مروری بر کاربردهای نوین پلی فنول‌ها در سیستم‌های غذایی

حامد حسن زاده[۱]، دنیا میناسیان[۲]، بشیر بهرامی[۳]

۱- استادیار، گروه صنایع غذایی و بهداشت، دانشکده پیرادامپزشکی، دانشگاه ایلام

۲- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی دانشگاه ارومیه

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشگاه ارومیه

Email: (h.hassanzadeh@ilam.ac.ir)
Email: (d.minasian28@gmail.com)

چکیده

پلی فنول‌ها ترکیباتی هستند که به طور طبیعی در میوه‌ها و سبزیجات وجود دارند که به دلیل اثرات درمانی و کاربردهای تکنولوژیکی در زمینه های مختلف از جمله شیمی آلی، داروسازی، شیمی مواد غذایی و غیره بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. لذا در این بررسی، اهمیت برخی از ترکیبات فنلی پرداخته و اثرات بیولوژیکی و پتانسیل آنها برای کاربرد در بهبود خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته، نگهداری غذاها، به عنوان رنگ‌های طبیعی، مواد پری بیوتیک، هیدروژل‌ها و نانو کمپلکس‌ها مورد بحث قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: پلی فنل‌ها، شیمی غذایی، ترکیبات رنگی، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، ارتباط بین سلامتی و وجود ترکیبات زیست فعال در رژیم غذایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، مصرف کنندگان به طور فزاینده‌ای به محصولات غذایی علاقه مند می شوند که علاوه بر برآورده کردن نیازهای تغذیه‌ای، عملکرد فیزیکی را بهبود بخشد، سلامتی را ارتقا بخشد و خطر ابتلا به بیماری‌ها را کاهش دهد [۸]. پلی فنول‌ها ترکیباتی هستند که به طور طبیعی توسط متابولیسم ثانویه گیاهان سنتز می‌شوند و به دلیل اثرات درمانی آنها بر سلامتی توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۹]. اثرات بیولوژیکی آنها عمدتاً به توانایی جداسازی یا مهار گونه‌های فعال اکسیژن و نیتروژن، انتقال الکترون به رادیکال‌های آزاد، علاوه بر فعال کردن آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، بهبود استرس اکسیداتیو و التهاب و بروز اثرات امیدوار کننده در پیشگیری از بیماری‌های مختلف نسبت داده می‌شود. با این حال، خواص بیولوژیکی

این ترکیبات به عوامل متعددی از جمله غلظت آنها در غذا، زیست دسترسی پس از مصرف، برهمکنش آنها با سایر مولکول‌ها، درجه پلیمریزاسیون و سایر عوامل بستگی دارد [۸]. علی‌رغم پتانسیل بالای تکنولوژیک، مطالعات کمی به توسعه محصولات جدید با استفاده از این ترکیبات پرداخته است. بنابراین هدف از این بررسی، پرداختن به اهمیت برخی از این ترکیبات، زیست فراهمی، سمیت آن‌ها و تاکید بر پتانسیل نوآوری آنها برای کاربرد در صنعت غذا می‌باشد.

۲. ترکیبات فنلی

پلی فنول‌ها یک گروه ناهمگن از متابولیت‌های ثانویه هستند [۹]. آنها به طور گسترده در قلمرو گیاهان، عمدتاً میوه‌ها و سبزیجات توزیع می شوند [۸]. به طور کلی، ترکیبات فنلی در دفاع گیاه به عنوان مولکول‌های سیگنال دهنده برای محافظت از گیاهان در برابر استرس اکسیداتیو و اشعه ماوراء بنفش یا جذب گرده افشان‌ها و حیوانات برای پراکنده کردن دانه‌ها نقش دارند [۳۱]. پلی فنول‌ها متعلق به گروه وسیعی از مواد شیمیایی هستند که دارای یک یا چند حلقه معطر با دو یا چند گروه هیدروکسیل هستند. ترکیبات فنلی به شکل آزاد یا کونژوگه با قندها، اسیدها و سایر مولکول‌های زیستی محلول یا نامحلول در آب وجود دارند [۸]. در مباحث بعدی به چند دسته از ترکیبات متعلق به ترکیبات فنلی پرداخته خواهد شد.

۲-۱. فلاونوئیدها

فلاونوئیدها از رایج‌ترین ترکیبات فنلی موجود در میوه‌ها و سبزیجات هستند، زیرا نقش مهمی در رنگ و طعم، سنتز آنزیم‌ها و ویتامین‌ها و به حداقل رساندن اثرات پراکسیداسیون لیپیدی دارند [۳۱]. مصرف طولانی مدت غذاهای غنی از فلاونوئیدها مزایای سلامتی بخش را برای افراد دارای عوامل خطر مرگ زودرس ارائه می‌دهد. علاوه بر این، برخی از مطالعات دریافت فلاونوئیدها را با بهبود رفتار و شناخت، کاهش التهاب عصبی و کاهش استرس اکسیداتیو مرتبط دانسته‌اند، زمانی که آنها نقشی محوری در مسیرهایی دارند که مسئول تکثیر و بقای نورون‌ها هستند و در نتیجه، علائم مرتبط با آلزایمر را کاهش می‌دهند [۸]. یک سنجش با استفاده از رده سلولی RAW 264.7 نشان داد که خواص ضد التهابی فلاونوئیدهای Lotus plumule به دلیل مهار تولید واسطه‌های التهابی مانند رادیکال‌های NO، پروستاگلاندین E2 (PGE2)، فاکتور نکروز تومور آلفا (TNF-α) و سیتوکین های پیش التهابی مانند IL-1β و IL-6 می‌باشد [۵]. در یک کارآزمایی بالینی دیگر، تجویز خوراکی کاتچین در موش‌های صحرایی ویستار با افزایش تولید آنتی‌بادی و بازگرداندن عملکرد لکوسیت‌ها، عملکرد سیستم ایمنی را بهبود بخشد [۱۳].

۲-۲.اسیدهای فنولیک

اسیدهای فنولیک نیز دسته‌ای از ترکیبات متعلق به ترکیبات فنلی هستند که به طور طبیعی در میوه‌ها و سبزیجات یافت می‌شوند. آنها را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد، یعنی آنهایی که از اسیدهای هیدروکسی

بنزوئیک و هیدروکسی سینامیک به دست می‌آیند. ترکیبات مشتق شده از هیدروکسی بنزوئیک اسید با یک گروه کربوکسیلیک (COOH) مشخص می‌شوند و رایج ترین مشتقات آن اسیدهای ρ-هیدروکسی بنزوئیک، گالیک، پروتوکاتکوئیک و وانیلیک هستند. در حالی که ترکیبات مشتق شده از اسید هیدروکسی سینامیک با دو اسکلت کربنی (C6H5CHCHCOOH) با حداقل یک مولکول هیدروژن که می‌تواند با یک گروه هیدروکسیل جایگزین شود، مشخص می‌شود و آنها عمدتاً توسط اسیدهای ρ-هیدروکسی سینامیک، ρ-کوماریک، کافئیک و فرولیک نشان داده می‌شوند. پتانسیل بیولوژیکی اسیدهای فنولیک به اندازه تنوع ساختاری آنها است، زیرا ممکن است به عنوان ضد افسردگی، ضد فشار خون، ضد التهاب، محافظت کننده عصبی، ضد قند خون، ضد سرطان و ضد اسهال عمل کنند [۸]. به عنوان مثال، در یک مطالعه تجربی با استفاده از موش‌های صحرایی نر ویستار نشان نشان داده شد که مصرف اسید کلروژنیک از طریق افزایش تنوع میکروبیوتای روده و همچنین بهبود عملکردهای قلبی -عروقی، کبدی و متابولیک در برابر سندرم متابولیک موثر است [۱]. ژو و همکاران (۲۰۱۹) اثرات ضد التهابی اسید گالیک را در کولیت اولسراتیو ناشی از TNBS در موش‌های Balb/c مشاهده کردند. در این مطالعه مشاهده شد که تجویز گالیک اسید (۶۰ میلی گرم/کیلوگرم روزانه به مدت ۷ روز با تزریق داخل معده) باعث افزایش بیان اینترلوکین‌های ضد التهابی (IL-4 و IL-10) و کاهش بیان بیومارکرهای التهابی (IL-1، IL-6، IL-12، IL-17، IL-23، TGF-β و TNF-α) گردید. علاوه بر این تغییرات بافتی ناشی از کولیت اولسراتیو را نیز کاهش داد [۳۴].

۲-۳. آنتوسیانین ها

آنتوسیانین‌ها رنگدانه‌های گیاهی طبیعی از خانواده فلاونوئیدها هستند که ظاهر رنگارنگ (رنگ‌های قرمز، آبی و بنفش) به میوه‌ها، سبزیجات و سایر غذاها می‌دهند. به طور کلی، آنها عمدتاً در طبیعت به شکل گلیکوزیله و کمتر به صورت گلیکوزیدهای آ سیلی آنتو سیانیدین یافت می شوند، که ساختارهای فلاویلیومی هستند که از دو حلقه معطر تشکیل شده‌اند که توسط یک حلقه هتروسیکلیک سه کربنه حاوی اکسیژن یک بار که پیوندهای مضاعف قسمت آنتوسیانیدین را به هم متصل می‌کنند و کروموفور را تشکیل می‌دهند [۸]. آنتوسیانین‌های اصلی موجود در گیاهان، از جمله میوه‌ها و سبزیجات، سیانیدین، مالویدین، دلفینیدین، پلارگونیدین، پئونیدین و پتونیدین هستند. در مطالعه‌ای که به منظور ارزیابی اثر سیانیدین بر تمایز غضروفی و هیپرتروفیک سلول‌های بنیادی مزانشیمی (MSCs) انجام شد، Cao و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که درمان با این آنتو سیانین (۱۰-۲۰ میکروگرم در میلی لیتر) پتانسیل درمانی زیادی در حفظ عملکرد کندرو سیت‌ها و استفاده در توسعه داروهای جدید برای درمان نقایص بافت غضروفی دارد [۲]. چندین داده اخیر شواهدی را ارائه می‌دهد که مصرف آنتوسیانین توت بر سلامت قلب و عروق تأثیر می‌گذارد [۳]. به عنوان مثال، ادواردز و

همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که سیانیدین-۳-O-گلوکوزید قادر به افزایش بیان ژن Hmox1 در سلول‌های اندوتلیال شریان ایلیاک انسان است [۱۱].

۲-۴.تانن‌ها

تانن‌ها ترکیبات فنلی هستند که توانایی تشکیل کمپلکس با چندین در شت مولکول دیگر را دارند. این ترکیبات دارای چندین عملکرد مهم در گیاهان هستند، به عنوان محافظ در برابر اشعه ماوراء بنفش و رادیکال‌های آزاد، سیگنال‌های شیمیایی و به عنوان ترکیبات دفاعی در برابر حمله حیوانات، حشرات، قارچ‌ها و باکتری‌ها عمل می‌کنند. شواهد علمی نشان داده است که تانن‌ها به عنوان آنتی اکسیدان‌های طبیعی خوبی در نظر گرفته می‌شوند، اما مطالعات کمی فواید آنها را برای سلامتی گزارش کرده‌اند. این ترکیبات توانایی تعدیل سیگنال دهی درون سلولی را از طریق مسیرهای MAPK PI3K و p38، فعالیت آنزیم‌های هدف و بیان ژن دارند. علاوه بر این، به عنوان عوامل محافظت کننده قلبی، ضد تومور، ضد باکتری، ضد ویروسی، ضد التهابی و تعدیل کننده ایمنی در نظر گرفته می شوند، علاوه بر آن باعث افزایش جذب گلوکز و مهار آدیپوژنز می شوند [۸]. لینک و همکاران(۲۰۱۵) هنگام ارزیابی هضم شبیه سازی شده گوارشی تانن‌های سورگوم محصور شده (۳۱۲ میلی گرم / ۱۰۰ میلی گرم معادل کاتچین) دریافتند که این ترکیبات دارای پتانسیل بالایی به عنوان یک ماده غذایی برای کاهش قند خون و کنترل دیابت نوع ۲ از طریق مهار آنزیم های کلیدی مانند α-گلوکوزیداز و α-آمیلاز هستند [۲۰]. مطالعه انجام شده توسط Shi و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که تانن‌های متراکم استخراج شده از کاه برنج دارای پتانسیل ضد میکروبی خوبی هستند و به عنوان عوامل بازدارنده قوی در رشد استافیلوکوکوس اورئوس در نظر گرفته می‌شوند [۲۸]. علاوه بر این، نشان داده شده است که هضم آزمایشگاهی گوارشی تانن‌های کبراکو (Schinopsis lorentzii) و شاه بلوط (Castanea sativa) با تحریک تولید اسیدهای چرب زنجیره کوتاه پس از تخمیر میکروبی، پتانسیل پری‌بیوتیک خوبی را نشان داد [۸].

۳. زیست فراهمی ترکیبات فنلی

اثرات مفید ترکیبات فنلی بر سلامتی عمدتاً به متابولیت‌های آنها نسبت داده می‌شود. از این نظر، ترکیبات فنلی باید در دسترس زیستی باشند تا فعالیت زیستی خود را اعمال کنند و زیست فراهمی آنها تحت تأثیر فرآیندهایی مانند هضم، جذب و متابولیسم، همینطور عواملی مانند غلظت در غذا، انتشار در ماتریکس غذایی، ساختار شیمیایی، ترکیب با سایر ترکیبات، اندازه مولکولی، درجه پلیمریزاسیون و حلالیت می‌باشد [۸]. جذب ترکیبات فنلی در روده کوچک کم است، جایی که تنها حدود ۵ تا ۱۰ درصد از کل پلی فنل‌های مصرف شده (بسته به پیچیدگی شیمیایی آنها) جذب می‌شود. قبل از جذب، ترکیبات فنولی کم‌پیچیده‌تر گلیکوزیله می شوند و سپس تحت تغییراتی قرار می‌گیرند که توسط کبد انجام می شود که شامل واکنش‌های متیلاسیون، گلوکورونیداسیون و سولفوناسیون می شود تا بتوانند وارد جریان خون شده و در نتیجه به سایر

اندام‌ها توزیع شوند [۷،۱۵]. پیچیده‌ترین فنولیک‌ها (مانند تانن‌ها) که در روده کوچک جذب نمی‌شوند (حدود ۹۰ تا ۹۵٪)، به روده بزرگ می‌رسند، جایی که آنها (توسط میکروبیوتای موجود) به متابولیت‌هایی با وزن مولکولی کم تبدیل می شوند تا بتوانند جذب شود. در طی این فرآیند، تولید ا سیدهای چرب با زنجیره کوتاه و تغییرات قابل توجهی در میکروبیوتای روده صورت می‌گیرد. موچیارو و همکاران (۲۰۱۹) هنگام ارزیابی زیست فراهمی ترکیبات فنلی موجود در نو شیدنی پو ست فندق، فراهمی زیستی تقریباً ۲۷٪ را تأیید کردند که در آن ۱۰ متابولیت در پلا سما و ۲٤ متابولیت در ادرار در ان سان سالم شنا سایی شد. به طور م شابه، Castello و همکاران (۲۰۱۸) در حال ارزیابی مصرف حاد نوشیدنی ساخته شده از تفاله انگور قرمز در انسان (۲۵۰ میلی لیتر از نوشیدنی، حاوی ٦۲۵ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر از کل پلی فنل) گزارش کردند که در مجموع ۳۵ متابولیت فنولیک در ادرار و ۲۸ متابولیت در خون بیماران شنا سایی شد که ترکیبات ا صلی شامل ا سیدهای هیدروک سی بنزوئیک، م شتقات اپی کاتچین، ا سیدهای هیدروک سی فنیل پروپیونیک، فنل‌های ساده و غیره بودند. طبق Iglesias-Carres و همکاران (۲۰۱۹) زیست فراهمی ترکیبات فنلی انگور در موش‌های صحرایی می‌تواند تحت تأثیر ترکیب فنلی و مقدار و انواع فیبر موجود باشد. آنها همچنین متابولیسم بالاتر پلی فنل‌ها در روده کوچک و غلظت سرمی بالاتر متابولیت‌ها را پس از دو ساعت مصرف و کاهش پس از ۲٤ ساعت گزارش کردند. بهبود زیست فراهمی ترکیبات فنلی برای افزایش پتانسیل درمانی آنها در پیشگیری از بیماری‌ها ضروری است [۱٦].

۴. اثرات سمی ترکیبات فنلی

علیرغم خواص مفید آنها برای حفظ سلامتی، بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که ترکیبات فنلی که در غلظت‌های بالا مصرف می‌شوند می‌توانند به عنوان پرواکسیدان عمل کرده و در نتیجه اثرات سم‌شناسی ایجاد کنند. این فعالیت‌ها را می‌توان به تولید گونه‌های فعال اکسیژن در نتیجه اختلال احتمالی این ترکیبات در سلول‌ها نسبت داد، اما ماهیت پرواکسیداتیو آن‌ها را نمی‌توان به سادگی مضر تعریف کرد و خطرات و فواید آن به موقعیت و غلظت بستگی دارد [۸]. کلادیس و همکاران (۲۰۲۰) هنگام ارزیابی سمیت مصرف خوراکی پلی فنل‌های زغال اخته (۰-۱۰۰۰ میلی گرم کل پلی فنل / کیلوگرم وزن بدن در روز) در موش‌های Sprague-Dawley به مدت ۹۰ روز، متوجه شدند که تفاوتی در رفتار، وزن بدن، مصرف غذا در حداکثر غلظت تجویز شده وجود ندارد. بنابراین آنها به این نتیجه ر سیدند که یک NOAEL (میزان اثر نامطلوب م شاهده ن شده) برای پلی فنول‌های زغال اخته در حیوانات مورد ارزیابی ≤ ۱۰۰۰ میلی گرم پلی فنول در کیلوگرم وزن بدن در روز بود. این نتایج مهم ه ستند و می‌توانند به ایجاد سطوح ایمن م صرف روزانه این ترکیبات تو سط ان سان کمک کنند [٦]. در مطالعه‌ی دیگری نیز Zheleva-Dimitrova و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که سمیت ترکیبات فنلی به م سیر تجویز مورد ا ستفاده ب ستگی دارد و ن شان می‌دهد که زی ست فراهمی این ترکیبات

ممکن است تحت تأثیر دگرگونی‌هایی باشد که در طول فرآیند گوارش رخ می‌دهد [۳۳]. ثابت شده است که دوزهای بالای پلی فنل‌ها می‌تواند باعث تشـــدید بیماری‌هایی مانند کولیت و ســـرطان کولون شـــود، بیان آنزیم‌های آنتی اکســـیدانی و چاپرون‌های مولکولی را تنظیم منفی کند و همچنین باعث ســـمیت کلیوی و کبدی شود [۲۶]. یک مطالعه پتانسیل تانن خرمالو را برای بهبود استئاتوز کبدی نشان داد، با این حال نویسندگان گزارش کردند که پس از ۴۸ ساعت درمان، این ترکیبات سمیت سلولی را در سلول‌های L02 در غلظت ۴۰ میکروگرم در میلی‌لیتر نشان دادند، اما در غلظت‌های زیر ۲۰ میکروگرم در میلی‌لیتر هیچ اثر سیتوتوکسیکی مشاهده نشد [۳۵]. این شواهد نشان می‌دهد که پتانسیل سم شناسی ترکیبات فنلی به نوع ترکیب و غلظت مورد اســـتفاده بســـتگی دارد. بنابراین، تجویز آنها باید با احتیاط انجام شـــود تا از اثرات مضـــر احتمالی برای سلامتی جلوگیری شود. علاوه بر این، مهم است که تاکید شود که مطالعات بالینی باید انجام شود تا حاشیه غلظت ایمن برای مصرف این ترکیبات ایجاد شود.

۵. کاربردهای تکنولوژیکی ترکیبات فنلی

با توجه به پتانســـیل تکنولوژیکی ترکیبات فنلی، کاربردهای متعددی نه تنها در صـــنایع غذایی بلکه در سایر زمینه‌های دیگر پیشنهاد شده است. با این حال، توجه به این نکته ضروری است که تولیدکنندگان مواد غذایی نه تنها باید فناوری ترکیب مواد را برای برآوردن الزامات حســـی و ایمنی بدانند، بلکه باید چارچوب جدیدی برای توصیه‌های غذایی براساس فیزیک، تکنیک‌های نگهداری، تقویت مواد مغذی و غنی سازی مواد غذایی ایجاد کنند که امکان توسعه محصولات جدید با ادعاهای عملکردی و کیفیت بهبود یافته را فراهم کنند. در بخش بعدی برخی از کاربردهای ترکیبات فنلی در تهیه فیلم‌های زیست فعال، رنگ‌های طبیعی، ترکیبات با خواص پری بیوتیک و موارد دیگر مورد بحث قرار خواهند داد. [۸].

۵-۱. فیلم های زیستی فعال

فیلم‌های زیستی فعال را می‌توان برای ساخت بسته بندی‌های فعال و همچنین برای سایر اهداف تکنولوژیکی استفاده کرد. بسته بندی فعال در سال‌های اخیر به دلیل امکان ترکیب نگهدارنده‌ها یا آنتی اکسیدان‌هایی که عمداً در غذاهای بسته بندی شده یا در جوی که محصول را احاطه کرده است، مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۱۹]. مزیت بزرگ بسته بندی زیست فعال این است که دوستدار محیط زیست است و نشان دهنده پیشرفت بزرگی برای مواد غذایی است، زیرا می‌تواند جایگزین بسته بندی‌های پلاستیکی مشتق شده از نفت شود. توسعه بسته بندی زیست فعال براساس نشاسته، پکتین مرکبات و با محصول جانبی ضایعات Acca sellowiana (غنی از ترکیبات فنلی) فعالیت ضد میکروبی را علیه اشریشیا کلی، سالمونلا تیفی موریوم و سودوموناس آئروژینوزا نشان داد. علاوه بر این، بسته‌بندی تولید شده نیز در حفظ کیفیت سیب، جلوگیری از کاهش وزن میوه‌ها تا روز پنجم نگهداری مؤثر بود [۲۷]. توسعه بیوفیلم هوشمند حساس به pH با استفاده از

پلیمرهای زیست تخریب پذیر و آنتوسیانین‌ها ثابت کرد که یک رویکرد امیدوارکننده برای نظارت بر تازگی گوشت خوک است [۳۲]. به طور مشابه، ترکیب اسید گالیک و کیتوزان می‌تواند برای بهبود ایمنی و کیفیت غذا در گوشت خوک تازه استفاده شود [۱۲]. در حالی که تولید فیلم از کیتوزان/الاژیک اسید ظرفیت آنتی اکسیدانی بالایی دارد و از رشد پاتوژن های منتقله از غذا جلوگیری می‌کند [۲۹]. سایر کاربردهای ترکیبات فنلی شامل تولید لایه‌های فعال ژلاتین ماهی با افزودن آنتوسیانین‌ها و استفاده از فیلم‌های متشکل از کربوکسی متیل کیتوسان و کورستین است که می‌تواند به عنوان آنتی اکسیدان جدید و مواد هوشمند برای تشخیص Al^{3+} در بسته بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد [۸].

۵–۲. ترکیبات فنلی به عنوان رنگ طبیعی

آگاهی روزافزون از اثرات منفی استفاده از رنگ‌های مصنوعی بر سلامت انسان، جستجو برای رنگدانه-های طبیعی جدید را بیشتر کرده است. میوه‌ها، سبزیجات و بقایای آن‌ها، محصولاتی غنی از ترکیبات فنلی هستند که دارای ارزش افزوده بالا، قیمت نسبتاً پایین و پتانسیل زیادی برای استفاده به عنوان رنگ طبیعی، ایجاد سایه‌های قرمز، زرد-نارنجی، آبی و سبز هستند [۸]. علاوه بر این، پلی فنل‌ها به دلیل زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری، عدم سمیت، پاسخ‌های غیر آلرژیک و اثرات غیر سرطان زا بر سلامت انسان می‌توانند در رنگرزی نایلون نیز مورد استفاده قرار گیرند. آنتوسیانین‌ها، علیرغم ناپایداری، عمدتاً به عنوان رنگ خوراکی استفاده می‌شوند، اما پتانسیل رنگ کردن سایر محصولات مانند بسترهای نساجی، پنبه، چرم، ابریشم و موهای انسان را نیز دارند [۸]. در صنایع غذایی، آنتوسیانین‌ها را می‌توان به عنوان رنگدانه در محصولاتی مانند کشک، شیر تخمیر شده، اسموتی‌ها، نوشیدنی‌های با pH پایین، شراب‌ها و ماتریکس‌های جامد مانند املت استفاده کرد. این ترکیبات همچنین می‌توانند برای اطمینان از پایداری غذا در طول ذخیره سازی و به عنوان رنگدانه استفاده شوند [۳۰].

۵–۳. سایر کاربردهای پلی فنل‌ها

اخیراً، پلی‌فنل‌ها به دلیل توانایی آنها در تعامل با میکروب‌های روده و میزبان و/یا اصلاح مجموعه متابولیت‌های میکروبی در دسترس میزبان، در گروه پری‌بیوتیک‌ها قرار گرفته‌اند [۸]. به عنوان مثال، جیائو و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که تجویز عصاره پلی فنل زغال اخته (PPE) به مدت ۱۲ هفته افزایش وزن را مهار کرده و متابولیسم لیپید موش‌های C57BL/6J را که با رژیم غذایی پرچرب تغذیه شده بودند، عادی کرد [۱۸]. علاوه بر کاربردهای آنها به عنوان رنگ‌های طبیعی، فیلم‌های زیست فعال و ترکیبات با خواص پری بیوتیک، استفاده از ترکیبات فنلی در متنوع ترین زمینه های تکنولوژیکی پیشنهاد شده است. اخیراً، مطالعه‌ای استفاده از پلی فنل‌های آجیل را در ساخت الاستومرهای دی الکتریک با خواص الکترومکانیکی بهبود یافته تأیید کرد [۱۷]. فلاونوئیدهای کونژوگه شده با پلی ساکاریدها دارای فعالیت‌های آنتی اکسیدانی، ضد میکروبی و ضد

توموری قوی‌تری هستند و می‌توانند در ساخت هیدروژل‌ها برای رهایش کنترل شده داروها، میسل‌ها برای تجویز خوراکی داروها و امولسیون‌ها در مواد غذایی استفاده شوند [۲۱]. استفاده از یک فلاونوئید جدید مبتنی بر تری فنیل آمین نیز در ساخت نانو نقاط آلی فلورسنت پیشنهاد شده است. نتایج نشان داد که نانو نقاط آلی به راحتی و بدون هیچ گونه تغییر اضافی در سطح ساخته می‌شوند، علاوه بر این که سمیت سلولی کم، مقاومت خوبی در برابر تخریب نوری و جذب سلولی خوب دارند [۲۳]. مطالعه دیگری نشان داد که آنتوسیانین‌ها را می‌توان برای به دست آوردن نانوکامپلکس‌هایی با پتانسیل زیاد برای کاربردهای عملکردی در مواد غذایی و مواد مغذی مورد استفاده قرار داد [۱٤]. در فناوری مواد غذایی، ترکیبات فنلی نیز از اهمیت بالایی برخوردار هستند. به عنوان مثال، استفاده از سیستم نوترکیب لاکاز-کلروژنیک اسید در ساخت کشک، منجر به افزایش پتانسیل آنتی اکسیدانی و به دست آوردن محصول نهایی با ارزش غذایی قابل توجه شده است [۲٤]. علاوه بر این، نشان داده شده است که ترکیب کورستین و نشاسته در تولید یک نشاسته مقاوم جدید با ظرفیت آنتی اکسیدانی تقویت‌شده، که می‌تواند به عنوان ماده بسته‌بندی و عامل کپسوله‌سازی استفاده شود، کارآمد است [۲۲]. اخیراً مطالعات بر روی برهمکنش کربوهیدرات‌ها و پلی فنل‌ها اهمیت بیشتری پیدا کرده است، زیرا این نوع برهمکنش می‌تواند خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته را بهبود بخشد. به عنوان مثال، استفاده از اسیدهای فنولیک، فلاونوئیدها و پروسیانیدین‌ها می‌تواند خواصی مانند ژلاتینه شدن، رتروگراسیون، ژله شدن و همچنین قابلیت هضم نشاسته را تغییر دهد. اسید فرولیک، روتین و کوئرستین می‌توانند دمای ژلاتینه شدن را کاهش دهند، رتروگراسیون را به تاخیر بیندازند و تشکیل ژل نشاسته‌ای نرم تر را تسهیل کنند. علاوه بر این، ترکیباتی مانند تانن‌ها می‌توانند بلورینگی، دمای پیوند و حداکثر ویسکوزیته نشاسته را افزایش دهند [۱۰].

۶. نتیجه‌گیری

پلی فنول‌ها ترکیباتی هستند که به طور طبیعی در برخی غذاها یافت می‌شوند. این ترکیبات برای بهبود سلامتی مهم هستند، زیرا اثرات امیدوارکننده‌ای در پیشگیری از بیماری‌های مختلف نشان می‌دهند. اثرات مفید این ترکیبات بر سلامت به عواملی مانند کمیت و زیست فراهمی پس از مصرف بستگی دارد. مطالعات بالینی برای تعیین محدوده غلظت ایمن برای مصرف این ترکیبات باید انجام شود، زیرا مصرف در دوزهای بالا می‌تواند اثرات سمی داشته باشد.

۷. مراجع

۱. *Bhandarkar NS, Brown L, Panchal SK. Chlorogenic acid attenuates high-carbohydrate, high-fat diet–induced cardiovascular, liver, and metabolic changes in rats. Nutrition research. 2019 Feb 1;62:78-88.*

۲. *Cao Z, Huang S, Dou C, Xiang Q, Dong S. Cyanidin suppresses autophagic activity regulating chondrocyte hypertrophic differentiation. Journal of Cellular Physiology. 2018 Mar;233(3):2332-42.*

۳. *Cassidy A. Berry anthocyanin intake and cardiovascular health. Molecular aspects of medicine. 2018 Jun 1;61:76-82.*

۴.*Castello F, Costabile G, Bresciani L, Tassotti M, Naviglio D, Luongo D, Ciciola P, Vitale M, Vetrani C, Galaverna G, Brighenti F. Bioavailability and pharmacokinetic profile of grape pomace phenolic compounds in humans. Archives of biochemistry and biophysics. 2018 May 15;646:1-9.*

۵. *Chen GL, Fan MX, Wu JL, Li N, Guo MQ. Antioxidant and anti-inflammatory properties of flavonoids from lotus plumule. Food chemistry. 2019 Mar 30;277:706-12.*

۶.*Cladis DP, Li S, Reddivari L, Cox A, Ferruzzi MG, Weaver CM. A 90 day oral toxicity study of blueberry polyphenols in ovariectomized sprague-dawley rats. Food and Chemical Toxicology. 2020 May 1;139:111254.*

۷.*Czubinski J, Wroblewska K, Czyzniejewski M, Górnaś P, Kachlicki P, Siger A. Bioaccessibility of defatted lupin seed phenolic compounds in a standardized static in vitro digestion system. Food Research International. 2019 Feb 1;116:1126-34.*

۸. *de Araújo FF, de Paulo Farias D, Neri-Numa IA, Pastore GM. Polyphenols and their applications: An approach in food chemistry and innovation potential. Food chemistry. 2021 Feb 15;338:127535.*

۹. *de Paulo Farias D, Neri-Numa IA, de Araujo FF, Pastore GM. A critical review of some fruit trees from the Myrtaceae family as promising sources for food applications with functional claims. Food chemistry. 2020 Feb 15;306:125630.*

۱۰. *Du J, Yao F, Zhang M, Khalifa I, Li K, Li C. Effect of persimmon tannin on the physicochemical properties of maize starch with different amylose/amylopectin ratios. International journal of biological macromolecules. 2019 Jul 1;132:1193-9.*

۱۱. *Edwards M, Czank C, Woodward GM, Cassidy A, Kay CD. Phenolic metabolites of anthocyanins modulate mechanisms of endothelial function. Journal of agricultural and food chemistry. 2015 Mar 11;63(9):2423-31.*

۱۲. *Fang Z, Lin D, Warner RD, Ha M. Effect of gallic acid/chitosan coating on fresh pork quality in modified atmosphere packaging. Food Chemistry. 2018 Sep 15;260:90-6.*

۱۳. *Ganeshpurkar A, Saluja AK. Protective effect of catechin on humoral and cell mediated immunity in rat model. International Immunopharmacology. 2018 Jan 1;54:261-6.*

۱۴. *Ge J, Yue P, Chi J, Liang J, Gao X. Formation and stability of anthocyanins-loaded nanocomplexes prepared with chitosan hydrochloride and carboxymethyl chitosan. Food Hydrocolloids. 2018 Jan 1;74:23-31.*

۱۵. *Gowd V, Karim N, Shishir MR, Xie L, Chen W. Dietary polyphenols to combat the metabolic diseases via altering gut microbiota. Trends in Food Science & Technology. 2019 Nov 1;93:81-93.*

۱۶. *Iglesias-Carres L, Mas-Capdevila A, Bravo FI, Aragones G, Arola-Arnal A, Muguerza B. A comparative study on the bioavailability of phenolic compounds from organic and nonorganic red grapes. Food chemistry. 2019 Nov 30;299:125092.*

۱۷. *Jiang L, Wang Y, Wen S, Zhou Y, Ma J, Chen S, Jerrams S. Fabrication of dielectric elastomers with improved electromechanical properties using silicone rubber and walnut polyphenols modified dielectric particles. Materials & Design. 2020 Jul 1;192:108674.*

۱۸. *Jiao X, Wang Y, Lin Y, Lang Y, Li E, Zhang X, Zhang Q, Feng Y, Meng X, Li B. Blueberry polyphenols extract as a potential prebiotic with anti-obesity effects on C57BL/6 J mice by modulating the gut microbiota. The Journal of Nutritional Biochemistry. 2019 Feb 1;64:88-100.*

۱۹. *Kaewprachu P, Amara CB, Oulahal N, Gharsallaoui A, Joly C, Tongdeesoontorn W, Rawdkuen S, Degraeve P. Gelatin films with nisin and catechin for minced pork preservation. Food Packaging and Shelf Life. 2018 Dec 1;18:173-83.*

۲۰. *Links MR, Taylor J, Kruger MC, Taylor JR. Sorghum condensed tannins encapsulated in kafirin microparticles as a nutraceutical for inhibition of amylases during digestion to attenuate hyperglycaemia. Journal of functional foods. 2015 Jan 1;12:55-63.*

۲۱. *Liu J, Wang X, Yong H, Kan J, Jin C. Recent advances in flavonoid-grafted polysaccharides: Synthesis, structural characterization, bioactivities and potential applications. International Journal of Biological Macromolecules. 2018 Sep 1;116:1011-25.*

۲۲. *Liu J, Wang X, Yong H, Kan J, Zhang N, Jin C. Preparation, characterization, digestibility and antioxidant activity of quercetin grafted Cynanchum auriculatum starch. International journal of biological macromolecules. 2018 Jul 15;114:130-6.*

۲۳. *Liu B, Luo Z, Si S, Zhou X, Pan C, Wang L. A photostable triphenylamine-based flavonoid dye: Solvatochromism, aggregation-induced emission enhancement, fabrication of organic nanodots, and cell imaging applications. Dyes and Pigments. 2017 Jul 1;142:32-8.*

۲۴. *Loi M, Quintieri L, Fanelli F, Caputo L, Mulè G. Application of a recombinant laccase-chlorogenic acid system in protein crosslink and antioxidant properties of the curd. Food Research International. 2018 Apr 1;106:763-70.*

۲۵. *Mocciaro G, Bresciani L, Tsiountsioura M, Martini D, Mena P, Charron M, Brighenti F, Bentley S, Harvey M, Collins D, Del Rio D. Dietary absorption profile, bioavailability of (poly) phenolic compounds, and acute modulation of vascular/endothelial function by hazelnut skin drink. Journal of Functional Foods. 2019 Dec 1;63:103576.*

۲۶. *Murakami A. Dose-dependent functionality and toxicity of green tea polyphenols in experimental rodents. Archives of biochemistry and biophysics. 2014 Sep 1;557:3-10.*

۲۷. *Sganzerla WG, Rosa GB, Ferreira AL, da Rosa CG, Beling PC, Xavier LO, Hansen CM, Ferrareze JP, Nunes MR, Barreto PL, de Lima Veeck AP. Bioactive food packaging based on starch, citric pectin and functionalized with Acca sellowiana waste by-product: Characterization and application in the postharvest conservation of apple. International journal of biological macromolecules. 2020 Mar 15;147:295-303.*

۲۸. *Shi J, Wang Y, Wei H, Hu J, Gao MT. Structure analysis of condensed tannin from rice straw and its inhibitory effect on Staphylococcus aureus. Industrial Crops and Products. 2020 Mar 1;145:112130.*

۲۹. *Vilela C, Pinto RJ, Coelho J, Domingues MR, Daina S, Sadocco P, Santos SA, Freire CS. Bioactive chitosan/ellagic acid films with UV-light protection for active food packaging. Food Hydrocolloids. 2017 Dec 1;73:120-8.*

۳۰. *Vinha AF, Rodrigues F, Nunes MA, Oliveira MB. Natural pigments and colorants in foods and beverages. InPolyphenols: Properties, recovery, and applications 2018 Jan 1 (pp. 363-391). Woodhead Publishing.*

۳۱. *Vuolo MM, Lima VS, Junior MR. Phenolic compounds: Structure, classification, and antioxidant power. InBioactive compounds 2019 Jan 1 (pp. 33-50). Woodhead Publishing.*

۳۲. *Zhang J, Zou X, Zhai X, Huang X, Jiang C, Holmes M. Preparation of an intelligent pH film based on biodegradable polymers and roselle anthocyanins for monitoring pork freshness. Food Chemistry. 2019 Jan 30;272:306-12.*

۳۳. *Zheleva-Dimitrova D, Simeonova R, Gevrenova R, Savov Y, Balabanova V, Nasar-Eddin G, Bardarov K, Danchev N. In vivo toxicity assessment of Clinopodium vulgare L. water extract characterized by UHPLC-HRMS. Food and Chemical Toxicology. 2019 Dec 1;134:110841.*

۳۴. *Zhu L, Gu P, Shen H. Gallic acid improved inflammation via NF-κB pathway in TNBS-induced ulcerative colitis. International immunopharmacology. 2019 Feb 1;67:129-37.*

۳۵. *Zou B, Nie R, Zeng J, Ge Z, Xu Z, Li C. Persimmon tannin alleviates hepatic steatosis in L02 cells by targeting miR-122 and miR-33b and its effects closely associated with the A type ECG dimer and EGCG dimer structural units. Journal of functional foods. 2014 Nov 1;11:330-41*