.55±0.00 28(a)(G)
P70:2-PC	0.21±0.0008 (a) (A)	0.27±0.001 4(a)(B)	0.31±0.002 5(a) (C)	0.35±0.002 8(b) (D)	0.38±0.002 8(b) (E)	0.44±0.002 2(b)(F)	0.52±0.00 08(b) (G)
P70:5-PC	0.21±0.0014 (ab) (A)	0.25±0.000 8(b) (B)	0.29±0.002 2(b) (C)	0.33±0.002 2(c) (D)	0.37±0.000 8(c) (E)	0.42±0.002 2(c)(F)	0.50±0.00 08(c) (G)
P80:2-PC	0.20±0.0016 (ab) (A)	0.24±0.001 4(c) (B)	0.27±0.000 30(c) (C)	0.31±0.002 8(df) (D)	0.35±0.002 2(d) (E)	0.41±0.001 4(d) (F)	0.48±0.00 16(d) (G)
P80:5-PC	0.20±0.0022 (ab) (A)	0.22±0.002 8(d) (B)	0.26±0.002 8(d)(C)	0.29±0.002 8(e) (D)	0.34±0.001 4(e) (E)	0.39±0.001 4(e)(F)	0.45±0.00 14(e) (G)
PC-P	0.21±0.0022 (ab) (A)	0.23±0.001 4(c)(B)	0.27±0.001 6(c) (C)	0.32±0.000 8(cd) (D)	0.37±0.001 4(c) (E)	0.42±0.001 6(c) (F)	0.48±0.00 14(d) (G)
P70:2+PC	0.20±0.0014 (bc) (A)	0.22±0.000 8(de) (B)	0.26±0.001 4(cd) (C)	0.30±0.001 4(f) (D)	0.35±0.001 4(d) (E)	0.40±0.001 4(d) (F)	0.45±0.00 14(e) (G)
P70:5+PC	0.19±0.0014 (cd) (A)	0.21±0.000 8(ef) (B)	0.25±0.002 2(e) (C)	0.29±0.000 8(e) (D)	0.34±0.001 4(e) (E)	0.38±0.000 8(e) (F)	0.42±0.00 08(f) (G)
P80:2+PC	0.18±0.0044 (d) (A)	0.21±0.001 4(f) (B)	0.24±0.001 6(e) (C)	0.27±0.001 4(g) (D)	0.32±0.001 4(f) (E)	0.36±0.000 8(f) (F)	0.40±0.00 22(g) (G)
P80:5+PC	0.18±0.0030 (d) (A)	0.20±0.000 8(g) (B)	0.22±0.002 2(f) (C)	0.26±0.002 2(h) (D)	0.30±0.000 8(g) (E)	0.34±0.000 8(g) (F)	0.38±0.00 25(h)(G)

زمان درمان در ولتاژ ۸۰ کیلوولت باعث کاهش قابل توجهی در مقادیر TMA می شود و این کاهش با طولانی تر شدن مدت زمان درمان بیشتر می شود. با این حال، این کاهش برای نمونه های درمان شده در ولتاژ ۷۰ کیلوولت در روزهای نهم و دوازدهم معنی دار نیست. علاوه بر این، افزایش ولتاژ به طور مداوم باعث کاهش مقادیر TMA می شود. 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 می دهد، که نشان دهنده پتانسیل کنترل TMA در ذخیره سازی محصولات ماهی با درمان های DBD و PC است.

نتایج نشان می دهد که در دوره نگهداری ۱۸ روزه، مقدار TMA در تمام نمونه ها به طور قابل توجهی افزایش یافته است، به طوری که نمونه C افزایش سریع تری نسبت به نمونه های تحت درمان نشان می دهد (جدول ۶). در ابتدا، تفاوت معنی داری در مقادیر TMA بین نمونه های تحت درمان و نمونه C مشاهده نمی شود ($p > 0.05$). تا روز نهم، مقدار TMA در نمونه C به ۰.۲۵ میلی گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم می رسد، در حالی که نمونه P80:5+PC زیر این مقدار باقی می ماند. تا روز هجدهم، نمونه C بالاترین مقدار TMA (۵۳.۷۶ میلی گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم) را ثبت می کند، در حالی که کمترین مقدار در نمونه P80:5+PC مشاهده می شود (۳۳.۶۹ میلی گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم). افزایش

جدول ۶) تغییرات TMA 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 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±0.0008(a)(D)	0.36±0.0003(a)(D)
P70:2-PC	0.12±0.00017(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±0.0008(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±0.0009(c)(D)	0.26±0.0008(cd)(E)	0.29±0.0002(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±0.0007(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±0.0002(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±0.0005(h)(D)	0.20±0.0000(h)(E)	0.23±0.0004(g)(F)	0.24±0.0017(h)(G)

تغییرات فعالیت آنتی اکسیدانی در فیله های رنگین کمان *Oncorhynchus mykiss* تیمار شده با DBD و PC طی ۱۸ روز در دمای ۴ درجه سانتی گراد

مقدار FRAP نمونه PC-P به طور قابل توجهی بالاتر از نمونه C و نمونه های 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 می دهد و تفاوت معنی داری 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 می کند (از ۱۶.۸۷ به ۹.۲۶)، در حالی که نمونه PC-P80:5 کمترین افزایش را نشان می دهد (از ۳۲.۷۴ به ۲۰.۵۷) ($p < 0.05$). این یافته ها نشان می دهد که فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه های 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 نشان دهنده پتانسیل استفاده از این ترکیبات به عنوان نگهدارنده های 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

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

نتایج نشان می دهد که مقادیر ABTS در نمونه های تنها با DBD درمان شده، در روز اول تفاوت معنی داری با نمونه C ندارند ($p > 0.05$) (جدول ۸). با این حال، از روز سوم به بعد، مقادیر ABTS در نمونه های P80:2-PC و P80:5-

PC در مقایسه با نمونه C به طور قابل توجهی کاهش می یابد ($p < 0.05$). علاوه بر این، به جز روز اول، مقادیر ABTS در نمونه های تنها با DBD درمان شده با افزایش ولتاژ از ۷۰ به ۸۰ کیلوولت به طور معنی داری کاهش یافته و در مقایسه

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 معنی داری بین نمونه P80:5+PC و نمونه های P80:2+PC و P70:5+PC وجود ندارد. این یافته ها نشان می دهند که ترکیب PC با درمان DBD می تواند به طور موثری ظرفیت حذف رادیکال ABTS را در نمونه های غذایی افزایش دهد.

با نمونه C تفاوت معنی داری نشان می دهد ($p<0.05$). برعکس، نمونه های تحت درمان با PC، چه با DBD و چه بدون آن، بهبود در ظرفیت حذف رادیکال ABTS نشان می دهند. 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 می یابد ($p<0.05$). علاوه بر این، در طول دوره ۱۸ روزه، هیچ تفاوت آماری معنی داری در مقادیر ABTS بین نمونه های درمان شده با PC با و بدون درمان DBD وجود

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

روز هجدهم	روز پانزدهم	روز دوازدهم	روز نهم	روز ششم	روز سوم	روز اول	ABTS
12.58±0.11 86(a)(D)	11.92±0.282 8(a)(D)	7.64±0.2252 (a)(C)	5.93±0.051 7(a)(B)	5.02±0.037 7(a)(A)	4.81±0.017 1(a)(A)	4.47±0.099 9(a)(A)	C
12.03±0.28 06(b)(E)	7.17±0.3485 (b)(D)	6.33±0.1733 (b)(CD)	5.57±0.092 4(a)(BC)	4.29±0.020 6(b)(A)	4.63±0.062 4(ab)(AB)	4.34±0.175 0(a)(A)	P70:2-PC
9.41±0.066 2(b)(E)	5.96±0.1414 (c)(D)	5.60±0.1022 (c)(CD)	4.98±0.000 0(b)(BC)	3.88±0.029 6(c)(A)	4.55±0.080 5(b)(AB)	4.56±0.101 6(a)(AB)	P70:5-PC
6.16±0.037 4(c)(D)	5.32±0.1621 (cd)(CD)	4.93±0.16.9 0(cd)(BC)	4.54±0.178 0(c)(BC)	3.49±0.013 6(d)(A)	3.35±0.066 8(c)(A)	4.16±0.370 2(a)(AB)	P80:2-PC
5.48±0.029 6(d)(D)	5.04±0.1221 (d)(CD)	4.40±0.2369 (d)(BC)	4.29±0.130 4(c)(BC)	3.25±0.052 1(e)(A)	3.13±0.028 4(c)(A)	4.03±0.421 5(a)(AB)	P80:5-PC
3.31±0.032 1(e)(E)	3.03±0.1154 (e)(D)	2.55±0.0196 (e)(C)	2.21±0.050 5(d)(B)	2.08±0.050 0(f)(B)	1.96±0.033 5(d)(B)	1.54±0.026 4(b)(A)	PC-P
3.02±0.017 9(e)(D)	2.86±0.0666 (e)(D)	2.44±0.0131 (e)(C)	24.83±0.03 68(d)(C)	2.03±0.051 6(f)(B)	1.88±0.006 8(d)(B)	1.54±0.025 5(b)(A)	P70:2+PC
2.78±0.116 2(ef)(E)	2.60±0.1165 (e)(DE)	2.27±0.0733 (e)(CD)	2.09±0.044 8(d)(BC)	2.00±0.046 1(f)(BC)	1.90±0.030 1(d)(B)	1.54±0.017 9(b)(A)	P70:5+PC
2.69±0.094 8(f)(D)	2.46±0.0899 (e)(D)	2.15±0.0414 (e)(C)	2.04±0.055 7(d)(BC)	1.97±0.045 0(f)(BC)	1.86±0.012 9(d)(B)	1.54±0.021 3(b)(A)	P80:2+PC
2.52±0.085 0(f)(E)	2.26±0.0247 (e)(D)	2.10±0.0442 (e)(CD)	2.00±0.041 3(d)(BC)	1.95±0.043 7(f)(BC)	1.84±0.022 4(d)(B)	1.54±0.022 8(b)(A)	P80:5+PC

بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که DBD به تنهایی ماندگاری فیله ها 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 درمان ها به تنهایی است.

ماهی حاوی آنتی اکسیدان ها است و استفاده از روش های ضد میکروبی قوی مانند DBD به طور موثری ماندگاری آن را افزایش می دهد. ترکیب DBD با PC غنی از آنتی اکسیدان

بحث

این مطالعه با هدف افزایش ماندگاری فیله های ماهی قزل آلا 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 DBD با PC در غلظت ۰.۰۶۵ میلی گرم/میلی لیتر نیز مورد

به تعادل استرس اکسیداتیو در بافت ماهی کمک می کند . PC با تثبیت رادیکال های آزاد و کاهش واکنش های اکسیداتیو، درمان DBD را مکمل می کند. آنتی اکسیدان هایی مانند PC با اهدا الکترون به رادیکال های آزاد، آن ها را تثبیت کرده و واکنش پذیری آن ها را کاهش می دهند. استفاده از PC ، یک آنتی اکسیدان گیاهی، اثربخشی درمان DBD را افزایش داده و با مهار استرس اکسیداتیو، ماندگاری ماهی را افزایش می دهد.

درمان DBD گونه های فعال اکسیژن و نیتروژن (RONS) مانند ازن، رادیکال های هیدروکسیل، اکسیژن اتمی، تابش UV، فوتون ها، گونه های واکنش شیمیایی و نیتریک اکسید تولید می کند که به فیله های ماهی نفوذ کرده و غشاهای سلولی باکتری ها را تخریب می کنند (۲۲). این امر پاسخ های استرسی در باکتری ها را تحریک کرده و منجر به آسیب و مرگ سلولی می شود. علاوه بر این، DBD بیوفیلم های باکتریایی را مختل می کند و باکتری ها را در معرض عوامل ضد میکروبی و استرس های محیطی قرار می دهد (۲۳). پلاسمای تولید شده توسط DBD حاوی هیدروژن پراکسید (H_2O_2) است که به سلول های باکتری نفوذ کرده و آسیب اکسیداتیو و مرگ سلولی ایجاد می کند (۲۴). DBD به طور موثری سطوح فیله های ماهی را ضد عفونی کرده و بار میکروبی اولیه را کاهش داده و رشد باکتری ها را در طول نگهداری محدود می کند. افزایش زمان درمان و ولتاژ تولید RONS را افزایش داده و فعالیت ضد میکروبی را تقویت می کند. زمان های درمان طولانی تر اجازه می دهد RONS به عمق بیشتری نفوذ کرده و باکتری ها را در معرض مدت طولانی تری قرار دهد (۲۵). ولتاژ بالاتر واکنش های پلاسمای شدت بخشیده و تولید RONS و کارایی ضد میکروبی را افزایش می دهد. ترکیب درمان طولانی تر و ولتاژ بالاتر باعث تقویت غیرفعال سازی باکتری ها می شود (۲۶).

PC دارای خواص ضد میکروبی است و غشاهای باکتریایی را تخریب کرده و اسیدیته را تغییر می دهد که رشد باکتری ها را مختل می کند. این ممکن است محدودیت در دسترسی به مواد مغذی را ایجاد کرده و تکثیر باکتری ها را بیشتر مهار

کند (۲۷). علاوه بر این، طبق مطالعه Abou Elmaaty و همکاران (۲۸)، حضور فل ها در رنگدانه فیکوسیائین می تواند خواص ضد میکروبی به این رنگدانه بدهد. درمان ترکیبی به صورت هم افزایی فعالیت ضد میکروبی را افزایش داده، سلول های باکتریایی را تخریب کرده و بیوفیلم ها را مختل کرده و در نتیجه بار میکروبی روی سطوح فیله های ماهی را کاهش داده و ماندگاری را افزایش داده و کیفیت را حفظ می کند. علاوه بر این، PC از طریق منافذ ایجاد شده توسط درمان DBD به سلول های باکتری نفوذ کرده و باعث مرگ سلولی می شود. ولتاژ بالاتر و زمان های درمان طولانی تر نفوذ رنگدانه را تسهیل کرده و باعث تقویت اثرات بر پارامترهای میکروبی و شیمیایی می شود. بنابراین، درمان ترکیبی نتایج برتری را در تنظیمات ولتاژ و مدت زمان بالا نشان می دهد.

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 باکتری های آزمایش شده را کاهش داد. ترکیب DBD به عنوان یک روش اکسیداتیو و ضد میکروبی قوی با PC به عنوان یک عامل پایدار کننده و آنتی اکسیدان قوی نتایج بهتری در مهار بار میکروبی نسبت به درمان های فردی نشان داد.

مطمئناً، با توجه به اینکه PC می تواند ROS ، اوزون و رادیکال های آزاد تولید شده توسط DBD را متعادل کند، می توان نتیجه گرفت که اشعه UV ، فوتون ها، ذرات باردار و سایر گونه های واکنش پذیر در DBD ، همراه با فنول های موجود در PC ، نقش مهمی در مهار بار میکروبی نمونه ها دارند (۷). برخلاف یافته های کیم و همکاران (۲۹)، که نشان می داد DBD تأثیری در کاهش لاکتوباسیلوس ندارد، مشاهده می شود که لاکتوباسیلوس با درمان DBD ، هم با و هم بدون PC ، نسبت به نمونه کنترل کاهش می یابد ($p < 0.05$).

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

پروتئین ها اسیدیته فیله ماهی را افزایش می دهد که به دنا توراسیون پروتئین ها و کاهش گروه های اسیدی مرتبط است (۳۰). روزهای بعدی کاهش اسیدیته را نشان می دهد که ممکن است به دلیل تجزیه یون های H^+ و تولید اسید نیتریک/نیتروژن باشد. پلازما DBD گونه های واکنش پذیر اکسیژن و نیتروژن (RONS) تولید می کند که ممکن است اسیدیته گوشت ماهی را از طریق تعامل با اجزای بافت و گونه های پلازما واکنش دهنده با آب تغییر دهد (۳۱). افزایش ولتاژ و مدت زمان درمان DBD تشکیل فاز مایع غیر آبی (NAPS) را به دلیل افزایش تولید پلازما و تعامل با بافت ها افزایش می دهد و نفوذ گونه های واکنش پذیر را به عمق بیشتری می دهد. با این حال، در طول ذخیره سازی، کاهش گونه های واکنش پذیر تولید شده توسط DBD تشکیل NAPS را کاهش می دهد. تعامل با ترکیبات بافتی و عوامل محیطی مانند دما و مواجهه با اکسیژن پایداری NAPS را در طول ذخیره سازی بیشتر مهار می کند (۳۲). PC به عنوان یک آنتی اکسیدان، می تواند فرآیندهای اکسیداتیو القا شده توسط DBD را کاهش دهد و ممکن است اسیدیته را نسبت به درمان DBD به تنهایی تثبیت کند.

شاخص های هدف برای اکسیداسیون لیپید، مانند PV، معمولاً برای ارزیابی محصولات اولیه اکسیداسیون لیپید استفاده می شوند. گونه های *Pseudomonas* که حاوی آنزیم های لیپاز و فسفولیپاز هستند، می توانند سطح اسیدهای چرب آزاد را افزایش دهند که به اکسیداسیون مستعد بوده و منجر به تولید ناپایدار هیدروپراکسیدهای لیپید می شود (۳۳). افزایش مقدار پراکسید معمولاً ناشی از فعالیت لیپازهای درون زادی یا لیپاز میکروبی است. کاهش مقدار پراکسید در فیله های ماهی نشان دهنده مهار اکسیداسیون لیپید به دلیل درمان با PC و DBD است (۳۴). توانایی PC در خنثی سازی ROS تولید شده توسط DBD به اثر حفاظتی قابل توجه آن بر روی لیپیدها در برابر فرآیندهای اکسیداتیو کمک می کند.

پس از هجده روز، مقدار TMA در هر فیله به طور روزانه زیر یک واحد باقی می ماند. افزایش ولتاژ و مدت زمان درمان DBD میزان TMA را نسبت به کنترل کاهش می دهد (۱۳). DBD با PC کمترین مقادیر TMA را نشان می دهد ($p < 0.05$)، در حالی که PC به تنهایی مقادیر را در اکثر روزها نسبت به کنترل کاهش می دهد. ($p < 0.05$) طبق گزارش Olatunde^۱ و همکاران (۳۰)، کاهش بار میکروبی با کاهش TMA ارتباط دارد. خواص ضد میکروبی ترکیب DBD و PC، به ویژه در ولتاژ و زمان های بالاتر، به سرعت رشد باکتری ها و دامیناسیون ترکیبات غیر پروتئینی را کاهش می دهد. ذخیره سازی طولانی تر باعث افزایش پروفیر آیلایسون میکروبی و افزایش TMA به دلیل تجزیه پروتئین می شود. درمان های DBD و PC به طور مؤثر رشد میکروبی را مهار کرده و افزایش TMA ناشی از تجزیه پروتئین را کنترل می کنند. تیمار ترکیبی همچنین با کاهش باکتری های تولید کننده H_2S ، تبدیل TMA را کاهش می دهد.

فعالیت آنتی اکسیدانی به عنوان یک معیار حیاتی از بیواکتیویته پروتئین عمل می کند. طبق گزارش باو و همکاران، بهینه سازی ولتاژ و زمان درمان در درمان DBD می تواند فعالیت آنتی اکسیدانی را افزایش دهد. بنابراین، فیله های ماهی درمان شده با DBD با افزایش ولتاژ درمان به ۸۰ kV و افزایش زمان درمان به ۵ دقیقه، فعالیت های آنتی اکسیدانی بهتری نشان می دهند. استرس اکسیداتیو، که یکی از عوامل اختلالات و بیماری های سلولی است، می تواند با PC که به طور مؤثری از سلول ها در برابر آسیب اکسیداتیو ناشی از ROS محافظت می کند، کاهش یابد (۳۵). سطح بالای ABTS در PC نشان دهنده 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 ABTS را کاهش می دهد و $P80:5+PC$ در تمام روزها کمترین سطح را نشان می دهد. علاوه بر این، آزمایش FRAP بهبود قابل توجهی در ظرفیت اهدا کنندگی الکترون های آنتی اکسیدانی را با درمان PC و DBD نشان

طوری که PC خواص آنتی اکسیدانی را ارائه می دهد و پلاسما DBD مزایای ضد میکروبی را ارائه می دهد. این یافته ها پتانسیل استفاده از رنگدانه های طبیعی و فناوری های پلاسما نوآورانه در حفظ غذاهای دریایی را برجسته می کند و به نگرانی های کیفیت و ایمنی در صنعت غذا پاسخ می دهد. تحقیقات و بهینه سازی بیشتر پارامترهای درمانی برای بهره برداری کامل از مزایای این روش ها و تسهیل کاربرد عملی آنها در محیط های تجاری ضروری است.

می دهد. به طور کلی، درمان ترکیبی DBD و PC اثرات قوی بر فعالیت های آنتی اکسیدانی فیله های ماهی نشان می دهد و اثرات مثبت درمان DBD به تنهایی را تکمیل می کند.

نتیجه گیری

استفاده از PC و پلاسما DBD به عنوان یک روش امیدوارکننده برای افزایش مدت نگهداری فیله های ماهی قزل آلا *Oncorhynchus mykiss* مطرح می شود. مطالعه ما نشان می دهد که درمان با PC و پلاسما DBD به طور مؤثر رشد میکروبی را مهار می کند و خواص آنتی اکسیدانی را افزایش می دهد و در نهایت کیفیت کلی و طول عمر فیله های ماهی قزل آلا را از ۳ روز به ۱۵ روز بهبود می بخشد. درمان ترکیبی اثرات هم افزایی را نشان می دهد، به

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

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.