

عنوان :

کاربرد اسپیرولینا در فیلم ها و پوشش های خوراکی

استاد راهنما:



ارائه دهنده:



دکتر عاطفه صرافان صادقی

نازنین نیکخوی

زمان : ۱۴۰۴/۰۳/۲۲

ساعت: ۸ صبح

مکان: اتاق کنفرانس





Varastegan Institute For
Medical Sciences Department of
Food Science and Technology

B.Sc. Seminar in food science and technology

Title:

Application of *Spirulina* in Edible Films and Coatings



Supervisor:

Dr. Atefeh Sarafan Sadeghi



Presented by:

Nazanin Nikkhooy

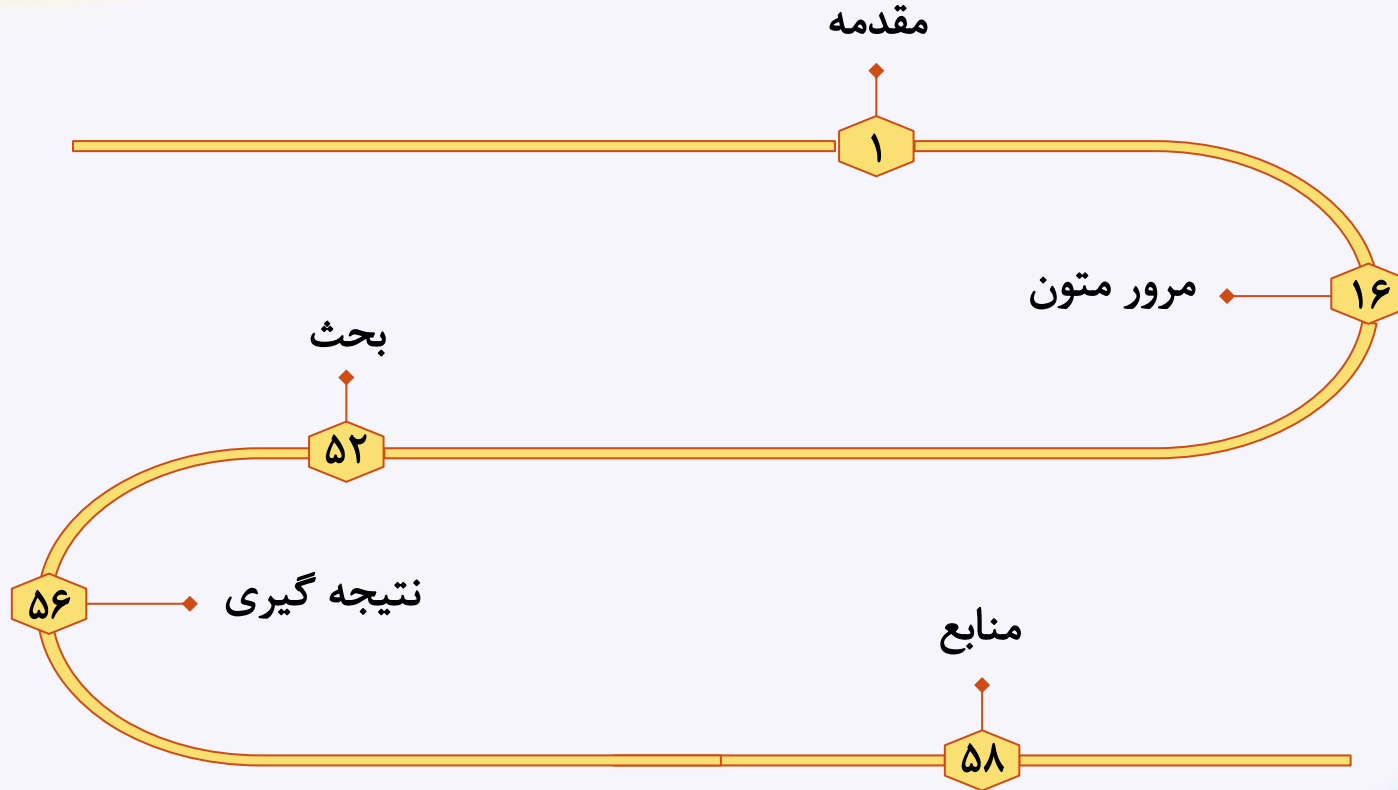
Date: 12 June 2025

Time: 8 AM

Place: Conference room



فهرست مطالب



فهرست جداول

شماره اسلاید	جدول
۲۳	۱
۲۴	۲
۳۱	۳
۳۵	۴
۴۴	۵
۵۰	۶

فهرست اشکال

شماره اسلاید	شکل
۱۹	۱
۲۱	۲
۳۲	۳
۳۳	۴
۴۳	۵

فهرست اختصارات

علامت اختصاری	معادل انگلیسی	معادل فارسی
C-PC	C-Phycocyanin	سی - فایکوسیانین
PUFAs	Polyunsaturated Fatty Acids	اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه
SOD	Superoxide Dismutase	سوپراکسید دیسموتاز
PCB	Phycocyanobilin	فایکوسیانیوبیلین
CAGR	Compound Annual Growth Rate	نرخ رشد مرکب سالانه

فهرست اختصارات

معادل فارسی	معادل انگلیسی	علامت اختصاری
محتوای فنلی کل	Total Phenolic Content	TPC
شیره معده شبیه‌سازی شده	Simulated Gastric Juice	SGJ
کنسانتره پروتئین وی	Whey Protein Concentrate	WPC
نیتروژن بازی فرار کل	Total Volatile Basic Nitrogen	TVBN

فهرست اختصارات

علامت اختصاری	معادل انگلیسی	معادل فارسی
TVC	Total Viable Count	شمارش کلی میکروارگانیسم‌های زنده
OSA	Oxidized Sodium Alginate	آلژینات سدیم اکسید شده
FFS	Film-Forming Solution	محلول تشکیل دهنده فیلم
TMA	Trimethylamine	تری متیل آمین

فهرست اختصارات

علامت اختصاری	معادل انگلیسی	معادل فارسی
LAB	Lactic Acid Bacteria	باکتری‌های اسید لاکتیک
DPPH	2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl	دی فنیل پیکریل هیدرازیل
SP	Spirulina	اسپیرولینا
VRBA	Violet Red Bile Agar	ویولت رد بایل آگار (آگار صفراوی بنفش قرمز)

فهرست اختصارات

علامت اختصاری	معادل انگلیسی	معادل فارسی
PV	Peroxide Value	مقدار پراکسید
AOCS	American Oil Chemists Society	انجمن شیمی دانان روغن آمریکا
PVA/NCH/PC-NC	Polyvinyl Alcohol/Nano Chitosan/Phycocyanin Nanocomposite	نانوکامپوزیت پلی وینیل الکل / نانو کیتوزان / فایکوسیانین
PVA	Polyvinyl Alcohol	پلی وینیل الکل

مقدمه



بسته بندی مواد غذایی

- هدف بسته بندی مواد غذایی ← محافظت مکانیکی از محصول و جلوگیری از آلودگی میکروبیولوژیکی و شیمیایی.
- بسته بندی های متداول مواد غذایی ← پلاستیک های مصنوعی ← پلی اتیلن، پلی اتیلن ترفتالات، پلی وینیل کلراید، پلی پروپیلن و پلی استایرن



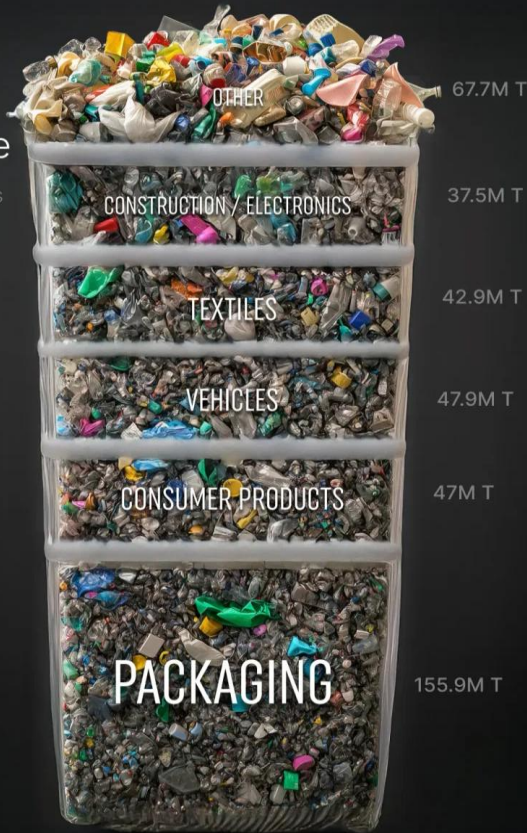
One year of global plastic waste

Over 400 million tonnes

Burj Khalifa
FOR SCALE



CALCULATION: BASED ON
PLASTIC DENSITY OF 400 KG/M³

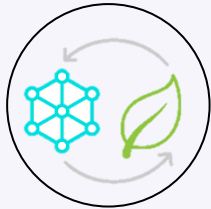


DATA: OECD (2024 FORECAST FROM 2020)

MADE VISUAL co.

پسماند پلاستیکی تولید شده در ۲۰۲۴

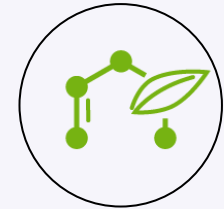
پلیمرهای زیستی



تجزیه توسط فعالیت‌های آنزیمی و میکروارگانیسم‌های موجود در خاک و آب



مصرف ۶۵٪ انرژی کمتر در مقایسه با تولید پلیمرهای سنتتیک



جایگزین برای کاهش اثرات منفی زیست محیطی پلاستیک‌ها



کمک به حذف انتشار گازهای آلاینده

Zhang *et al.*, Mater. Today, 2022.

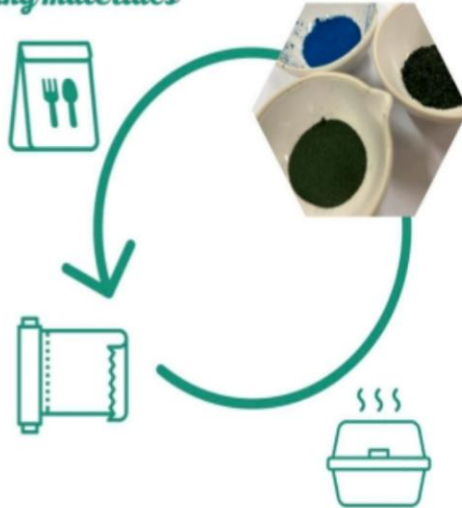
Moghaddas Kia *et al.*, J. Appl. Polym. Sci., 2018.

Ferreira *et al.*, In Cultured microalgae for the food industry , 2021.

مواد بسته بندی مبتنی بر پلیمرهای زیستی

Biopolymer-based packaging materials

- starch
- chitosan
- pectin
- cellulose
- zein
- gelatin
- collagen
- carnauba wax
- beeswax
- palm oil



فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر و یا خوراکی از زیست‌مولکول‌های طبیعی مانند پلی‌ساکاریدها (نشاسته، کیتوزان، پکتین، سلولز و مشتقات آن)، پروتئین‌ها (زئین، ژلاتین، کلاژن و پروتئین سویا) و لیپیدها (موم کارنائوبا، موم زنبورعسل و روغن پالم) یا ترکیبی از این اجزا تولید می‌شوند.



بسته‌بندی هوشمند

- نظارت و تأیید کیفیت و ایمنی مواد غذایی از طریق نشانگرها و حسگرها.
- آگاه کردن مصرف کننده در مورد کیفیت محصول قبل و یا بعد از خرید.
- از میان بسترهای طبیعی ذکر شده، ریزجلبک ها و سیانوباکتر ها مورد توجه هستند.

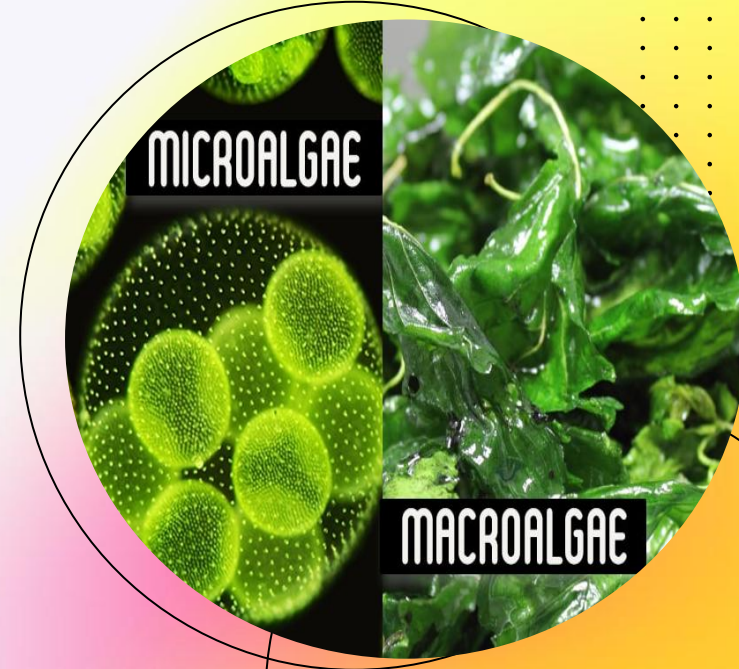


بسته‌بندی فعال

- شامل مواد جاذب رطوبت، بو و گاز و مواد ممانعت کننده (آنتی اکسیدان ها و مواد ضد میکروبی)
- به تاخیر انداختن کاهش کیفیت مواد غذایی ناشی از پاتوژن های غذایی و فرآیند اکسیداسیون

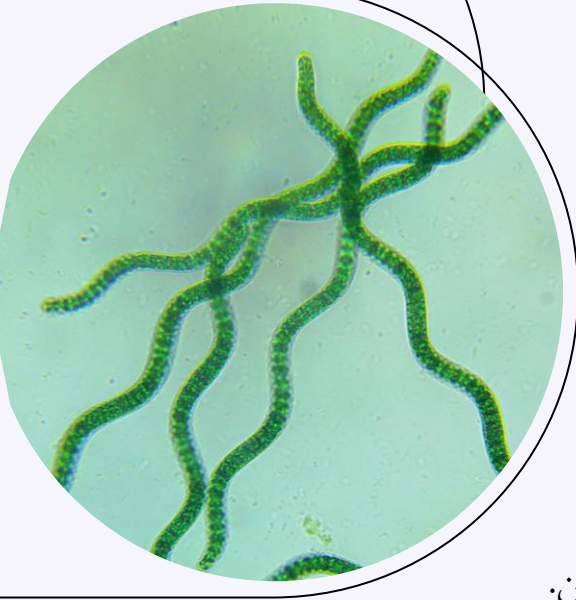
ریز جلبک ها و سیانوباکترها

- تک سلولی
- اندازه ریز جلبک ها از چند میکرومتر تا چند صد میکرومتر.
- ظرفیت فتوسنتزی و سرعت رشد بالا در مقایسه با گیاهان خشکی زی
- بدون نیاز به کود یا زمین زراعی و با استفاده از نور و دی اکسید کربن.
- دارای ترکیبات ارزشمند تغذیه ای و خواص زیست فعال
- معروف ترین جنس های خانواده سیانوباکتر: *Arthrospira* (نام رایج: اسپیرولینا)، *Nostoc* و *Trichodesmium*.



اسپیرولینا چیست؟

مقدمه (ادامه)



- طبقه بندی اسپیرولینا در سال ۱۹۶۲ ← پروکاریوت و خانواده سیانوباکترها.
- ریزجلبک اسپیرولینا: سیانوباکتر سبز-آبی فتو سنتز کننده ی رشته ای - مارپیچی.
- سه گونه اسپیرولینا (*Arthrospira*):

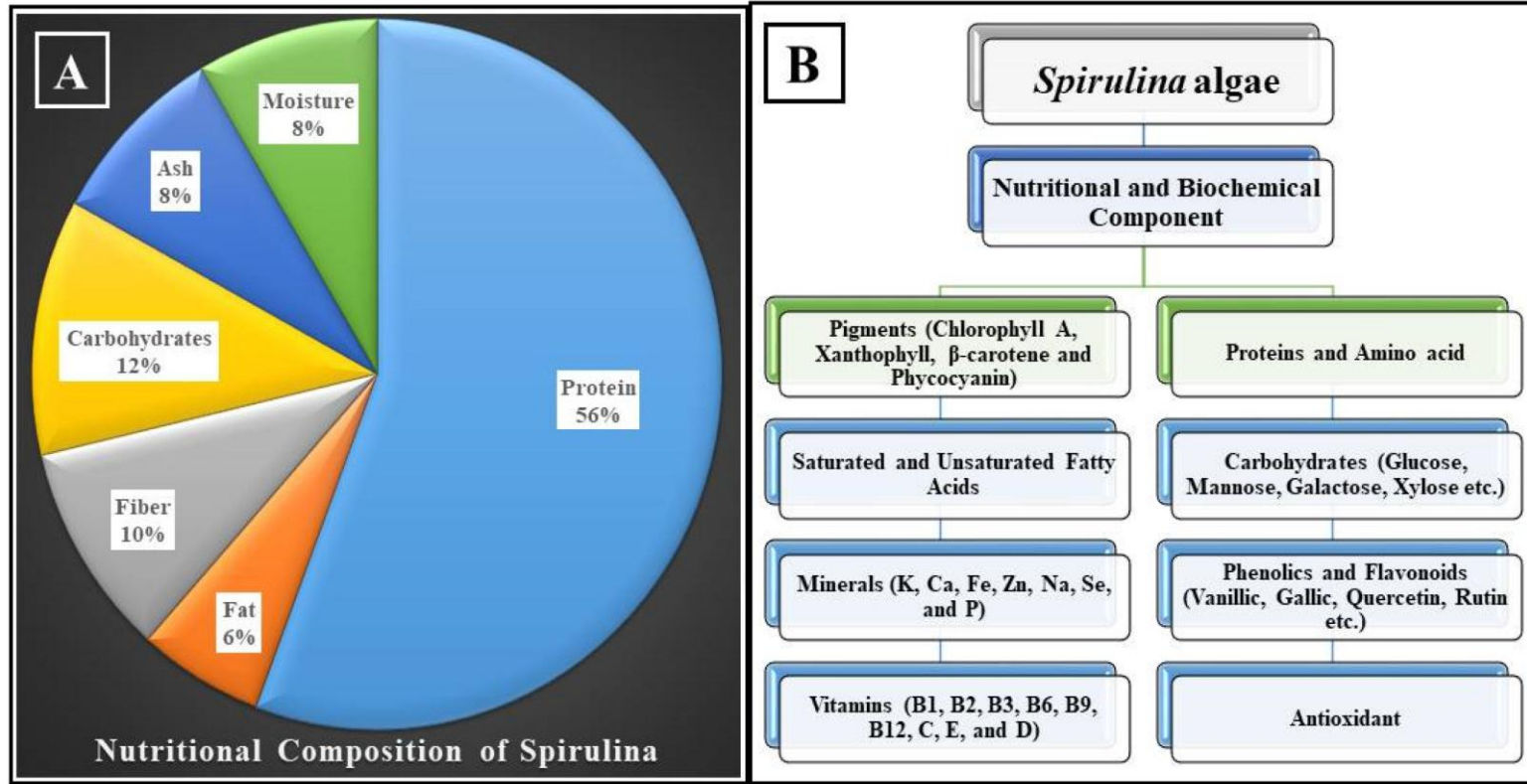
1. *Arthrospira plantensis*

2. *Arthrospira maxima*

3. *Arthrospira fusiformis*

- معرفی شدن از سوی سازمان غذا و داروی آمریکا به عنوان یک غذای فراسودمند و ایمن.

ترکیبات تشکیل دهنده اسپیرولینا



کاربردهای اسپرولینا

۱. مکمل غذایی

۲. تقویت سیستم ایمنی

۳. ضدالتهاب و آنتی اکسیدان

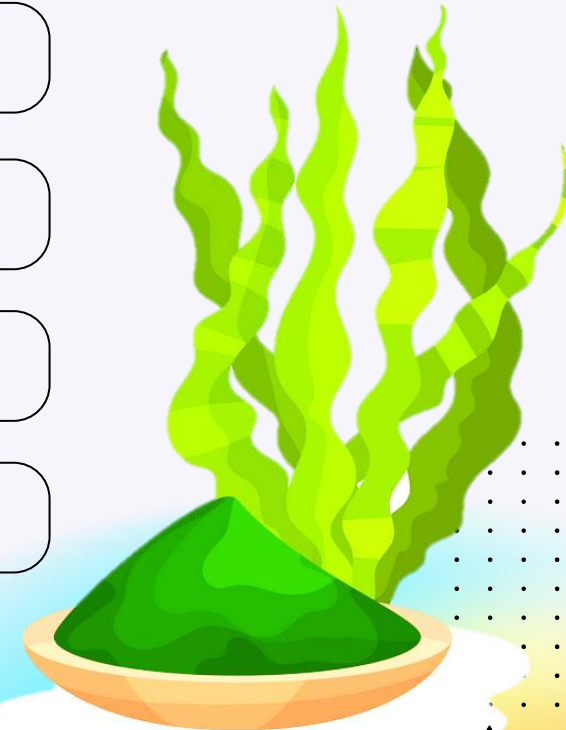
۴. کنترل قند خون و کلسترول

۵. کاربردهای آرایشی و بهداشتی

۶. کشاورزی و خوراک دام و طیور

۷. پلیمرهای زیستی

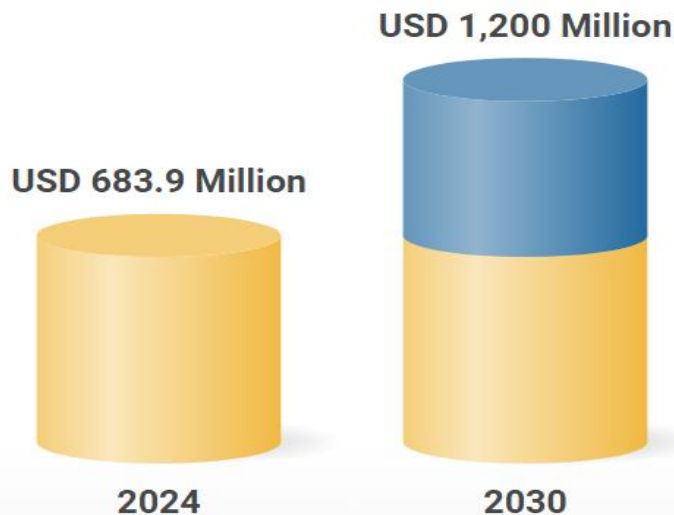
۸. بسته بندی هوشمند و فعال



بازار جهانی عصاره‌های اسپیرولینا در سال ۲۰۲۴-۲۰۳۰

Spirulina Extracts Market

Market forecast to grow at a CAGR of 9.4%



بسته بندی فعال بر اساس اسپیرولینا

اسپیرولینا پلاتنسیس و عصاره آبی آن (C-PC) ← کاندید مناسبی برای استخراج ترکیبات زیست فعال با ویژگی‌های **ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی**

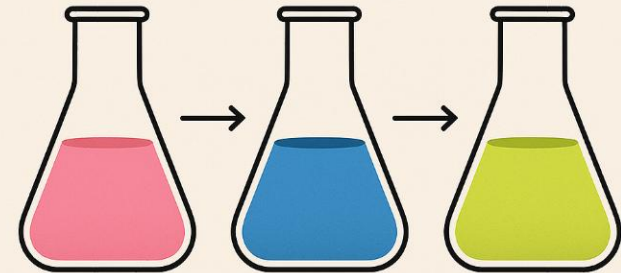
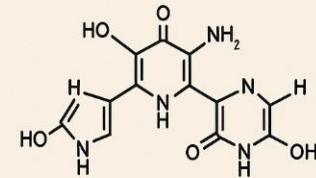
↓
استفاده به عنوان یک پلیمر زیستی در سیستم‌های بسته بندی فعال و هوشمند

بسته بندی هوشمند بر اساس اسپیرولینا (فایکوسیانین)

فساد مواد غذایی مانند گوشت، محصولات لبنی و غذاهای دریایی با تغییر در pH و انتشار ترکیبات مختلف نیتروژنی فرار همراه است و می تواند با استفاده از بسته بندی هوشمند حاوی نشانگر حساس به pH شناسایی شود.

در بسته بندی هوشمند، بیوسنسورهای زیستی مانند فایکوسیانین در رنگدانه موجود در اسپیرولینا است، معمولاً برای شناسایی شاخص های فساد مانند گازهای فرار، تغییرات pH، دما یا رطوبت پیشنهاد می شوند.

Phycocyanin



Acidic
pH < 5

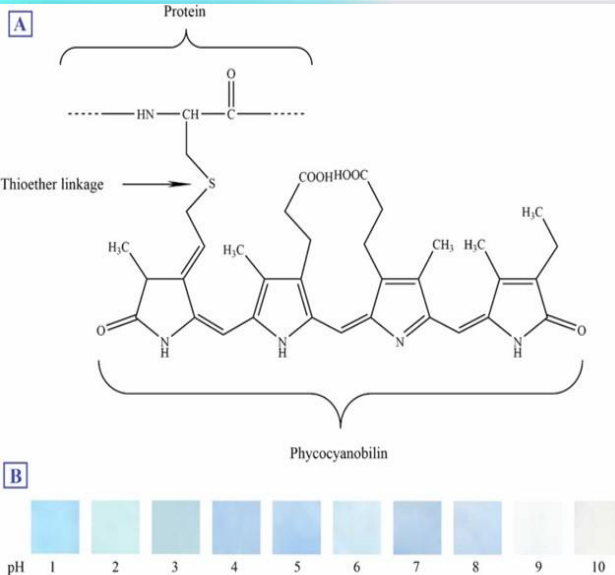
Neutral
pH ≈ 7

Alkaline
pH > 8

Filho ., *et al.*, Food Chem , 2022.

Bekhit ., *et al.*, Trends Food Sci. Technol , 2021.

بسته بندی هوشمند براساس (C-PC) موجود در اسپرولینا



- سی-فایکوسیانیلین (C-PC) یک رنگدانه پروتئینی آبی-سبز است تحت تأثیر pH محیط تغییر رنگ نشان می‌دهد.
- مهم‌ترین بخش رنگ‌زا در فایکوسیانیلین: فایکوسیانیوبیلین (Phycocyanobilin, PCB)
- این ساختار دارای پیوندهای دوگانه مزدوج است که باعث جذب نور در ناحیه مرئی و تولید رنگ آبی می‌شود.

هدف سمینار

بررسی پتانسیل میکروجلبک اسپیرولینا در تولید بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر هوشمند و فعال در مواد غذایی است. تمرکز اصلی بر استخراج و کاربرد ترکیبات زیست‌فعال موجود در اسپیرولینا که می‌توانند به عنوان عوامل طبیعی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و هوشمند در فرمولاسیون بسته‌بندی‌های نوین ایفای نقش کنند.



مرور متون



مطالعه اول

تولید حسگر زیستی ماهی قزل آلا ی رنگین کمانی (*Oncorhynchus mykiss*) بر پایه نانوکامپوزیت پلی وینیل الکل/کیتوزان با استفاده از فایکوسیانیلین در طول نگهداری در یخچال

ایران - ۲۰۲۵



Abed, S, *et al.*





الف) آماده‌سازی فیلم نانو کامپوزیت پلی‌وینیل الکل/نانو کیتوزان/فایکوسیاینین (PVA/NCH/PC-NC)

اضافه کردن ۱۰ گرم PVA به ۹۰ میلی‌لیتر آب 80°C ← هم زدن به مدت ۴ ساعت ← افزودن محلول W/V ۴٪ نانو کیتوزان (60°C)

اضافه کردن غلظت‌های مختلف عصاره PC

تیمار ۱ (کنترل): ۰٪ تیمار ۲: ۰/۵٪ تیمار ۳: ۱٪ تیمار ۴: ۱/۵٪ تیمار ۵: ۲٪	به محلول ← هم زدن به مدت ۶۰ دقیقه در دمای اتاق
--	---

ریختن محلول به دست آمده در پتری دیش → اضافه کردن گلیسرول W/W ۱۵٪ به عنوان نرم‌کننده

به مدت ۴۸ ساعت برای تبخیر و تشکیل فیلم

خشک کردن بیوفیلم‌ها پس از جدا شدن از صفحات (۵ ساعت در دمای 50°C)

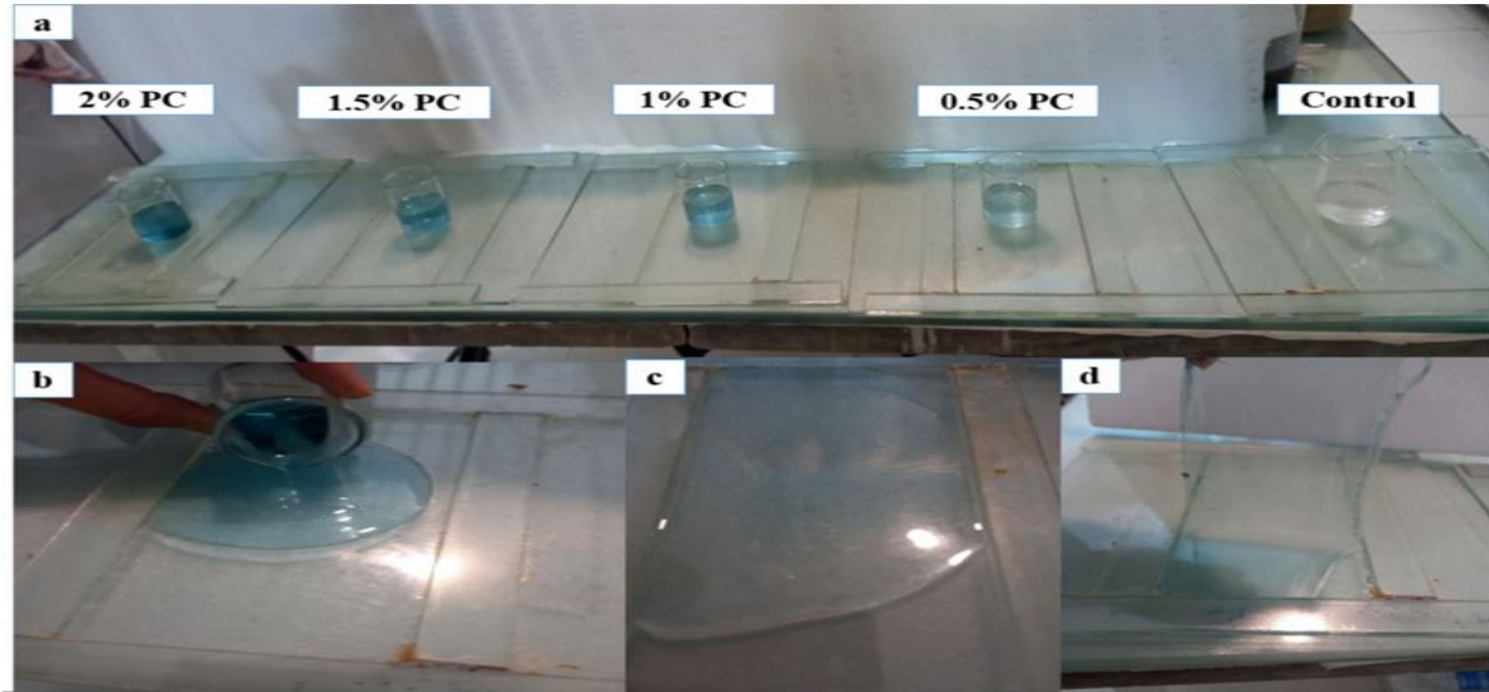


Fig. 2. The preparation process of polyvinyl alcohol/nano chitosan/phycoerythrin nanocomposite. (a) preparation of biofilms with different PC concentration of (control, 0.5%, 1%, 1.5%, and 2% PC), (b) pouring the biofilms on glass surface, (c) formation of biofilms, and (d) separating biofilms from the glass surface.



ب) بسته‌بندی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمانی (*Oncorhynchus mykiss*)

تهیه نمونه‌های ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمانی (*Oncorhynchus mykiss*) از بازار محلی کرج ← انتقال به آزمایشگاه (نگهداری در یخ ۶ ساعت) ← برش دادن فیله‌ها به قطعاتی به ابعاد 10×25 سانتی‌متر مربع و وزن ۵۵ گرم ← شستن فیله‌ها با آب مقطر استریل ← بسته‌بندی فیله‌ها با بیوفیلیم‌های مشخص شده



بسته‌بندی همه گروه‌ها در کیسه‌های استریل



تجزیه و تحلیل در روزهای ۰-۱-۷-۱۴ → نگهداری نمونه‌ها در دمای 4°C به مدت ۱۴ روز

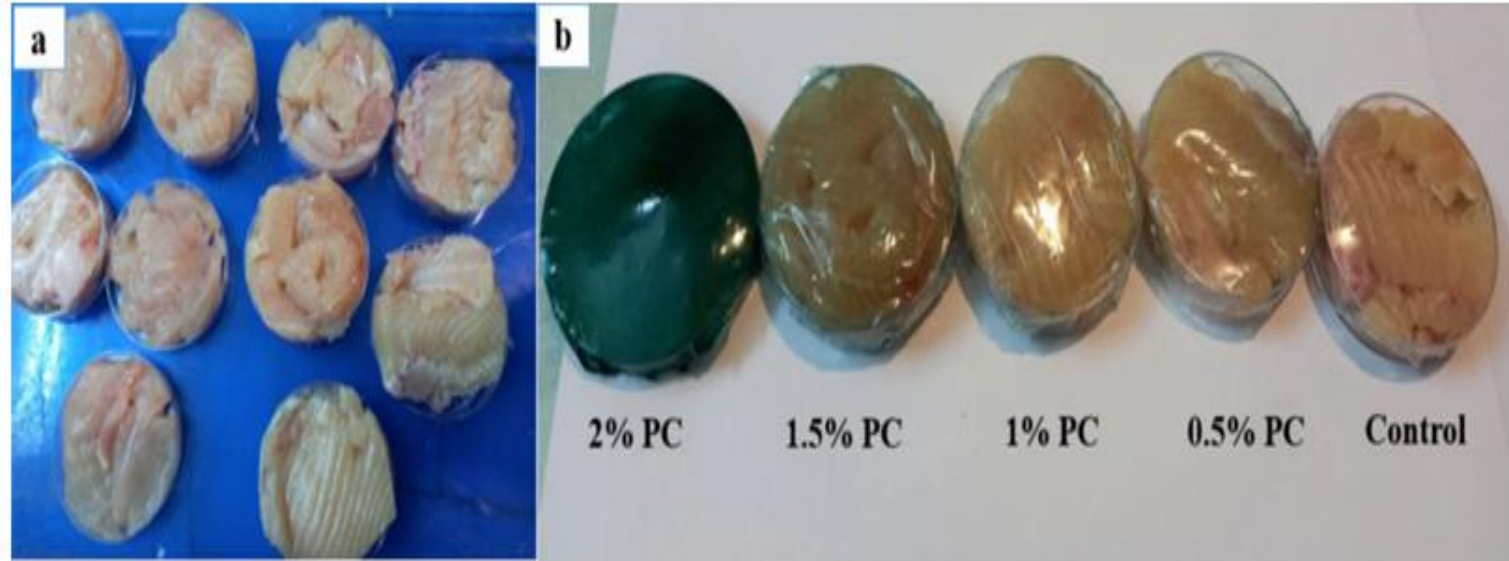


Fig. 3. The application of produced biofilms in fish fillet packaging. (a) Fish fillets and (b) packaging of fish fillet with different concentration of produced biofilms (control, 0.5%, 1%, 1.5%, and 2% PC).

روش کار



آنالیز رنگ

تعیین محتوای رنگ با استفاده از پارامترهای Hunter Lab بر حسب تغییرات L^* (روشنایی-تاریکی)، a^* (قرمز-سبز) و b^* (زرد-آبی) توسط دستگاه رنگ‌سنج (Hunter Lab، Color Flex، USA).

آنالیز pH

تهیه محلول ۱۰٪ از نمونه‌ها و اندازه‌گیری pH آنها با استفاده از pH متر در روزهای ۰، ۱، ۷ و ۱۴.

آنالیز آماری

نتایج هر آزمایش با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) با نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۴ تجزیه و تحلیل شد.

Brightness index (L^*) کاهش					
Time	T_1 (c)	T_2	T_3	T_4	T_5
Day 0	77.03 ± 0.11 ^{Aa}	54.05 ± 0.46 ^{Ab}	52.61 ± 0.46 ^{Ac}	50.79 ± 0.53 ^{Ad}	50.35 ± 0.39 ^{Ad}
Day 1	77.00 ± 0.06 ^{Ba}	52.78 ± 0.61 ^{Bb}	51.69 ± 0.25 ^{Bc}	49.30 ± 0.22 ^{Bd}	48.72 ± 0.35 ^{Bcd}
Day 7	76.37 ± 0.02 ^{Ca}	50.98 ± 0.71 ^{Cb}	49.78 ± 0.22 ^{Cc}	47.97 ± 0.15 ^{Cd}	47.45 ± 0.48 ^{Cd}
Day 14	76.08 ± 0.21 ^{Da}	48.73 ± 0.22 ^{Db}	47.42 ± 0.71 ^{Dc}	46.98 ± 0.39 ^{Dd}	44.72 ± 0.24 ^{De}
Redness (a^*) افزایش					
Time	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Day 0	1.48 ± 0.19 ^{Ca}	13.27 ± 0.17 ^{De}	12.76 ± 0.25 ^{Cd}	11.21 ± 0.54 ^{Dc}	9.27 ± 0.54 ^{Db}
Day 1	1.71 ± 0.21 ^{Ba}	12.05 ± 0.21 ^{Ce}	11.69 ± 0.79 ^{Bd}	7.68 ± 0.50 ^{Cc}	6.05 ± 0.26 ^{Cb}
Day 7	1.70 ± 0.25 ^{Ba}	7.60 ± 0.22 ^{Bd}	6.76 ± 0.47 ^{AcD}	6.83 ± 0.14 ^{Bc}	5.60 ± 0.10 ^{Bb}
Day 14	1.98 ± 0.15 ^{Aa}	6.31 ± 0.25 ^{Ad}	6.03 ± 0.60 ^{Ac}	2.62 ± 0.18 ^{Ab}	2.15 ± 0.25 ^{Ab}
Yellowness (b^*) افزایش					
Time	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Day 0	3.57 ± 0.09 ^{Ca}	37.85 ± 0.76 ^{Cc}	39.46 ± 0.19 ^{Cb}	40.02 ± 0.37 ^{Dd}	42.69 ± 0.15 ^{Ce}
Day 1	3.75 ± 0.21 ^{BCa}	36.34 ± 0.76 ^{Bbc}	37.02 ± 0.76 ^{Bb}	39.45 ± 0.35 ^{Cd}	42.89 ± 0.30 ^{Ce}
Day 7	3.89 ± 0.29 ^{Ba}	34.17 ± 0.40 ^{Ac}	35.23 ± 0.12 ^{Ab}	38.64 ± 0.40 ^{ABd}	40.08 ± 0.17 ^{Be}
Day 14	3.91 ± 0.06 ^{Aa}	34.00 ± 0.12 ^{Ac}	35.15 ± 0.40 ^{Ab}	38.09 ± 0.17 ^{Ad}	38.30 ± 0.87 ^{Ad}

Table 2. The results of the average brightness index (L^* , a^* and b^*) of the biofilms during 14 days of storage. T_1 : fish coated with PVA/NCH-NC without PC; T_2 : fish coated with PVA/NCH/PC-NC (0.5% PC); T_3 : fish coated with PVA/NCH/PC-NC (1% PC); T_4 : fish coated with PVA/NCH/PC-NC (1.5% PC) and code T_5 : fish coated with PVA/NCH/PC-NC (2% PC). Different small and capital letters indicate a significant difference in the column and row respectively ($p < 0.05$).

Treatment	Day 0	Day 1	Day 7	Day 14
T ₁	6.02 ± 0.01 ^{Da}	6.25 ± 0.02 ^{Ca}	6.64 ± 0.03 ^{Ba}	7.02 ± 0.02 ^{Aa}
T ₂	6.02 ± 0.01 ^{Da}	6.21 ± 0.02 ^{Cb}	6.38 ± 0.03 ^{Bb}	6.67 ± 0.01 ^{Ab}
T ₃	6.02 ± 0.01 ^{Da}	6.14 ± 0.02 ^{Cc}	6.30 ± 0.03 ^{Bc}	6.55 ± 0.01 ^{Ac}
T ₄	6.01 ± 0.01 ^{Da}	6.10 ± 0.01 ^{Cd}	6.35 ± 0.02 ^{Bb}	6.45 ± 0.02 ^{Ad}
T ₅	6.01 ± 0.01 ^{Da}	6.13 ± 0.01 ^{Cd}	6.27 ± 0.01 ^{Bc}	6.39 ± 0.01 ^{Ae}

Table 5. Average pH results of fish fillets covered with indicator biofilms during 14 days of storage. T₁: fish coated with PVA/NCH-NC without PC; T₂: fish coated with PVA/NCH/PC-NC (0.5% PC); T₃: fish coated with PVA/NCH/PC-NC (1% PC); T₄: fish coated with PVA/NCH/PC-NC (1.5% PC) and code T₅: fish coated with PVA/NCH/PC-NC (2% PC). Different small and capital letters indicate a significant difference in the column and row respectively ($p < 0.05$).

- افزودن فایکوسیانیل به فیلم روند افزایش pH فیله‌های ماهی را کند می‌کند.

نتیجه گیری



نتایج این مطالعه حاکی از آن است که تیمار T5 (PVA/NCH/PC-NC (2% PC)) مؤثرترین تیمار در این تحقیق بود و کیفیت فیله ماهی پوشش داده شده را بهبود بخشید و پتانسیل بالایی در نشان دادن تازگی ماهی و به تأخیر انداختن فساد داشت.

مطالعه دوم

بسته بندی نوآورانه پنیر با فیلم‌های خوراکی مبتنی بر پروتئین آب پنیر حاوی اسپیرولینا

یونان - ۲۰۲۳



Kontogianni V, *et al.*





الف) آماده سازی فیلم

تشکیل فیلم ← حل کردن ۱۰ گرم WPC + ۵ گرم گلیسرول در ۱۰۰ میلی لیتر آب



۰/۵٪
۱٪
۲٪
۴٪
۶٪
۸٪

اضافه شدن پودر اسپیرولینا ← هم زدن محلول ها و همگن سازی با هموژنایزر



هواگیری محلول به مدت ۳۰ دقیقه → قرار دادن محلول به مدت ۱۵ دقیقه در حمام اولتراسونیک در دمای ۷۰°C

(سونیکاسیون)



(تهیه کردن فیلم های تیمار کنترل بدون ریزجلبک برای مقایسه)

فیلتر کردن ← خشک کردن فیلم ها



ب) زیست تخریب پذیری فیلم‌ها در شیره معده شبیه‌سازی شده

تهیه شیره معده شبیه‌سازی شده (SGJ) ← حل کردن پپسین در محلول ۵٪ NaCl تا غلظت ۳ گرم در لیتر



مخلوط کردن ۱ گرم از فیلم‌های کنترل و فیلم‌های خوراکی مبتنی بر WPC حاوی ۶ غلظت مختلف پودر اسپیرولینا + ۹ میلی‌لیتر محلول SGJ در پتری شیشه‌ای ← انکوبه شدن به مدت ۳ ساعت در دمای ۳۷°C در شیکر (Thermo Electron، USA). ← مشاهده نوری در فواصل زمانی منظم :

الف) برای ساعت اول هر ۵ دقیقه.

ب) برای ۲ ساعت باقی مانده هر ۳۰ دقیقه تا زمان تجزیه کامل فیلم‌ها.



آنالیز رنگ

اندازه‌گیری مقادیر رنگ با استفاده از حسگر نوری
HunterLab، مدل D25 L.

آنالیز محتوای فنلی کل (TPC)

اندازه‌گیری محتوای فنلی با استفاده از روش DPPH



آنالیز میکروبی

شمارش کلی مزوفیل‌ها در محیط کشت پلیت کانت آگار
شمارش مخمرها و کپک‌ها در محیط کشت سیب‌زمینی دکستروز آگار

آنالیز آماری

آنالیز واریانس (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار SPSS روی نتایج
اعمال شد.

Table 1. Color of WPC films with the addition of sp. and total phenolic content of the films.

Film	L *	A *	B *	TPC (mg Gallic/g Film)
Control	75.17 ± 0.44 ^{e,*}	-3.36 ± 0.39 ^d	15.91 ± 0.43 ^c	62.00 ± 4.35 ^b
0.5% sp.	51.88 ± 0.29 ^d	-18.80 ± 1.44 ^b	24.86 ± 0.45 ^e	41.00 ± 2.22 ^a
1% sp.	29.99 ± 0.23 ^c	-21.57 ± 1.04 ^a	21.73 ± 0.47 ^d	86.75 ± 5.11 ^d
2% sp.	14.75 ± 0.29 ^b	-8.95 ± 0.66 ^c	6.22 ± 0.44 ^b	✓ 100.75 ± 6.21 ^e
4% sp.	✓ 7.08 ± 0.13 ^a	✓ -0.90 ± 0.03 ^e	✓ -0.27 ± 0.05 ^a	74.75 ± 3.52 ^c

* Values with different letters in the same column indicate statistically significant differences; $p < 0.05$.

✓ مقدار L* با ↑ غلظت SP ← تیره‌تر شدن فیلم‌های حاوی SP

✓ مقدار a* با ↑ غلظت SP

✓ مقدار b* با ↑ غلظت SP ← آبی‌تر شدن فیلم‌های حاوی SP

✓ فیلم خوراکی حاوی ۲٪ پودر SP بالاترین درصد فعالیت مهار رادیکال (بالاتر از فیلم‌های حاوی ۴، ۶ و ۸٪ SP) را نشان داد.

شکل ۳ (فیلم‌های مبتنی بر WPC حاوی غلظت‌های مختلف SP غوطه‌ور شده در SGJ)

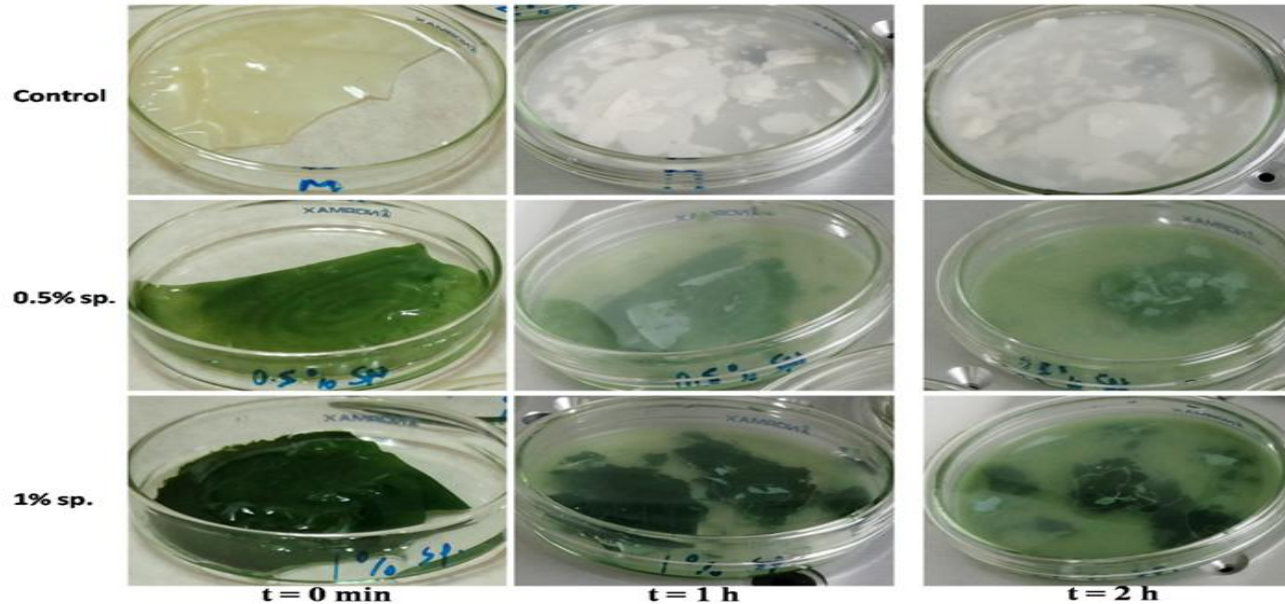


Figure 1. Photographs of WPC-based films (control, 0.5% sp., and 1% sp.) containing different concentrations of sp. immersed in SGJ for different times.

- فیلم‌های مبتنی بر WPC حاوی ۰/۵؛ ۱؛ ۲؛ و ۴٪ SP و فیلم‌های کنترل می‌توانند به عنوان بسته‌بندی اولیه (بسته‌بندی که در تماس مستقیم با غذا است) استفاده شوند و احتمالاً می‌توان آن را با خیال راحت به عنوان یک افزودنی غذایی با غذا و به عنوان یک Functional Food استفاده کرد.

شکل ۴ (فیلم‌های مبتنی بر WPC حاوی غلظت‌های مختلف SP غوطه‌ور شده در SGJ)

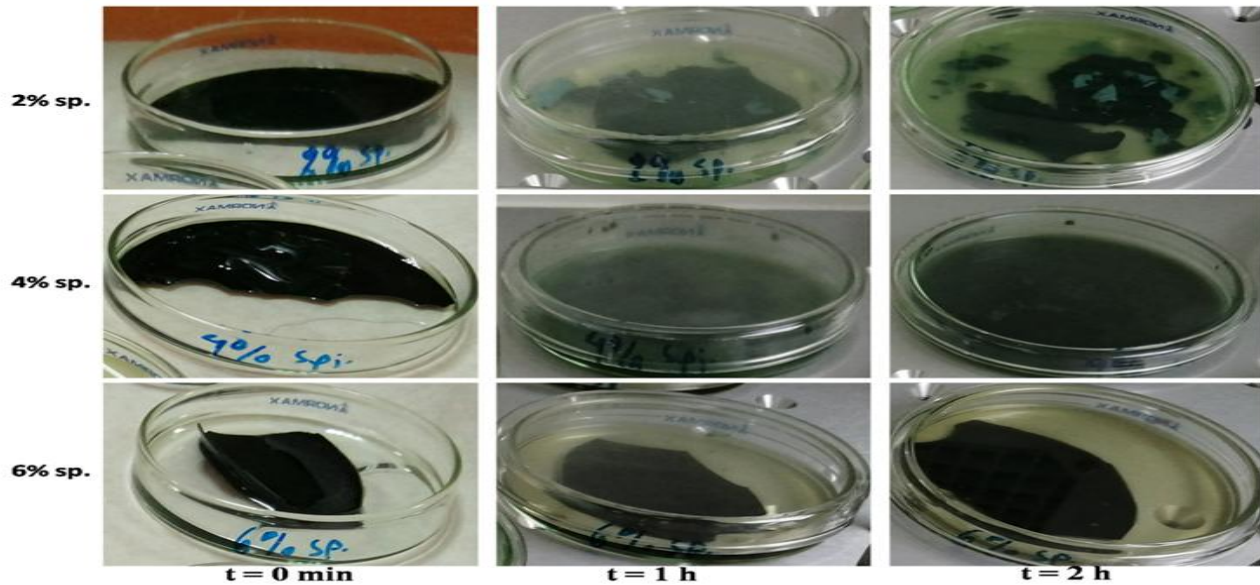


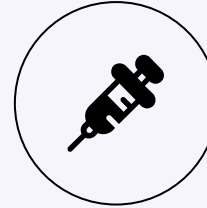
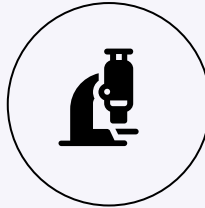
Figure 2. PPhotographs of WPC-based films (2% sp., 4% sp, and 6% sp.) containing different concentrations of sp. immersed in SGJ for different times.

- بر اساس نتایج، فیلم حاوی ۲٪ SP خواص رنگی خوبی نشان داد و بالاترین محتوای فنلی کل را داشت و می‌توانست توسط پپسین در شیره معده شبیه‌سازی شده هیدرولیز شود، که در عرض ۱ ساعت تجزیه شد. بنابراین، فیلم‌هایی با ۲٪ SP برای استفاده به عنوان بسته‌بندی برای سطوح پنی‌رانتخاب شدند.



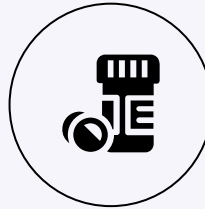
ج) کاربرد به عنوان بسته‌بندی برای تکه‌های پنیر (kefalotyri)

قرار دادن قطعات پنیر، ۱۲ تا ۱۴ گرم، به شکل دوزنقه‌ای در ظروف پتری استریل و توزیع در سه گروه:
۱. گروه اول (کنترل) بدون فیلم، فقط حاوی پنیر
۲. گروه دوم لایه بندی با فیلم خوراکی بدون اسپیرولینا
۳. گروه سوم لایه بندی با فیلم خوراکی حاوی ۲٪ اسپیرولینا



انتخاب شدن فیلم‌های مبتنی بر WPC حاوی ۲٪ پودر اسپیرولینا به عنوان بهترین غلظت برای ارزیابی به عنوان ماده بسته‌بندی برای پنیر "کفالوتیری"

نگهداری بسته‌ها به مدت ۲ ماه در دمای ۴°C. آنالیز در روزهای ۰، ۳۰ و ۶۰ نگهداری.



"کفالوتیری" یک پنیر سنتی یونانی سخت است که از مخلوطی از شیر گوسفند و بز تولید می‌شود.

جدول ۴ (میزان کل میکروارگانیسم‌های زنده (TVC) و میزان مخمر/کپک پنیر کفالوتیری)

Table 2. Total TVC and yeast/mold levels of "kefalotyri" cheese during two months of refrigerated storage.

Time (days) of Storage	Kefalotyri log cfu/g		Kefalotyri + Film Control log cfu/g		Kefalotyri + Film <i>spirulina</i> log cfu/g	
	TVC	Yeasts/Molds	TVC	Yeasts/Molds	TCV	Yeasts/Molds
0	7.2 ± 0.0 ^{a,*}	3.2 ± 1.1 ^{A,**}	7.2 ± 0.1 ^b	3.1 ± 0.0 ^A	7.4 ± 0.1 ^b	2.6 ± 0.5 ^A
30	8.0 ± 0.1 ^b	5.3 ± 1.6 ^A	7.2 ± 0.1 ^a	3.6 ± 1.9 ^A	7.8 ± 0.3 ^b	3.2 ± 1.4 ^A
60	9.2 ± 1.0 ^b	7.6 ± 1.3 ^B	8.2 ± 0.4 ^b	5.6 ± 1.0 ^B	7.7 ± 0.1 ^a	3.6 ± 0.2 ^A

* Values with different lowercase letters in the same row indicate statistically significant differences, $p < 0.05$;

** values with different capital letters in the same row indicate statistically significant differences, $p < 0.05$.



- فیلم‌های حاوی ۲٪ SP در آخرین روز نگهداری کمترین میزان رشد کپک و مخمر و TVC را نشان می‌دهند.

نتیجه گیری

فیلم‌های مبتنی بر WPC حاوی ۲٪ اسپیرولینا را می‌توان به عنوان یک غذای عملکردی همراه با پنیر kefalotyri مصرف کرد. مصرف پوشش‌های حاوی SP می‌تواند اثر آنتی اکسیدانی (با استفاده از اندازه گیری محتوای فنلی) و اثر ضد میکروبی داشته باشد و چنین بسته‌بندی‌هایی می‌توانند ارزش غذایی پنیر را حفظ کند.



مطالعه سوم

تأثیر فیلم بسته‌بندی ژلاتینی حاوی کنسانتره پروتئین اسپیرولینا پلاتنسیس بر ماندگاری ماهی خال مخالی
اقیانوس اطلس (*Atlantic Mackerel (Scomber scombrus)*)

اسپانیا - ۲۰۲۰



Stejskal N, *et al.*





گروه تیمار

بسته بندی ماهی در فیلم ژلاتینی حاوی پودر جلبک اسپیرولینا (تیمار ژلاتین-اسپیرولینا، دسته SP)

گروه کنترل ۱

بسته بندی ماهی در فیلم ژلاتینی بدون پودر جلبک اسپیرولینا (ژلاتین کنترل، دسته GE)

گروه کنترل ۲

بسته بندی ماهی در فیلم پلی اتیلن با چگالی کم (پلی اتیلن کنترل، دسته CT)



الف) آماده سازی فیلم ژلاتین-اسپیرولینا (SP)

حل کردن ۸ گرم ژلاتین + ۲ گرم از پودر لیوفیلیزه *S. Platensis* در ۱۰۰ میلی لیتر محلول فسفات بافر با $\text{pH} = 10$

← هم زدن در دمای 40°C



اضافه شدن گلیسرول ۳۰٪ وزنی و آلژینات سدیم اکسید شده (OA) ۵٪ وزنی به محلول تشکیل دهنده فیلم (FFS)

← هم زدن سوسپانسیون به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای 40°C



ریختن FFS در پتری دیش ها (قطر ۱۰ سانتی متر)

↙ خشک شدن در دمای 40°C در آون تا رسیدن به وزن ثابت.

* برای هر دو سیستم کنترل، فیلم های بسته بندی ۱۰ سانتی متری مانند دسته SP تهیه شدند.

روش کار



ب) نمونه برداری و آماده سازی ماهی

۱. صید نمونه‌های ماهی (*Scomber scombrus*) در ماه می ۲۰۱۸ در نزدیکی اقیانوس اطلس ← منتقل شدن به آزمایشگاه (نگهداری در یخ ۱۰ ساعت)
۲. نمونه‌های ماهی به سه گروه مختلف (سه نمونه از هر گروه) تقسیم شدند، عضله از محل پشت ماهی در هر گروه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.
۳. قطعات ماهی مربوط به هر سه دسته، به ترتیب در سه سیستم بسته‌بندی فوق (دسته‌های CT، GE و SP) به صورت جداگانه بسته‌بندی و در داخل یک اتاق یخچال‌دار (4°C) قرار داده شدند. قطعات ماهی بسته‌بندی شده از همه دسته‌ها به مدت ۷ روز نگهداری و نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل در روزهای ۴ و ۷ انجام شد.



آنالیز میکروبی

شمارش کل هوازی ها روی محیط کشت پلیت کانت آگار

آنالیز تری متیل آمین
(TMA)

تعیین مقادیر تری متیل آمین با استفاده از روش اسپکتروفتومتری (طول
موج ۴۱۰ نانومتر)



آنالیز pH

تغییرات مقادیر pH در عضله ماهی با استفاده از یک الکتروود با قطر ۶ میلی متر تعیین شد.

آنالیز آماری

آنالیز واریانس (ANOVA) با استفاده از نرم افزار SPSS و Statistics 18 روی نتایج اعمال شد.

شکل ۵ (ارزیابی تعداد باکتری‌های هوازی در عضله ماهی اسکومبروس تحت شرایط بسته‌بندی مختلف)

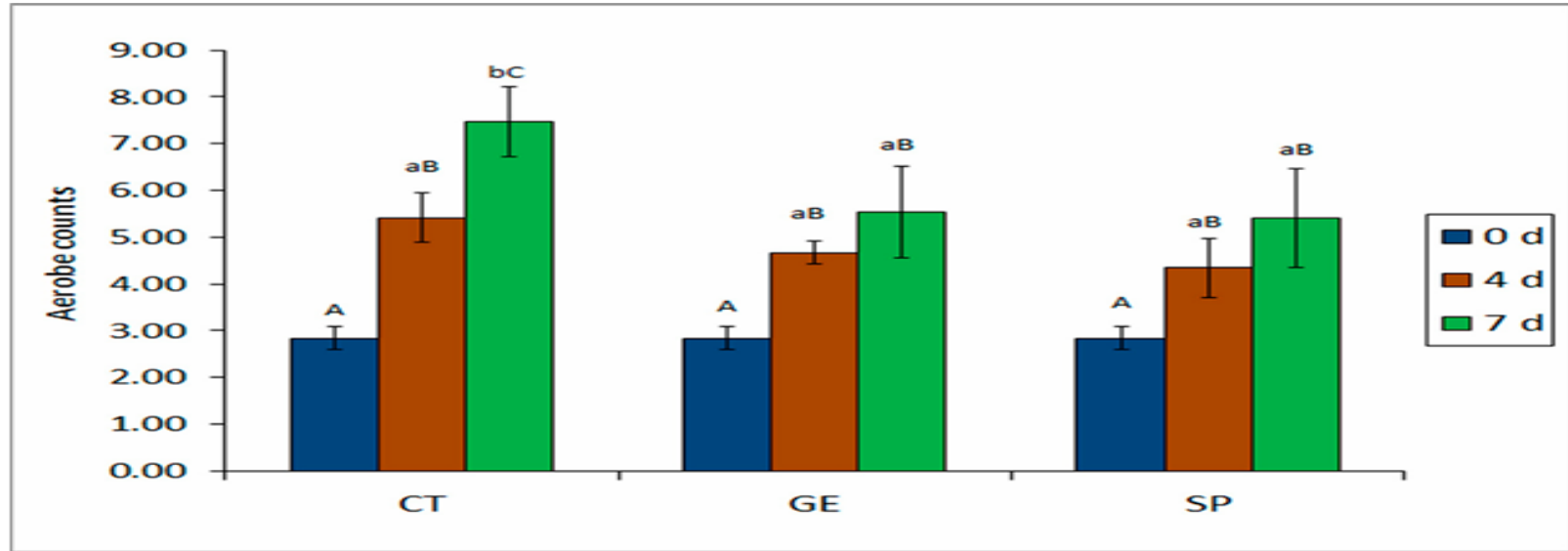


Figure 1. Aerobes count assessment (log CFU g⁻¹ muscle) * in mackerel muscle stored under different packaging conditions **. * Average values of three replicates ($n = 3$); standard deviations are indicated by bars. Average values accompanied by different lower case letters (a, b) indicate significant differences ($p < 0.05$) as a result of packaging condition; average values accompanied by capital letters (A, B, C) indicate significant differences ($p < 0.05$) as a result of refrigeration time. ** Packaging conditions: CT (control polyethylene), GE (control gelatine) and SP (gelatine-spirulina).

- دسته SP در طی ۷ روز نگهداری کمترین میزان تعداد باکتری‌های هوازی را نشان داد.

جدول ۵ (تعیین شاخص‌های مختلف کیفیت شیمیایی در عضله ماهی اسکومبروس تحت شرایط بسته‌بندی مختلف)

Table 3. Determination of different chemical quality indices * in mackerel muscle stored under different packaging conditions **.

Chemical Index	Refrigeration Time (days)	Packaging Condition		
		CT	GE	SP
pH	0	6.53 A (0.10)	6.53 A (0.10)	6.53 A (0.10)
	4	6.68 aAB (0.10)	6.63 aA (0.08)	6.67 aA (0.07)
	7	6.77 aB (0.08)	6.74 aA (0.15)	6.69 aA (0.08)
Trimethylamine (TMA) (mg TMA-N kg ⁻¹ muscle)	0	1.69 A (0.14)	1.69 A (0.14)	1.69 A (0.14)
	4	33.29 bB (18.41)	15.64 aB (3.02)	13.61 aB (2.61)
	7	619.69 cC (162.83)	98.55 bC (16.05)	72.40 aC (4.53)

* Average values of three replicates ($n = 3$); standard deviations are indicated in brackets. For each chemical parameter, average values followed by different lower case letters (a, b, c) indicate significant differences ($p < 0.05$) as a result of packaging condition; average values followed by capital letters (A, B, C) indicate significant differences ($p < 0.05$) as a result of refrigeration time. ** Packaging conditions as expressed in Table 1.

- در دسته SP میانگین pH پایین‌تری نسبت به ۲ دسته دیگر مشاهده شد.
- دسته SP مقادیر TMA پایین‌تری نسبت به ۲ دسته دیگر ارائه داد.

نتیجه گیری

افزایش کیفیت عضله ماهی نگهداری شده در یخچال با استفاده از کاربرد میکروجلبک اسپیرولینا در یک فیلم بسته بندی مبتنی بر ژلاتین مشاهده شد. اثر ضد میکروبی قابل توجه چنین فیلمی از فعالیت باکتری های هوازی به دست آمد. علاوه بر این، تشکیل کمتر TMA در ماهی های بسته بندی شده در فیلم های SP نیز به دست آمد.



مطالعه چهارم

تأثیر عصاره‌های ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس و کلرلا ولگاریس
بر کیفیت ساردین بسته‌بندی شده در خلاء در طول نگهداری در یخچال

ترکیه - ۲۰۲۰



Özogul, İ, *et al.*





الف) آماده سازی عصاره کلرلا ولگاریس

تهیه محلول ۱٪ کلرلا ولگاریس در آب مقطر ← حرارت دادن به مدت ۲۰ دقیقه در دمای 100°C ←
سانتریفیوژ به مدت ۲۰ دقیقه در دمای 4°C (۷۲۰۰ دور در دقیقه) ← لیوفیلیزه کردن ماده‌ی رویی برای
به دست آوردن عصاره.

ب) آماده سازی عصاره اسپیرولینا پلاتنسیس

تهیه محلول ۱٪ اسپیرولینا پلاتنسیس در آب مقطر ← همزدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق ←
سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه در دمای 4°C (۵۰۰۰ دور در دقیقه) ← صاف کردن محلول رویی با فیلتر
(واتمن شماره ۱) ← خشک کردن عصاره ← نگهداری عصاره‌های خشک شده تا زمان استفاده در دمای
 4°C .



ج) آماده‌سازی نمونه‌های ساردین و شرایط نگهداری

صید نمونه‌های ماهی ساردین (*Sardinella aurita*) در نوامبر ۲۰۱۸ در ترکیه ← انتقال به آزمایشگاه (نگهداری در یخ ۸ ساعت) ← فیله کردن ماهی ← شسته شدن فیله‌ها با آب لوله‌کشی ← تقسیم شدن فیله‌ها به سه گروه:

- گروه اول: گروه کنترل بدون افزودن ریزجلبک
- گروه دوم و سوم: غوطه‌ور کردن به مدت ۱۰ دقیقه در عصاره اسپیرولینا پلاتنسیس ۱٪ و کلرلا ولگاریس ۱٪



بسته‌بندی همه گروه‌ها تحت شرایط خلاء در کیسه های استریل ← نگهداری همه نمونه‌ها در دمای ۴°C



آنالیز پراکسید

اندازه گیری طبق روش AOCS .

آنالیز TVBN

اندازه گیری با استفاده از روش تقطیر و تیتراسیون

آنالیز آماری

داده‌ها تحت آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) قرار گرفتند.
معنی‌داری آماری برای $p < 0.05$ نشان داده شده است.

جدول ۶ (تغییرات شیمیایی در فیله‌های ساردین بسته‌بندی شده در خلاء در حضور عصاره‌های پلاتنسیس و ولگاریس در طول نگهداری در یخچال)

Table 4 Chemical changes in vacuum packaged sardine fillets in the presence of *S. platensis* and *C. vulgaris* extracts during chilled storage

Chemical indexes	Storage Days	Control	<i>S. platensis</i> extract	<i>C. vulgaris</i> extract
TVBN (mg/100 g)	0	13.40 ± 0.19 [†]	13.40 ± 0.19	13.40 ± 0.19
	3	17.14 ± 0.49 ^a	16.44 ± 0.46 ^b	15.02 ± 0.52 ^b
	6	25.91 ± 0.10 ^a	18.71 ± 0.10 ^c	19.55 ± 0.04 ^b
	9	33.89 ± 0.42 ^a	25.05 ± 0.13 ^c	27.73 ± 0.06 ^b
	11	36.98 ± 1.07 ^a	34.90 ± 0.08 ^a	29.15 ± 0.17 ^b
	13	38.18 ± 0.91 ^a	28.09 ± 0.74 ^b	34.90 ± 0.08 ^a
	15	40.66 ± 0.32 ^a	35.71 ± 0.62 ^b	37.05 ± 0.95 ^b
PV (meq O ₂ /kg)	0	4.11 ± 0.09	4.11 ± 0.09	4.11 ± 0.09
	3	6.18 ± 0.20 ^a	4.29 ± 0.10 ^c	4.61 ± 0.11 ^b
	6	6.50 ± 0.20 ^a	5.22 ± 0.13 ^b	5.42 ± 0.22 ^b
	9	8.06 ± 0.43 ^a	6.53 ± 0.32 ^b	4.98 ± 0.18 ^c
	11	5.69 ± 0.22 ^a	4.04 ± 0.21 ^b	4.35 ± 0.26 ^b
	13	7.07 ± 0.08 ^a	5.19 ± 0.17 ^c	6.06 ± 0.19 ^b
	15	6.63 ± 0.30 ^a	4.85 ± 0.04 ^c	5.63 ± 0.27 ^b

[†] Average value ± Standard deviation (n=3). Means followed by different letters are significantly different (P<0.05) among groups (P<0.05).

- در نمونه حاوی SP کمترین میزان TVBN نسبت به ۲ نمونه دیگر مشاهده شد.
- نمونه حاوی SP در آخرین روز نگهداری اثر مهاری معناداری بر میزان پراکسید داشت.

نتیجه گیری



اگرچه اثر اسپیرولینا پلاتنسیس و کلرلا ولگاریس بر اکثر پارامترهای کیفی ماهی مشابه بود، اما به نظر می‌رسد اسپیرولینا پلاتنسیس کمی مؤثرتر و ارجح‌تر از کلرلا ولگاریس باشد اما استفاده از هردو عصاره ماندگاری فیله‌های ساردین را ۳ روز افزایش داد. نتایج این مطالعه نشان داد که این عصاره‌ها در حفظ کیفیت ماهی و افزایش ماندگاری مؤثر بوده‌اند و همچنین به دلیل ترکیبات زیست‌فعال، پتانسیل استفاده به عنوان افزودنی غذایی را دارند.

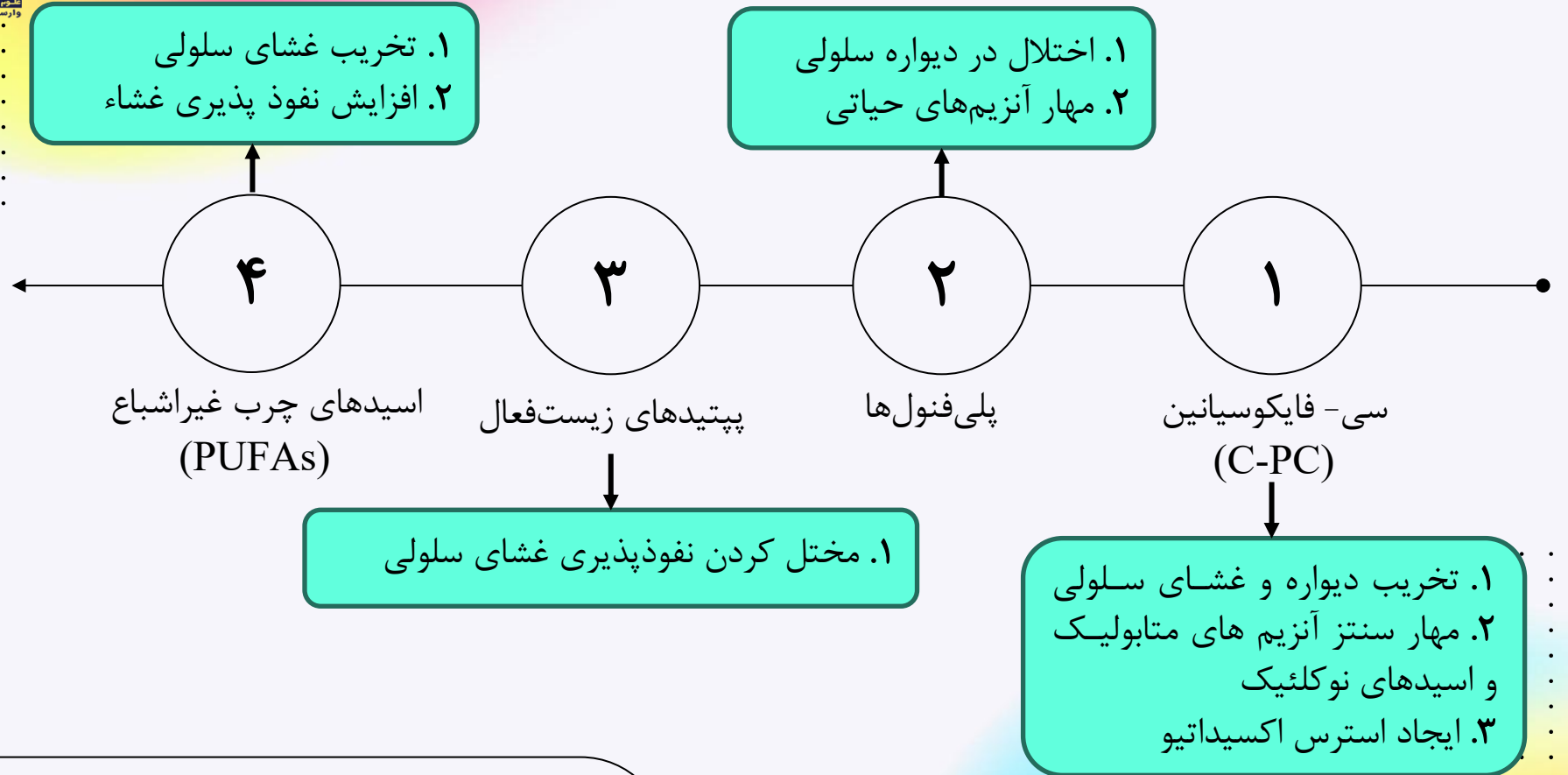




بحث



فعالیت ضد میکروبی اسپیرولینا



فعالیت آنتی اکسیدانی اسپیرولینا



• Ilieva, Y., *et al.*, J. Mol. Sci , 2024.
 • Safari, R., *et al.*, J. Fish. Sci , 2020.
 • Shah, M., *et al.*, Food Chem , 2021.

مکانیسم فعالیت آنتی اکسیدانی



الف) خنثی سازی مستقیم رادیکال های آزاد

ب) افزایش آنزیم های آنتی اکسیدانی بدن

ج) جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها

د) شلاته کردن (chelating) یون های فلزی

Ilieva, Y., *et al.*, J. Mol. Sci , 2024.
Safari, R., *et al.*, J. Fish. Sci , 2020.
Shah, M., *et al.*, Food Chem , 2021.

چالش‌های استفاده از اسپیرولینا در بسته‌بندی مواد غذایی



- هزینه‌های تولید بالا: به‌ویژه در مقیاس‌های کوچک، هزینه‌های تولید می‌تواند بالا باشد.
- نیاز به توسعه فناوری: تکنولوژی‌های مورد استفاده برای تولید بیوپلاستیک از اسپیرولینا هنوز در حال توسعه هستند و نیاز به بهینه‌سازی دارند.
- پذیرش بازار: پذیرش مصرف‌کنندگان و صنایع غذایی نسبت به بسته‌بندی‌های جدید نیاز به آموزش و بازاریابی دارد.



نتیجه گیری



نتیجه گیری

- استفاده از اسپیرولینا در تولید بسته بندی های مواد غذایی به عنوان یک راهکار زیست پایه، خوراکی و پایدار، توجه بسیاری از پژوهشگران و صنعتگران را جلب کرده است.
- با این حال، چالش هایی نظیر هزینه های بالای تولید در مقیاس صنعتی، فناوری استخراج پیچیده، و نیاز به بهینه سازی خواص فیلم ها هنوز وجود دارد که باید با تحقیقات بیشتر و توسعه فرآیندهای اقتصادی تر حل شوند.
- در مجموع، اسپیرولینا می تواند یک گزینه پیشرو در نسل آینده بسته بندی های هوشمند، خوراکی و زیست پذیر باشد؛ مشروط بر اینکه موانع فنی و اقتصادی با حمایت پژوهش و نوآوری برطرف شود.



Silva, D. A., *et al.*, Trends Food Sci. Technol , 2024.



منابع



- Cheng, H., Xu, H., Julian McClements, D., Chen, L., Jiao, A., Tian, Y., Miao, M., & Jin, Z. (2022). Recent advances in intelligent food packaging materials: Principles, preparation and applications. *Food Chemistry*, 375, Article 131738. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131738>.
- Luo, A., Hu, B., Feng, J., Lv, J., & Xie, S. (2021). Preparation, and physicochemical and biological evaluation of chitosan- *Arthrospira platensis* polysaccharide active films for food packaging. *Journal of Food Science*, 86(3), 987–995. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15639>.
- Chentir, I., Kchaou, H., Hamdi, M., Jridi, M., Li, S., Doumandji, A., & Nasri, M. (2019). Biofunctional gelatin-based films incorporated with food grade phycocyanin extracted from the Saharian cyanobacterium *Arthrospira* sp. *Food Hydrocolloids*, 89, 715–725. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.034>.
<https://www.voronoiaapp.com/sustainability/One-year-of-global-plastic-waste-visualized-4407>.
- Zhang, M., Biesold, G. M., Choi, W., Yu, J., Deng, Y., Silvestre, C., & Lin, Z. (2022). Recent advances in polymers and polymer composites for food packaging. *Materials Today*, 53, 134–161. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2022.01.022>.
- Moghaddas Kia, E., Ghasempour, Z., & Alizadeh, M. (2018). Fabrication of an ecofriendly antioxidant biocomposite: Zedo gum/sodium caseinate film by incorporating microalgae (*Spirulina platensis*). *Journal of Applied Polymer Science*, 135(13), Article 46024. <https://doi.org/10.1002/app.46024>.
- Ferreira, A., Guerra, I., Costa, M., Silva, J., & Gouveia, L. (2021). Future perspectives of microalgae in the food industry. In *Cultured microalgae for the food industry*. Elsevier (pp. 387–433). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821080-2.00008-3>.
- Kumar, V. A., Hasan, M., Mangaraj, S., M, P., Verma, D. K., & Srivastav, P. P. (2022). Trends in edible packaging films and its prospective future in food: A review. *Applied Food Research*, 2(1), Article 100118. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100118>.
- Oliveira Filho, J. G. de, Bertolo, M. R. V., Rodrigues, M.A. ' V., Silva, G. da C., Mendonça, G. M. N. de, Bogusz Junior, S., Ferreira, M. D., & Egea, M. B. (2022). Recent advances in the development of smart, active, and bioactive biodegradable biopolymer-based films containing betalains. *Food Chemistry*, 390, Article 133149. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133149>.
- Andrade, L. M., Andrade, C. J., Dias, M., Nascimento, C., & Mendes, M. A. (2018). *Chlorella* and *spirulina* microalgae as sources of functional foods. *Nutraceuticals, and Food Supplements*, 6(1), 45-58.
- Anjum, M. A., Akram, H., Zaidi, M., & Ali, S. (2020). Effect of gum Arabic and Aloe vera gel based edible coatings in combination with plant extracts on postharvest quality and storability of 'Gola' guava fruits. *Scientia Horticulturae*, 271, Article 109506. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109506>.
- Akbarizare, M., Ofoghi, H., & Hadizadeh, M. (2021). Dual effect of Sapogenins extracted from *Spirulina platensis* on telomerase activity in two different cell lines. *Molecular Biology Research Communications*, 10(1), 1- 4.
- Posten, C., & Walter, C. (2012). *Microalgal Biotechnology: Integration and Economy*.
- Jung, F., Krüger-Genge, A., Waldeck, P., & Küpper, J. H. (2019). *Spirulina platensis*, a super food. *Journal of Cellular Biotechnology*, 5(1), 43-54.
- Camacho, F., Macedo, A., & Malcata, F. (2019). Potential industrial applications and commercialization of microalgae in the functional food and feed industries: A short review. *Marine drugs*, 17(6), 312.

- Koyande, A. K., Chew, K. W., Manickam, S., Chang, J. S., & Show, P. L. (2021). Emerging algal nanotechnology for high-value compounds: A direction to future food production. Trends in Food Science & Technology, 116, 290-30.
- <https://www.researchandmarkets.com/reports/5309829/spirulina-extracts-global-strategic-business> .
- Iliева, Y., Teneva, I., Goltsev, V., & Georgieva, K. (2024).Antimicrobial activity of Arthrospira (former Spirulina) and Dunaliella related to recognized antimicrobial bioactive compounds.International Journal of Molecular Sciences, 25(10), 5548.<https://doi.org/10.3390/ijms25105548>.
- Safari, R., Mehraban Sang Atash, M., & Sheikhzadeh, N. (2020).Antioxidant and antibacterial activities of C-phycoyanin from Spirulina platensis.Iranian Journal of Fisheries Sciences, 19(4), 1914–1923.<https://doi.org/10.22092/IJFS.2019.120881>.
- Shah, M., Mahmud, S., & Fatima, A. (2021).Phycocyanin from Spirulina: A review of extraction methods and applications. Food Chemistry, 365, 130513.<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130513>.
- Bekhit, A. E.-D. A., Holman, B. W. B., Giteru, S. G., & Hopkins, D. L. (2021). Total volatile basic nitrogen (tvb-N) and its role in meat spoilage: A review. Trends in Food Science & Technology, 109, 280–302.
- Oliveira Filho, J. G. de, Bertolo, M. R. V., Rodrigues, M.A. ´ V., Silva, G. da C., Mendonça, G. M. N. de, Bogusz Junior, S., Ferreira, M. D., &Egea, M. B. (2022). Recent advances in the development of smart, active, and bioactive biodegradable biopolymer-based films containing betalains. Food Chemistry, 390, Article 133149.
- Bermejo, P., Piñero, E., & Villar, Á. M. (2008).Iron-chelating ability and antioxidant properties of phycocyanin isolated from a Spirulina platensis extract.Food Chemistry, 110(2), 436–445.
- Ansari, F. A., Singh, P., & Guldhe, A. (2021). Development of pH indicators from nanofibers containing microalgal phycocyanin. Environmental Research, 202, 111648.
- Kontogianni, V.G.; Kosma, I.; Mataragas, M.; Pappa, E.; Badeka, A.V.; Bosnea, L. Innovative Intelligent Cheese Packaging with Whey Protein Based Edible Films Containing Spirulina. Sustainability 2023, 15, 13909. <https://doi.org/10.3390/su151813909>.
- Stejskal N, Miranda JM, Martucci JF, Ruseckaite RA, Aubourg SP, Barros-Velázquez J. The effect of gelatine packaging film containing a Spirulina platensis protein concentrate on Atlantic mackerel shelf life. Molecules. 2020 Jul 14;25(14):3209.
- Özogul, İ., Kuley, E., Durmus, M., & Özogul, Y. (2021). The effects of microalgae (Spirulina platensis and Chlorella vulgaris) extracts on the quality of vacuum packaged sardine during chilled storage. Journal of Food Measurement and Characterization, 15(2), 1327–1340. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00729-1>.
- Abed, S., Nowruzi, B., & Anvar, S. A. A. (2025). Production of Oncorhynchus mykiss biosensor based on polyvinyl alcohol/chitosan nanocomposite using phycocyanin during refrigerated storage. Scientific Reports, 15, Article 703. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85284-9>.
- Silva, D. A., Lima, J. M., Barbosa, R. M., Oliveira, J. P., & Santos, E. S. (2023). Spirulina application in food packaging: Gaps of knowledge and future trends. Trends in Food Science & Technology, 133, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.02.001>.

ممنون از توجه شما