به نام خداوند جان و خرد

انتشارات
۸۳۵

موادغذایی عملگر و غذاداروها

ویژی کومار گوپتا؛ هلن تریچل؛ الگا شاپاوال
لوئیز آنتونیو دِاولیورا؛ ماریا جی‌تیوهی

ترجمه:
دکتر فخری شهیدی
استاد دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سحر روشنک؛ عاطفه سرادقی توپکانلو
دکتر سمیه صحرانشین سامانی؛ دکتر محمد مالکی

عنوان و نام پدیدآور: مواد غذایی عملگر و غـذاداروها/ [ویراسـتار] ویـژی کومـار گوپتـا...[و دیگـران]؛ ترجمـه فخـری شهیدی...[و دیگران]؛ ویراستار علمی آرش کوچکی، ویراستار ادبی هانیه اسدپورفعال‌مشهد.
مشخصات نشر: مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری: ۲۸۸ ص.: مصوّر، جدول، نمودار.
فروست: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۸۳۵.
شابک: ISBN: 978-964-386-528-3
وضعیت فهرست‌نویسی: فاپا.
یادداشت: عنوان اصلی: Microbial functional foods and nutraceuticals,2017.
یادداشت: [ویراستار] ویژی کومار گوپتا، هلن تریچل، الگا شاپاوال، لوئیز آنتونیو داولیورا، ماریاجی. تیوهی.
یادداشت: ترجمه فخری شهیدی، سحر روشنک، عاطفه سرادقی‌توپکانلو، سمیه صحرانشین‌سامانی، محمد مالکی.
موضوع: غذاهای فراسودمند Functional foods
میکرب‌ها Microorganisms
شناسه افزوده: گوپتا، ویجی کومار، ۱۹۸۱- م. Gupta, Vijai Kumar, 1981.
شناسه افزوده: شهیدی، فخری، ۱۳۲۵ -، مترجم
شناسه افزوده: کوچکی، آرش، ۱۳۵۷ -، ویراستار
شناسه افزوده: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.
رده‌بندی کنگره: QP۱۴۴
رده‌بندی دیویی: ۵۷۲/۴۲۹
شمارهٔ کتابشناسی ملّی: ۸۹۰۳۷۲۶

موادغذایی عملگر و غذاداروها

پدیدآورندگان: ویژی کومار گوپتا؛ هلن تریچل؛ الگا شاپاوال؛ لوئیز آنتونیو دِاولیورا؛ ماریا جی‌تیوهی
ترجمه: دکتر فخری شهیدی؛ دکتر سحر روشنک؛ عاطفه سرادقی توپکانلو
دکتر سمیه صحرانشین سامانی؛ دکتر محمد مالکی
ویراستار علمی: دکتر آرش کوچکی
ویراستار ادبی: هانیه اسدپور فعال مشهد
مشخصات: وزیری، ۱۰۰ نسخه، چاپ دوم، پاییز ۱۴۰۴ (اوّل، ۱۴۰۱)
چاپ و صحافی: همیار
بها : ۳/۵۰۰/۰۰۰ ریال
حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.

انتشارات
۸۳۵

مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس
تلفن: ۳۸۸۰۲۶۶۶- ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)

مؤسّسهٔ کتابیران: تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، بین روانمهر و وحید نظری، بن‌بست گشتاسب، پلاک ۸ تلفن: ۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)

مؤسّسهٔ دانشیران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شمارهٔ ۱۴۲
تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ – ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

http://press.um.ac.ir Email: press@um.ac.ir

فهرست مطالب

پیشگفتار مترجمان ۹

فصل ۱. ریزجلبک به‌عنوان منبعی پایدار از غذاداروها ۱۱

۱-۱ مقدّمه ۱۱

۱-۲ غذاداروهای مشتق‌شده از ریزجلبک ۱۲

۱-۲-۱ رنگ‌دانه‌ها ۱۲

۱-۲-۲ اسیدهای چرب چندغیراشباع ۱۶

۱-۲-۳ پروتئین‌ها ۱۷

۱-۲-۴ ویتامین‌ها ۱۸

۱-۲-۵ مواد معدنی ۱۹

۱-۲-۶ پلی‌ساکاریدها ۲۰

۱-۲-۷ ترکیبات فنولی و فرّار ۲۱

۱-۲-۸ استرول‌ها ۲۱

۱-۳ ریزجلبک‌ها در داروسازی و صنایع غذایی ۲۲

۱-۴ نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده ۲۳

فصل ۲. موادغـذایی عملگر از سیانوباکترها: یک منبع نوظهور برای فراورده‌های غذایی عملگر مهم به‌لحاظ دارویی ۲۹

۲-۱ مقدّمه ۲۹

۲-۱-۱ سیانوباکترها: یک شاخه به‌لحاظ تکاملی موفق ۲۹

۲-۱-۲ سیانوباکترها: یک منبع بالقوّه از موادغذایی عملگر ۳۰

۲-۲ اجزای تشکیل‌دهندهٔ موادغذایی عملگر با منشأ سیانوباکترها ۳۳

۲-۲-۱ کربوهیدرات و فیبرها ۳۳

۲-۲-۲ پروتئین و پپتیدها ۳۴

۲-۲-۳ چربی‌ها و اسیدهای چرب ۳۵

۲-۲-۴ مواد معدنی و ویتامین‌ها ۳۶

۲-۲-۵ ترکیبات زیست‌فعال ۳۶

۲-۳ خلاصه و چشم‌اندازهای آینده ۴۰

فصل ۳. کاروتنوئیدجلبک دریایی، فوکوگزانتین، به‌عنوان مادّهٔ غذایی عملگر ۴۵
۳-۱ فوکوگزانتین: بررسی اجمالی و منابع ۴۵
۳-۲ شیمی فوکوگزانتین ۴۶
۳-۳ کاربردهای کنونی ۴۸
۳-۴ قوانین مربوط به موادغذایی و دارویی ۴۸
۳-۵ برنامه‌های کاربردی در سلامت انسان ۴۹
۳-۵-۱ اثر ضدچاقی ۴۹
۳-۵-۲ اثرات ضدسرطانی ۵۰
۳-۵-۳ اثرات ضددیابتی ۵۱
۳-۵-۴ اثرات آنتی‌اکسیدانی رژیمی ۵۱
۳-۶ مطالعات مربوط به بررسی سمّیت ۵۲
۳-۷ فوکوگزانتین به‌عنوان یک مادّهٔ غذایی عملگر: چالش‌ها و فرصت‌ها ۵۲
۳-۸ رویکردهایی برای غلبه بر واکنش‌های نامطلوب در مدل‌های موادغذایی عملگر ۵۶
۳-۸-۱ میکروکپسولاسیون و نانوکپسولاسیون ۵۶
۳-۹ روندهای رایج در تحقیقات فوکوگزانتین ۵۷
۳-۹-۱ فنّاوری‌های استخراج سبز ۵۷
۳-۱۰ نتیجه‌گیری ۶۲

فصل ۴. موادغذایی عملگر با منشأ قارچ یا سماروغ ۶۹
۴-۱ مقدّمه ۶۹
۴-۲ تعریف ۷۱
۴-۳ کشت ۷۱
۴-۴ ارزش غذایی ۷۱
۴-۴-۱ رطوبت ۷۱
۴-۴-۲ پروتئین ۷۲
۴-۴-۳ اسیدهای آمینه ۷۳
۴-۴-۴ چربی ۷۶
۴-۴-۵ ویتامین‌ها ۷۷
۴-۴-۶ کربوهیدرات ۷۷
۴-۴-۷ بتا-گلوکان‌ها ۷۸
۴-۵ ویژگی‌های دارویی ۷۸
۴-۵-۱ اثرات ضدتومور ۷۹
۴-۶ نتیجه‌گیری ۸۴

فصل ۵. تولید میکروبی اسیدهای آلی ۹۳
۵-۲ انواع اسید آلی ۹۴
۵-۲-۱ اسیدسیتریک ۹۵
۵-۲-۲ اسیدسوکسینیک ۹۷
۵-۲-۳ اسیدلاکتیک ۹۹
۵-۲-۴ اسیدایتاکونیک ۱۰۱
۵-۲-۵ اسیدلاکتوبیونیک ۱۰۳
۵-۲-۶ اسیدگلوکونیک (اسید قند) ۱۰۵
۵-۲-۷ اسیدفوماریک ۱۰۶
۵-۲-۸ اسیدپروپیونیک ۱۰۸
۵-۲-۱۰ اسیداستیک ۱۰۹
۵-۳ نتیجه‌گیری ۱۱۱

فصل ۶. میکروب‌ها به‌عنوان منبعی برای تولید اجزای تشکیل‌دهندهٔ موادغذایی ۱۲۱
۶-۱ مقدّمه ۱۲۱
۶-۲ میکروب‌ها به‌عنوان منبع آنتی‌اکسیدان ۱۲۲
۶-۳ میکروب‌ها به‌عنوان منبع رنگ ۱۲۳
۶-۳ میکروب‌ها به‌عنوان منبع اسیدهای آمینه ۱۲۵
۶-۴ میکروب‌ها به‌عنوان منبع ویتامین ۱۲۷
۶-۵ میکروب‌ها به‌عنوان منبع پروتئین‌ها ۱۲۸
۶-۶ میکروب‌ها به‌عنوان منبع نگهدارنده‌های زیستی طبیعی ۱۳۰
نگهدارنده‌های‌زیستی ۱۳۰
۶-۷ میکروب‌ها به‌عنوان منبع موادغذایی ضدسرطان ۱۳۲
۶-۷-۱ ترکیبات ضدسرطان از منابع درون‌رُست ۱۳۳
۶-۸ میکروب‌ها به‌عنوان منبع موادغذایی ضددیابت ۱۳۵
۶-۹ میکروب‌ها به‌عنوان منبع عوامل ضدکم‌خونی ۱۳۶
۶-۱۰ میکروب‌ها به‌عنوان منبع عوامل ضدچاقی ۱۳۸
۶-۱۱ میکروب‌ها به‌عنوان منبعی از ضدآلرژن‌ها ۱۴۰
۶-۱۲ نتیجه‌گیری ۱۴۱

فصل ۷. زانتان، لِوان، ژلان و کردلان میکروبی به‌عنوان افزودنی‌های غذایی ۱۴۷
۷-۱ مقدّمه ۱۴۷
۷-۲ اگزوپلی‌ساکاریدهای میکروبی ۱۴۸
۷-۳ اگزوپلی‌ساکاریدهای میکروبی در صنایع غذایی ۱۵۲

۷-۴ زانتان ۱۵۵
۷-۶ لوان ۱۵۷
۷-۷ ژلان ۱۶۰
۷-۸ کردلان ۱۶۲
۷-۹ نتیجه‌گیری ۱۶۴

فصل۸. تولید آنزیم میکروبی فیبرینولیتیک و کاربردهای آن ۱۷۱
۸-۱ مقدّمه ۱۷۱
۸-۱-۲ فیبرینولیز ۱۷۳
۸-۲ منابع آنزیم‌های فیبرینولیتیک ۱۷۴
۸-۲-۱ منابع غذایی ۱۷۴
۸-۲-۲ منابع غیرغذایی ۱۸۴
۸-۲-۳ منابع غیرمتعارف ۱۸۷
۸-۳ فرایند تولید (تخمیر) ۱۸۹
۸-۳-۱ انتخاب سویه ۱۸۹
۸-۳-۲ پارامترهای تخمیر ۱۹۰
۸-۳-۳ بهینه‌سازی آماری ۱۹۲
۸-۳-۴ تخمیر حالت جامد ۱۹۳
۸-۴ فعالیت ترومبولیتیک آنزیم‌های فیبرینولیتیک در داخل بدن "*in vivo*" ۱۹۳
۸-۵ کاربردهای غیرمتعارف آنزیم‌های فیبرینولیتیک ۱۹۵
۸-۵-۱ آنزیم‌های فیبرینولیتیک به‌عنوان موادافزودنی و ضدمیکروبی شوینده‌ها ۱۹۵
۸-۵-۲ آنزیم‌های فیبرینولیتیک برای پیشگیری از پوسیدگی دندان ۱۹۷
۸-۵-۳ آنزیم‌های فیبرینولیتیک به‌عنوان مهارکننده‌های ویروس گیاهی ۱۹۷
۸-۵-۴ آنزیم‌های فیبرینولیتیک به‌عنوان عوامل ضدالتهابی، ضددرد، ضدباکتری و خلط‌آور ۱۹۹
۸-۵-۴ آنزیم‌های فیبرینولیتیک به‌عنوان تنظیم‌کنندهٔ فشارخون ۲۰۰
۸-۶ نتیجه‌گیری ۲۰۱

فصل ۹. فراورده‌های میکروبی حافظ تعادل (هوموستازی) زنان ۲۰۹
۹-۱ پروبیوتیک ها به‌عنوان درمان ۲۰۹
۹-۱-۱ مفهوم پروبیوتیک‌ها ۲۱۰
۹-۲ پروبیوتیک‌ها برای رفع مشکلات زنان ۲۱۱
۹-۲-۱ عفونت مجرای ادراری ۲۱۱
۹-۲-۲ کاندیدیاسیس ۲۱۱

۹-۲-۳ بی‌اشتهایی عصبی ۲۱۳
۹-۲-۴ زایمان زودرس ۲۱۴
۹-۲-۵ بارداری و شیردهی ۲۱۴
۹-۲-۶ پوکی استخوان ۲۱۵
۹-۲-۷ عدم تعادل هورمون‌ها ۲۱۶
۹-۲-۸ سرطان پستان ۲۱۷
۹-۲-۹ استرس ۲۱۸
۹-۳ چشم‌انداز ۲۱۸
۹-۱۰ نتیجه‌گیری ۲۱۹

فصل ۱۰. تولید پروبیوتیک‌های با کیفیت بالا توسط تخمیر ۲۲۷
۱۰-۱ مقدّمه ۲۲۷
۱۰-۲ ارزیابی عملکرد پروبیوتیک ۲۲۹
۱۰-۳ پروبیوتیک‌ها در مواجهه با عوامل استرس ۲۳۱
۱۰-۳-۱ استرس اکسیداتیو ۲۳۲
۱۰-۳-۲ استرس اسیدی ۲۳۳
۱۰-۳-۳ استرس به صفرا ۲۳۴
۱۰-۳-۴ استرس گرما ۲۳۴
۱۰-۳-۵ استرس سرما ۲۳۵
۱۰-۳-۶ استرس اسمزی ۲۳۵
۱۰-۳-۷ استرس رقابتی ۲۳۶
۱۰-۴ فنّاوری‌های مورداستفاده متداول برای افزایش زنده‌مانی سلول‌ها ۲۳۷
۱۰-۴-۱ اصلاح ژنتیکی سویه ۲۳۸
۱۰-۴-۲ تقویت تحمل استرس در سویه‌های پروبیوتیک ۲۳۹
۱۰-۴-۳ سازگاری فیزیولوژیکی و پاسخ کلی به استرس ۲۳۹
۱۰-۴-۴ روش‌های افزایش زنده‌مانی و بقای پروبیوتیک‌ها ۲۴۰
۱۰-۵ تکنولوژی تخمیر ۲۴۰
۱۰-۵-۱ بهینه‌سازی محیط کشت ۲۴۰
۱۰-۵-۲ انواع تخمیر دخیل در تولید پروبیوتیک ۲۴۲
۱۰-۶ تثبیت پروبیوتیک‌ها ۲۴۳
۱۰-۶-۱ میکروانکپسولاسیون ۲۴۳
۱۰-۶-۲ خشک کردن پاششی ۲۴۵
۱۰-۶-۳ خشک کردن انجمادی ۲۴۵
۱۰-۶-۴ خشک کردن بستر سیّال و تحت‌خلأ ۲۴۶

۱۰-۷ شمارش سلول‌های زندهٔ پروبیوتیک ۲۴۷
۱۰-۸ نتیجه‌گیری ۲۴۸

فصل ۱۱. پروبیوتیک‌ها و مزایای سلامتی‌بخش آن‌ها ۲۵۷
۱۱-۱ مقدّمه ۲۵۷
۱۱-۲ سیستم گوارشی ۲۵۹
۱۱-۳ ارتباط بین دستگاه گوارش و پروبیوتیک‌ها ۲۵۹
۱۱-۴ موادغذایی عملگر ۲۶۰
۱۱-۵ چالش‌ها و پیشرفت‌ها ۲۶۱
۱۱-۵-۱ انتخاب سویه ۲۶۱
۱۱-۵-۲ متاژنومیکس ۲۶۲
۱۱-۵-۳ روش‌های بیوتکنولوژی اضافی ۲۶۴
۱۱-۶ نتیجه‌گیری ۲۶۴

فصل ۱۲. پتانسیل تغذیه‌ای *Auricularia auricula -judae* و *Termitomyces umkowaan* ، قارچ‌های خوراکی وحشی جنوب‌غربی هند ۲۶۹
۱۲-۱ مقدّمه ۲۶۹
۱۲-۲ ماشروم‌های وحشی ۲۷۰
۱۲-۳ ارزیابی تغذیه‌ای ۲۷۱
۱۲-۳-۱ ویژگی‌های تقریبی ۲۷۱
۱۲-۳-۲ مواد معدنی ۲۷۱
۱۲-۳-۳ اسیدهای آمینه ۲۷۲
۱۲-۳-۴ قابلیت هضم و کیفیت پروتئین ۲۷۲
۱۲-۳-۵ اسیدهای چرب ۲۷۳
۱۲-۳-۶ آنالیز اطلاعات ۲۷۴
۱۲-۴ مقایسهٔ تغذیه‌ای ۲۷۴
۱۲-۴-۱ کیفیت تقریبی ۲۷۵
۱۲-۴-۲ مواد معدنی ۲۷۶
۱۲-۴-۳ پروفایل اسیدهای آمینه و قابلیت دسترسی زیستی پروتئین ۲۷۷
۱۲-۴-۵ اسیدهای چرب ۲۸۰
۱۲-۵ نتیجه‌گیری ۲۸۲

نمایه ۲۸۷

پیشگفتار مترجمان

امروزه غذاهای عملگر یا فراسودمند و غذاداروها بسیار موردتوجه جوامع مختلف در جهان قرار گرفته‌اند. منظور از غذاهای عملگر یا فراسودمند غذاهایی هستند که علاوه‌بر تأمین انرژی و مواد مغذّی موردنیاز برای بدن، ترکیباتی دارند که به پیشگیری از برخی بیماری‌ها، سلامت و افزایش طول‌عمر کمک می‌کنند. غذادارو اصطلاح گسترده‌ای است که به هر فراوردهٔ غذایی که سلامتی را ارتقا دهد و مزایای سلامتی‌بخش آن بیش از غذاهای دیگر باشد، اطلاق می‌شود. بسیاری از ترکیبات زیست‌فعال تشکیل‌دهندهٔ موادغذایی با منشأ گیاهی، حیوانی و میکروبی به‌صورت دارویی (قرص، کپسول، محلول، ژل، نوشیدنی، پودر، گرانول و غیره) تهیه و تجاری شده‌اند که به افزایش سلامت انسان کمک می‌کنند. هرچند این فراورده‌ها را نمی‌توان صرفاً به‌عنوان «غذا» یا «دارو» دسته‌بندی کرد، تحت‌عنوان اصطلاح ترکیبی «غذادارو» معرفی می‌شوند. برخی از میکرو ارگانیسم‌ها و یا بسیاری از متابولیت‌های میکروبی دارای ویژگی‌های خاص سلامتی‌بخش هستند و نقش عمدای در تولید غذاهای عملگر یا فراسودمند و غذاداروها دارند. بنابراین در این کتاب به تشریح غذاهای عملگر یا فراسودمند و غذاداروها با منشأ میکروبی پرداخته شده که برای محقّقان، صنعتگران و ارگان‌های دخیل در سیاست‌گذاری‌های تولید و نظارت بر موادغذایی و آشامیدنی و همچنین مصرف‌کنندگان مفید است. لذا بر آن شدیم این کتاب را به فارسی برگردانیم تا استفاده از محتوای مفید آن برای همگان تسهیل شود.

این کتاب متشکّل از دوازده فصل است. در فصل ۱ ریزجلبک‌ها، در فصل ۲ سیانوباکترها و در فصل ۳ جلبک‌های دریایی به‌عنوان منابع پایداری از غذاداروها موردبحث قرار گرفته‌اند. فصل ۴ این کتاب به معرفی غذاهای عملگر با منشأ قارچ‌های خوراکی پرداخته است. فصل‌های ۵ (اسیدهای آلی)، ۶، ۷ (صمغ‌های میکروبی) و ۸ (آنزیم‌های میکروبی فیبرینولیتیک) تولید متابولیت‌ها و فراورده‌های عملگر با منشأ میکروبی و فصل ۹ نیز مصارف درمانی میکروارگانیسم‌ها را موردبحث قرار داده است. در فصل ۱۰ پروبیوتیک‌ها و ویژگی‌های تکنولوزیکی آن‌ها و در فصل ۱۱ مزایای سلامتی‌بخش، چالش‌ها و پیشرفت‌های اخیر درزمینهٔ استفاده از پروبیوتیک‌ها به‌تفصیل توضیح داده شده است. فصل ۱۲ نیز پتاسیل تغذیه‌ای و ارزیابی خواص برخی قارچ‌های وحشی را به‌بحث گذاشته است.

دکتر فخری شهیدی و همکاران

زمستان ۱۴۰۰

۱

ریزجلبک[1] به‌عنوان منبعی پایدار از غذاداروها

۱-۱ مقدّمه

غذادارو[2] اصطلاحی گسترده است که به هر فراوردهٔ غذایی که دارای اثرات ارتقادهندهٔ سلامتی بوده و مزایای سلامتی‌بخش آن بیش از غذاهای معمولی باشد، اطلاق می‌شود[۶]. بسیاری از ترکیبات زیست‌فعال تشکیل‌دهندهٔ موادغذایی به‌صورت دارویی (قرص‌ها، کپسول‌ها، محلول‌ها، ژل‌ها، نوشیدنی‌ها، پودرها، گرانول‌ها و غیره) تجاری شده‌اند که به افزایش سلامتی انسان کمک می‌کنند. هرچند این فراورده‌ها را نمی‌توان صرفاً به‌عنوان «غذا» یا «دارو» دسته‌بندی کرد و یک اصطلاح ترکیبی جدید بین مواد مغذّی و مواد دارویی تحت‌عنوان « غذاداروها» معرفی شده است[۴۵].

مکمّل‌های غذایی، یک اصطلاح عمومی پذیرفته‌شده برای غذاداروهاست. یکی دیگر از اصطلاحات مرتبط با آن‌ها، «موادغذایی عملگر[3]» است که به‌عنوان فراورده‌های مشتق‌شده از منابع طبیعی که می‌توانند غنی‌سازی شده باشند و مصرف آن‌ها احتمالاً موجب ارتقای سلامت انسان می‌گردد، تعریف می‌شوند[۸]. هرچند در دیدگاهی گسترده به‌نظر می‌رسد مرزی بین غذاداروها و غذاهای عملگر وجود دارد. به‌عنوان مثال، وقتی‌که یک ترکیب زیست‌فعال به فرمولاسیون موادغذایی اضافه می‌شود، به‌عنوان مثال حل کردن ۲۰۰ میلی‌گرم از کاروتنوئیدها در یک لیتر آب‌میوه، ممکن است به یک غذای بالقوّه عملگر جدید منجر شود. درحالی‌که همان مقدار از کاروتنوئیدهای کپسوله‌شده به‌صورت قرص یا کپسول، غذاداروها درنظر گرفته می‌شود[۱۷]. به‌علاوه غذاداروها می‌توانند چه به‌صورت فراورده‌های غذایی کامل (مانند *Spirulina*

1. Microalgae
2. Nutraceuticals
3. Functional Foods

به فرم قرص) و یا مکمّل‌های رژیمی که ترکیب یا ترکیبات غذادارو برای افزایش اثرات سلامتی‌بخش، در آن‌ها تجمّع یافته باشند (مانند آستاگزانتین[1] استخراج‌شده از ریزجلبک *Haematococcus* که در بازار موجود است)، عرضه شوند.

بنابراین، تأکید روی پژوهش‌ها، جهت یافتن غذاداروهایی که در بهبود سلامت انسان نقش دارند، در جهان افزایش یافته است. ریزجلبک‌ها یکی از اهداف عمومی جامعهٔ تحقیقاتی و صنعت بیوتکنولوژی محسوب می‌شوند؛ زیرا بسیاری از گونه‌های ریزجلبک منابع سرشار از غذاداروهای متنوع مانند ویتامین‌ها، کاروتنوئیدها، اسیدهای چرب چندغیراشباع[2] (PUFAs)، فیتواسترول‌ها[3] هستند[۳۰]. به‌علاوه، استفاده از زیست‌تودهٔ[4] ریزجلبک به‌دلیل رشد سریع و عدم نیاز به زمین‌های حاصلخیز، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. درواقع، کشت ریزجلبک به منابع آب شیرین و زمین‌های زراعی نیاز ندارد. بسیاری از ریزجلبک‌ها با اثرات مفیدشان برای سلامتی، جلبک دریایی یا آب شور هستند[۳۰]. بنابراین ریزجلبک‌ها یک منبع ایدئال برای تولید پایدار از ترکیبات فیزیولوژیکی فعال محسوب می‌شوند[۱، ۳۰]. بسیاری از آن‌ها توانایی شگفت‌انگیزی در تحمل شرایط نامساعد محیطی با استفاده از متابولیت‌های ثانویهٔ خود دارند و برخی از این شرایط سبب تجمّع بالای این ترکیبات می‌شود (برای مثال، ریزجلبک *Dunaliella salina* سطح بالایی از بتاکاروتن را در شرایطی که غلظت نمک بالا باشد (بسیار شور) تولید می‌کند[۶].

مطالعات پیشین، مزایای سلامتی‌بخش غذاداروهای با منشأ جلبک‌ها را، بهبود سیستم ایمنی، توسعهٔ سیستم عصبی، افزایش سلامت اندام‌های مختلف ازقبیل استخوان، دندان، روده و غیره بیان کرده‌اند. همچنین مشخص شده است که غذاداروهای با منشأ جلبک، علیه چاقی و کلسترول مؤثر هستند و سبب کاهش فشار خون و مطلوب نگه‌داشتن شرایط قلب می‌شوند. مطالعات متعددی برخی از خواص ضدویروسی و ضدسرطانی غذاداروهای با منشأ جلبک را گزارش کرده‌اند[۶۰]. در این فصل، مرور مختصری بر ترکیبات غذاداروهای متفاوت موجود در ریزجلبک‌ها که اخیراً گزارش شده است، ارائه می‌شود.

۱-۲ غذاداروهای مشتق‌شده از ریزجلبک

۱-۲-۱ رنگ‌دانه‌ها

استنگل و همکارانش (۲۰۱۱) به چند گروه عمده از رنگ‌دانه‌های ریزجلبکی شامل حلقه‌های تتراپیرول[5] مانند کلروفیل‌های a و b (کلرین‌ها[6])، پورفیرین‌ها (کلروفیل c)، تتراپیرول‌های زنجیره‌باز (رنگ‌دانه‌های فیکوبیلین[7]) و کاروتنوئیدها (پلی‌ایزوپرنوئیدها[8]، کاروتن‌ها و زانتوفیل‌ها) اشاره کردند. در میان آن‌ها،

1. Astaxanthin
2. Polyunsaturated Fatty Acids
3. Phytosterols
4. Biomass
5. Tetrapyrroles
6. Chlorins
7. Phycobilin
8. Polyisoprenoids

رنگ‌دانه‌های کاروتنوئیدها و فایکوبیلین‌ها[1] به‌طور گسترده توسط صنعت استفاده می‌شوند[۵۵]. به‌طورکلی، کاروتنوئیدها آنتی‌اکسیدان‌های قوی هستند و از سلول‌ها در برابر نور محافظت می‌کنند. اسکلت مولکولی اکثر آن‌ها زنجیره‌های پلیئنی[2] ۴۰ کربنه است[۱۳، ۲۶]. مطالعه‌ای که به‌تازگی انجام شد، نشان داد زمانی‌که ریزجلبک‌ها توسط محرّک‌های خارجی تحریک شوند، قادرند مقدار قابل‌توجهی کاروتنوئید تولید کنند. در میان چند گونه ریزجلبک بومی استرالیا، پروفایل‌ها کاروتنوئیدی ۱۲ گونهٔ سریع‌الرشد، غربالگری و مشخص‌شدهٔ گونه‌های *D. salina*، *Tetraselmis suecica*، *Isochrysis galbana* و *Pavlova salina* حتّی در غیاب محرّک‌های خارجی نیز منبع خوبی از کاروتنوئیدهای مختلف به‌میزان ۶/۸۸–۴/۶۸mg/g در وزن خشک (DW) هستند[۳].

مطالعات زیادی در جهان برای غربالگری ریزجلبک‌ها با هدف تولید کاروتنوئیدها انجام شده است. به‌عنوان مثال، مقدار لوتئین در *Scenedesmus almeriensis*، *Muriellopsis* sp. و *Chlorella* sp. [۵، ۶، ۱۲، ۲۱]؛ آستاگزانتین، کاستاگزانتین[3] و لوتئین در گونهٔ *Chlorella zofingiensis*؛ کاستاگزانتین در *Scenedesmus komareckii*؛ آلپانوسپورها[4] در گونهٔ *D. Salina*؛ اچینونون[5] در *Botryococcus braunii* فوکوگزانتین[6] در *Phaeodactylum tricornutum* فراوان هستند (جدول ۱–۱). هرچند علاوه‌بر بتاکاروتن و آستاگزانتین، تولید کاروتنوئیدها از این ریزجلبک‌ها در مقیاس بالا، به‌دلیل هزینه‌های بالای فرایندهای پایین‌دستی استخراج و تصفیه، قابل‌توجه است[۶]. علاوه‌براین، *Synechocoocccus cyanobacterium* و ریزجلبک *Nannochloropsis gaditana* منبع خوبی از بتاکاروتن، زئاگزانتین[7]، ویئولاگزانتین[8]، وائوچریئاگزانتین[9] و کلروفیل a هستند[۳۹].

در شرایط تنش، دو گونهٔ شناخته‌شده از ریزجلبک‌ها، *D. salina* و *Haematococcus pluvialis* مقدار قابل‌توجهی بتاکاروتن (تا ۱۴٪ DW در شرایط تنش) وآستاگزانتین (۳–۲٪ DW) در خود جمع می‌کنند[۳۲]. علاوه‌براین، *D. salina* پیشتاز تولید کاروتنوئیدها در بین تمام منابع غذایی است و ازاین‌رو، این ریزجلبک تحمل‌کنندهٔ نمک، درحال‌حاضر محبوب‌ترین گونه در صنعت بیوتکنولوژی جلبک است (جدول ۱–۱). نکتهٔ مهم این است که بتاکاروتن در داخل بدن به پیش ساز ویتامین A (رتینول[10]) تبدیل می‌شود که بخش مهمی از آماده‌سازی مولتی‌ویتامین است[۲۵، ۵۴].

یکی دیگر از کاروتنوئیدهای موردتوجه آستاگزانتین است که درحال‌حاضر توسط چندین شرکت از جلبک آب شیرین (*H. pluvialis*) تولید می‌شود. این کاروتنوئید دارای خواص آنتی‌اکسیدان و ضدالتهابی بسیار قوی است. بنابراین، آستاگزانتین در حفاظت در برابر تخریب ماکولار[11] (شبکیه) و پروتئین، بیماری پارکینسون، کاهش بینایی، سرطان، روماتیسم مفاصل و غیره نقش دارد[۳۰، ۴۳].

1. Phycobilins
2. Polyene
3. Canthaxanthin
4. Aplanospores
5. Echinenone
6. Fucoxanthin
7. Zeaxanthin
8. Violaxanthin
9. Vaucheriaxanthin
10. Retinol
11. Macular

جدول ۱-۱ ترکیبات زیست‌فعال مشتق‌شده از ریزجلبک‌ها: منابع و عملکرد آن‌ها

ترکیبات زیست‌فعال		منبع ریزجلبک	عملکرد	منبع
رنگ‌دانه‌ها	لوتئین	*Muriellopsis* sp. *Scenedesmus almeriensis* *Chlorella* sp.	پیشگیری از سرطان، محافظت در برابر دژنراسیون ماکولار[1] و اختلال شناختی[2]	[۶، ۲۵، ۲۶]
	آستازانتین	*Chlorella zofigiensis* *Dunaliella salina* *Haematococcus pluvialis*	خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی، مؤثر در برابر سرطان، تخریب پروتئین، بیماری پارکینسون، کاهش بینایی، روماتیسم مفصلی	[۶،۳۰، ۳۳]
	بتاکاروتن	*Nannochloropsis gaditana* *Dunaliella salina* *Haematococcus pluvialis*	پیشگیری از سرطان پستان، دژنراسیون ماکولار	[۲۵، ۳۹، ۵۵]
PUFAs	EPA[3]	*Phaeodactylum tricornutum* *Nannochloropsis* sp. *Monodus subterraneus*	توسعهٔ عصبی، پیشگیری از بیماری‌های قلبی‌عروقی، کاهش و محافظت در برابر COPD[4]، آسم، روماتیسم مفصلی، آترواسکلروز	[۶، ۷، ۳۳، ۵۵]
	DHA[5]	*Crypthecodinium cohnii* *Pavlova salina* *Isochrysis galbana*	بیماری کرون و فیبروز کیستیک[6]، تسهیل‌کنندهٔ رشد کودک و نوزاد	[۶]
	اسیدلینولنیک	*Dunaliella salina* *Spirulina platensis*		
پروتئین‌ها		*Haematococcus pluvialis* *Chlamydomonas reinhardtii* *Chlorella* sp. *Spirulina* sp. *Scenedesmus* sp. *Dunaliella* sp. *Oscillatoria* sp. *Chlamydomonas* sp.	ضدسرطان، محرّک سیستم ایمنی بدن، محافظت کنندهٔ کبد، ضدالتهاب، آنتی‌اکسیدان، خواص ضدمیکروبی، محافظت از DNA، تولید پروتئین‌های نوترکیب، به‌عنوان مثال برای تشخیص دیابت نوع ۱ و غیره	[۲، ۱۴، ۲۳، ۲۹، ۵۱، ۵۵]
ویتامین‌ها	کوبالامین[7] (ویتامین B12) توکوفرول (ویتامین E) تیامین (ویتامین B1) اسیدنیکوتینیک[8] (ویتامین B3) اسیدآسکوربیک (ویتامین C) بیوتین (ویتامین B7)	*Dunaliella tertiolecta* *Chlorella* sp. *Spirulina* sp. *Dunaliella tertiolecta* *Porphyridium cruentum* *Tetraselmis suecica* *Tetraselmis suecica* *Tetraselmis suecica* *Chlorella* sp.	فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، نقش در عملکرد بدن، ایمنی بدن، دستگاه گوارش و غیره	[۱۵، ۱۹، ۶۱]

1. Macular Degeneration
2. Cognitive Impairment
3. Eicosapentaenoic Acid
4. Chronic Obstructive Pulmonary Disease
5. Docosahexaenoic Acid
6. Cystic Fibrosis
7. Cobalamin
8. Nicotinic Acid

ترکیبات زیست‌فعال		منبع ریزجلبک	عملکرد	منبع
پلی‌ساکاریدها	پلی‌ساکاریدهای سولفاته، فیبرهای غیرمحلول و دیگر	*Porphyridium* sp. *Spirulina platensis* *Phaeodactylum* sp. *Chlorella stigmatophora* *Gyrodinium impudicum*	فعالیت‌های ضدویروسی، آنتی‌اکسیدانی، ضدتوموری، ضدالتهابی، فعالیت‌های آنتی‌هایپرلیپیدمی[1]، ضدانعقاد	[۱۱، ۳۱، ۶۲]
ترکیبات فنولی	هپتادکان، تترادکان و غیره	*Nitzschia laevis Nostoc* *Nostoc Ellipsosporum* *Piscina Chlorella protothecoides* *Synechococcus* sp. *Chlorella vulgaris* *Anabaena cylindrical* *Chlorella pyrenoidosa* *Crypthecodinium cohnii* *Chlamydomonas nivalis*	ضدسرطان، ضددیابت، کاهش خطرات بیماری‌های قلبی‌عروقی و عصبی، محافظت در برابر استرس بیوتیک[2] و ابیوتیک[3]	[۶، ۳۵، ۳۷]
فیتواسترول‌ها	براسیکاسترول، سیتوسترول استیگماسترول، غیره	*Dunaliella tertiolecta* *Dunaliella salina*	کاهش کلسترول و فعالیت‌های عصبی، مبارزه با ناهنجاری‌های سیستم عصبی، آنسفالومیلیت خود ایمنی[4]، اسکلروز جانبی آمیوتروفیک[5]	[۲۲]

آستاگزانتین با منشأ ریزجلبک، اگرچه معمولاً به‌صورت مصنوعی سنتز می‌شود، به‌صورت تجاری در صنعت آبزی پروری، به‌ویژه برای ماهی قزل‌آلا و سالمون نیز استفاده می‌گردد؛ زیرا استفاده از آستاگزانتین در خوراک آبزیان، به افزایش افزایش رنگ عضلهٔ ماهی منجر می‌شود. همچنین مشاهده شده است که افزودن مقدار کمی از زیست‌تودهٔ ریزجلبک *Chlorella*، *Scenedesmus* یا *Spirulina* به خوراک دام، سبب بهبود قابل‌توجهی در سیستم ایمنی دام می‌شود[۲۷، ۴۶].

کاروتنوئیدهای ریزجلبک‌ها در برابر سرطان نیز مؤثرند. برای مثال، لوتئین، زئاگزانتین و بتاکاروتن علیه سرطان سینه قبل از یائسگی[6] فعالیت می‌کنند، درحالی‌که کریپتوزانتین و آلفا-کاروتن در برابر سرطان دهانهٔ رحم مؤثرند (جدول ۱-۱). همچنین ثابت شده است که لیکوپن نقش مهمی در پیشگیری و درمان سرطان پروستات و معده دارد[۵۵].

چندین نژاد از *Chlorella* به‌عنوان منبع خوبی از لوتئین، آلفا-کاروتن، بتا-کاروتن، زئاگزانتین، ویولازانتین، آنتراگزانتین[7] و آستراگزانتین هستند. شواهد نشان‌دهندهٔ خواص ضدسرطانی عصارهٔ کاروتنوئید *C. ellipsoidea* و *C. vulgaris* ازطریق القای آپوپتوز در سلول‌های سرطانی روده هستند[۹].

1. Antihyperlipidemia
2. Biotic
3. Abiotic
4. Autoimmune Encephalomyelitis
5. Amyotrophic Lateral Sclerosis
6. Premenopausal
7. Antheraxanthin

علاوه‌براین، حفاظت از تخریب ماکولار و اختلال شناختی در موش‌های تراریختهٔ تغذیه‌شده با عصارهٔ *Chlorella* حاوی لوتئین و بتاکاروتن مشاهده شده است[۲۵].

۱-۲-۲ اسیدهای چرب چندغیراشباع

ریزجلبک‌ها نقش مهمی در صنعت غذادارو ایفا می‌کنند؛ زیرا به‌عنوان منبعی غنی از اسیدهای چرب، به‌خصوص اسیدهای چرب زنجیربلند چندغیراشباع (PUFAs) محسوب می‌شوند. PUFAs اسیدهای چربی هستند که بیش از ۱۸ اتم کربن دارند و تعداد پیوند غیر اشباع در ساختار آن‌ها بیش از یک پیوند دوگانه است. برای مثال اسیدآلفا- لینولنیک ((ALA; C18:3 (ω-3))، اسیداکوزاپنتونئیک ((EPA; C20:5 (ω-3))، اسیدآراشیدونیک ((AA; C20:4 (ω-6))، اسیددکوزاپنتونئیک (DPA; C22:5) و اسید دکوزاهگزانئیک ((DHA; C22:6 (ω-3))[۴۸]. اثرات سلامتی‌بخش برای اسیدهای چرب ω-3 مانند ALA، EPA و DHA به‌اثبات رسیده است.

جالب‌توجه است که انسان و اکثر موجودات عالی نمی‌توانند به‌طور مستقل PUFA طولانی‌زنجیر، تولید کنند. بنابراین، این اسیدهای چرب باید ازطریق رژیم غذایی فراهم شوند. آن‌ها بخش مهمی از یک رژیم غذایی سالم هستند؛ زیرا نقش برجسته‌ای در توسعه و عملکرد شبکهٔ عصبی دارند[۳۳]. علاوه‌براین، درمان با اسیدهای چرب ω-3 به‌دلیل نقش آن‌ها در پیشگیری از بیماری‌های قلبی‌عروقی، موضوع بسیاری از پژوهش‌ها بوده است[۳۶]. سایر اثرات سودمند PUFAها، مهار رادیکال‌های آزاد و خاصیت‌های ضدالتهابی، ضدمیکروبی، ضدویروسی و ضدسرطانی هستد. آن‌ها همچنین می‌توانند شدت بیماری انسداد مزمن ریوی[1] (COPD)، آسم[2]، روماتیسم مفاصل، آترواسکلروز و غیره را کاهش دهند. علاوه‌براین، مشخص شده است اسیدهای چرب چندغیراشباع سبب کاهش علائم بیماری کرون و فیبروز کیستیک می‌شوند[۵۵]. همچنین DHA (ω-3) و اسیدآراشیدونیک (ω - 6) دو جزء قابل‌توجه در بافت مغز، سیستم عصبی و چشم هستند. ازاین‌رو، آن‌ها نقش مهمی در توسعهٔ سیستم عصبی و رشد کودکان دارند. تعدادی از مطالعات نشان داده‌اند افزایش PUFA به رژیم غذایی کودکان باعث بهبود رفتارهای آن‌ها می‌شود[۳۳]. چندین گونه از ریزجلبک‌ها به‌عنوان منابع قابل‌توجه PUFAهای مختلف ثبت شده‌اند (جدول ۱-۱). *Crypthecodinium cohnii* می‌تواند روغن غنی از DHA (حداکثر تا ۳۹٪ از کل اسیدهای اسید چرب) را که به‌طور گسترده در غذای کودک استفاده می‌شود، تولید کند[۶]. *Isochrysis galbana* و *Pavlova salina* نیز مقدار قابل‌توجهی DHA تولید می‌کنند[۲۶]. *Phaeodactylum tricornutum* حدود ۴۵ -۳۰٪ PUFA تولید می‌کند که ۴۰- ۲۰٪ از کل اسیدهای چرب آن، EPA است[۲۰]. سایر ریزجلبک‌های تولیدکنندهٔ EPA شامل گونه‌های *Nannochloropsis* (حداکثر ۴۰٪ از کل اسیدهای

1. Chronic Obstructive Pulmonary
2. Asthma

چرب) و *Monodus subterraneus* هستند که میزان EPA آن تا حدود ۲۴٪ از کل اسیدهای چرب است[۶، ۱۰، ۵۰].

علاوه‌براین، اسیدهای چرب چندغیراشباع *Dunaliella salina* ازقبیل اسیدپالمیتیک، اسیدلینولنیک و اسیداولئیک ممکن است تا ۸۵٪ از اسیدهای چرب آن را تشکیل دهند[۲۸]. درحالی‌که *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis* نیز نامیده می‌شود) منبع خوبی از اسیدآلفا- لینولنیک، اسیدپالمیتولئیک‌لاریک[1] و DHA است (جدول ۱-۱) [۵۷].

۱-۲-۳ پروتئین‌ها

چندین گونه از ریزجلبک‌ها مانند *Chlorella*، *Spirulina*، *Scenedesmus*، *Dunaliella*، *Micractinium*، *Oscillatori*، *Chlamydomonas* و *Euglena* حاوی مقدار زیادی پروتئین هستند که بیش از ۵۰٪ از وزن خشک آن‌ها را تشکیل می‌دهند (جدول ۱-۱)[۴]. به‌همین‌دلیل ریزجلبک‌ها به‌عنوان یک ترکیب غنی از پروتئین برای صنایع بیوتکنولوژی و خوراک دام موردتوجه قرار گرفته‌اند. حتّی زیست‌تودهٔ ریزجلبک پس از چربی‌زدایی می‌تواند به‌عنوان پروتئین‌های زیست‌فعال مورداستفاده قرار گیرد[۱۴].

ریزجلبک‌ها حاوی مقدار زیادی اسیدهای آمینهٔ ضروری مانند لیزین، لوسین، ایزولوسین و والین هستند. این چهار اسیدآمینه ۳۵٪ از اسیدهای آمینهٔ ضروری در پروتئین ماهیچهٔ انسان را تشکیل می‌دهند. بنابراین، ریزجلبک‌ها می‌توانند به‌عنوان یک مکمّل غذایی برای فراهم کردن پروتئین موردنیاز انسان و حیوان مورداستفاده قرار گیرند[۱۴].

مطالعهٔ جو و همکاران (۲۰۱۲) که در آن میگوها با *H. pluvialis* چربی‌زدایی و به‌عنوان مکمّل غذایی تغذیه شدند، نشان داد که میگوهایی که از ریزجلبک‌ها به‌عنوان مکمّل غذایی تغذیه کرده بودند نسبت به گروه کنترل که رژیم غذایی تجاری داشتند، سالم‌تر بودند. گزارش شده است که تعدادی از سیانوباکترها مانند *S.platensis* و گونه‌ای از *Porphyridium* دارای خاصیت محافظت‌کنندهٔ کبد، ضدالتهاب، تنظیم‌کنندهٔ سیستم ایمنی، ضدسرطان وآنتی‌اکسیدان هستند (جدول ۱-۱). نتیجه‌گیری شده است که خوشهٔ پروتئین، فیکوبیلی‌پروتئین[2]، چنین عملی را با کمک رنگ‌دانه‌های جلبکی اعمال می‌کند[۵۵].

پپتیدهای زیست‌فعال ریزجلبک‌ها که مشتقات پروتئینی دارای ۲ تا ۲۰ اسیدآمینه هستند نیز زمانی‌که توسط هیدرولیز فعال شوند، می‌توانند شبیه هورمون عمل کنند[۲۹]. این پپتیدها دارای اثرات ضدسرطانی، آنتی‌اکسیدانی، ضدفشارخون، تحریک‌کنندهٔ سیستم ایمنی بدن، ضدمیکروبی و کاهش‌دهندهٔ کلسترول هستند [۲]. به‌عنوان مثال، پپتیدهای مشتق‌شده از *C. vulgaris* دارای اثرات محافظتی بر DNA و اثرات ممانعت‌کنندگی بر پراکسیداسیون سلولی هستند و می‌توانند از بیماری‌هایی مانند سرطان و اختلالات قلبی

1. Palmitoleic Lauric Acid
2. Phycobiliprotein