روش‌های مختلف تبدیل ضایعات چای به فرآورده‌های با ارزش افزوده بالا

الهام آذرپژوه[۱*]، ریحانه شاقلی[۲] و حسن رشیدی[۳]

۱- دانشیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۲- استادیار آموزشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۳- دانشیار آموزشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،مشهد، ایران

* azarpazhooh@gmail.com

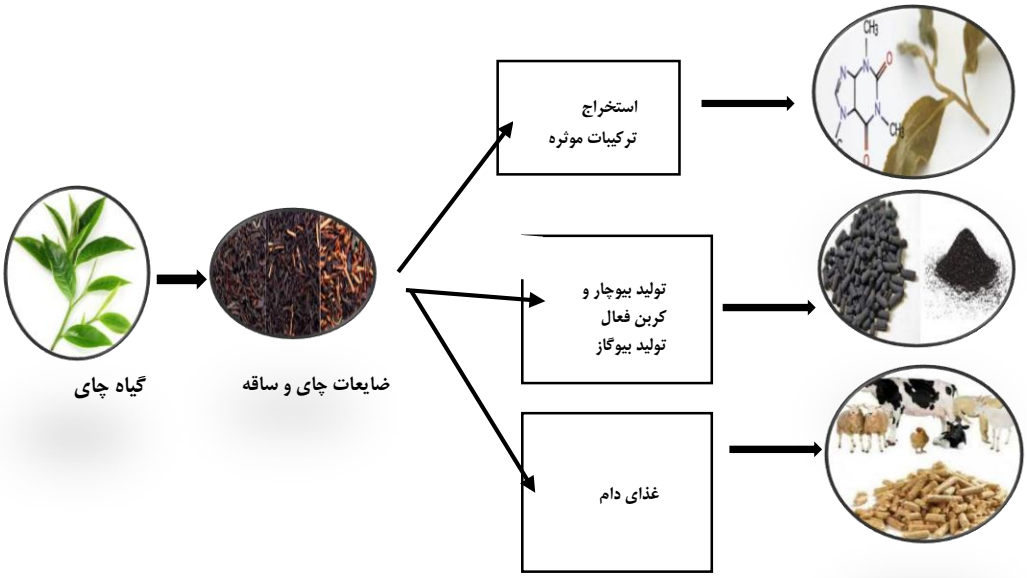
بیان مسئله

چای یکی از رایج‌ترین و پرمصرف‌ترین نوشیدنی‌ها است که پس از آب در جایگاه دوم نوشیدنی‌ها قرار دارد. محبوبیت چای به دلیل فعالیت‌های ضدالتهابی، قلبی عروقی، فعالیت‌های پیشگیرانه، ضدسرطان، ضد دیابت، ضد چاقی، محافظت‌کننده عصبی و آنتی‌اکسیدانی است که فواید زیادی برای ارتقای سلامتی انسان دارد. تقاضای جهانی چای به طرز چشمگیری در حال افزایش است و در دهه آینده نیز به رشد خود ادامه خواهد داد. وجود مقادیر زیادی ضایعات چای باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی جدی می‌شود. ضایعات چای عمدتاً شامل برگ‌های چای، ساقه‌ها و بقایای تولید و فرآوری چای هستند. محصولات با ارزش افزوده بالا در دنیای امروز از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند، زیرا می‌توانند نقش مهمی در توسعه اقتصادی و افزایش کارآیی منابع ایفا کنند. این محصولات معمولاً از مواد اولیه‌ای تولید می‌شوند که به صورت طبیعی یا به عنوان ضایعات در دسترس هستند و از طریق فرآیندهای مختلف به موادی با ارزش بالاتر تبدیل می‌شوند. یکی از این منابع، ضایعات چای است که به دلیل در دسترس بودن و هزینه کم، به عنوان منبع زیستی کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از ضایعات چای نه تنها می‌تواند به کاهش ضایعات و بهبود مدیریت منابع کمک کند، بلکه می‌تواند به تولید محصولات با ارزش افزوده بالا منجر شود که در نهایت به افزایش پایداری و کارآیی اقتصادی و زیست‌محیطی منجر می‌شود. بررسی و بهبود روش‌های استخراج و استفاده از این ضایعات می‌تواند افق‌های جدیدی را در صنایع مختلف باز کند و نقش مهمی در توسعه پایدار ایفا کند. بررسی حاضر به طور خاص به جنبه‌های مختلف استفاده از ضایعات چای به عنوان یک منبع، در دسترس و کم‌هزینه برای تبدیل به منابع زیستی کشاورزی مانند استخراج ترکیبات مهم مانند کافئین، تولید بیوچار، بیوگاز و خوراک دام می پردازد.

ارزش بازار جهانی چای در سال ۲۰۲۰ تقریباً ۲۰۰ بیلیون دلار امریکا بوده و پیش بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ به بیش از ۳۱۸ بیلیون دلار امریکا افزایش یابد. میزان تولید چای در جهان در سال ۲۰۱۸ معادل ۵/۸ میلیون متریک تن و به میزان ۷/۶۳ میلیون تن متریک در سال ۲۰۲۳رسیده است[1] بنابراین، چنین افزایشی در تولید جهانی چای منجر به تولید مقادیر زیادی ضایعات چای می‌شود. همراه با رشد مصرف چای و فرآورده‌های مشتق از آن، میزان ضایعات چای، عمدتاً شامل ضایعات حاصل از فرآوری چای و بقایای حاصل از هرس به سرعت افزایش یافته که منجر به از دست دادن بیوماس عظیم می‌شود. برگ‌های هرس شده چای و بقایای چای سرشار از لیگنین و هولوسلولز[2] هستند که حاوی گروه‌های کربوکسیل، هیدروکسیل، فنولیک هیدروکسیل و اکسیل فراوان هستند. ضایعات چای به عنوان یک منبع بیولوژیکی غنی، پتانسیل بالایی برای تبدیل به محصولات مختلف با ارزش افزوده دارد. شکل ۱، محصولات تولید شده با ارزش افزوده بالا از ضایعات چای را نشان می‌دهد. یکی از کاربردهای مهم ضایعات چای، استخراج ترکیبات مهم مانند کافئین است. کافئین نیز به عنوان یک محرک طبیعی، در تولید نوشیدنی‌ها، مکمل‌های غذایی و محصولات دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضایعات چای می‌توانند به بیوچار و بیوگاز تبدیل شوند، که به عنوان منابع انرژی پایدار و دوستدار محیط زیست مطرح هستند.

[1] statista.com; accessed on 07.06.2021

[2] holocellulose



شکل ۱- محصولات تولید شده با ارزش افزوده بالا از ضایعات چای

استخراج ترکیبات مفید مهم از ضایعات چای

ترکیبات ضایعات چای

ضایعات چای اساساً یک زیست‌توده لیگنو سلولزی متشکل از سلولز، همی سلولز، لیگنین، پلی‌فنل‌ها، پروتئین‌ها و تانن‌ها است (باراتی و همکاران، ۲۰۱۷). چای شامل مواد فعال بیولوژیکی مانند پلی‌فنل‌ها (کاتچین‌ها، فلاونوئیدها، پروآنتوسیانیدین‌ها)، متیل گزانتین‌ها، آلکالوئیدها (کافئین، تئوفیلین، تئوبرومین)، ویتامین‌ها، مواد معدنی، ترپنوئیدها، رنگ‌دانه‌ها، اسیدهای آمینه و پلی‌ساکاریدها است (شانگ و همکاران، ۲۰۲۱) ضایعات چای معمولاً حاوی اجزای مشابه چای معمولی با تقریباً مقادیر مشابه است. ضایعات چای حاوی مقادیر زیادی پلی‌فنلی است که تأثیر مهم برای سلامت انسان دارد؛ بنابراین، از ضایعات چای می‌توان به‌عنوان منبع مهمی برای استخراج پلی‌فنل‌ها و پلی‌ساکاریدها و کافئین استفاده کرد (دبنات و همکاران، ۲۰۲۱). عبدالطیف و همکاران (۲۰۱۸) میزان کل فلاونوئید موجود در ضایعات فرآوری چای سیاه حدود ۴۷/۴۰ میلی‌گرم کاتچین/ گرم گزارش کردند. پلی‌فنول‌های چای متابولیت‌های ثانویه متشکل از یک حلقه معطر و یک یا چند گروه OH هستند. جدول ۱، ترکیب شیمیایی ضایعات چای را نشان می‌دهد (شکرانی قشلاق و همکاران، ۱۴۰۰). پلی‌فنول‌ها به طور کلی به فلاونوئیدها و غیر فلاونوئیدها طبقه بندی می‌شوند. اکثر پلی‌فنول‌های موجود در چای متعلق به گروه فلاونوئیدها هستند. فلاوان-۳-اول ها[1]یا فلاوانول‌ها که به نام کاتچین نیز شناخته می‌شوند که در اثر احیای دی‌هیدروفلاوانول‌ها به کاتچین تبدیل می‌شود. فعالیت‌های بیولوژیکی چای مربوط به کاتچین است (سینگلا و همکاران، ۲۰۱۹) .

جدول ۱- ترکیب شیمیایی ضایعات چای (شکرانی قشلاق و همکاران، ۱۴۰۰)

خصوصیات	ضایعات چای
پروتئین خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۱۳/۷
چربی خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۲/۰
خاکستر خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۳/۷
کل ترکیبات فنلی (گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۲۰/۳
تانن قابل استخراج (گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۱۴/۸

[1] flavan-3-ols

استخراج کافئین از بقایای چای

کافئین جزء آلکالوئیدهای طبیعی موجود در چای است که به عنوان یک محرک برای سیستم عصبی مرکزی عمل می‌کند. روش‌های استخراج کافئین شامل روش‌های سنتزی با استفاده ازکلرواستیک اسید یا اسید اوریک و استخراج ازگیاهان کافئین‌دار شامل کاکائو، چای و قهوه است. کافئین ترکیبی است که به طور طبیعی تولید می‌شود و به خانواده آلکالوئید متیل زانتین‌ها تعلق دارد و در میوه، دانه و برگ چای و قهوه وجود دارد. همچنین کافئین به‌عنوان محصول جانبی از فرآیند کافئین زدایی چای و قهوه به دست می‌آید. به طور کلی، چای حاوی ۲ تا ۴ درصد کافئین است. باقی مانده‌های چای همچنین حاوی مقداری کافئین است و روش‌های استخراج آن عمدتاً شامل استخراج با حلال، آب زیر بحرانی[1] و روش‌های دیگراستخراج است. شکل ۲ شماتیک روش‌های استخراج کافئین از چای را نشان می‌دهد.

استخراج با حلال

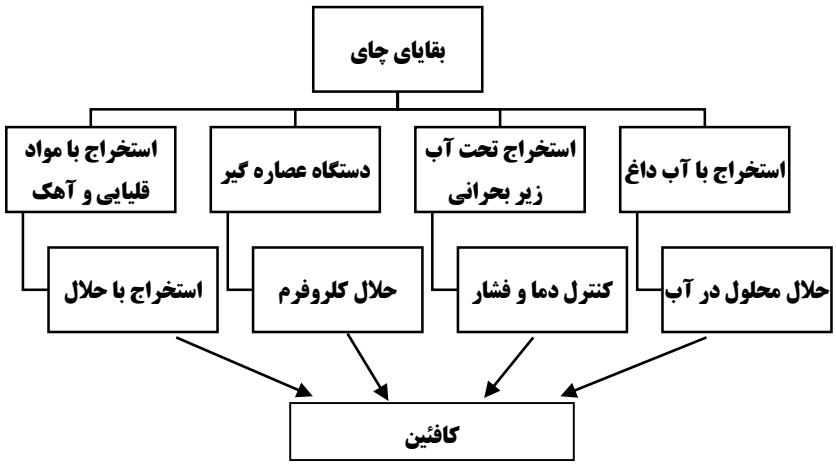
در این روش کافئین موجود در بقایای چای دناتوره شده و با آهک یا قلیا استخراج می‌شود. پس از آن، حلال از طریق تبخیر حذف می‌شود و باقیمانده با آب داغ تصفیه و کریستاله می‌شود علاوه بر این، بقایای چای دناتوره شده را می‌توان با آب داغ استخراج و سپس کافئین آن را با یک حلال آلی (اتیل آستیت یا دی کلرومتان) استخراج نمود. در نهایت کافئین طبیعی از طریق مراحل تغلیظ، تصفیه و تبلور به دست می‌آید.

استخراج با آب زیر دمای بحرانی

در مقایسه با روش سنتی استخراج با آب، روش استخراج با آب زیر دمای بحرانی با کارایی بالاتری کافئین را از باقی مانده‌های چای بازیابی می‌کند. آب زیر دمای بحرانی تحت شرایط ۱۷۵ درجه سانتیگراد، سرعت جریان آب ۴ گرم در دقیقه و اندازه ذرات متوسط ۵/۵ میلی متر، قادر است ۷۷درصد (وزنی/وزنی) کافئین را در مدت زمان ۱/۵ ساعت از بقایای چای استخراج کند این در حالی است که راندمان استخراج با آب گرم ۴۶ درصد (وزنی/وزنی) بود (شلماشی و همکاران ۲۰۰۸).

کاربرد کافئین در صنعت

کافئین طبیعی استخراج شده از بقایای چای معمولاً در صنایع غذایی به عنوان یک افزودنی در نوشیدنی‌های انرژی زا، مکمل‌های غذایی (تسکین دهنده خستگی و خواب آلودگی)، لوازم آرایشی (عامل ضد سلولیت) و تقویت کننده‌های دارویی استفاده می‌شود (سلاح ورزی و همکاران، ۲۰۲۱). استفاده مؤثر از این ضایعات حاصل از فراوری نه‌تنها موجب حفظ محیط‌زیست می‌شود؛ بلکه استفاده از آنها به سود تولیدکنندگان است که می‌تواند در آمد بالایی در فصل تولید ایجاد کرده و موجب افزایش اشتغال شود.



شکل ۲- استخراج کافئین از بقایای چای (میائو و همکاران، ۲۰۲۳)

[1] subcritical water extraction

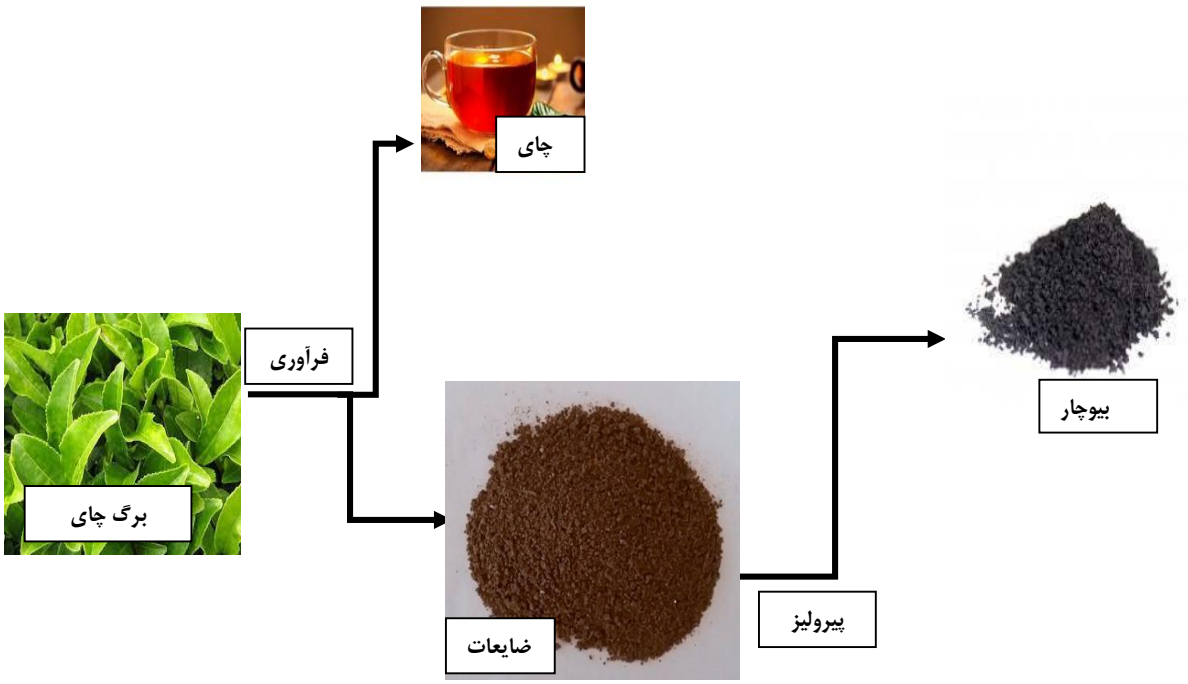
تولید بیوچار از ضایعات چای

امروزه اراضی کشاورزی و منابع طبیعی در اغلب مناطق خشک جهان، به دلیل عوامل مختلف در معرض تخریب و فرسایش است. کمبود پوشش گیاهی و به دنبال آن کاهش ماده آلی خاک در این مناطق، از عوامل تسریع فرایند تخریب است که با مدیریت درست ماده آلی خاک به عنوان پایه و اساس توسعه پایدارکشاورزی و منابع طبیعی، می‌توان از اثرات منفی وارد شده بر محیط پیرامون به طور قابل توجهی جلوگیری کرد. از اثرات نامطلوب ضایعات آلی کشاورزی، مسئله تخریب محیط زیست است که پوسیدگی ناقص آن هر سه بخش محیط پیرامونی آب، خاک و هوا را در معرض تخریب قرار می‌دهد، در حالی که استفاده از فناوری‌های بیوشیمیایی مناسب به بازیابی این مواد غذایی برای استفاده در اراضی کشاورزی و منابع طبیعی منجر می‌شود (سوبهانی و همکاران، ۲۰۱۹).

بیوچار[1] با استفاده از ضایعات چای حاوی حدود ۳۱٫۰۵٪ هولو سلولز، ۲۵٫۶۸٪ لیگنین و ۱۳٫۹۷٪ سایر مواد تولید می‌شود (ازون و همکاران، ۲۰۱۰). ضایعات چای پس از دم‌کردن چای جمع‌آوری شد و سپس چندین بار با آب مقطر شسته و در هوا خشک شد. زیست‌توده خشک‌شده خرد و آسیاب شد تا به اندازه ذرات کمتر از ۱٫۰ میلی‌متر برسد. ضایعات چای در دمای ۳۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد با نرخ حرارت‌دهی ۷ درجه سانتی‌گراد در دقیقه به مدت ۲ ساعت در حضور محدود اکسیژن، نیتروژن و بخار در یک کوره اصلاح‌شده پیرولیز می‌شوند (احمد و همکاران، ۲۰۱۲). بیوچار به شکل یک ساختار متخلخل بوده و حاوی کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، گوگرد و خاکستر در مقادیر مختلف است. میزان کربن بیوچار تا ۶۰ درصد می‌رسد و به دلیل پایداری بالای آن در دماهای بالا و پایین، می‌تواند به مدت طولانی در محیط باقی بماند. بیوچار از نظر ساختاری و ترکیبی با زغال شباهت دارد، زیرا هر دو عمدتاً از اشکال آروماتیک کربن آلی تشکیل یافته‌اند. تفاوت اصلی این است که کربن موجود در بیوچار به راحتی به دی‌اکسید کربن در اتمسفر تبدیل نمی‌شود، به‌ویژه در شرایط مساعد مانند آنچه در خاک وجود دارد. این ویژگی باعث می‌شود که بیوچار توانایی بالایی در کاهش گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن و متان داشته باشد و بتواند کربن را برای دوره‌های طولانی ذخیره کند. به علاوه، بیوچار به علت ویژگی‌های منحصر به فردش، به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک نیز استفاده می‌شود. این ماده با بهبود ساختار خاک، ظرفیت نگهداری آب و فراهم کردن مواد مغذی، به بهبود کیفیت خاک کمک می‌کند و می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر در مدیریت پایدار کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد (یانگ و شنگ، ۲۰۱۲).

امروزه بیوچار توسط فرآیند مدرنیزه شده "پیرولیز" تولید می‌شود. شیوه عملکرد این فرایند بدین شکل است که چوب و یا ضایعات کشاورزی درون کورهای با حرارت بالا (حداقل ۳۵۰درجه) در شرایطی که اکسیژن ناموجود بوده یا به مقدار فوق العاده کمی یافت می‌شود، حرارت داده می‌شود. بیوچار می‌تواند از منابع متنوعی تحت شرایط آزمایشی گوناگون (مانند پیرولیز سریع یا آهسته در دماهای مختلف) تهیه شود. علاوه بر این، مواد اولیه می‌توانند به روش‌های مختلفی پیش‌پردازش شوند تا موادی با خواص خاص سنتز شوند. به عنوان مثال، تیمار اسیدی زیست‌توده اولیه می‌تواند محتوای معدنی را کاهش دهد. تلقیح با $ZnCl_2$ یا H_3BO_3 به توسعه میکروحفره‌ها کمک می‌کند (سان و همکاران، ۲۰۱۳). خواص بیوچار بسته به نوع آن متفاوت است و ویژگی‌های این ماده تحت تأثیر عواملی مانند نوع مواد اولیه، شرایط تجزیه در اثر حرارت (دمای گرماکافت (پیرولیز) نهایی)، میزان حرارت، گرماکافت سریع یا آهسته و مدت زمان تبدیل،کنترل می‌شود. بیوچار مشتق شده از ضایعات چای دارای سطح ویژه زیاد، ساختارهای متخلخل و گروههای عاملی فراوان است و می‌تواند به عنوان جاذب زیستی و کاتالیزور و ذخیره انرژی الکتروشیمیایی استفاده شود (گئو و همکاران، ۲۰۲۱). تأثیر بیوچار به عنوان یک اصلاح کننده، وابسته به خواص یا ویژگی‌های آن است (موخرجی و لال، ۲۰۱۳). گزارش‌های متفاوت و متعددی درباره تاثیر انواع بیوچار برخصوصیات خاک وجود دارد. بیوچار، حاصلخیزی خاک را بهبود می‌بخشد و در افزایش رشد گیاه، افزایش تولید محصول و کاهش آلودگیها مؤثر است (دوم و همکاران، ۲۰۱۵) به طور کلی بیوچار برای تحقق چهار هدف اصلی مدیریت ضایعات، کاهش تغییرات اقلیمی و کاهش مصرف سوخت-های فسیلی و تولید انرژی و همچنین بهبود خصوصیات خاک تهیه می شود.

[1] Biochar



شکل ٤- شماتیک تولید بیوچار ضایعات چای (آگگول و همکاران، ۲۰۱۹**)**

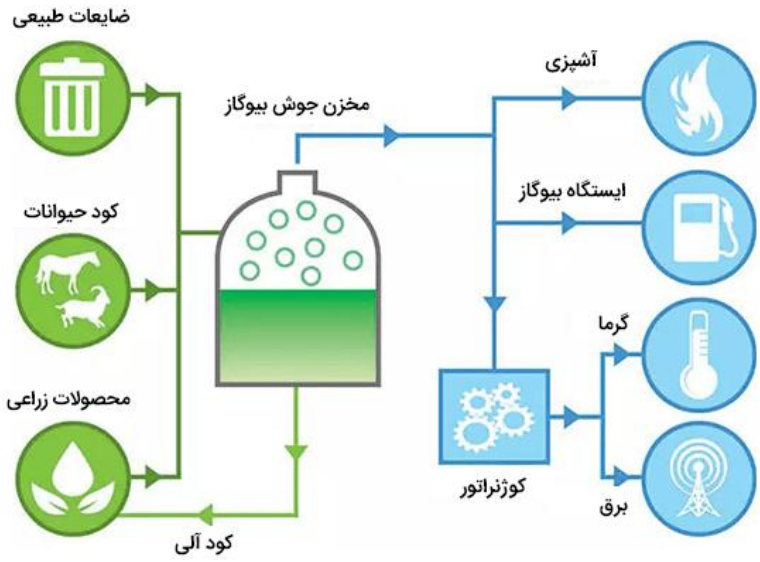
تولید بیوگاز با استفاده از ضایعات چای

رشد سریع تقاضای جهانی انرژی در قرن بیست و یکم، که در حال حاضر با سوخت‌های فسیلی سنتی مانند نفت، زغال‌سنگ و گاز طبیعی تأمین می‌شود، ممکن است در چند دهه آینده به تمام شدن این منابع انرژی منجر شود. بنابراین، استفاده از منابع طبیعی، مقرون‌به‌صرفه، پاک و تجدیدپذیر مانند ضایعات کشاورزی لیگنوسلولزی برای تولید انرژی زیستی یک راه حل جایگزین و پایدار برای مسئله انرژی در عصر حاضر است. زیست‌توده لیگنوسلولزی منابع بالقوه‌ای از قندهای قابل تخمیر هستند که می‌توانند به طور مؤثر به سوخت تبدیل شوند. در حال حاضر زیست‌توده حدود ۹/۳ درصد از منابع انرژی جهانی را تأمین می‌کند که شامل گرما، برق، سوخت‌های حمل‌ونقل می‌شود و انتظار می‌رود انرژی زیستی تا سال ۲۰۵۰ به ۳۰ تا ۵۰ درصد از تولید انرژی جهانی برسد. ضایعات چای با ارزش حرارتی خوب (۱۷/۲۳ مگاژول بر کیلوگرم) منبع بالقوه‌ای برای تولید سوخت است.

تولید بیوگاز

بیوگاز یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر است که از طریق تجزیه مواد آلی در غیاب اکسیژن تولید می‌شود. براساس تعریف اتحادیه اروپا از در سال (۲۰۰۲) بیوگاز عبارت از اجزا قابل تجزیه زیستی از محصولات، پسماندها و زائدات کشاورزی (شامل مواد گیاهی و دامی)، جنگلها و صنایع وابسته و همچنین زائدات صنعتی و شهری قابل تجزیه است. این گاز از تجزیه مواد آلی شامل کودهای حیوانی، ضایعات مواد غذایی و فاضلاب تولید می‌شود. کودها و ضایعات از طریق هضم بی هوازی (یعنی بدون حضور اکسیژن) بیوگاز می‌سازند. حدود ۵۰–۷۰ درصد از بیوگاز را متان تشکیل می‌دهد بنابراین قابل اشتعال است. از ترکیب گازهای متان، هیدروژن، مونواکسید کربن با اکسیژن، سوخت تولید می‌شود. زیرا هوا حاوی ۲۱٪ اکسیژن است و آزادسازی انرژی در بیوگاز به عنوان سوخت استفاده می‌شود. بیوگاز باصرفه‌ترین سوخت تجدیدپذیر است که در بسیاری از کشورها به کار می‌رود. از آن برای پخت و پز، سرمایش و گرمایش، تولید برق، متانول و بخار، مدیریت زباله، تولید نیروی مکانیکی استفاده می‌کنند (شکل۵). ضایعات چای می‌تواند به عنوان ماده اولیه برای تولید بیوگاز مورد استفاده قرار گیرد. بیوگاز یک منبع سوخت تجدیدپذیر است که از طریق هضم بی‌هوازی مواد اولیه مختلف کشاورزی، صنعتی و شهری تولید می‌شود. هضم بی‌هوازی ممکن است شامل یک ماده اولیه واحد یا ترکیبی از دو یا چند ماده اولیه باشد تا ویژگی‌های مطلوب بیوگاز به دست آید. هضم مشترک ضایعات چای مصرف‌شده با کود گاوی در راکتور هضم بی‌هوازی، بیوگازی با محتوای متان تا ۷۰درصد و با محتوای انرژی و ارزش

حرارتی بالا به ترتیب ۵/۷-۵/۱کیلووات بر متر مکعب و ۲۶/۴ مگاژول بر کیلوگرم تولید می‌کند (خایوم و همکاران، ۲۰۱۸). تاناراسو و همکاران (۲۰۱۸)، پودر ضایعات چای با ضایعات آلی غنی از کربن در راکتور بی‌هوازی مخلوط نمودند و گزارش کردند که تولید متان به میزان چهار برابر بیشتر از هضم بی‌هوازی ضایعات آلی به تنهایی افزایش می‌یابد. محتوای نیتروژن بالای پودر ضایعات چای به طور قابل توجهی بازده بیومتان را افزایش می‌دهد. یکی از محدودیت‌های بیوگاز محتوای بالای دی اکسید کربن است که می‌تواند به طور قابل توجهی ارزش حرارتی بیوگاز را کاهش دهد. بنابراین، حذف دی اکسیدکربن از بیوگاز برای کاربردهای ارزش‌افزوده ضروری است. در این راستا، راتانافان و همکاران اثربخشی کربن فعال تهیه شده از ضایعات چای را برای بهبود بیوگاز تولید شده از طریق حذف دی اکسیدکربن بررسی کردند.



شکل ۵- شماتیک تولید بیوگاز ضایعات

تولید خوراک دام از ضایعات چای

با افزایش مشکلات بین کمبود مواد غذایی و رشد جمعیت جهان، آگاهی از استفاده از محصولات جانبی کشاورزی به‌عنوان خوراک دام افزایش یافته است. در حال حاضر حدود ۲۶ هزار هکتار باغ چای در استان‌های شمالی کشور زیر کشت چای قرار دارند. گزارش شده است که هرساله، مقادیر زیادی ضایعات چای ازکارخانه‌های فعال در تولید چای خشک تولید شده که اغلب غیر قابل استفاده باقیمانده و یا دور ریخته می‌شوند و تنها مقدار کمی در صنعت پرورش قارچ، تهیه کمپوست و تصفیه فاضلابهای صنعتی استفاده می‌شود. ترکیبات فعال در چای مانند پلی‌فنول‌های چای (کاتچین)، پروتئین‌ها، تیانین به وفور یافت می‌شود. امروزه بقایای چای پس استخراج حاوی برخی از پروتئین‌های نامحلول، مواد معدنی و فنلی می‌باشد، که کاربرد بالقوه برای خوراک دام دارند (رمدانی و همکاران، ۲۰۱۳). برگ‌ها افزودنی‌های خوبی برای پروتئین، فیبر، متابولیت‌های ثانویه و مواد معدنی برای جیره نشخوارکنندگان می‌باشد. توانایی نشخوارکنندگان در تبدیل مواد آلی غیرقابل استفاده به مواد غذایی مورد نیاز و مطلوب برای بشر از طریق همزیستی با میکروارگانیسم‌های شکمبه و تخمیر میکروبی دارای اهمیت است. ضایعات برگ چای یکی از این محصولات فرعی صنایع کشاورزی است که می‌توان از آن به عنوان یک ماده خشبی و پروتئینی درتغذیه دام استفاده نمود. اخیراً گزارش‌های زیادی در مورد ضایعات چای به عنوان خوراک حیوانات منتشر شده است. ضایعات چای از نظرترکیبات فنولی همچون تانن بسیار غنی هستند. در نشخوارکنندگان تانن‌ها ممکن است میزان پروتئین عبوری از شکمبه و نیتروژن غیرآمونیاکی را افزایش داده و موجب افزایش جذب آنها در روده کوچک گردند. این محققین همچنین گزارش کردند تانن‌ها دارای توانایی کاهش تولید گاز متان در

شکمبه نیز می‌باشند. این کاهش دفع متان می‌تواند به‌واسطه دفع ترکیبات پرانرژی از بدن، موجب بهبود بازدهی خوراک گردد. ناصحی و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر سطوح مختلف ضایعات چای سبز برای جیره برههای پرواری را بررسی نمودند و دریافتند که افزودن ضایعات چای سبز در سطح ۲ درصد ماده خشک در غذای دام موجب بهبود قابلیت هضم و تعادل نیتروژن و در نهایت بهبود عملکرد در برههای پرواری نژاد شال شد. هم چنین، قابلیت هضم و احتباس نیتروژن به طور معنی‌داری افزایش یافت و علاوه بر این، انتشار متان کاهش یافته است که احتمالا به ساپونین‌ها و ترکیبات فنلی موجود در چای سبز نسبت داده می‌شود. کوندو و همکاران، (۲۰۰۴) گزارش نمودند که افزودن ضایعات چای سبز در سیلو تخمیر باکتری‌های اسید لاکتیک را در مدت سیلو کردن افزایش داد. گزارش شده است که با افزودن بقایای چای سبز به سیلو جو دوسر، ویژگی‌های تخمیر بهبود یافته و قابلیت هضم پروتئین افزایش می‌یابد. علاوه بر این مطالعات، تحقیقات متعددی از تاثیرعصاره‌های زیست فعال چای به عنوان مکمل‌های غذایی بر کیفیت گوشت حیوانات گزارش شده است (ژونگ و همکاران، ۲۰۰۹).

پیام ترویجی

ضایعات چای، محصول جانبی فرآیند تولید و مصرف چای است که شامل برگ‌ها و ساقه‌های استفاده نشده و مواد باقی‌مانده از فرآیند تولید چای می‌باشد. این ضایعات دارای ترکیبات متنوع و ارزشمندی هستند که در صنایع مختلف کاربرد دارند. کافئین موجود در ضایعات چای، در صنایع دارویی و تولید مکمل‌های غذایی به کار می‌رود. پروتئین می‌تواند به‌صورت یک ماده افزودنی سودمند به غذای حیوانات و ماکیان مورد استفاده قرار گیرد. همچنین ضایعات در تولید سوخت‌های سنتزی و سایر محصولات با ارزش افزوده بالا کاربرد دارند، که به پایداری و حفظ محیط زیست کمک می‌کند.

منابع منتخب

۱. شکرانی قشلاق، ن.، پایا،ح.، تقی زاده،ا.، و محمدزاده،ح. (۱۴۰۰). تعیین ارزش تغذیه ای ضایعات چای سبز و سیاه در تغذیه نشخوارکنندگان با استفاده از روش آزمایشگاهی تولید گاز. فصلنامه محیط زیست جانوری, ۱۲(۲), ۵۳-۶۰

2. Abdeltaif, S. A., SirElkhatim, K. A., & Hassan, A. B. (2018). Estimation of phenolic and flavonoid compounds and antioxidant activity of spent coffee and black tea (processing) waste for potential recovery and reuse in Sudan. *Recycling*, *3*(2), 27.
3. Akgül, G., Iglesias, D., Ocon, P., & Moreno Jiménez, E. (2019). Valorization of tea-waste biochar for energy storage. *BioEnergy Research*, *12*, 1012-1020.
4. Barathi, M., Kumar, A. S. K., Kodali, J., Mittal, S., Samhith, G. D., & Rajesh, N. (2017). Probing the Interaction between Fluoride and the Polysaccharides in Al (III)-and Zr (IV)-Modified Tea Waste by Using Diverse Analytical Characterization Techniques. *ChemistrySelect*, *2*(31), 10123-10135.
5. Debnath, B., Haldar, D., & Purkait, M. K. (2021). Potential and sustainable utilization of tea waste: A review on present status and future trends. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *9*(5), 106179.
6. Haldar, D., & Purkait, M. K. (2020). Thermochemical pretreatment enhanced bioconversion of elephant grass (Pennisetum purpureum): insight on the production of sugars and lignin. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-14.
7. Khayum, N., Anbarasu, S., & Murugan, S. (2018). Biogas potential from spent tea waste: A laboratory scale investigation of co-digestion with cow manure. *Energy*, *165*, 760-768.
8. Miao, S., Wei, Y., Chen, J., & Wei, X. (2023). Extraction methods, physiological activities and high value applications of tea residue and its active components: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(33), 12150-12168.
9. Selahvarzi, A., Sanjabi, M. R., Ramezan, Y., Mirsaeedghazi, H., Azarikia, F., & Abedinia, A. (2021). Evaluation of physicochemical, functional, and antimicrobial properties of a functional

energy drink produced from agricultural wastes of melon seed powder and tea stalk caffeine. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(9), e15726.

10. Serdar, G., Demir, E., & Sökmen, M. (2017). Recycling of tea waste: Simple and effective separation of caffeine and catechins by microwave assisted extraction (MAE). *International Journal of Secondary Metabolite*, *4*(2), 78-89.
11. Shang, A., Li, J., Zhou, D. D., Gan, R. Y., & Li, H. B. (2021). Molecular mechanisms underlying health benefits of tea compounds. *Free Radical Biology and Medicine*, *172*, 181-200.
12. Silva, F. M. R., Magalhaes, F. E. A., Batista, F. L. A., da Silva, L. M. R., Ricardo, N. M. P. S., de Sousa Sabino, L. B., & de Figueiredo, R. W. (2023). Microencapsulation of green tea (Camellia sinensis) phenolic extract: Physical-chemical characterization, antimicrobial and toxicological properties. *Food Chemistry Advances*, *3*, 100360.
13. Singla, R. K., Dubey, A. K., Garg, A., Sharma, R. K., Fiorino, M., Ameen, S. M., ... & Al-Hiary, M. (2019). Natural polyphenols: Chemical classification, definition of classes, subcategories, and structures. *Journal of AOAC International*, *102*(5), 1397-1400.
14. Soobhany, N. (2019). Insight into the recovery of nutrients from organic solid waste through biochemical conversion processes for fertilizer production: A review. *Journal of Cleaner Production*, *241*, 118413.
15. Thanarasu, A., Periyasamy, K., Devaraj, K., Periyaraman, P., Palaniyandi, S., & Subramanian, S. (2018). Tea powder waste as a potential co-substrate for enhancing the methane production in anaerobic digestion of carbon-rich organic waste. *Journal of Cleaner Production*, *199*, 651-658.