Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science & Technology

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir
Journal of Studies on Color World, 13, 1(2023), 15-31
Article type: Review article
Open access

مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

Introducing Some Commonly Used Pigments Produced by Microorganisms

Seyed Masoud Etezad[1], Shohreh Rouhani[2]
1- Department of Environmental Research, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.
2- Department of Organic Colorants; Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

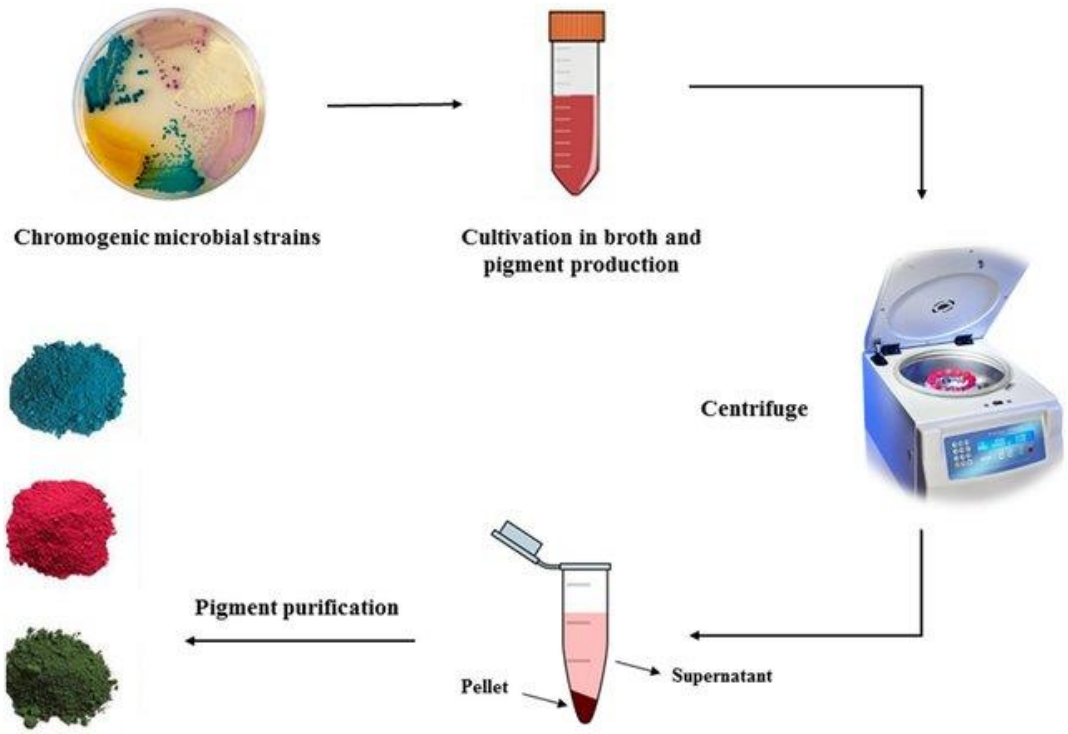
Article history:
Received: 26- 09- 2022
Accepted: 05 -02 -2023
Available online: 06-06-2023
Print ISSN: 2251-7278
Online ISSN: 2383-2223

DOR: **20.1001.1.22517278.1402.13.1.2.4**

Keywords:
Microorganism
Echo-friendly
Pigment
Biosynthesis.

ABSTRACT

In recent years, the global market for natural pigments has grown greatly due to the increase in people's awareness of health, and environmental issues and the discovery of the medicinal effects of different natural pigments. The industrial production of natural microbial pigments has received more attention than other sources due to several advantages, such as cheaper production, easier extraction, higher efficiency, and a lack of dependence on the seasons. Among the most important natural pigments are carotenoids, flavonoids, tetrapyrroles, and some xanthophylls, such as astaxanthin. Among the carotenoids, beta-carotene, a pigment that is mostly used in industries, is obtained from some microalgae and cyanobacteria. Astaxanthin is a red pigment with great commercial value in animal feed, pharmaceutical, and aquaculture industries. This study introduced some commonly used pigments produced by microorganisms along with their application and some identified microorganisms that can produce these pigments.



***Corresponding author**: **etezad-ma@icrc.ac.ir**

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

نشریه علمی
مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه رنگ

دسترسی آنلاین: www.jscw.icrc.ac.ir
نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ/ ۱۳، (۱۴۰۲) ۱، ۳۱-۱۵
نوع مقاله: مروری
دسترسی آزاد

معرفی برخی از رنگدانه‌های پرکاربرد تولیدشده توسط میکروارگانیسم‌ها

سید مسعود اعتضاد[1*]، شهره روحانی[2]

۱- استادیار، گروه پژوهشی محیط زیست و رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵.

۲- دانشیار، گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶
در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶
شاپا چاپی: ۷۲۷۸-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۲۲۲۳-۲۳۸۳

DOR: 20.1001.1.22517278.1402.13.1.2.4

واژه‌های کلیدی:
میکروارگانیسم
دوست‌دار محیط‌زیست
رنگدانه
تولید زیستی

چکیده

در سال‌های اخیر، به دلیل افزایش آگاهی مردم از مسائل بهداشتی، سلامتی و زیست محیطی و کشف اثرات دارویی رنگدانه‌های طبیعی مختلف، بازار جهانی رنگدانه‌های طبیعی رشد زیادی پیدا کرده است. در این میان تولید صنعتی رنگدانه‌های طبیعی میکروبی بدلیل مزایای متعددی نظیر تولید ارزان‌تر، استخراج آسان‌تر، بازدهی بالاتر و عدم وابستگی به فصول سال نسبت به سایر منابع بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. از مهمترین رنگدانه‌های طبیعی می‌توان به کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، تتراپیرول‌ها و برخی زانتوفیل‌ها مثل آستازانتین اشاره کرد. در میان کاروتنوئیدها بتاکاروتن رنگدانه‌ای که بیشتر در صنایع استفاده می‌شود از برخی ریزجلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها به دست می‌آید. آستازانتین رنگدانه قرمز رنگ با ارزش تجاری زیادی است که در صنایع خوراک دام، داروسازی و آبزی پروری استفاده می‌شود. در این مطالعه برخی رنگدانه‌های پرکاربرد تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها به همراه کاربردشان و تعدادی از میکروارگانیسم‌های شناسایی شده که قابلیت تولید این رنگدانه‌ها را دارند معرفی می‌گردند.

Corresponding author: etezad-ma@icrc.ac.ir

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

رنگدانه ها به عنوان رنگ‌های نامحلول در آب تعریف می‌شوند که نور مرئی را جذب و منعکس می‌کنند. استفاده از رنگدانه‌ها سابقه‌ای طولانی دارد و به آغاز تمدن‌های باستانی (چین، هند و مصر باستان) برمی‌گردد، به طوری که از گیاهان طبیعی، حشرات و مواد معدنی برای رنگ‌کردن منسوجات، مواد غذایی و رنگ‌آمیزی بدن در مراسم مذهبی و غیره استفاده می‌شد. زیست فناوری، مجموعه‌ای از متون و روش‌هایی است که برای تولید، تغییر و اصلاح فرآورده‌ها، بهینه‌سازی نژادی گیاهان و جانوران و تولید میکروارگانیسم‌ها برای کاربردهای ویژه از موجودات زنده استفاده می‌شود. تولید زیستی مواد رنگ‌دهنده برای کاربردهای مختلف در سالهای اخیر توجه زیادی را بخود جلب کرده است. رنگ‌دهنده‌های شیمیایی و مواد حدواسط حین تولید آنها نسبت به مواد طبیعی ساختار پیچیده‌تری دارند. در نتیجه زمان زیادی طول خواهد کشید تا چرخه طبیعی تجزیه و حذف آلایندگی آنها در طبیعت کامل گردد. به همین دلیل مواد رنگ‌دهنده شیمیایی آلودگی های زیست محیطی بسیاری را ایجاد می‌نمایند. در عین حال امروزه با پیشرفت علم و انجام تحقیقات گسترده مشخص شده که مواد رنگ‌دهنده مصنوعی مواد شیمیایی زیان‌آوری را آزاد می‌کنند یا بر جای می‌گذارند که حساسیت‌زا و سرطان‌زا بوده و برای سلامت انسان ها مضر هستند [۱]. از سوی دیگر افزایش قیمت مواد اولیه و افزایش هزینه‌های تولید مواد رنگ‌دهنده مصنوعی، نیاز به تولید زیستی را بیش از پیش نمایان می‌کند. بسیاری از رنگدانه‌های طبیعی علاوه بر استفاده به عنوان مواد رنگ‌دهنده ، به دلیل مزایای سلامتی، پتانسیل زیادی در صنایع دارویی، تغذیه و مراقبت از پوست نشان می‌دهند. بر اساس گزارش شرکت معتبر تحقیقاتی گرند ویو ریسرچ[1]، تخمین زده می‌شود که بازار جهانی رنگدانه های طبیعی به تنهایی در صنایع غذایی تا سال ۲۰۲۵ به ۲/۵ میلیارد دلار برسد [۲]. پیش‌بینی می‌شود که بازار لوازم آرایشی هند تا سال ۲۰۲۵ به ۲۰ میلیارد دلار برسد و هند با ۵ درصد سهم بازار در بخش محصولات آرایشی جهان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده خواهد بود [۳]. طبیعت از طریق منابع مختلف از جمله گیاهان، حیوانات و میکروارگانیسم‌ها، از مواد مختلف رنگدانه‌های طبیعی تولید می‌کند که گزینه‌های مناسبی برای رنگدانه‌های مصنوعی هستند که در حال حاضر استفاده می‌شوند. رنگدانه‌های استفاده شده در حال حاضر تقریباً منحصراً از منابع غیر قابل تجدید مانند نفت ساخته می‌شوند. بنابراین، جستجوی منابع تجدیدپذیر و سازگار با محیط‌زیست برای تولید مواد رنگ دهنده یک نیاز فوری است. قبل از اختراع رنگ‌های مصنوعی، گیاهان در تولید رنگهای طبیعی استفاده می‌شدند هرچند بدلیل تولید توده‌های زیستی زیاد بازده و بهره‌وری کمی داشتند [۴]. در عمل، تخمیر میکروارگانیسم‌ها مانند قارچ‌ها و باکتری‌ها می‌تواند منبع ارزشمندی برای تولید مواد رنگ‌دهنده باشد. تولید رنگدانه توسط میکروارگانیسم‌ها نسبت به منابع دیگر بسیار اهمیت دارد زیرا میکروارگانیسم‌ها با رشد سریع، بازدهی بالاتر و استخراج راحت‌تر، عدم وابستگی به شرایط جوی و گستردگی تنوع رنگ بیشتر نسبت به سایر منابع زیستی، دارای مزایای بیشتری هستند. میکروارگانیسم ها انواع زیادی از رنگدانه ها مانند کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، کینون‌ها و روبرامین‌ها را تولید می‌کنند. بنابراین، تولید زیستی رنگدانه‌ها از طریق فرآیندهای تخمیر در سال‌های اخیر توجه بیشتری را به خود جلب کرده است [۵]. رنگدانه‌های تولیدی می‌توانند به عنوان کروموفورهای اصلی برای تغییرات شیمیایی بیشتر عمل کنند، که می‌تواند منجر به تولید طیف گسترده‌ای از ته‌رنگ‌ها شود. علاوه بر این، برخی از رنگ‌دهنده‌های طبیعی، به ویژه ترکیبات آنتراکینون، علاوه بر تأمین رنگ‌های روشن، فعالیت ضدباکتریایی قابل‌توجهی نیز نشان داده‌اند. میکروارگانیسم‌های رنگدانه‌دار میکروارگانیسم‌هایی هستند که قادر به تولید رنگدانه به‌عنوان یک متابولیت ثانویه می‌باشند. در مقایسه با سویه‌های بدون رنگدانه خود، تفاوت‌هایی را از نظر مقاومت نسبت به عوامل فیزیکی و شیمیایی از خود نشان می‌دهند (شکل ۱).

۲- انواع رنگدانه‌های میکروبی

رنگدانه‌های میکروبی دوست‌دار محیط‌زیست و غیرسمی به تدریج جایگزین رنگدانه‌های مصنوعی در مواد غذایی، دارویی، منسوجات و لوازم آرایشی می‌شوند. ساخت رنگدانه به میکروب ها و شرایط تخمیر بستگی دارد. تولید رنگدانه قبل از تولید در مقیاس صنعتی باید در راکتور زیستی کوچک انجام شود.

شکل ۱: برخی از میکروارگانیسم‌های حاوی رنگدانه کشت شده بر سطح محیط کشت جامد [۴].

Figure 1: Some microorganisms containing pigment cultivated on the surface of solid culture medium [4].

[1] Grand View Research

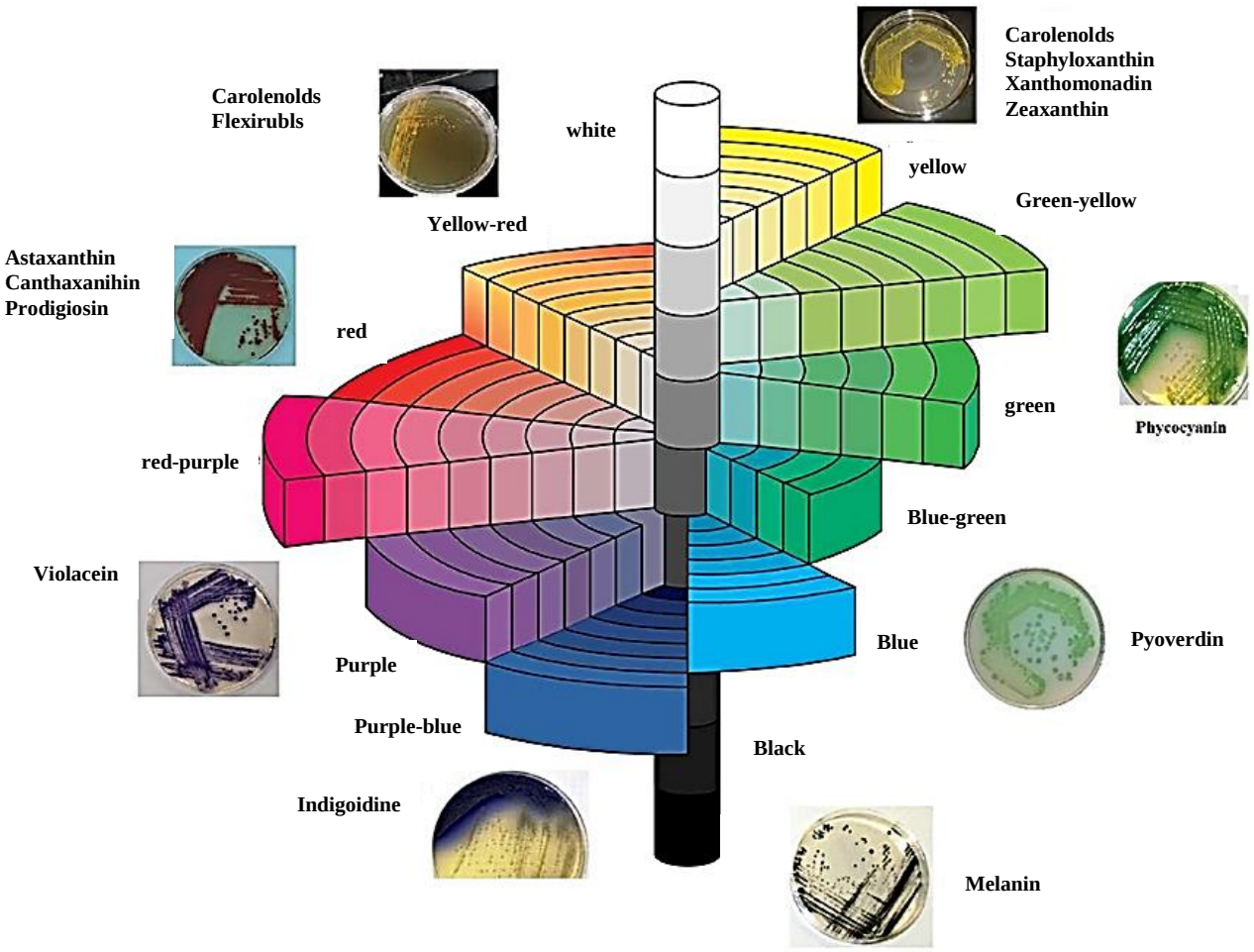
رنگدانه‌های میکروبی عبارتند از آستازانتین، کانتازانتین، کاروتنوئیدها، ملانین‌ها، گرانادین، ایندیگویدین، فلاوین‌ها، کینون‌ها و به طور خاص موناسین، پرودیجیوسین، پیوسیانین، روبرولن، سیتونمین، ویولاسین، فیکوسیانین که دارای فعالیت‌های مختلفی نظیر خواص ضدالتهابی، ضدسرطانی و غیره می‌باشند. همانطور که در سیستم رنگی مانسل نشان داده شده است میکروب‌ها رنگدانه های مختلفی را با طیف رنگی گسترده تولید می‌کنند (شکل ۲) [۱]. رنگدانه‌های زیستی می‌توانند براساس پیوستگی ساختار و واکنش‌های طبیعی تقسیم‌بندی شوند [۶].

۲-۱- ریبوفلاوین[1]

ریبوفلاوین ویتامین زرد رنگ محلول در آب است که توسط تعداد زیادی از میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شود (شکل ۳). بیشینه جذب محلول ۲۲۰-۲۲۵ نانومتر، ۲۶۶ نانومتر، ۳۷۱ نانومتر، ۴۴۴ نانومتر و ۴۷۵ نانومتر گزارش شده است. اکنون تولید تجاری ریبوفلاوین با زیست فناوری با استفاده از آسکومیست‌ها، اشبیا گوسیپی[2]، قارچ رشته‌ای کاندیدا ته رنگاتا[3] یا باکتری باسیلوس سوبتیلیس[4] جایگزین روش شیمیایی که در گذشته استفاده می‌شد، شده است. ریبوفلاوین به صورت پودر بلوری زرد تا نارنجی متمایل به زرد وجود دارد. ریبوفلاوین-۵'- فسفات به صورت پودر بلوری ریز، زرد متمایل به نارنجی وجود دارد.

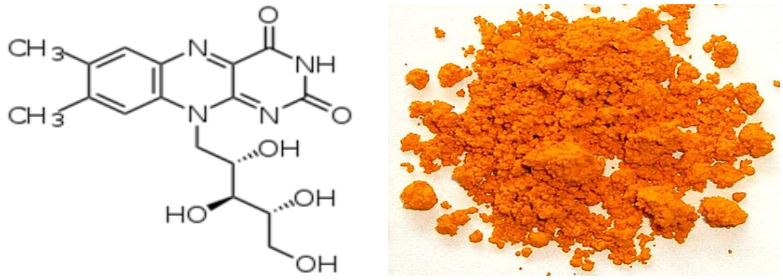
ریبوفلاوین در غذاهای کودک، غلات صبحانه، پاستا، سس‌ها، مراحل تولید پنیر، آب میوه‌ها، محصولات نانوایی، محصولات ماهی، کنسرو میوه‌ها و سبزیجات، تولیدات و فرآورده‌های شیر ویتامینه و بعضی نوشیدنی‌های انرژی‌زا استفاده می‌شود [۸].

[1] Riboflavin
[2] Ashbya gossypii
[3] Candida famata
[4] Bacillus subtilis



شکل ۲: سیستم رنگ مانسل برای رنگدانه‌های میکروبی [۷].

Figure 2: Munsell color system for microbial colorants [7].



شکل ۳: ساختار و ته‌رنگ ریبوفلاوین [۸].
Figure 3. Structure and color of riboflavin [8].

۲-۲- کاروتنوئیدها

کاروتنوئید عمدتاً به رنگ زرد، نارنجی و قرمز می‌باشند. تاکنون بیش از ۶۰۰ نوع کاروتنوئید در انواع گیاهان، کپک‌ها، جلبک‌ها و باکتری‌ها شناخته شده است. بصورت طبیعی در کلروپلاست و کروموپلاست‌های گیاهان و بعضی دیگر از میکروارگانیسم‌ها مانند جلبک‌ها، بعضی از گونه‌های قارچی و باکتری‌ها تولید می‌شوند که در جذب نور در آنها نقش بسیار مهمی دارند. از کاروتنوئیدهای مهم میتوان به بتا کاروتن، آلفا کاروتن و لیکوپن اشاره کرد. بتا کاروتن ($C_{40}H_{56}$) و آلفا کاروتن مسئول رنگ نارنجی و لیکوپن مسئول رنگ قرمز و آستازانتین نیز عهده دار رنگ قرمز یا صورتی خرچنگ ها و ماهی سالمون است. هر مولکول کاروتنوئید یک زنجیره بلند هیدروکربنی اشباع نشده شامل دو نیمه یا دو قسمت است که توسط یک پیوند مضاعف بهم متصلند. هر نیمه مولکول از چهار واحد ایزوپرین تشکیل شده است. بتا کاروتن دو حلقه آنیونی بتا یکسان در دو انتهای زنجیره هیدروکربنی دارد. در حالی که آلفا کاروتن یک حلقه آنیونی آلفا و یک حلقه آنیونی بتا دارد. تاکنون ساختمان بیش از ۷۰۰ رنگدانه کاروتنوئیدی حاصل از انواع گیاهان عالی، میکروارگانیسم‌ها و گلسنگ‌ها که همگی آنها از یک ساختار ۴۰ کربنی مشتق شده اند شناسایی گردیده است [۳]. کاروتنوئیدها به دو دسته هیدروکربن‌ها و زانتوفیل‌ها تقسیم می‌شوند (شکل ۴). کاروتنوئیدهای هیدروکربنی در ساختمان خود فقط کربن و هیدروژن دارند مثل بتاکاروتن و لیکوپن ولی زانتوفیل‌ها در ساختمان خود علاوه بر هیدروژن و کربن حاوی اکسیژن به شکل‌های هیدروکسی (بتاکریپتوزانتین، لوتئین و زیزانتین اپوکسی ویولازانتین) و کتونی (کانتازانتین و آستازانتین) می باشند. کاروتنوئیدها بر اساس وجود حلقه بتا و تعداد آن در ساختمان آنها به سه گروه بی‌حلقه مثل لیکوپن، تک‌حلقه مثل گاما کاروتن و دوحلقه‌ای مثل بتا کاروتن تقسیم می شوند [۹]. چهل تا پنجاه نوع از این کاروتنوئیدها معمولاً در غذای انسان وجود دارد ولی فقط ۲۰ نوع آنها از خون و بافت‌های انسانی جداسازی و شناسایی شده اند که بیش از ۹۰ درصد آنها را لیکوپن، آلفاکاروتن، بتاکاروتن، لوتئین و کریپتوزانتین تشکیل می‌دهد. شماری از میکروارگانیسم‌های تولیدکننده این رنگدانه شامل سراشیا[1] و استرپتومایسس‌ها[2] هستند. کاروتنوئیدها آنتی اکسیدان هستند و استفاده وسیعی به‌عنوان رنگ‌دهنده غذا دارند. گروه وسیعی از میکروب‌ها به‌عنوان تولیدکننده این رنگدانه‌ها گزارش شدند که شامل میکروکوکوس، سولفولوبوس[3]، اگروباکتریوم[4] و مایکوباکتریوم[5] می‌باشند [۱۰].

۲-۲-۱- بتا کاروتن

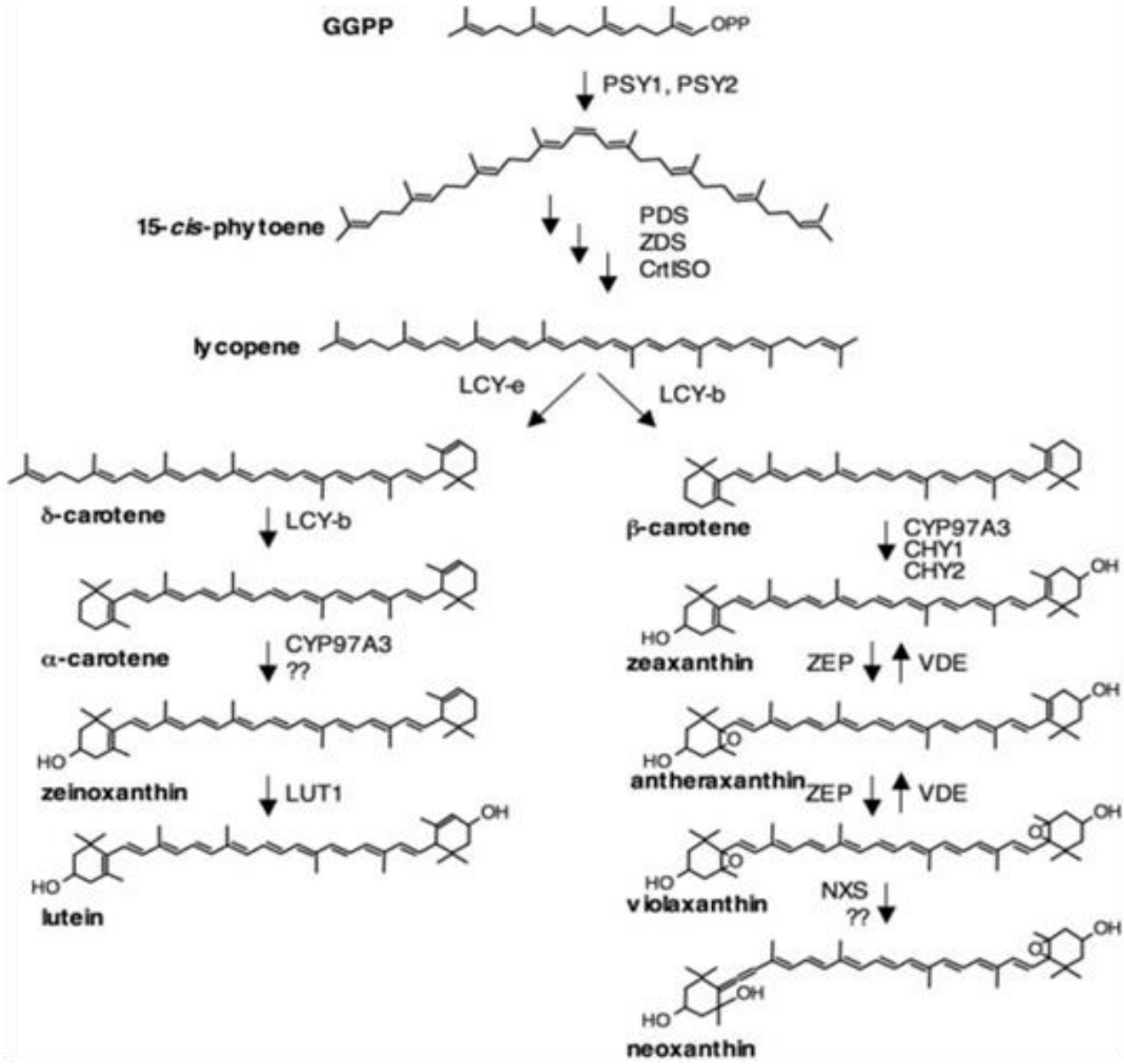
بتاکاروتن جزء ترپنوئیدهاست و از هشت واحد ایزوپرن ساخته می‌شود. رنگدانه ارگانیک زرد است (بیشینه جذب در محیط آبی، ۴۵۲ نانومتر) که در بین کاروتن‌ها این ماده با داشتن حلقه‌های بتا در هر دو انتهای مولکول مشخص می‌شود (شکل ۵). همه کاروتنوئیدها در آب نامحلول و در چربی‌ها هم تقریبا نامحلول هستند با این وجود شکل‌های تجاری این ریزمغذی‌ها که برای ایجاد ته‌رنگ زرد تا قرمز در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند به صورت محلول در آب و چربی وجود دارند. به عنوان مثال سوسپانسیون‌هایی میکرونیزه این افزودنی‌های غذایی حاوی ۳۰ درصد بتاکاروتن بوده و به سرعت در چربی داغ حل می‌شوند. تمام کاروتنوئیدها به نور حساس بوده و مستعد اکسیدشدن هستند و استفاده ضداکسیدکننده‌هایی مانند توکوفرول‌ها یا ویتامین C می‌تواند باعث افزایش ماندگاری رنگ آنها شود. ته‌رنگ بتاکاروتن تحت تأثیر تغییر pH قرار نمی‌گیرد و تا دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد از ثبات خوبی برخوردار است [۱۲].

۲-۲-۲- لیکوپن

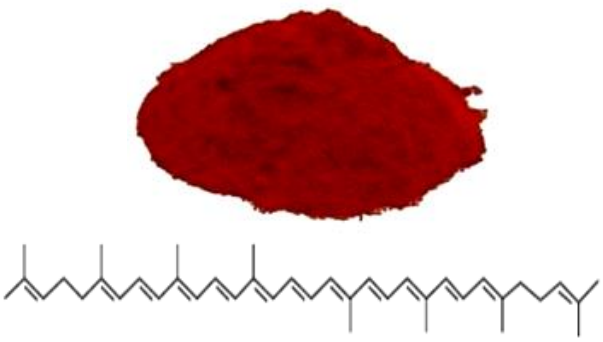
لیکوپن، کاروتنوئید قرمز رنگی است (۴۷۳ نانومتر) که توسط برخی گیاهان و میکروارگانیسم‌ها ساخته می‌شود. این کاروتنوئید پیش‌ساز ویتامین A نیست ولی به خاطر وجود ۱۱ پیوند دوگانه مزدوج خاصیت ضداکسیدکنندگی بسیار قویی دارد که موجب حذف رادیکال‌های آزاد می‌گردد (شکل ۶).

[1] Serratia

[2] Streptomyces
[3] Mirococcus salfolobus
[4] Agrobacterium
[5] Mycobacterium



شکل ۴: مسیر تولید زیستی انواع کاروتنوئیدها [۹].
Figure 4: Pathway of biosynthesis of various carotenoids [9].



شکل ۶: ساختار و ته‌رنگ لیکوپن [۱۳].
Figure 6: Structure and color of lycopene [13].

شکل ۵: ساختار و ته‌رنگ بتا کاروتن [۱۲].
Figure 5: Structure and color of beta-carotene [12].

لیکوپن، کاروتنوئید غالب موجود در سرم خون انسان است که با حفاظت از بیوملکول‌های مهم سلولی نظیر DNA ، پروتئین‌ها و چربی‌ها از اکسیدشدن و تخریب رادیکالی آنها ممانعت به عمل آورده و نقش مهمی در پیشگیری و درمان بیماری‌های پروستات، قلبی، استخوانی و گوارشی ایفاد می‌کند. با توجه به افزایش تقاضای مصرف کاروتنوئیدهای طبیعی، تولید انواع کاروتنوئیدها از منابع میکروبی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. برخی از میکروارگانیسم‌ها قادر به تولید لیکوپن بوده که با استفاده از انواع محیط کشت، محرک‌ها و ممانعت‌کننده‌های متابولیکی، عوامل جهش‌زا، عوامل محیطی و مهندسی ژنتیک میزان تولید لیکوپن در آنها افزایش یافته است [۱۳].

۲-۲-۳- کانتازانتین[1]

کانتازانتین یک کاروتنوئید قرمز-نارنجی است که متعلق به گروه زانتوفیل است (بیشینه جذب بطور میانگین در حلال‌های مختلف در طول موج ۴۷۰ نانومتر). این رنگدانه طبیعی در باکتری‌ها، جلبک‌ها و برخی قارچ‌ها وجود دارد. همانند گروه وسیعی از رنگدانه‌های کاروتنوئیدی توسط باکتریوکلروفیل نارنجی و صورتی تیره شامل سوش های برادیریزوبیوم جدا شده از گونه‌های هالوباکتریوم ائسچینومنه تولید شده است (شکل ۷). این رنگدانه ضداکسیدکننده قوی است و مانع از اکسیداسیون چربی ها در لیپوزوم‌ها می‌شود [۱۰، ۱۴].

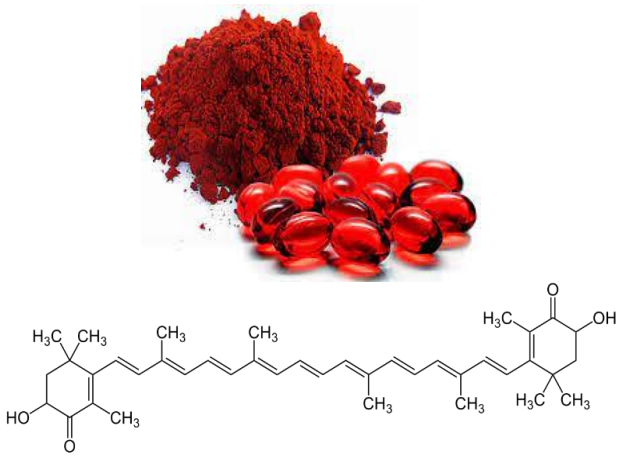
۲-۲-۴- آستازانتین[2]

آستازانتین یک رنگدانه نارنجی – قرمز است (بیشترین میزان جذب در طول موج ۲۹۲ نانومتر). آستازانتین یک رنگدانه طبیعی است که به دلیل فعالیت ضداکسیدکننده قوی و فواید سلامتی متعدد برای انسان و حیوانات شناخته شده است. فعالیت ضداکسیدکنندگی آن به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از بتاکاروتن و حدود هزار برابر موثرتر از ویتامین E است. آستازانتین به طور طبیعی در بسیاری از موجودات دریایی مانند قزل آلا، میگو و ریزجلبک‌ها، برخی از قارچ‌ها، باکتری‌ها و گیاهان گلدار وجود دارد و برای محافظت از میزبان در برابر استرس‌های محیطی و شرایط نامطلوب عمل می‌کند [۱۵]. این رنگدانه توسط میکروارگانیسم‌هایی مانند مخمر بازیدیومایست قرمز *گزانتوفیلومایسس دندروهوس*[3]، جلبک سبز هئاماتوکوکوس پلوویالیس[4] و آگروباکتریوم ائورانتیاسوم[5] تولید می‌شود (شکل ۸) [۱۰].

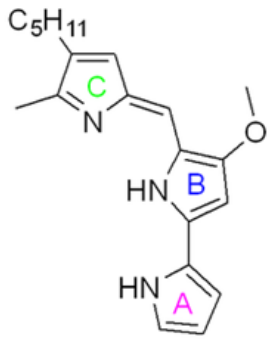
۲-۳- پرودیجیوسین

رنج وسیعی از رنگدانه قرمز است که توسط میکروارگانیسم‌های مختلف مانند *ویبریو پیسیچواریتروس*[6]، *سراشیا مارسسنس*[7]، *روبراروگاموناس*[8] و اکتینومیست‌ها مانند: *استرپتوورتیسیلوم روبری وتیکولی*[9] و دیگر یوباکترها تولید می‌شود (شکل ۹).

شکل ۷: ساختار و رنگ کانتازانتین [۱۴].
Figure 7: Structure and color of canthaxanthin [14].



شکل ۸: ساختار و رنگ آستازانتین [۱۵].
Figure 8: Structure and color of astaxanthin [15].



شکل ۹: ساختار پرودیجیوسین نشانگر حلقه های پیرول A، B و C [۱۵].
Figure 9: Prodigiosin structure showing pyrrole rings A, B and C [15].

[1] Canthaxanth
[2] Astaxanthin
[3] Xanthophyllomyces dendrohous
[4] Heamatococcus pluvialis
[5] Agrobacterium aurantiacum

[6] Vibrio Psychoerythrus
[7] Serratia marcecens
[8] Rubra Rugamonas
[9] Streptoverticillum rubriveticuli

رنگدانه قرمز پرودیجیوسین یک متابولیت ثانویه میکروبی با اسکلت متوکسی پیرول است. بیشینه میزان جذب در pH های کمتر از ۷، ۵۳۲ نانومتر گزارش شده است. در سال‌های اخیر، پرودیجیوسین به دلیل خواص مفید فراوانش، توجه روزافزونی را به خود جلب کرده است. پرودیجیوسین می‌تواند به عنوان یک افزودنی غذایی برای ایفای نقش ضدباکتری، رنگرزی و نگهدارنده در نگهداری مواد غذایی استفاده شود [۱۶]. در صنعت نساجی، پارچه‌های الیاف شیمیایی رنگ‌شده با پرودیجیوسین دارای مزیت ماندگاری رنگ بالا، مقاومت در برابر شستشو، مقاومت اسیدی، قلیایی و مواد شوینده هستند. در مورد پرودیجیوسین فعالیت ضدباکتری، ضدمالاریا و آنتی‌بیوتیکی نیز شناخته شده است [۱۷].

۲-۴- فیکوسیانین[1]

یک رنگدانه آبی رنگ است که توسط سیانو باکتری‌هایی که دارای کلروفیل a هستند تولید می‌شود (شکل ۱۰). بیشترین میزان جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر گزارش شده است [۱۸]. رنگ آبی از اسم اسپیرولینا[2] (جلبک سبز آبی) شناخته شد که اغلب مکمل رژیم غذایی غنی از پروتئین شناخته شد و شامل سیانوباکتری‌های خشک شده است. این رنگدانه یک ضداکسیدکننده و ضدالتهاب قدرتمند و طبیعی است که به خاطر مهار رادیکال‌های آزاد و آنزیم NADPH اکسیداز می‌تواند در درمان بیماری‌های عصبی از جمله پارکینسون موثر باشد [۱۰].

۲-۵- ویولاسئین

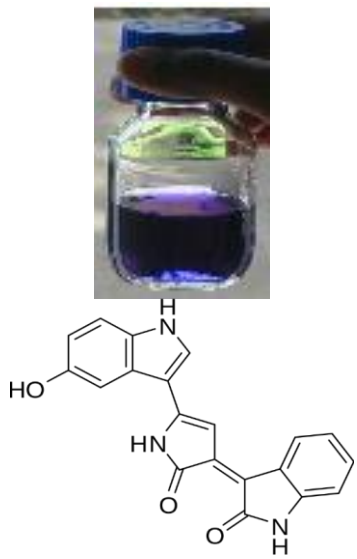
رنگدانه‌ای است که توسط باکتری کروموباکتریوم ویولاسئوم[3] تولید می‌شود. ویولاسئین یک رنگدانه بیس ایندول طبیعی است که دارای خواص آنتی بیوتیکی (ضدباکتری، ضدویروس، ضدقارچ و ضدتومور) است. ویولاسئین در چند گونه از باکتری‌ها وجود دارد و رنگ بنفش آنها را باعث می‌شود (شکل ۱۱). بیشترین میزان جذب در حلال استن، ۵۳۵ نانومتر گزارش شده است. ویولاسئین کاربردهای تجاری جالب توجهی را به ویژه در صنایع دارویی، آرایشی، غذایی و نساجی دارد [۱۹].

۲-۶- نیل

نیل به صورت پودر بلورهایی به رنگ آبی تیره است که در دمای ۳۹۰ تا ۳۹۲ درجه سانتی‌گراد، تصعید می‌شود (شکل ۱۲). در آب، الکل و اتر غیر محلول است اما در دیمتیل سوفوکسید، کلروفرم، نیتروبنزین و اسید سولفوریک غلیظ به حالت محلول در می‌آید. فرمول شیمیایی نیل، $16H_{10}N_2O_2C$ است [۲۰].

شکل ۱۰: ساختار و ته‌رنگ فیکوسیانین [۱۸].

Figure 10: Structure and color of phycocyanin [18].



شکل ۱۱: ساختار و ته‌رنگ ویولاسئین [۱۹].

Figure 11: Structure and color of violacein [19].

شکل ۱۲: ساختار و ته‌رنگ نیل [۲۰].

Figure 12: Structure and color of indigo [20].

بیشترین جذب رنگدانه نیل در طول موج ۴۳۷ نانومتر است. رنگدانه‌های نیل و نیل‌مانند قدیمی‌ترین رنگ‌های شناخته شده برای بشر

[1] Phycocyanin
[2] spirolina
[3] chromobacterium violaceum

در نظر گرفته می‌شوند. به طور گسترده در صنعت نساجی، دارویی و غذایی استفاده می‌شوند. به عنوان رنگ‌دهنده نساجی، نیل حداقل در ۲۵۰۰ سال قبل از میلاد مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد زیادی از میکروارگانیسم‌های دخیل در تولید نیل و رنگدانه‌های شبه نیل جدا و شناخته شده‌اند. بسیاری از گونه‌های میکروارگانیسم‌هایی که می‌توانند نیل را تولید کنند، از خاک جدا شده که بیشتر آنها باکتری‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن‌های معطر هستند [۲۱].

۲-۷- ملانین

ملانین‌ها پلیمرهای سیاه پیچیده ای از مولکول‌های حلقوی هستند که توسط بسیاری از میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند. ملانین توسط پلیمری‌شدن اکسیداتیو ترکیبات فنلی در بسیاری از سویه‌های قارچی ایجاد می‌شوند. مس در تولید ملانین نقش حیاتی دارد. تغییر در مقدار مس محیط‌های کشت تجاری (سیب زمینی دکستروز آگار) باعث تغییر رنگ در گونه‌های مختلف می‌شود. تولید ملانین به دلیل توانایی پلیمر در محافظت از قارچ ها در برابر طیف وسیعی از عوامل سمی مانند عوامل اکسیدکننده و تنش‌های محیطی مانند پرتو فرابنفش و پرتوهای یونیزان به عنوان "زره قارچی" شناخته شده می‌شود. ملانین در برابر تجزیه شیمیایی توسط اسیدها مقاوم بوده و در بیشتر مواد محلول نیست. آنها فقط می‌توانند توسط اکسیدشدن تجزیه شوند و فقط در حلال‌های قلیایی حل شوند. ملانین‌ها دارای بار منفی و آب‌گریز هستند [۲۲].

۳- میکروب‌های مولد رنگدانه

از گروه‌های میکروبی مولد رنگدانه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
باکتری‌ها، قارچ‌ها، گلسنگ‌ها، مخمرها، جلبک‌ها

۳-۱- باکتری‌ها

از جمله باکتری‌های تولیدکننده رنگدانه می‌توان به مواردی که در جدول ۱ نشان داده شده، اشاره نمود [۲۳، ۵].

جدول ۱: برخی از باکتری‌های مولد رنگدانه [۲۳، ۵].
Table 1: Some of pigment producing bacteria [5, 23].

Organism	Pigment	Color
Serratia marcesens	Prodigiosin	Red
Corynebacterium insidiosum	Indigoidine	Blue
Manascus roseus	Canthaxanthin	Orange pink
Staphylococcus aureus	Zeaxanthin	Yellow
Rugamonas rubra	Prodigiosin like pigment	Red
Streptoverticillium rubrireticuli	Prodigiosin like pigment	Red
Pseudomonas aeruginosa	Pycocganin	Blue green
Haematococcus plavialis	Astaxanthin	Red
Dunaliella salina	β-caroten	Orange
Brady rhizobium	Canthaxan thin	Orange
Xanthomonas oryzae	Xanthomonadin	Yellow
Phaffia rhodozyma	Astaxanthin	Red
Serratia rubidaea	Prodigiosin like pigment	Red
Vibrio gaogenes	Prodigiosin like pigment	Red
Alteromonas rubra	Prodigiosin like pigment	Red
Janthinobacteriam lividum	Violacein	Purple
Pacilomyces farinosus	Anthraquinon	Red
Monascus spp.	Ankaflavin	Yellow
Penicillium oxalicum	Anthraquinone	Red
Xanthophyllomycos dendrorhous	Astaxanthin	Pink – Red
Agrobacterium aurantiacum	Astaxanthin	Pink – Red
Paracoccus carotinifaciens	Astaxanthin	Pink – Red
Bradgrhizobium spp.	Canthaxanthin	Dark Red

(ادامه جدول ۱)

Organism	Pigment	Color
Halofeyax alexandrinus	Canthaxanthin	Dark Red
Gordonia jacobea	Canthaxanthin	Dark Red
Blakeslea trispora	Lycopene	Red
Fusarium sporotrichioides	Lycopene	Red
Saccharomyces neoformans	Melanin	Black
Monascus spp	Monascorabramin	Red
Cordyceps unilateralis	Nophtoquinone	Deep blood red
Ashbya gossypi	Riboflavin	Yellow
Streptomyces echinoruber	Rubrolone	Red
Monascus spp	Rubro punctatin	Orange
Rhodotorula spp	Torularhodin	Orange – red
Flavobacterium spp	Zeaxanthin	Yellow
Paracoccus zeaxanthini faciens	Zeaxanthin	Yellow
Sphingobcteriam multivorum	Zeaxanthin	Yellow
B. trispora	β - Carotene	Yellow-orange
F.sporotri chioides	β - Carotene	Yellow-orange
Mucor circinelloides	β - Carotene	Yellow-orange
Neurospora crassa	β - Carotene	Yellow-orange
Phycomyces blakesleeanus	β – Carotene	Yellow-orange
Penicillium purpurogenum	Unknown	Red
Paecilomyces sinclairii	Unknown	Red

۳-۲- قارچ‌ها

از جمله قارچ‌های تولید کننده رنگدانه می‌توان به مواردی که در جدول ۲ نشان داده شده است، اشاره نمود [۵، ۲۴].

۳-۳- گلسنگ‌ها

از جمله گلسنگ‌های تولید کننده رنگدانه نیز می‌توان به مواردی که در جدول ۳ نشان داده شده است اشاره نمود [۵، ۲۵].

۳-۴- مخمرها

از جمله مخمرهایی که به‌عنوان بهترین منبع رنگدانه میکروبی می‌باشند به مواردی در جدول ۴ می‌توان اشاره کرد [۵، ۲۶].

۳-۵- جلبک‌ها

از جمله جلبک‌هایی که به‌عنوان بهترین منبع رنگدانه میکروبی می‌باشند به موارد زیر در جدول ۵ می‌توان اشاره کرد [۵، ۲۷].

۴- کاربردهای رنگدانه‌های میکروبی

رنگدانه‌های میکروبی بسته به نوع ترکیباتشان عملکرد متفاوت و متنوعی برای میزبان دارند. برای مثال عمل حفاظتی در برابر اکسیدکننده‌های نوری کشنده مثل کاروتنوئیدها، حفاظت در برابر تنش‌های محیط مثل ملانین‌ها و به‌عنوان کوفاکتور در کاتالیز آنزیم‌ها نقش دارند [۲۸].

جدول ۲: برخی از قارچ‌های مولد رنگدانه [۵، ۲۴].
Table 2: Some of pigment producing fungies [5, 24].

Microorganism	Pigments
Aspergillums sp.	Orange, red
Aspergillums glaucus	Dark red
Blakeslea trispora	Cream
Helminthosporium catenarium	Red colour
H.gramineum	Red
H.cgnodontis	Bronze colour
H.avenae	Bronze colour
H.catenarin	Dark maroon
Monascus purpureus	Yellow, orange, red
P.cyclopium	Orange
P.nalgeovensis	Yellow

جدول ۳: برخی ازگلسنگ‌های مولد رنگدانه [۵، ۲۵].
Table 3: Some pigment producing lichens [5, 25].

Microorganism	Pigment
Rocella	Red , purple
Pertusaria corralina	Purple
Ochrolechia tartaree	Purple
Parmelia omphalodes	Brown
Xanthoria. sp	Yellow, maroon, purple
Lecanora. sp	Brown

جدول ۴: برخی از مخمرهای مولد رنگدانه [۵، ۲۶].
Table 4: Some pigment producing yeasts [5, 26].

Microorganism	Pigments
Cryptococus sp.	Red
Phaffia rhodozyma	Red
Rhodotorula sp.	Red
Yarrowia lipolytica	Brown

جدول ۵: اسامی برخی از جلبک‌های مولد رنگدانه [۵، ۲۷].
Table 5: Some of pigment producing algae [5, 27].

Algae	Pigment	Use
Punaliella salina	B-carotene	Food colourant
Chlorococcum	Lutein	Poultry feed
Chlamy domonas	Lutein	Poultry feed
Spongiococcum	Lutein	Poultry feed
Chlorell a pyrenoidosa	Lutein	Poultry feed
Hematococcus	Canthaxanthin	Poultry feed and fishfeed
Chlorella	Canthaxanthin	Poultry feed and fishfeed
Chlamy domonas	Canthaxanthin	Poultry feed and fishfeed
Scenedesmus	Canthaxanthin	Poultry feed and fishfeed
Ankistrodesmus	Canthaxanthin	Poultry feed and fishfeed
Dictyococcus Cinnanarinus	Canthaxanthin	Poultry feed and fishfeed
Hemacoccus pluvialis	Astaxanthin	Fish feed

اخیراً صنایع به استفاده از متابولیت‌های میکروبی مهم مانند ضدباکتری‌ها، ضدقارچ‌ها، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها، رنگدانه‌ها و غیره برای کاربردهای متنوع به عنوان جایگزینی برای محصولات مصنوعی متوسل شده‌اند. تغییر ماهیت این نوع رفتار صنعتی، دانشگاه ها و صنایع را به کشف محصولات طبیعی تجدیدپذیر و زیست‌تخریب‌پذیر از منابع میکروبی مشتاق کرده است. با این وجود، کار کشف رنگدانه‌های میکروبی جدید قوی برای کاربردهای بهینه در صنایع مختلف، علی‌رغم مطالعات تحقیقاتی متعدد، همچنان چالش برانگیز است که نیازمند رویکردهای مناسب است [۷].

رنگدانه‌های طبیعی نه تنها افزایش ظرفیت فروش در بازار را فراهم نمودند همچنین باعث سودآوری در فعالیت‌های زیست شناسی به‌عنوان عوامل ضدسرطان و ضداکسیدشدن شده‌اند [۲۹].

۴-۱- داروسازی

امروزه رنگدانه‌های زیستی[1] در تهیه و تولید محصولات دارویی به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از مهمترین آن‌ها رنگدانه تری پیرولی سراشیا مارسسنس است که پرودیجیوسین نامیده می‌شود و توسط برخی از گونه‌های استرپتومایسس و گونه‌های ویبریونیز تولید می‌شود. مطالعات اخیر خواص ضدقارچی و ضدسرطان، ضدباکتری، ضدمالاریا و نقش آنتی‌بیوتیکی، پرودیجیوسین و اهمیّت آن در صنایع داروسازی را نشان داده است. از آنجا که تولید رنگدانه‌های زیستی در تولیدات پزشکی نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد، بررسی شرایط بهینه برای تولید این رنگدانه با ارزش و همچنین انتخاب یک محیط ارزان قیمت به منظور تولید رنگدانه با توجیه اقتصادی است [۳۰، ۳۱]. رنگدانه‌های کارتنوئیدی مخصوصاً آستاگزانتین، عواملی هستند که تولید رنگ زرد – قرمز می‌کنند که کاربرد استفاده در انسان، حیوان، صنایع غذایی و مخصوصاً دارویی و کاربردهایی در صنعت لوازم آرایشی و تزئینی دارد و در جلوگیری از اثرات پرتو فرابنفش موثر است رنگدانه‌های کارتنوئیدی بیشترین و مهمترین رنگدانه‌هایی هستند که در طبیعت یافت شده‌اند، این ترکیبات محلول در لیپیدها هستند. کاروتنوئیدها در پاسخ دفاعی یا ایمنی بدن نقش دارند، همچنین خاصیت ضدسرطانی و ضداکسیدکنندگی دارند و در درمان برخی از بیماری‌های حساس به نور موثر عمل می‌کنند [۳۳، ۳۲، ۷]. همچنین کاروتنوئیدها در ممانعت از فاسد شدن یا به تأخیر انداختن فاسد شدن نقش دارند و اثرات بسزایی در جلوگیری از ابتلا به بیماری‌هایی نظیر تصلب شریان، سرطان، پیر شدن و بیماری‌های چشمی دارد و در واقع اثر محافظتی آستاگزانتین همانند بتا کاروتن می‌باشد [۳۳، ۲۵]. همچنین آستاگزانتین بصورت مؤثر با خاصیت ۵۰ درصد ضدسرطان می‌باشد، فعالیت آن مربوط به نقش کاروتنوئیدها در ارتباطات سلولی می‌باشد و باعث عدم اتصال و عدم چسبندگی می‌باشد که ممکن است عامل تدریجی رشد سلول‌های سرطانی باشد [۲۵]. رنگدانه قرمز آستاگزانتین بدست آمده از فوفیارودوزو[2] و هماتوکوکوس پلوویالیس[3] از ارزش زیاد تجاری برخوردار است که در صنایع غذایی و دارویی مورد استفاده واقع می‌شود [۳۴]. آستاگزانتین از تولید سرطان مثانه و باز داری از تکثیر سلول سرطان موثر می‌باشد [۱۰]. از جمله کاروتنوئیدها

[1] Biopigments
[2] Phoffia rohodozoa
[3] Haematococcus pluvialis

که چنین خاصیتی دارند می‌توان زئاگزانتین[1]،کانتاگزانتین[2]و لوتئین[3] اشاره نمود [۳۵]. گونه‌ای از قارچ موناسکوس تولید رنگدانه‌ای می‌کند که در تولید غذاهای سنتی و در غذاهای شرق آسیا برای رنگی کردن برنج و لوبیا بعنوان برنج و لوبیای قرمز استفاده می‌شود. برخی از گونه‌های موناسکوس با توجه به قابلیت تولید رنگدانه‌های مختلف و قابلیت ثبات شیمیایی بالا حائز اهمیت‌اند [۳۴، ۳۶]. رنگدانه‌ها در حالت کلی یک ترکیب مهم برای بسیاری از افزودنی‌ها، تشدیدکننده رنگ و غیره به‌عنوان مشخصه مهم محسوب می‌شوند. رنگدانه‌های طبیعی حاوی ویتامین A و برخی از خواص مطلوب نظیر ثبات به نور، حرارت، pH و غیره می‌باشند.

۴-۲- صنایع غذایی

ریبوفلاوین‌ها مورد استفاده در غذای کودک، غلات صبحانه، ماکارانی، سس، پنیر فرآوری شده، نوشابه‌های میوه‌ای، شیر، محصولات شیر غنی شده با ویتامین و برخی از نوشابه‌های انرژی‌زا می‌باشند [۳۷]. فیکوسیانین[4] که رنگدانه آبی تولیدی توسط سیانو باکترها می‌باشد به‌عنوان مکمل‌های غذایی غنی از پروتئین می‌باشد که در صنایع غذایی کاربرد دارد. ویولاسئین رنگدانه حاصل از باکتری ویولاسئوم کروموباکتریوم در پزشکی، صنایع آرایشی و بهداشتی و صنایع غذایی و منسوجات کاربرد دارد [۳۸].

ته‌رنگ حاصل از رنگدانه موناسکوس به سه رنگ زرد، نارنجی و قرمز مشاهده می‌شود که از تخمیر گونه‌های موناسکوس حاصل شده‌اند، ۱۰ ترکیب گزارش شده که از تخمیر گونه‌های موناسکوس تولید می‌شوند [۳۹ ،۳۸]. رنگدانه غیرسمی حاصل از موناسکوس علاوه بر رنگ غذا باعث بهبود طعم غذا نیز می‌باشد و نقش نگهدارنده مواد غذایی دارد. تولید محصولات صنعتی و تولید مواد اولیه طبیعی هزینه کمتری دارد که مورد استفاده وسیع قرار گرفته است. در ژاپن امبیهکانا اسکولنتا[5] به‌عنوان یک ماده غذایی در سوپ و سالاد استفاده می‌شد [۲۷، ۳۸].

۴-۳- پزشکی

کارتنوئیدهایی از قبیل بتا کاروتن و گزانتوفیلس[6] آستاگزانتین[7] نقش اساسی و اصلی در متابولیسم ماکولای چشم و شبکیه چشم دارد و در حفظ و سلامتی دید انسان مؤثر می‌باشد، رنگدانه آستاگزانتین، گزانتوفیلس بطور گسترده در طبیعت توزیع شده است [۳۰]. برخی از گونه‌های جلبک به‌عنوان مثال کلامیدوموناس[8] حاوی غلظت بالایی از رنگدانه قرمز آستاگزانتین است که به‌عنوان یک سپر در برابر تابش بیش از حد U.V عمل می‌کند. موگزانتوریاپانتین برای یرقان و پتیگرا کانینا[9] برای درمان هاری بکار می‌رفت. تحقیقات روی سایر فرآورده‌های گلسنگ بعنوان نقش ضدویروس و ضدقارچ نیز در حال انجام است [۳۹].

۴-۴- صنایع نساجی

صنعت نساجی تقریباً ۱/۳ میلیون تن ماده رنگزا، رنگدانه و پیش ماده مواد رنگزا تولید و استفاده می‌کند که ارزش تقریبی آنها ۲۳ میلیارد دلار است، تقریباً همه آنها به صورت مصنوعی تولید می‌شوند. با این حال، رنگ‌دهنده‌های مصنوعی محدودیت‌هایی دارند، در درجه اول، فرآیند تولید آنها به مواد شیمیایی خطرناک احتیاج دارد، ایجاد نگرانی در مورد ایمنی کارگران، ممکن است زباله‌های خطرناکی ایجاد کنند و این رنگ‌ها سازگار با محیط‌زیست نیستند. تولید زیستی مواد رنگ‌دهنده برای کاربردهای نساجی در سال‌های اخیر علاقه زیادی را بخود جلب کرده است [۷].

۴-۵- دیگر کاربردها

برخی از باکتری‌ها رنگدانه‌های مختلفی در مراحل مختلف رشد ایجاد می‌کنند، کریپتوتوکوس نئوفورمنس تولید رنگدانه ملانین می‌کند که نقش ضداکسیدکنندگی مهمی دارد و باکتری ازتوباکتر[10] نیز با تولید ملانین چنین خاصیتی دارد [۴۰]. گلسنگ‌های شفا بخش هم در گذشته‌های بسیار دور استفاده می‌شدند. عطرسازی یکی دیگر از کاربردهای گلسنگ است که سالانه ۹۰۰۰ تن گلسنگ در این راه بکار می‌رود. در کشورهای مدیترانه‌ای رنگ قرمز و ارغوانی حاصل از گونه‌های روسلا[11] ساخته می‌شده است . در قرن ۱۸ رنگ ارغوانی در فرانسه از پرتیوساریا کورالینا[12] و در اسکاتلند ازاوچرولچیا تارتارئا[13] و رنگ قهوه‌ای نیز از پارملیا اومفالوئیدس[14] تهیه می‌شده است [۴۱ ،۳۹]. امروزه نیز از رنگدانه های گلسنگ برای رنگرزی پارچه‌های مرغوب و گران قیمت استفاده می‌شود. رنگدانه ی قهوه‌ای بدست آمده از پارملیا اومفالوئیدس در پارچه‌های فاستونی دست بافت هریس استفاده می‌شود [۴۱].

۵- تولید رنگدانه‌های میکروبی

برای تولید رنگدانه‌های میکروبی در مقیاس صنعتی از روش‌های تخمیر استفاده می‌شود. رنگدانه‌های میکروبی در مقایسه با رنگدانه‌های

[1] Zeaxanthin
[2] Canthaxanthin
[3] Lutein
[4] Phycocyanin
[5] Umbihcana esculenta
[6] Xanthophylls
[7] Astaxanthin
[8] Chlamydomonas

[9] Pettigera canina
[10] Azotobacter
[11] Roccella
[12] Pertusaria corralina
[13] Ochrolechia tartarea
[14] Parmelia omphalodes

مصنوعی بازده تولید کمتری دارند برای افزایش بازده تولید، علاوه بر فرآیندهای تخمیر، فناوری‌های مهندسی ژنتیک نیز مورد نیاز است. با توجه به قیمت گران محیط‌های کشت صنعتی، برای طراحی فرآیند تخمیر مقرون‌به‌صرفه باید منابع طبیعی جایگزین شوند. رنگدانه‌های باکتریایی را می‌توان هم از طریق تخمیر غوطه‌ور و هم از طریق تخمیر حالت جامد تولید کرد. در تخمیر حالت جامد، باکتری‌ها بر سطح زیرلایه‌های جامد مانند ضایعات کشاورزی و صنعتی کشت می‌شوند که در نهایت باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود و در نتیجه به عنوان یک ابزار مدیریت زباله و حفاظت از محیط‌زیست نیز عمل می‌کند. تخمیر حالت جامد محیط کافی برای رشد میکروب ها و تولید هم‌زمان رنگدانه بالاتر با هزینه تولید کمتر را فراهم می‌کند [۴۲]. موسی و یوسف (۲۰۱۹) مطالعه‌ای را در خصوص بررسی عوامل کلیدی برای افزایش فعالیت زیستی و تولید رنگدانه‌های باکتریایی برای استفاده تجاری از آن‌ها در زمینه‌های مختلف صنعتی انجام دادند. باکتری‌های بنفش و قرمز در حضور نور با سرعت هم‌زدن کم، تولید را به حداکثر رساندند در حالی که باکتری‌های زرد تولید را در غیاب نور با سرعت هم‌زدن بالا افزایش دادند [۴۳]. بازده تولید رنگدانه میکروبی علاوه بر نوع فرآیند تخمیر، تابع محدودیت‌های مختلفی مانند pH، دما، هم زدن، هوادهی، منبع کربن و منبع نیتروژن است. بنابراین برای بهینه‌سازی رشد میکروب‌ها، یافتن عوامل فیزیکی مناسب نیز الزامی‌است. پس از بررسی این عوامل بر رشد میکروب‌ها با ایجاد شرایط بهینه، تولید رنگدانه افزایش می‌یابد [۴۲].

۵-۱- دما

دمای انکوباسیون تأثیر بسیار بسزایی در تولید رنگدانه میکروبی دارد. میزان دما بسته به نوع میکروارگانیسم می‌باشد. به‌عنوان مثال دمای مناسب برای تولید رنگدانه توسط قارچ موناسکوس ۲۸-۲۵ درجه سانتی‌گراد است در حالی‌که دمای مناسب برای سودوموناس ۳۶-۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد [۴۴].

۵-۲- pH

میزان pH محیط تأثیر بسزایی در رشد میکروارگانیسم و تولید رنگدانه دارد. میزان pH برای هر میکروارگانیسم متفاوت است و همچنین میزان pH محیط در روشنی رنگدانه تولیدی تأثیر دارد. به‌عنوان مثال pH بهینه برای قارچ موناسکوس ۶/۵-۵/۵ و برای رودوتروولا[1] ۴/۵-۴ می‌باشد [۴۴].

۵-۳- منبع کربن

رشد میسلیوم در میکروارگانیسم‌های تولیدکننده رنگدانه تحت تأثیر نوع منبع کربن (گلوکز، فروکتوز، مالتوز، لاکتوز، گالاکتوز و غیره) قرار می‌گیرد و گلوکز و الیگوساکاریدهای آن بهترین منبع کربن برای رشد و تولید رنگدانه می‌باشند. نوع قند محیط بر روشنی رنگدانه تولید شده تأثیر دارد [۴۴].

۵-۴- منبع نیتروژن

منبع نیتروژن نیز در تولید رنگدانه موثر می‌باشد. به‌عنوان مثال بهترین منبع نیتروژن برای تولید رنگدانه توسط موناسکوس، آمونیم کلراید است. از دیگر منابع نیتروژن برای تولید رنگدانه می‌توان به گلوتامات، پپتون و آمونیم فسفات اشاره کرد [۴۴].

۵-۵- نوع تخمیر

نوع تخمیر (جامد یا غوطه ور) تأثیر در تولید رنگدانه دارد. تخمیر در بستر جامد رنگدانه بیشتری نسبت به تخمیر غوطه‌ور تولید می‌کند [۴۴].

۵-۶- مواد معدنی

مواد معدنی نقش مهمی‌در تولید رنگدانه ایفا می‌کنند. به‌عنوان مثال روی در غلظت ۰/۰۰۲ مولار رشد را در محیط مایع متوقف می‌کند. در حالی‌که در محیط جامد باعث رشد و تولید رنگدانه شدید می‌شود. بعضی مواقع روی نقش مهارکننده رشد دارد. منگنز باعث تحریک تولید رنگدانه در لاکتوباسیلوس پلانتاروم[2] و استروپتوکوکوس لاکتیس[3] می‌شود [۴۴].

۶- اهمیت صنعتی و پتانسیل بازار

با توجه به ماهیت خطرناک رنگ‌دهنده‌های مصنوعی، استفاده‌های فعلی و چشم‌انداز استفاده از رنگدانه‌های میکروبی به عنوان رنگ‌دهنده‌های طبیعی در صنایع مختلف امیدوارکننده است. سازمان غذا و دارو (FDA) قبلاً رنگدانه‌های موجود در بازار مانند ریبوفلاوین (Ashbya gossypii)، بتا-کاروتن و لیکوپن (Blakeslea trispora)، آرپینک قرمز (Penicillium-oxalicum)، آستازانتین (Xanthophyllomyces dendrorhous) و رنگدانه‌های قارچ Monascus را تایید کرده است. FDA و EFSA (سازمان ایمنی غذایی اروپا) ایمنی افزودنی‌های غذایی را از طریق دستورالعمل‌ها و کدهای عملی بین المللی ارزیابی می‌کنند. با توجه به کاربردی که برای رنگدانه مورد نظر تعریف می‌شود، فرآیند ارزیابی دقیق صورت می‌گیرد. همچنین، زمانی که تغییراتی در شرایط تولید برای کاربردهای رنگدانه ایجاد می‌شود، ایمنی افزودنی‌ها باید دوباره مورد بررسی قرار گیرد. پیش‌بینی می‌شود که بازار جهانی رنگ‌های غذایی تا سال ۲۰۲۳ به ۳/۷۵ میلیارد دلار

[1] Rhodotorula

[2] Lactobacillus plantarum
[3] Streptococcus lactis

برسد. پیش‌بینی می‌شود که بازار رنگ‌دهنده‌های کشاورزی تا سال ۲۰۲۳ به ۲/۰۳ میلیارد دلار برسد. نظرسنجی‌های بازار جهانی پتانسیل بازار کاروتنوئیدها را برای سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۴ در غذاها، نوشیدنی ها، داروها، لوازم آرایشی، خوراک دام و مکمل‌های غذایی به ترتیب ۲۶/۱، ۹/۲، ۶/۵، ۳۴/۸ و ۲۳/۵ درصد تخمین زده‌اند. در حال حاضر، ۸۰ تا ۹۰ درصد از کاروتنوئید با روش شیمیایی تولید می‌شود [۴۵]. در حال حاضر به دلیل هزینه بالای تولید، بازار کاروتنوئیدهای طبیعی کمتر (۲۴ درصد) از کاروتنوئیدهای مصنوعی (۷۶ درصد) است. طبق گفته شرکت بیوتکنولوژی دینوو، هزینه کم کاروتنوئیدهای مصنوعی (۲۵۰-۲۰۰۰ دلار در کیلوگرم) عامل اصلی بازار بزرگ آن است، در حالی که کاروتنوئیدهای طبیعی قیمت بالاتری دارند (۳۵۰-۷۵۰۰ دلار/ کیلوگرم). کاروتنوئیدهای مشتق شده از گیاه گران هستند و از این رو علاقه علمی به تولید کاروتنوئیدهای میکروبی در سال‌های اخیر به دلیل پایداری و مقرون‌به‌صرفه‌بودن آنها افزایش یافته است [۴۶]. کاروتنوئیدها دارای خواص دارویی و سلامتی بسیاری هستند و در عین حال در صنایع غذایی، آرایشی، داروسازی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و احتمالاً در سال‌های بعد استفاده از آنها گسترش خواهد یافت. بنابراین، کاروتنوئیدها به عنوان چشم انداز تجاری سودآور برای سرمایه‌گذاری‌های مواد غذایی، بهداشتی و آرایشی زودتر از سایر رنگدانه‌ها مورد توجه قرار گرفتند [۴۷]. سطح فروش جهانی کاروتنوئیدها (آستازانتین، بتاکاروتن، کانتازانتین، لوتئین، لیکوپن و زآزانتین) تا سال ۲۰۲۱ به ۱/۵۳ میلیارد دلار تخمین زده شده بود. کاروتنوئیدهای تهیه شده از میکرو ارگانیسم‌های مهم گونه هماتوکوکوس و کلرلا به قیمت ۴۰ تا ۵۰ دلار به ازای هر کیلوگرم در بازار آزاد فروخته می‌شود. بتا کاروتن به عنوان یک ضداکسیدکننده عمل می‌کند و تاثیر رادیکال های آزاد را در انسان تا چندین برابر از بین می‌برد. افزایش علاقه به بتاکاروتن به دلیل ماندگاری بالا و خواص درمانی آن، باعث گرمی بازار بتاکاروتن شده است. پیش‌بینی‌شده که بازار آستازانتین تا سال ۲۰۲۳ به ۸۱۴/۱ میلیون دلار برسد. اروپا قاطعانه به سمت استفاده از رنگ‌دهنده‌های طبیعی حرکت کرده و پیشتاز است بطوری‌که ۸۵ درصد از کل رنگ‌دهنده‌های طبیعی بازار را استفاده می‌کنند. انتظار می‌رود افزایش علاقه به غذاهای فرآوری رنگ‌دهنده‌های رنگ‌های غذایی در آسیا و اقیانوسیه را نیز افزایش دهد [۴۶].

۷- پایداری و حلالیت رنگدانه‌های میکروبی

اگرچه رنگ‌دهنده‌های طبیعی از نظر کاربرد دارای پتانسیل بالایی هستند، اما به دلیل پایداری ضعیف، بازارهای محدودی دارند. سن و همکارانش [۴۸]، روش‌های مختلفی برای تولید رنگدانه طبیعی پایدار با افزایش ماندگاری و پتانسیل بازار به روشی مقرون‌به‌صرفه را گزارش کرده‌اند. یکی از مهم‌ترین رنگدانه‌ها در بین رنگ‌های طبیعی آنتوسیانین است که به دلیل پایداری کم، استفاده از آن را به عنوان رنگ‌دهنده‌های طبیعی محدود کرده است [۴۹]. کپسول کردن نقش مهمی در حفظ پایداری رنگدانه‌ها ایفا می‌کند و در نتیجه عمر مفید آنها را افزایش می‌دهد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، پایداری در فرآیند تولید و نگهداری از معیارهای مهم در انتخاب رنگ‌دهنده‌های طبیعی برای کاربردهای صنعتی هستند. بتاکاروتن به دلیل حلالیت، پایداری، نقطه ذوب کم کاملاً ناپایدار است و در طول فرآیند تولید و ذخیره‌سازی مواد غذایی تجزیه می‌شود. بنابراین، برای رفع مشکلات پایداری، کپسول‌سازی بتا-کاروتن برای افزایش پایداری برای کاربرد آن در صنایع غذایی انجام می‌شود [۴۸].

۷-۱- کپسول‌سازی

رنگدانه‌های میکروبی در دماهای بالا، نور و اکسیژن ناپایدار هستند و زمانی که در معرض شرایط خاصی قرار گیرند به سختی ویژگی‌های خود را حفظ می‌کنند. روش ریزکپسول‌سازی یک روش جایگزین برای افزایش پایداری و حلالیت است که طی آن اجزای فعال را درون ریز ذرات به دام می‌اندازد. ریزکپسول‌سازی عبارت است از بسته‌بندی مواد جامد، مایع یا گاز در ریز ذرات با اندازه‌های مختلف از میلی متر تا نانومتر. ترکیب فعال، رنگدانه میکروبی به ماده اصلی تبدیل می‌شود و ماده بسته‌بندی مواد دیواره است. مواد دیوار باید گرانروی کم، خواص امولسیون کنندگی، زیست تخریب پذیری و همچنین هزینه کم داشته باشند. مواد دیوار مورد استفاده برای محصور کردن رنگدانه‌های میکروبی شامل مالتودکسترین، نشاسته اصلاح‌شده، اینولین، فورسلاران و غیره است. رنگدانه‌های محصور شده حلالیت بهتری با پایداری بهتر در شرایط محیطی دارند که منجر به افزایش ماندگاری می‌شود. مواد دیوار نقش مهمی را با محافظت از مواد فعال در برابر نور، دما، رطوبت، اکسیژن و همچنین برهم‌کنش‌های بستر ایفا می‌کنند. هدف از کپسول‌کردن رنگدانه‌های میکروبی برای کاربردهای صنایع غذایی شامل محافظت از مواد هسته، افزایش ماندگاری و مهمتر از همه کنترل انتشار رنگدانه است. گزارش‌های مختلفی برای کپسول‌سازی رنگدانه‌های میکروبی وجود دارد. به‌عنوان مثال می‌توان کپسول‌سازی آنتوسیانین با خشک کردن پاششی با استفاده از مالتودکسترین به عنوان ماده دیوار و کپسول‌سازی بتا-کاروتن با خشک‌کردن انجمادی با استفاده از نشاسته اصلاح‌شده به عنوان ماده دیواره نام برد که از این پودرهای کپسول شده در کیک‌ها، ماست و نوشابه‌ها استفاده شده که باعث ثبات رنگدانه‌ها شده است. تحت شرایط خاص، مواد محصور شده را می‌توان با روشی کنترل شده رها کرد تا دامنه کاربرد آن در صنایع مختلف افزایش یابد [۵۰].

۷-۲- نانو امولسیون

نانو امولسیون حاوی آب، روغن و تعلیق‌کننده با اندازه قطرات ۱۰۰ نانومتر یا حتی کمتر است که می‌توان آنها را برای محصور کردن رنگدانه های میکروبی تهیه کرد. افزودن امولسیفایر حیاتی‌ترین مرحله در تشکیل نانو امولسیون است که کشش بین فازهای آب و روغن را کاهش می‌دهد. متداول‌ترین تعلیق‌کننده‌ها موادفعال سطحی هستند اما پروتئین‌ها و لیپیدها نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در مقایسه با امولسیون‌های میکرو یا ماکرو، نانوامولسیون‌ها به دلیل مساحت سطح بزرگ، پایداری جنبشی و مقاومت در برابر تغییرات فیزیکی یا شیمیایی، کاربردهای بهتری دارند. این نانو امولسیون‌ها برای ر رنگ‌دهنده‌های خوراکی دارای مزایای مختلفی مانند غیرمحرک و غیرسمی بودن هستند که آنها را برای کاربرد در صنایع غذایی مناسب می کند. نانو امولسیون‌ها رنگ‌های داخل امولسیون را تثبیت می‌کنند و طعم نامطلوبی ندارند [۵۱]. نانو امولسیون همچنین می‌تواند میزان رنگ‌دهنده‌های مورد نیاز برای به دست آوردن ته‌رنگ مورد نظر را کاهش دهد و از این رو روشی مقرون‌به‌صرفه است. تشکیل و پایداری نانو امولسیون با بتا-کاروتن گزارش شده است که با استفاده از بتا-لاکتوگلوبولین، یک تعلیق‌کننده زیست‌سازگار، تثبیت شده است. روش‌های مختلفی برای کپسول‌سازی بتا-کاروتن در سیستم تحویل مناسب، مانند نانو امولسیون، میکرو امولسیون، لیپوزوم، نانوذرات لیپیدی جامد و مجموعه‌های پیچیده با ماکرومولکول‌ها با افزایش زیست فراهمی گزارش شده و زمینه برای تحقیقات بیشتر در این زمینه وجود دارد [۲۸].

۸- نتیجه‌گیری

رنگدانه ها ترکیباتی هستند که به طور گسترده در صنایع مختلف استفاده می‌شوند. ماهیت غیرسمی رنگدانه‌های تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها آنها را برای استفاده در صنایع مختلف نظیر صنایع غذایی، داروسازی، آرایشی و بهداشتی، نساجی و سایر مقاصد صنعتی دوست‌دار محیط‌زیست مناسب می‌کند. برخی از میکروارگانیسم‌هایی که قادر به تولید رنگدانه با رنگ‌های مختلف هستند عبارتند از: *آگروباکتریوم اورانتیاکام، استافیلوکوکوس اورئوس، کروموباکتریوم ویولاسئوم، سراشیا مارسسنس*، گونه‌های *باسیلوس*، گونه‌های *فلاووباکتریوم* و غیره. تولید صنعتی رنگ‌دهنده‌های طبیعی با تخمیر میکروبی دارای مزایای متعددی از جمله تولید ارزان‌تر، استخراج آسان‌تر، بازدهی بالاتر، عدم کمبود مواد اولیه و عدم وابستگی به فصل خاصی از سال است. با این حال، هر منبع طبیعی محدودیت‌های خاص خود را دارد و در حال حاضر نمی‌تواند از نظر اقتصادی با همتایان مصنوعی رقابت کند. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به نیاز به سرمایه‌گذاری بالا برای تولید در مقیاس زیاد، پایداری کمتر، تغییرات ته رنگ رنگدانه‌ها در شرایط فیزیکی مختلف و درصد کمتر تولید سالانه اشاره کرد. مطالعات بیشتری باید در زمینه یافتن روش‌های مقرون به صرفه تولید رنگدانه‌های میکروبی با بازده زیاد به منظور افزایش کاربردهای صنعتی آنها انجام گیرند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت پژوهشگاه رنگ برای انجام این مطالعه، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تعارض منافع

در این مقاله هیچ گونه تعارض منافعی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

۹- منابع

1. S. M. Etezad, M. Sadeghi-Kiakhani, "Decolorization of Malachite Green Dye Solution by Bacterial Biodegradation", Prog. Color Colorant Coat. 14, 79-87, **2021**. https://doi.org/10.30509/PCCC.2021.81670.
2. X. Lyu, Y. Lyu, H. Yu, "Biotechnological advances for improving natural pigment production: a state-of-the-art review", Bioresour. Bioprocess. 9, 38, **2022**. https://doi.org/10.1186/s40643-022-00497-4
3. J. M. Patki, S. Singh, S. Singh, N. Padmadas, D. Dasgupta, "Analysis of the applicative potential of pigments extracted from bacterial isolates of mangrove soil as topical UV protectants", Braz. J. Pharm. Sci. 57, e19127, **2021**. https://doi.org/10.1590/s2175-97902020000419127.
4. H. S. Tuli, P. Chaudhary, V. Beniwal, A. K. Sharma, "Microbial pigments as natural color sources: current trends and future perspectives", J. Food Sci. Technol. 52, 4669–4678, **2015.** https://doi.org/10.1007/s13197-014-1601-6.
5. K. Heer, S. Sharma, "Microbial pigments as a natural color: a review", Int. J. Pharm. Sci. Res. 8, 1913-1922, **2017**.

https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.8(5).1913-22.

6. K. Malik, J. Tokkas, S. Goyal, "Microbial Pigments : a review", Int. J. Microb. Resour. Technol. 1, **2012.**
7. C. K. Venil, L. Dufossé, D. P. Renuka, "Bacterial pigments: sustainable compounds with market potential for pharma and food industry", Front. Sustain. Food Syst, 4, 100, **2020**. https://doi.org/org/10.3389/fsufs.2020.00100.
8. S. H. Lim, H. Ming, E.Y. Park, J. Choi, "Improvement of riboflavin production using mineral support in the culture of Ashbya gossypii", Food Technol. Biotechnol. Prog. 41(2), 137-144, 2003.
9. T. Tanaka, "Cancer Chemoprevention by Carotenoids", Molecules. 17, 3202-3242, **2012**. https://doi.org/10.3390/molecules17033202.
10. K. Malik, J. Tokkas, S. Goyal, "Microbial Pigments A Review", Int. J. Microb. Resour. Technol. 1, 361-365, **2012**. https://doi.org/10.1515/9783110412789-008.
11. R. Shristi, M. Madhusree, Sh. Freny, R. T. Sushma, M. Sandhya, "Bacteria as an alternate biofactory for carotenoid production: A review of its applications, opportunities and challenges", J. Funct. Foods, 67, 103867, **2020.** https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103867
12. R. K. Saini, Y. Keum, "Progress in Microbial Carotenoids Production", Indian J. Microbiol. 57(1), 129–130, **2017**. https://doi.org/10.1007/s12088-016-0637-x.
13. A. Hernández-Almanza, J. Montañez, G. Martínez, A. Aguilar-Jiménez, J. C. Contreras-Esquivel, C. N. Aguilar, "Lycopene: Progress in microbial production", Trends. Food Sci. Technol. 56, 142-148, **2016**. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.013
14. H. R. Ahmadi Ashtiani, P. Bishe, N. Lashgari, M. A. Nilforoushzadeh, S. Zare, "Liposomes in Cosmetics", J Skin Stem Cell. 3, **2016**. https://doi.org/10.5812/jssc.65815.
15. C. Zhang, X. Chen, H. P. Too, "Microbial astaxanthin biosynthesis: recent achievements, challenges, and commercialization outlook", Appl. Microbiol. Biotechnol. 104, 5725–5737, **2020**. https://doi.org/10.1007/s00253-020-10648-2
16. R. Han, R. Xiang, J. Li, F. Wang, C. Wang, "High-level production of microbial prodigiosin: A review", J. Basic Microbiol. 61, 506–523, **2021**. https://doi.org/10.1002/jobm.202100101.
17. F. Alihosseini, K. S. Ju, J. Lango, B. D. Hammock, G. Sun, "Antibacterial colorants: characterization of prodiginines and their applications on textile materials", Biotechnol. Prog. 24, 742–747, **2008**. https://doi.org/10.1021/bp070481r
18. Y. Z. Yacobi, J. Köhler, F. Leunert, A. Gitelson, "Phycocyanin-specific absorption coefficient: Eliminating the effect of chlorophylls absorption", Limnol. Oceanogr. Methods. 13, 157–168, **2015**. https://doi.org/10.1002/lom3.10015.
19. N. Durán, G. Z. Justo, M. Durán, M. Brocchi, L. Cordi, L. Tasic, G. R. Castro, G. Nakazato, "Advances in Chromobacterium violaceum and properties of violacein-Its main secondary metabolite: A review", Biotechnol. Adv. 34, 1030-1045, **2016**. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.06.003
20. N. Doukyu, K. Toyoda, R. Aono, "Indigo production by Escherichia coli carrying the phenol hydroxylase gene from Acinetobacter sp strain ST-550 in a water-organic solvent two-phase system", Appl. Microbiol. Biotechnol. 60, 720–725, **2003**. https://doi.org/10.1007/s00253-002-1187-1.
21. X. Han, W. Wang, X. Xiao, "Microbial Biosynthesis and Biotransformation of Indigo and Indigo-like Pigments", Chin. J. Biotechnol. 24, 921-926, **2008**. https://doi.org/10.1016/S1872-2075(08)60043-6
22. N. S. Durán, M. F. Teixeira, R. Conti, E. Esposito, "Critical reviews in food science and nutrition ecological-friendly pigments from fungi", Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 42, 53-66, **2002**. https://doi.org/10.1080/10408690290825457
23. N. Darshan, H. K. Manonmani, "Prodigiosin and its potential applications", J Food Sci Technol. 52, 5393–5407, **2015**. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1740-4.
24. C. H. Ramesh, L. Dufossé, "Ecological and Biotechnological Aspects of Pigmented Microbes: A Way Forward in Development of Food and Pharmaceutical Grade Pigments", Microorganisms. 9, 637, **2021**. https://doi.org/10.3390/microorganisms9030637.
25. T. V. Long, "Process for production of carotenoids, xanthophylls and apo carotenoids utilizing eukaryotic microorganisms", US Patent No. 6783951, US20040253664A1, **2004**.
26. W. I. Golubev, "Perfect state of Rhodomyces dendrorhous (Phaffia rhodozyma)" , Yeast. 11, 101-110, **1995**. https://doi.org/10.1002/yea.320110202.
27. J. Carvalho, "Biopigments from Monascus: Strains Selection, Citrinin Production and Color Stability", Braz. Arch. Biol. Technol. 48, 88-89, **2005**. https://doi.org/10.1590/S1516-89132005000800004
28. J. J. Sedmak, "Extraction and quantitation of astaxanthin from Phaffia rhodozyma" Biotechnol. Tech. 4, 107-112, **1990**. https://doi.org/10.1007/BF00163282.
29. A. Aberoumand, "A review article on edible pigments properties and sources as natural biocolorants in foodstuff and food industry", World j. dairy food sci. 6, 71-78, **2011.**
30. R. Pérez-Tomás, B. Montaner, "Effects of the proapoptotic drug prodigiosin on cell cycle-related proteins in Jurkat T cells", Histol. Histopathol. 18, 379-385, **2003**. https://doi.org/10.14670/HH-18.379
31. S. Mapari, K. F. Nielsen, T. O. Larsen, J. C. Frisvad, A. S. Meyer, U. Thrane, "Exploring fungal

biodiversity for the production of water-soluble pigments as potential natural food colorants", Curr. Opin. Biotechnol. 16, 231-238, **2005**. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2005.03.004

32. S. Golkhoo, F. Barantalab, A. R. Ahmadi, Z. M. Hassan, "Purification of astaxantin from mutant of from Phaffia rodozyma JH 82 which isolated from forest trees of Iran", Pak. J. Biol. Sci. 10(5), 802-832, **2007**. https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.802.805
33. M, Guerin, M. E. Huntley, M. Olaizola, "Haematococcus astaxanthin: applications for human healthand nutrition", Trends Biochem. Sci. 21(5), 210-216, **2003**. https://doi.org/10.1016/S0167-7799(03)00078-7.
34. H. P. Mohankumari, "Safety evaluation of Monascus purpureus red mould rice in albino rats", Food Chem. Toxicol. 47, 1739-1746, **2009**. https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.04.038
35. M. A. Naguib, "Antioxidant Activities of Astaxanthin and Related Carotenoids", J. Agri. Food. Chem, 48, 1150-1154, **2000**. https://doi.org/10.1021/jf991106k.
36. S. Dey, B. H. Nagababu, "Applications of food color and bio-preservatives in the food and its effect on the human health", Food Chem. 1, 100019, **2022.** https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100019
37. N. Nagpal, N. Munjal, S. Chatterjee, "Microbial Pigments with Health Benefits - A Mini Review", Trends Biosci. 4, 157-160, **2011.**
38. H. Jung, "Color characteristics of Monascus pigments derived from fermentation with various amino acids", J Agr. Food Chem. 51, 1302-1306, **2003**. https://doi.org/10.1021/jf0209387.
39. A. E. Pazmio-Durn, "Anthocyanins from oxalis triangularis as potential food colorants", Food Chem. 75, 211-216, **2001**. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00201-1.
40. Á. L. Rosas, A. Casadevall, "Melanization affects susceptibility of Cryptococcus neoformans to heat and cold", FEMS Microbiol. Lett. 153, 265–272, **1997.** https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1997.tb12584.x
41. M. Bahar, "A model for the catabolism of rhizopine in Rhizobium leguminosarum involves aferrdoxin oxygennase complex and the inositol degradative pathway", Mol. Plant Microbe Interact. 1057-1068, **1998.** https://doi.org/10.1094/MPMI.1998.11.11.1057.
42. C. K. Venil, P. R. Devi, W. A. Ahmad, "Agro-industrial wastes as substrates for the production of bacterial pigment", in Valorisation of Agro-Industrial Residues-Volume I: Biological Approaches, Eds Z. A. Zakaria, R. Boopathy, and J. R. Dib, Switzerland, Springer, **2020**. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39137-9_7.
43. N. N. Musa, N. Z. Yusof, "Chemical and physical parameters affecting bacterial pigment production", Mater. Today Proc, 18, 1608–1617, **2019**. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.189.
44. M. E. Paillie Jimenez, P. Stincone, A. Brandelli, "Natural Pigments of Microbial Origin", Front. sustain. food syst. 4, 590439, **2020**. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.590439
45. R. K. Saini, Y. S. Keum, "Microbial platforms to produce commercially vital carotenoids at industrial scale: An updated review of critical issues", J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 46, 657–674, **2019**. https://doi.org/10.1007/s10295-018-2104-7.
46. S. Ram, M. Mitra, F. Shah, S. R.Tirkey, S. Mishra, "Bacteria as an alternate biofactory for carotenoid production: a review of its applications, opportunities and challenges", J. Funct. Food. 67, 103867, **2020**. https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103867.
47. R. Sathasivam, J. S. Ki, "A review of the biological activities of microalgal carotenoids and their potential use in healthcare and cosmetic industries", Mar. Drugs. 16, 26, **2018**. https://doi.org/10.3390/md16010026.
48. T. Sen, C. J. Barrow, S. K. Deshmukh, "Microbial pigments in the food industry – challenges and the way forward", Front. Nutr. 6, 7, **2019**. https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00007.
49. F. Babaloo, R. Jamei, "Anthocyanin pigment stability of Cornus mas Macrocarpa under treatment with pH and some organic acids", Food Sci. Nutr. 6, 168–173, **2018.** https://doi.org/10.1002/fsn3.542.
50. J. C. Rosas, C. R. Ferreira-Grosso, C. A. Gomez-Aldapa, E. Rangel-Vargas, M. L. Rodrigues-Martin, F. A. Guzman-Ortiz, "Recent advances in microencapsulation of natural sources of antimicrobial compounds used in food – a review", Food Res. Int. 102, 575–587, **2017**. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.054
51. A. Gupta, H. B. Eral, T. A. Hatton, P. S. Doyle, "Nanoemulsions: formation, properties and applications", Soft Matter. 12, 2826–2841, **2016**. https://doi.org/10.1039/C5SM02958A

How to cite this article:

S. M. Etezad, Sh. Rouhani, Introducing Some Commonly Used Pigments Produced by Microorganisms, *J. Stud. Color world,* 13, 1(2023), 15-31.

DOR: 20.1001.1.22517278.1402.13.1.2.4