بیوتکنولوژی (زیست‌فناوری) محیط زیست

Environmental Biotechnology

مولف: مهدیه شکراللهی باروق

دکترای تخصصی رشته ایمونولوژی از دانشگاه علوم پزشکی ایران

فهرست مطالب

مقدمه ۶

بخش اول: الفبای اولیه زیست فناوری در محیط زیست ۸

۱-۱)مبانی اصلی زیست فناوری محیط زیست ۸

۱-۲)نقش بیوتکنولوژی در ایجاد تغییرات هوا، خاک و آب ۹

هوا ۱۰

آب ۱۵

آلودگی منابع آبی: ۱۶

خاک ۲۱

آلودگی های منابع خاکی: ۲۲

۱-۳) بازیافت انرژی و بیوتکنولوژی ۲۶

بخش دوم: توسعه کاربردهای زیست فناوری در محیط زیست- مدیریت پسماندها ۲۹

مقدمه ۲۹

۲-۱)حوزه های فعالیت زیستفناوری محیطی ۳۴

۲-۲)مقایسه تصفیه های زیست فناورانه با سایر روشها ۳۴

تصفیه هوازی ضایعات ۳۶

تصفیه هوازی ضایعات جامد ۳۸

تصفیه هوازی ضایعات مایع ۴۵

انواع تصفیه ضایعات گازی: ۴۸

تصفیه هوازی ضایعات گازی ۴۹

تصفیه بی هوازی ضایعات ۵۱

تصفیه ضایعات حاوی فلزات سنگین ۵۵

بهبود تصفیه های زیستفناورانه ضایعات ۵۸

۲-۳)حسگرهای زیستی ۷۰

بخش سوم: میکرواورگانیسم های تراریخته و محیط زیست ۷۸

مقدمه: ۷۸

۳-۱)تکنیک های مورد استفاده در تولید GMO: ۷۹
برچسب گذاری مواد غذایی GMO ۸۵
انگیزه اقتصادی ۸۶
سمیت GMO ۸۷
۳-۲)مزایا و مخاطرات احتمالی مصرف فرآورده های تراریخته ۸۹
مقاومت آنتی بیوتیکی در انسان ۹۰
علف های هرز مقاوم در برابر GMO ۹۰
افزایش نرخ سرطان ۹۱
۳-۳)انواع روش های شناسایی فرآورده های GMO ۹۱
آینده GMO ۹۲
ملاحظات بهداشتی ۹۳
بخش چهارم: انرژی سبز و بیوتکنولوژی ۹۶
مقدمه: ۹۶
۴-۱)زیست توده لیگنوسلولیک (LB) برای تولید بیواتانول ۱۰۱
پیش تصفیه فیزیکی ۱۰۳
پیش تصفیه شیمیایی ۱۰۳
پیش تصفیه بیولوژیک ۱۰۴
ساکارفیکاسیون (جداسازی واحدهای قندی) آنزیمی زیست توده لیگنوسلولوز پیش تصفیه شده ۱۰۵
تخمیر اتانول ۱۰۶
۴-۲)بیوهیدروژن به عنوان سوخت زیستی ۱۰۸
۴-۳)زیست توده ها منابعی برای تولید پروبیوتیک ها ۱۱۰
۴-۴)نقش زیست توده ها در تولید صنعتی آنزیم ها ۱۱۴
زیست توده لیگنو سلولزی برای تولید آنزیم های صنعتی ۱۱۵
تولید میکروبی سلولازها و هیدرولیز آنزیمی بسترهای پیش تیمار شده ۱۱۷
استراتژی های مورد استفاده برای بهبود تولید آنزیم قارچی ۱۱۹

فهرست اشکال

شکل شماره۱. هوا و جو ریه های زمین هستند ۱۰

شکل شماره۲. آلودگی هوا مهمترین مشکل محیط زیست در دنیاست ۱۲

شکل شماره۳. ریزگردها سلامت انسان ها را تهدید می کنند ۱۳

شکل شماره ۴. چرخه آب ۱۵

شکل شماره ۵. آلودگی منابع آبی ۱۶

شکل شماره۶. برداشت فلزات سنگین از خاک توسط گیاهان مهندسی شده ۲۰

شکل شماره۷. آلودگی خاک با پسماندها ۲۲

شکل شماره۸. بازیافت زباله و تولید انرژی سبز ۲۳

شکل شماره۹. آلودگی رادیواکتیو منابع آبی و خاکی ۲۵

شکل شماره ۱۰. منابع زیست توده و زیست سوخت ۲۷

شکل شماره ۱۱. انواع روش های زیست تصفیه ۳۱

شکل شماره ۱۲. زنوبیوتیک ها شامل ترکیبات غذایی، مواد شیمیایی صنعتی و مواد دارویی در عبور از روده تغیر می یابند. ۳۷

شکل شماره ۱۳. کمپوست سازی و تصفیه خاک به روش بادگیری یا پشته سازی ۳۹

شکل شماره ۱۴. تصفیه هوازی خاک به روش سیستم ستون ثابت ۴۰

شکل شماره ۱۵. کمپوست سازی درون لوله ای ۴۱

شکل شماره ۱۶. تصفیه هوازی مایعات در زیر خاک ۴۶

شکل شماره ۱۷. تصفیه هوازی ضایعات گازی با استفاده از بیواسکرابر ۴۹

شکل شماره ۱۸. سیر فرآیند های شیمیایی از تخمیر تا تنفس هوازی ۵۰

شکل شماره ۱۹. سیستم های تجزیه کننده دو گانه و تولید بیوگاز ۵۴

شکل شماره ۲۰. تصفیه آلودگی با فلزات سنگین توسط باکتری ها ۵۷

شکل شماره ۲۱. بررسی محتوای محیط کشت باکتری با استفاده از بیوحسگرها ۷۰

شکل شماره ۲۲. انواعی از بیوحسگرهای لومینسانسی ۷۳

شکل شماره ۲۳. نحوه تغییر ژنتیکی در DNA ۷۹

شکل شماره ۲۴. انواع محصولات تراریخته ۸۰

شکل شماره ۲۵. انواع روش های انتقال ژن به گیاهان ۸۱

شکل شماره ۲۶. چرخه تولید گیاه ترانسژنیک با استفاده از آگروباکتریوم ۸۲

شکل شماره ۲۷. محتوای شماتیک توالی ترانسژن ۸۳

شکل شماره ۲۸. مراحل ایجاد یک اورگانیسم تراریخته ۸۴
شکل شماره ۲۹. ترکیبات زیست توده لیگنوسلولوزیک ۹۸
شکل شماره ۳۰. مراحل تولید بیواتانول ۱۰۷
شکل شماره ۳۱. تولید بیوهیدروژن از جلبک ۱۰۸
شکل شماره ۳۲. ضایعات کشاورزی و پردازش XOS ۱۱۳

مقدمه

محیط زیست بزرگترین سرمایه بشر برای زندگی است که در صد سال اخیر به خاطر فعالیت های صنعتی، کشاورزی، افزایش جمعیت انفجاری، آسیب بسیاری دیده است. حفاظت از محیط زیست در برابر فعالیت های صنعتی و افزایش جمعیت انسانی یکی از بزرگترین ماموریت های بشری است که زندگی سالم و پایدار نسل های بعدی را تضمین می کند. این کتاب بر پایه گردآوری مطالب ساده و تخصصی در حوزه زیست فناوری و اجزای محیط زیست متمرکز شده است. جستجوهای میدانی و مطالعه منابع خارجی نشان داد که هیچ فناوری ویژه و تخصصی ای برای تبیین زیست فناوری زیست محیط وجود ندارد؛ در واقع، زیست فناوری محیط زیست شامل تمام زمینه های زیست فناوری می شود البته در این حوزه مطالب علمی مشترک زیادی با زیست فناوری صنعتی، غذایی، کشاورزی و میکروبی مطرح می شود.

بخش اول مطالب در این کتاب مربوط به الفبای زیست فناوری و محیط زیست و ایجاد ارتباط بین این دو بخش است که به زبانی بسیار روان، ویژه دانش آموزان تدوین شده است.

بخش دوم مدیریت پسماند هاست که درباره حوزه زیست فناوری صنعتی و میکروبی و کاربرد آن در بهبود تصفیه آلاینده ها در محیط زیست پرداخته شده است. این بخش شامل انواع تخصص های حرفه ای در حوزه زیست فناوری میکروبی، گیاهی و صنعتی است که مباحث عمده ای در زمینه ضایعات آبی-خاکی و گازی را پوشش می دهد.

بخش سوم مربوط به موجودات تراریخته و تاثیر آن ها در محیط زیست و نحوه مدیریت آن ها با روش های زیست فناوری معطوف شده است. در این بخش نیز از روش ها و مبانی موجود در زیست فناوری گیاهی، غذایی و صنعتی استفاده شده است تا تاثیرات نامطلوب این جانداران در تغییر الگوی آلودگی های بیولوژیک مانند آفت ها و مقاومت به علف کش ها مدیریت شود. بدیهی است مطالعه الگوی زندگی موجودات تراریخته به عنوان یک مداخله انسانی

در ایجاد جانداران جدید مساله ای است که علاوه بر ابعاد زیست فناورانه آن باید از نظر اکولوژیک نیز مورد بررسی قرار گیرد.

بخش چهارم مربوط به انرژی سبز است که به عنوان سوخت آینده جهان مطرح شده است و به عنوان جایگزین سوخت های فسیلی تعریف می شود. در این بخش از مبانی و فناوری های مورد استفاده در زیست فناوری صنعتی و گیاهی بیشتر صحبت شده است.

بطور کلی کتاب زیست فناوری محیط زیست تلفیقی از انواع روش ها و فناوری های حوزه های مختلف زیست فناوری است که با هدف بهبود شرایط زیست محیطی گردآوری شده است. امیدواریم دانش آموزان عزیز با مطالعه آن بتوانند حداقل مفاهیم مرتبط را در بخش نخست و در ادامه مطالب تخصصی را آموزش ببینند.

بخش اول: الفبای اولیه زیست فناوری در محیط زیست

۱-۱)مبانی اصلی زیست فناوری محیط زیست

بیوتکنولوژی یا زیست فناوری محیط زیست شاخه ای از رشته زیست فناوری است که در آن می توان با استفاده از تکنولوژی‌ها یا فناوری های زیستی روی تغییرات محیط زیست تاثیر گذاشت. همانطور که از نام زیست فناوری می‌توان فهمید این شاخه روی کاربرد مفاهیم زیست شناسی در ایجاد تکنولوژی و فناوری اشاره دارد یعنی چگونه می توان با استفاده از دانش زیست شناسی فناوری هایی را ایجاد کرد که بتوان با آن ها روی تغییرات محیط زیست تاثیر گذاشت. وقتی صحبت از محیط زیست می‌شود حفظ منابع و حذف آلودگی ها دو موضوع مهمی هستند که مشکلات و پرسش های زیادی درباره آن ها مطرح می شود که بسیاری از این پرسش ها و مشکلات گاهی لاینحل باقی می مانند. استفاده از مزیت های فناوری های زیستی در بهبود استفاده و بازیابی منابع طبیعی و نیز کاهش آلودگی های زیست محیطی دو زیرشاخه بسیار مهم در مطالعات زیست فناوری محیط زیست است. در مطالعات زیست فناوری باید به تمام شاخه های زیست فناوری اشاره کرد و این مطالب می توانند در مورد تمام قسمت های علوم زیستی باشند؛ مواردی مانند کاربرد باکتری ها، گیاهان، قارچ ها آغازیان و گونه های مستعد حیات در شرایط نامساعد همگی می توانند باعث خلق ایده های بسیار هیجان انگیزی درباره تولید فناوری و گسترش یک تکنولوژی جدید شوند. در مطالعات محیط زیست نیز باید سه جزء اصلی محیط زیست که شامل منابع خاکی، آبی و هوایی می باشد در نظر گرفته شود چون ممکن

است به عنوان مثال استراتژی های زیست فناورانه موثر در بهبود زیست محیطی یک فضای آبی، برای یک فضای خاکی مناسب نباشد.

این شاخه از زیست فناوری همانند سایر شاخه های بیوتکنولوژی به ارتباط بین ماده ژنتیک جانداران و تاثیراتشان در محیط زیست نیز اشاره می کند. این مهم است که بفهمیم چه جانداری چرا برای یک محیط زیست مناسب و برای جای دیگر مضر است. گیاهان و جاندارن چه سازگاری هایی برای زندگی در نواحی سخت مانند بیابان ها، استپ ها و نواحی یخبندان به دست می آورند؟ آیا می توان با استفاده از مهندسی ژنتیک جانداران جدیدی ایجاد کرد که روی محیط زیست های نامرغوب تاثیرات مطلوبی بگذارند؟ آیا همه مواد شیمیایی که در دنیا ساخته می شوند ممکن است تجزیه شوند؟ جانداران در مورد تصفیه آب، خاک و هوا چه قدر می توانند تاثیر گذار باشند؟ این ها سوالات اساسی هستند که زیست فناوری محیط زیست باید بتواند به بخشی از آن ها پاسخ دهد.

۱-۲) نقش بیوتکنولوژی در ایجاد تغییرات هوا، خاک و آب

تغییرات زیست محیطی در منابع طبیعی یکی از مهمترین چالش های دنیای امروز است. رشد سریع جمعیت انسانی و توسعه کلان شهرها و افزایش شهرک های صنعتی، کارخانه ها و افزایش شهرها در کنار توسعه و رشد دنیای مدرن برای انسان ها، کره زمین را با دردسرهای بزرگی مواجه می کند که در نهایت روی کیفیت زندگی انسان ها تاثیر می گذارد. افزایش دمای زمین با تاثیر روی یخچال های قطب های زمین می تواند منجر به

تغییرات غیرقابل بازگشت در سرتاسر جهان شود. کشاورزی بی رویه و فرسایش خاک و سدسازی های مداوم روی رفتار طبیعی آبراه ها و ایجاد مراتع طبیعی تاثیر می گذارد به نوعی که این تغییرات در نهایت باعث افزایش محدودیت زندگی انسان روی کره زمین خواهد شد. با توجه به اهمیت توجه به تغییرات هوا، خاک و آب باید به دنبال راه حل هایی بود که در آن هم فکری به آلودگی های منابع طبیعی کرد و هم در مورد بازیابی منابعی که مدام در حال استفاده هستند فکری اندیشید. در کنار تمام تکنولوژی ها و فناوری هایی که روی بهبود وضعیت منابع طبیعی آسیب دیده از فعالیت های انسانی کار می کنند زیست فناوری نیز یکی از شاخه های علمی بسیار جدید است که راهکارهای ساده و گاهی کم هزینه برای بهبود وضعیت منابع طبیعی ارائه می کند.

هوا

جو یا هوا-کره ای که در اطراف کره زمین قرار دارد نه تنها به تنفس و اکسیژن رسانی به موجودات کمک می کند، بلکه همه موجودات را در برابر اشعه های زیان بار خورشید حفاظت می کند. اگر جو یا هوا کره وجود نداشته باشد تعادل گرمایی به هم می خورد. از طرفی انتقال صوت بدون وجود هوا امکانپذیر نیست. هوایی که در اطراف ماست، در حقیقت گازی است که شامل اکسیژن، هیدروژن، نیتروژن، بخار آب و گاز آمونیاک می شود. که به طور دسته بندی شده ۷۸ % هوا را ازت تشکیل می دهد، ۲۱ % آن را اکسیژن و ۱ % باقیمانده مخلوطی از سایر گازهاست. هوا برای تمام جانداران کره زمین نقش حیاتی دارد. نسبت این گازها در جو زمین بسیار مهم است و در صورت

تغییر این نسبت ها حتی بصورت جزئی اتفاقات بزرگی در ادامه رخ می دهد. با وجود اینکه درصد گاز دی اکسید کربن در مقایسه با ازت و اکسیژن کمتر است ولی این روزها افزایش میزان آن در جو باعث گرم شدن کره زمین می شود. افزایش دی اکسید کربن و بخار آب به عنوان مهمترین گازهای گلخانه ای، جهان را با چالش بسیار بزرگی رو در رو می کند. این گازها در اثر افزایش فعالیت صنعتی انسان ها در زمین افزایش پیدا کرده اند. بررسی های سازمان بهداشت جهانی و سازمان های جهانی محیط زیست در سراسر دنیا نشان می دهد که علاوه بر دی اکسید کربن برخی از آلاینده های گازی در هوا منتشر می شوند که برای سلامتی انسان و همه گونه های جانوری مضر هستند.

شکل شماره۱. هوا و جو ریه های زمین هستند

آلودگی هوا چالش بسیار مهمی در آینده زندگی انسان است که باید برای رفع و کاهش پیامدهای آن برنامه ریزی و اقدامات طولانی مدت انجام داد.

آلودگی هوا به چند بخش تقسیم می شود:

آلودگی های شهری: این اتفاق در اثر استفاده بیش از اندازه از وسیله های نقلیه رخ می دهد و بیشترین میزان آلودگی به خاطر گازهای گلخانه ای است که از سوخت موتور ماشین ها در هوا آزاد می شود. این پدیده در فصل زمستان به علت وارونگی هوا شدید شده و حتی به مرز شرایط پرخطر و ناسالم نیز می رسد.

آلودگی های صنعتی: این مساله در اثر ورود گازهای آلاینده، و گازهای گلخانه ای از سوخت کارخانجات پتروشیمی، و سایر کارخانجات فرآوری کننده مواد شیمیایی رخ می دهد. این آلودگی ها اگر در نزدیکی منابع آبی باشند باعث تغییر ماهیت آب شده و جانوران زیادی را از بین می برند. در برخی از کشور ها امروزه از بعضی فیلتر های بیولوژی استفاده می شود که جهت تصفیه مواد آلوده کننده در خروجی هوا به کار گرفته می شوند. اساس عملکرد بسیاری از این فیلتر ها یکی از مهمترین زیرشاخه های بیوتکنولوژی است.

شکل شماره۲. آلودگی هوا مهمترین مشکل محیط زیست در دنیاست

ریزگردها: ذراتی در حد میکرون و حتی ریزتر که منشا ایجاد آن ها هم می تواند طبیعی باشد و هم مصنوعی. یکی از این چالش ها، ریزگردهای استان های خوزستان و سیستان و بلوچستان است که هر ساله مدت زیادی مردم این مناطق را تحت تاثیر قرار می دهد. در برخی از کشور های دنیا برای کاهش ریزگرد های طبیعی در دشت های کویری و لایروب های رودخانه ها، از پوشش های گیاهان مهندسی ژنتیک شده استفاده می کنند که توانایی رشد

و تکثیر در خاک های خاص که شورتر بوده و یا استقامت خوبی ندارند را دارا هستند. این نیز یکی از کابردهای بیوتکنولوژی در بهبود شرایط زیست محیطی است.

شکل شماره۳. ریزگردها سلامت انسان ها را تهدید می کنند

بیوتکنولوژی می تواند در زمینه های دیگری نیز در کنترل آلودگی هوا نقش بسیار مهمی داشته باشد. به عنوان مثال در مناطقی که گازهای دی اکسید گوگرد به مقادیر فراوان باعث آلودگی هوا شده است می توان با ایجاد فضایی برای رشد برخی باکتری های مهندسی ژنتیک شده از این گاز استفاده کرده و در ادامه اکسیژن تولید کرد.

این فرآیند ها همه در مراحل آزمایشگاهی موفق بوده اند ولی آزمودن آن ها در محیط واقعی دشوار و هزینه بر است. استفاده از برخی گونه های گیاهی که می توانند اتم ها و مولکول های رادیو اکتیو را جذب کرده و به خاک انتقال دهند می تواند در کاهش آلودگی هوا موثر باشد. حالا اگر منابع تغذیه این گونه گیاه ها از منابع خاکی و آبی جدا باشد می توان بطور کامل این گونه آلودگی ها را مهار کرد.

آب

مهمترین مایع کره زمین آب است که تمام جانداران برای رشد و زندگی به آن نیاز دارند. بدون آب هیچ حیاتی نمی تواند شکل بگیرد. اهمیت آب آنقدر زیاد است که ستاره شناسان و دانشمندان علم نجوم زمانی که به دنبال سیاره قابل زیست در کهکشان ها می گردند برایشان خیلی مهم است که سیگنالی از وجود آب در آن سیاره کشف کنند.

آب در یک چرخه مداوم در حال تولید و مصرف است. آب ماده ای است که در سه شکل مایع، گاز و جامد در زمین وجود دارد. یخچال های موجود در قطب های کره زمین فرم جامد آن است و بخار آب فرم گازی شکل آب می باشد. در چرخه آب مولکول های آب از یک شکل به شکل دیگر تبدیل می شوند. یخ های یخچال های کوهستانی در اثر حرارت نور خورشید ذوب می شوند و وارد آب های سطحی می شوند. آب های سطحی به آب های دریاها و اقیانوس ها می پیوندند و آب اقیانوس ها از سطح دریا تبخیر می شود و بخار آب در برخورد به هوای سرد کوهستان به صورت برف مجددا به یخ تبدیل می شود (شکل شماره۴)

شکل شماره ۴. چرخه آب

منابع آبی سه دسته هستند: منابع آب های زیرزمینی، منابع آب های سطحی که شامل رودخانه ها و دریاها هستند و منابع آب های سیار که همان ابرهای باران زا هستند.

آب های موجود در کره زمین از نظ میزان املاح نمکی ای که دارا هستند به دو دسته آب های شور (دریاها و اقیانوس ها) و آب های شیرین (آب های رودخانه ها) طبقه بندی می شوند. آب های شیرین آب های قابل شربی هستند که حیات همه جانداران در نواحی خشکی به آن وابسته است.

آلودگی منابع آبی:

آلودگی منابع آبی هم در آب های شیرین دیده می شود و هم در آب های شور. این آلودگی می تواند در اثر عوامل زیادی رخ دهد ولی بیشترین علت این آلودگی ها، زندگی صنعتی انسان هاست. انسان ها منابع جاری و رودخانه‌ها را با ریختن پساب ها و فاضلاب ها در محیط زیست به خصوص در بستر رودخانه ها آلوده می کنند. آلودگی با شوینده ها، محیط داخل رودخانه ها و برکه ها را تغییر می دهد. این ممکن است باعث رشد برخی گونه های مقاوم به شوینده ها شود و از رشد و پرورش گونه های ماهی ها، قورباغه ها و حتی حشرات مفید یک اکوسیستم (زیست بوم[1]) جلوگیری کند.

[1] Ecosystem

شکل شماره ۵. آلودگی منابع آبی

انواع آلودگی های منابع آبی عبارتند از:

آلودگی شهری: این آلودگی ها شامل پساب ها و فاضلاب های شهری ایجاد شده در خانوارهای شهرنشین و اماکن عمومی است. پساب ها با وجود اینکه ممکن است حاوی مواد شوینده باشند، ولی در بسیاری از موارد منابع غنی تغذیه ای برای رشد گیاهان محسوب می‌شوند. ورود این پساب‌ها به روان‌آب‌ها و آب‌های زیرزمینی موجب رشد بیش از حد جلبک ها و علف های هرز در آب می شود. این امر موجب آلودگی و کاهش کیفیت آب آشامیدنی می شود و کار فیلترهای تصفیه را نیز مختل می کند. همچنین رشد بیش از حد جلبک و علف، اکسیژن موجود در خاک و آب را کاهش داده و باعث مرگ میکروارگانیسم های مفید در آب می‌شود.

تقریباً تمام منابع آبی دارای میکروارگانسیم ها می باشند. این میکروارگانیسم ها به دو دسته‌ی هوازی و بی هوازی تقسیم می شوند. مواد زیست تخریب پذیر به اجزای سازنده مواد آلی تجزیه می شوند که می تواند به عنوان منبع غذایی جانداران دیگر به کار گرفته شود؛ با ورود بیش از حد مواد زیست تخریب پذیر (موادی که به سادگی تجزیه می شوند) به آب، رشد میکروارگانیسم ها افزایش یافته و به دنبال آن اکسیژن بیشتری نیز مصرف خواهد شد. با اتمام اکسیژن موجود در آب، میکروارگانیسم های هوازی می میرند و میکروارگانیسم های بی هوازی شروع به تکثیر می کنند. این امر موجب تولید سموم مضر مانند آمونیاک و سولفیدها شده و آب را آلوده می نمایند.

آلودگی صنعتی: این نوع آلودگی به علت ورود ضایعات مجتمع های صنعتی در اطراف شهرها و شهرک های صنعتی به منابع آبی جاری و آب های زیرزمینی ایجاد می شود. این آلودگی ها از طریق ورود فاضلاب و پساب های ضایعات صنعتی ناشی از فعالیت انواع مجتمع های کارخانه ای ایجاد می شود و کیفیت آب را تحت تاثیر قرار می دهد. آلودگی صنعتی هم باعث تغییرات شیمیایی و ورود پساب های سمی به ذخایر آبی می شود که در ادامه جمعیت آبزیان را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد هم با ایجاد تغییرات شدید در pH منابع آبی استعداد رشد و یا عدم رشد برخی گونه های گیاهی را تغییر می دهد، بطوریکه یک گونه خاص از خزه یا جلبک که گونه غالب یک زیست بوم نیست، ممکن است به علت تغییر ماهیت آب ناشی از آلودگی های صنعتی در آن زیست بوم جایگزین گونه های وحشی مقیم گردد و در ادامه چرخه محیط زیست را تحت تاثیر قرار دهد. جمعیت ماهی ها به علت تغییرات ماهیت آب و عدم توانایی تخم ریزی و یا طول عمر کم بچه ماهی ها به شدت کاهش می یابد و در ادامه چرخه زیستی آن زیست بوم بهم ریخته و یا نابود می شود. درصد نیترات، گوگرد، مشتقات آرسنیک، مواد رادیواکتیو و شوینده ها سطوح متفاوتی از آلودگی صنعتی را ایجاد می کند. شاید کم خطر ترین آلاینده های صنعتی بخار آب و دی اکسید کربن (گازهای گلخانه ای) باشد. این مواد به ظاهر بی خطر هستند ولی نقش بسیار بسیار مهمی در گرمایش زمین و افزایش میانگین دمای جو زمین دارند که در نهایت به تخریب بسیاری از زیست بوم ها به خصوص آب شدن یخچال های طبیعی قطبی و بروز سیل و تند باد می شوند.

آلودگی کشاورزی: انواع روش های کشاورزی می تواند در کیفیت و کمیت منابع آبی تاثیر گذار باشد. امروزه استفاده از برخی از سموم در کشاورزی با احتیاط توصیه می شود. دستورالعمل سم پاشی در باغداری و کشاورزی بر اساس

وضعیت بارندگی، نزدیکی رودخانه ها و جریان های آب سطحی، قنات ها و منابع آب زیرزمینی مدیریت می شود. نفوذ برخی از سموم به منابع آب های زیرزمینی می تواند در زیست بوم آبی و جمعیت جانداران آبزی رودخانه های پایین دست خطرزا باشد. علاوه بر سم پاشی استفاده از کودهای شیمیایی نیز با ملاحظاتی انجام می شود. مطالعات نشان داده است استفاده از برخی از کودهای نیتراته می تواند باعث غالب شدن برخی از جلبک ها و خزه ها در دریاچه ها و جریان های سطحی اطراف مزارعی شود که با این کودها تغذیه می شوند. این آلودگی ها می تواند علاوه بر تاثیر روی کیفیت آب و جمعیت آبزیان منطقه بر روی جمعیت گیاهی نیز تاثیرگذار بوده و گونه های بومی را با برخی گونه های مهاجم مقاوم به سم مورد تهدید جایگزینی گونه مواجه کند.

بیوتکنولوژی از چند منظر برای رفع آلودگی آب مهم است:

۱- جبران کاهش اکسیژن آب

۲- حذف آلاینده های شیمیایی

۳- حذف گونه های فرصت طلب[1] که در اثر آلودگی آب رشد کرده اند.

افزایش درصد اکسیژن آب معمولاْ چالشی است که می تواند با وارد کردن گونه هایی که ترجیحاْ متابولیک کم هوازی دارند جبران شود. البته این مساله می تواند در اثر مهندسی ژنتیک و ایجاد گونه کارآمد نیز حل شود. معمولاْ در این روش ها از گیاهانی استفاده می شود که تنش کمبود اکسیژن باعث افزایش تکثیر آن ها می شود و می‌توانند

[1] گونه هایی از میکروب‌ها، تک سلولی ها و گیاهان و جانوران که جزو گونه های بومی منطقه نیستند و سرعت رشد و تکثیرشان نسبت به گونه های مقیم بیشتر بوده و با افزایش زاد و ولد و تکثیر منابع غذایی را به سود خود تمام کرده و سایر گونه ها را در اثر رقابت حذف می کنند.

به سرعت باعث افزایش اکسیژن آب شوند. دستورزی گیاهان نوعی از روش های بیوتکنولوژی به منظور حل این چالش است. استفاده از این روش محدودیت هایی نیز دارد، زیرا گیاهان اصلاح شده و یا حتی طبیعی که عادت های آبی متفاوتی دارند می توانند به جمعیت غالب یک زیست بوم تبدیل شوند و گونه های بومی را در رقابت از بین ببرند. بنابراین در به کارگیری بیوتکنولوژی در محیط زیست باید ملزومات زیادی مورد بررسی قرار گیرند.

در مورد دوم آلاینده های شیمیایی به خودی خود رشد بسیاری از گونه های وحشی زیست بوم را محدود می کنند. گاهی اوقات محققین با وارد کردن یک گونه جدید که می تواند در مورد ترکیبات شیمیایی آلاینده مقاومت داشته باشد، زیست بوم منطقه را به نفع گیاه مد نظر خود تغییر می دهند. البته این گیاه با ویژگی های مقاومتی خود ممکن است در تجزیه مواد شیمیایی آلاینده بسیار مفید واقع شود، بنابراین استفاده از آن به عنوان یک فیلتر زیستی می تواند یک راه حل برد-برد باشد. یعنی هم خود گیاه از آن بهره می برد و هم محیط زیست تصفیه می شود. البته امروزه در بسیاری از جوامع صنعتی و بسیاری از کارخانه ها در مورد به کارگیری این روش و دفع ارزان تر پسماندهای خود با سازمان های محیط زیست در حال رایزنی هستند.

در بسیاری از مواقع، آلودگی تاثیر خود را بر محیط زیست گذاشته است و برخی علف های هرز و گونه های فرصت طلب توانسته اند زیست بوم را اشغال کرده و سایر گونه ها را حذف کرده و یا امکان رشد آن ها را محدود کنند. در این مرحله استفاده از برخی روش های مهندسی ژنتیک و تولید حشرات دستورزی شده که فقط به برخی از گیاهان و علف های هرز تمایل دارند راه حلی است که بیوتکنولوژیست های محیط زیست پیشنهاد می کنند. بدیهی است که وارد کردن یک حشره با خواص ژنتیکی جدید به یک زیست بوم محدودیت ها و مشکلات خود را دارد. معمولاْ

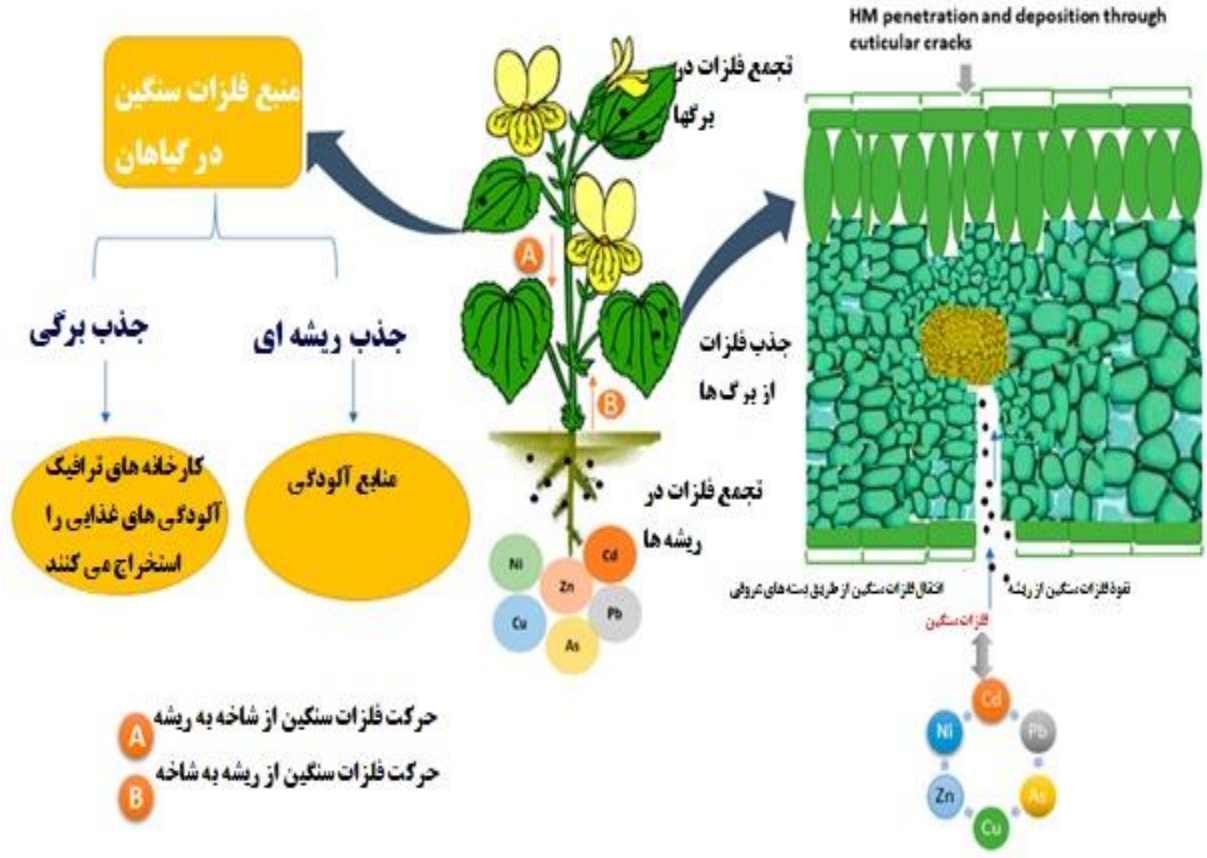
در این مدل راه حل ها باید دقت شود که برای حشره وارد شده به محیط زیست شکارچی قوی ای باشد که بتواند توازن را حفظ کند تا این حشره به گونه فرصت طلب تبدیل نشود و برای شکارچی آن نیز رقبای قوی ای وجود داشته باشد تا هرم جمعیتی (هرمی که از منابع غذایی، شکار تا شکارچی رسم می شود) بطور منظم تغییر کند. بدیهی است، همانطور که آلودگی آب می تواند زیست بوم را تغییر دهد تغییرات بیولوژیک به مراتب می تواند تاثیرات بیشتری داشته باشد.

همانطور که میدانیم امروزه در کشاورزی از آفت کش ها، سموم و کودهای شیمیایی استفاده می شود. این مواد شیمیایی به همراه آب باران شسته شده و وارد آب های زیرزمینی می شوند، در ادامه منابع آب را آلوده میکنند. همچنین فلزات سنگین(کادمیوم، آرسنیک، جیوه، مس و ...) موجود در هوای آلوده و پساب کارخانجات صنعتی با ورود به آبهای سطحی و زیرزمینی موجب آلودگی شیمیایی آب می شود.

امروزه تولید برخی تک یاخته ها و قارچ ها که به استفاده از برخی فلزات سنگین تمایل دارند از دستاوردهای جدید بیوتکنولوژی است که کاربرد آن در محیط زیست بطور بالقوه برنامه ریزی شده است. تغییرات ژنتیکی ای که در این گیاهان انجام می شود بسیار منحصر به فرد است. این گیاهان می توانند در شرایط عادی نیز رشد کنند ولی در صورت افزایش برخی املاح، فلزات سنگین این املاح را از خاک جذب می کنند. البته در ادامه استفاده خوراکی از این گیاهان چه به طور مستقیم یا چه برای تغذیه دام ها مشکل دارد و برای دفع آن ها برنامه دیگری باید انجام شود. در تصفیه فلزات سنگین از خاک، ریشه های گیاهان دستورزی شده تمایل بیشتری به جذب فلزات سنگین از خاک دارند. آن ها این ترکیبات فلزی را در بدنه خود، برگ ها، دانه و ساقه ها ذخیره می کنند و این حتی در

آینده می تواند به تولید زیست توده[1] های (توده های زیستی دارای خواص شیمیایی، فیزیکی و الکتریکی خاص که برای تولید انرژی کاربرد دارند. به عبارت دیگر می توان اینگونه نیز تعریف کرد که زیست توده منبع تجدیدپذیر انرژی است که از مواد زیستی به دست می آید) حاوی فلزات خاص منجر شود. همانطور که در شکل شماره ۶ مشاهده می کنید، گیاهان دستورزی شده که بخاطر تغییرات ژنتیکی تمایل بیشتری به جذب املاح سنگین از خاک دارند می توانند این املاح را از طریق ریشه های خود جذب کرده و در سایر منابع مانند ریشه، برگ و میوه ذخیره کنند. همچنین برخی از این گیاهان برای کاهش طولانی مدت میزان حجم آلودگی هوای پایدار استفاده شوند. در واقع روش حرکت از ریشه به سمت شاخه برای آلودگی خاکی و حرکت از شاخه به ریشه برای آلودگی هوایی مناسب است.

[1] زیست توده یا Biomass یک منبع تجدیدپذیر انرژی است که از مواد زیستی به دست می‌آید. به‌طورکلی، زباله‌هایی که منشأ زیستی داشته باشند و از تکثیر سلولی پدید آمده باشند را زیست‌توده نامند.



شکل شماره۶. برداشت فلزات سنگین از خاک توسط گیاهان مهندسی شده

خاک

از زمان تشکیل حیات بر روی کره زمین و حتی قبل از آن خاک وجود داشته است. خاک همیشه نقش بسیار مهمی در حیات زیستی گیاهان، حیوانات و انسان ها داشته است؛ گرچه به نظر می رسد که خاک در حیات کره زمین ماده ای کم ارزش است، اما اگر خوب دقت کنید ،وجه تمایز کره زمین با سیارات دیگر داشتن همین خاک است.

بر اساس آمار اعلام شده برای ایجاد یک سانتیمتر خاک بین ۲۰۰ تا ۸۰۰ سال زمان نیاز است که ارزش بالای این عنصر حیاتی باعث شده تا کمتر کشوری حاضر به فروش خاک خود باشد، به ویژه در شرایط آب و هوایی که جهان

را فرا گرفته است. افزایش جمعیت، افزایش نیاز برای زمین کشاورزی، حفر چاه های غیر مجاز به منظور تامین آب کشاورزی و دامپروری و آلودگی های صنعتی حاوی فلزات سنگین و پساب کارخانه ها، موجب فرسایش و تخریب خاک، به خصوص خاک حاصلخیز می شود.

آلودگی های منابع خاکی:

- آلودگی به مواد شیمیایی در اثر رسوب پسماندهای شیمیایی
- آلودگی به مواد رادیواکتیو در اثر نشت آلاینده های رادیواکتیو
- آلودگی به ذرات بیولوژیکی شامل میکرواورگانیسم ها، گیاهان و حشرات و تغییر ماهیت خاک

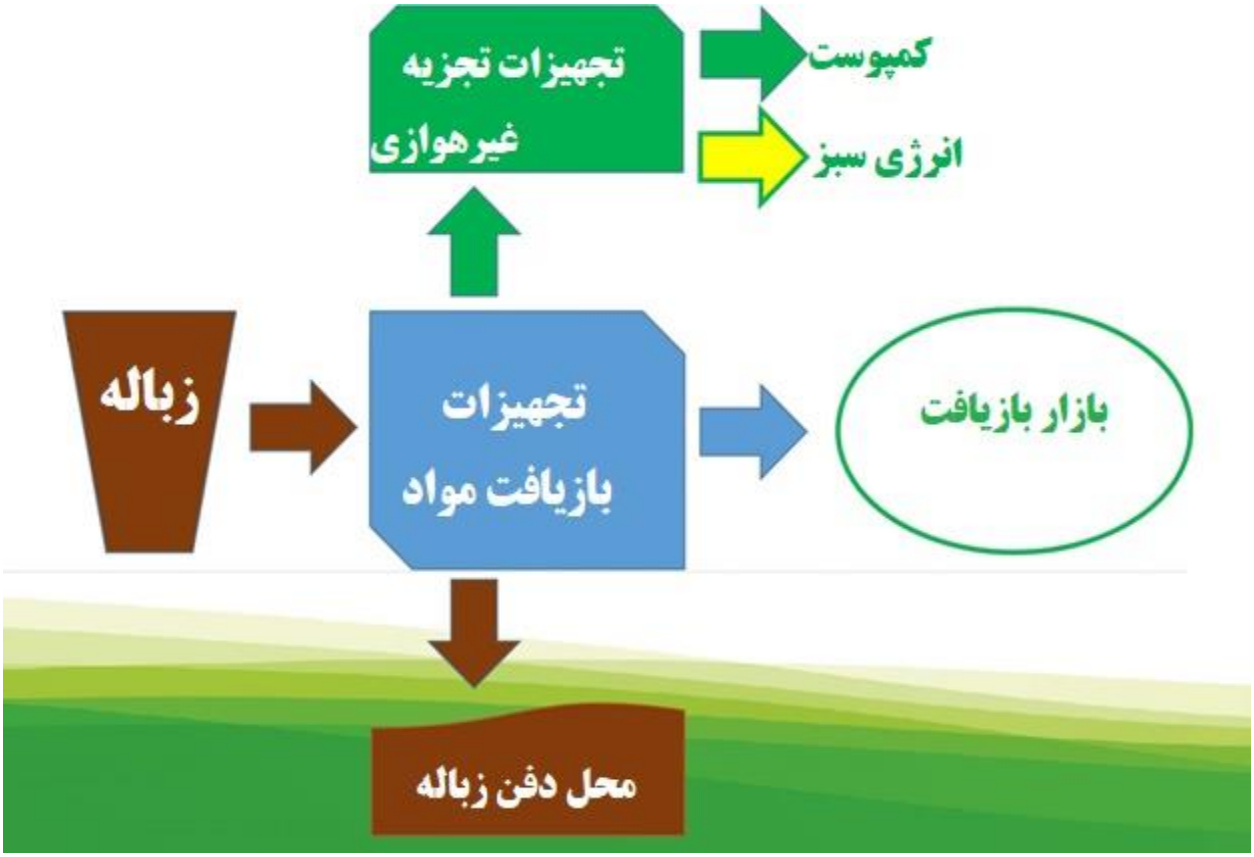
شایعترین نوع آلودگی خاک معمولاْ مربوط به آلودگی پسماندهای شیمیایی است. با وجود اینکه قوانین زیادی در مورد نحوه تدفین زباله ها در حال تدوین است، ولی همچنان پسماندهای شهری و شیرآبه های زباله های خانگی یکی از معضلاتی است که در بسیاری از کشورها به خوبی مدیریت نمی شود.

شکل شماره۷. آلودگی خاک با پسماندها

امروزه صنعت بازیافت در اغلب کشورهای توسعه یافته کاملاً راه اندازی شده و در کشورهایی مانند سوئد حتی کاهش وجود زباله باعث شده است تا از کشورهای در حال توسعه زباله وارد کنند. این روزها محققین بیوتکنولوژی، بیوسوخت یا انرژی سبز را مطرح کرده اند که می توانند از کمپوست[1] (پسماندهای آلی تجزیه شده از بقایای گیاهان

[1]: Compost کمپوست پسماندهای آلی تجزیه‌شده و نسبتاً پایدار حاصل فرایند پوسش هستند و پوسش یا کمپوست کردن عمل پوساندن و تجزیه بقایای گیاهی، حیوانی یا زباله‌های شهری همچنین لجن فاضلاب است که تحت شرایط خاص و روش‌های گوناگون انجام می‌گیرد.

و حشرات) زباله های بیولوژیک منازل به سوخت دست یابند. این یک دستاورد بسیار هیجان انگیز است که در کنار مدیریت پسماندها و آلاینده های زیستی می تواند در ایجاد انرژی نقش مهمی داشته باشد.



شکل شماره۸. بازیافت زباله و تولید انرژی سبز

در کنار پسماندهای شهری برخی پسماندهای صنعتی و حتی نخاله های ساختمانی باعث آلودگی خاک و در ادامه کاهش سطح مساحت مناطق قابل زراعت می شوند. در صنعت بیوتکنولوژی ارتقای توانمندی تصفیه خاک توسط موجودات بیولوژیک یکی از مهمترین اهداف محققین است، ولی این مساله هنوز آنقدر که باید توسعه نیافته است.

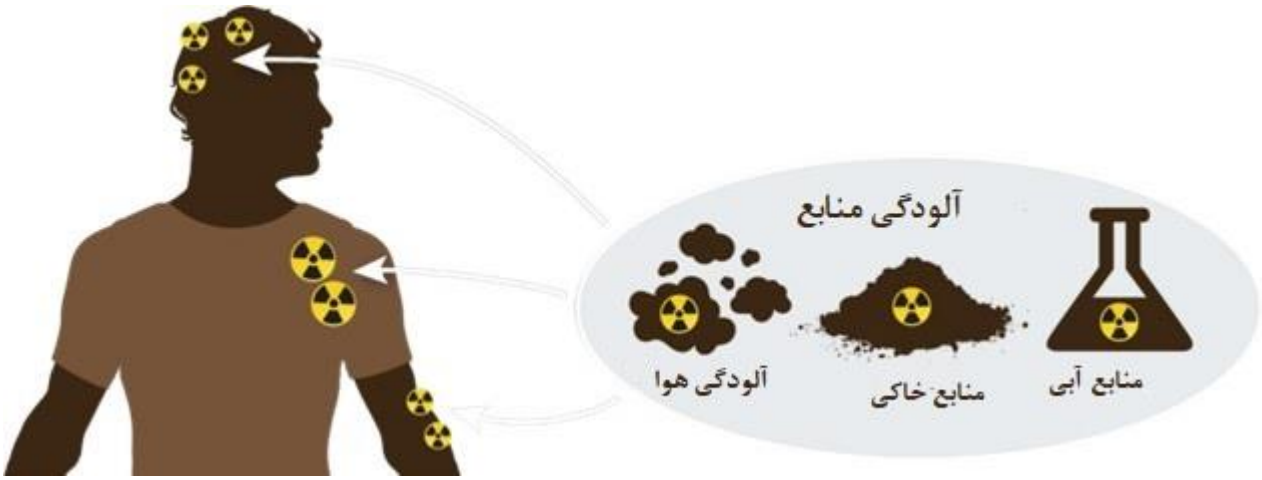
در صنعت بیوتکنولوژی گاهی ژن تصفیه نمک های مس و کادمیوم و حتی فلزات سنگین تر را از باکتری هایی که در دهانه آتشفشان ها کشف شده اند، شناسایی کرده و گیاهانی را بر مبنای این ژن ها ایجاد می کنند که می توانند در مسموم ترین شرایط از نظر وجود املاح بالای نمکی رشد کنند و باعث احیای فلزات و یا کاهش یون های سمی در خاک شوند.

فرسایش خاک و عدم رشد پوشش گیاهی یکی دیگر از نگرانی هایی است که در نواحی ای که کیفیت خاک از نظر املاح رسوبی خوب نیست، به شدت احساس می شود. زیرا سرنوشت نهایی این فرسایش، افزایش ریزگردهاست که می توانند مساحت قابل توجهی از یک منطقه را آلوده کنند.

مورد دیگری که این روزها مطرح می شود، چرخه آلودگی است که معمولاْ در شهرهای آلوده دیده می شود. بدین ترتیب که افزایش آلاینده های تنفسی در هوا در نهایت باعث صعود گازها به لایه های بالایی جو می شود که در ادامه، ماهیت آب باران را تغییر می دهد. بارش باران های اسیدی علاوه بر تغییر کیفیت، منابع آبی خاک ها را هم تحت تاثیر قرار می دهد که در این مورد بایست حتماً به پیشگیری گسترش آلودگی در خط اول تولید آلاینده ها پرداخت. اصلاح نژاد گیاهان مقاوم به شوری و اسیدیته خاک در بیوتکنولوژی می تواند باعث بهبود پوشش گیاهی مناطقی شود که به طور طبیعی یا صنعتی کیفیت خاک مناسبی ندارند. برخی از محققین علوم کشاورزی این روزها ژن های مقاومت به شرایط نامطلوب را از گیاهانی که مختص مناطق با پوشش گیاهی ضعیفی هستند، به برخی گیاهان دیگر که در مناطق با پوشش گیاهی قوی تر هستند انتقال می دهند و این باعث می شود در یک منطقه با

افزایش میزان تصفیه خاک و جذب املاح زاید، کیفیت خاک در نهایت برای رشد سایر گونه های گیاهی نیز مناسب شود.

حملات هسته ای و حوادثی مشابه آن موجب پخش شدن مواد رادیواکتیو در منابع آب، خاک و هوا می شود که می تواند بر روی گیاهان و جانوران تاثیر بگذارد. از اینرو، گیاهان به عنوان منبع اصلی زنجیره غذایی انسان دارای اهمیت ویژه ای می باشند. حذف آلودگی مواد رادیواکتیو با استفاده از بیوتکنولوژی گیاهی روشی است که این روزها به شدت روی آن کار می کنند. البته تخلیص مواد رادیواکتیو از زیست توده گیاهان خود چالش دیگری است که باید در مورد آن برنامه ریزی شود. محققان دریافته اند برخی از گیاهان قابلیت استفاده از املاح و نمک های رادیواکتیو را بیشتر از سایر گیاهان دارند. این گیاهان در مناطقی که مواد رادیواکتیو وجود دارند کاشته می شوند، ولی باید تمام برگ ها و حتی گرده گل ها مورد مراقبت باشند که آلودگی گسترش نیابد. محققیان در آزمایشگاه مشاهده کرده اند که با افزایش رشد این گیاهان میزان رادیواکتیویته خاک کم شده و بعد از مدتی به مقدار بی خطر و مطلوبی می رسد.



شکل شماره۹. آلودگی رادیواکتیو منابع آبی و خاکی

آلودگی های زیستی مقوله بسیار پیچیده ای است که برای فهم آن نیاز به دانش اکولوژی و جمعیت شناسی جانوری و گیاهی است. گاهی اوقات ورود یک میکرواورگانیسم به یک زیست بوم، خود می تواند به عنوان یک آلودگی مطرح شود به عنوان مثال انواع قارچ ها و تک یاخته هایی که گیاهان منطقه را به عنوان آفت آلوده می کنند یا حشراتی که از یک گونه خاص تغذیه می کنند و باعث ریشه کن شدن یا اتقراض یک جمعیت در یک زیست بوم می شوند. غلبه زیستی یک گونه گیاهی، جانوری، حشره و سایر ارگانیسم ها که قبلا در آن زیست بوم نبودند و یا تعداد محدودی داشتند آلودگی زیستی نام دارد. امروزه دستورزی های ژنتیکی و انتقال ژن های مقاومت به آنتی بیوتیک یا آفت کش های شیمیایی به گیاهان باعث غلبه برخی گونه های جدید در یک زیست بوم می شود که خود می تواند نظم طبیعت را بهم ریخته و باعث مشکل شود.

۱-۳)بازیافت انرژی و بیوتکنولوژی

با توجه به اینکه بازیافت انرژی و تصفیه ضایعات صنعتی یکی از ابعاد حیاتی در توسعه صنایع است، ارتباط بین بازیافت انرژی و بیوتکنولوژی معمولاْ به طور مستقیم در حوزه بیوتکنولوژی صنعتی مطرح می شود، ولی مهمترین دلیلی که در این بخش به آن پرداخته می شود آلودگی های زیست محیطی منابع نفتی، لوله کشی های نفت، نشت نفت از نفتکش ها و تانکر ها در دریاها و اقیانوس ها و دفع پسماندهای صنایع پتروشیمی در منابع آبی و خاکی است. بازیافت انرژی اصطلاح عمومی ای است که بیشتر در مورد بازیافت نفت و محصولات نفتی گفته می شود.

بازیابی میکروبی نفت (MEOR[1]) یکی از مهمترین شاخه های بیوتکنولوژی صنعتی است که بیشتر در مورد صنعت نفت کاربرد دارد، ولی این مساله در رفع آلودگی های نفتی در منابع آبی زیستی اهمیت بسیار ویژه ای دارد. این بازیابی اغلب در استخراج نفت از میدان های مستقر در بستر دریاها کاربرد دارد. البته نشت نفت و محصولات نفتی از نفت کش ها هم می توانند مورد هدف این تکنولوژی باشند. مهندسین این حوزه در شرایط مشابه اغلب از روش های حرارتی، شیمیایی و تزریق گاز استفاده می کنند. روش بیوتکنولوژی روش جدیدی است که می تواند در این زمینه بسیار مفید باشد. در این روش نفت دارای ناخالصی در دستگاه های بسیار بزرگ در کنار مواد مغذی مورد نیاز باکتری قرار داده می شود و باکتری همزمان با رشد و تکثیر در این مواد منجر به تولید نفت خالص می شود که با توجه به اینکه نامحلول است در لایه بالایی مخزن قرار می گیرد. این تکنولوژی که باعث بازیابی مشتقات نفتی می شود یکی از بهترین و کم خطر ترین روش کاهش آلودگی نفتی در دریاها و اقیانوس ها می باشد که منجر به ممانعت از انتشار نفت به مناطق بیشتر و آسیب به جانوران دریازی می شود.

یکی دیگر از شاخه های بیوتکنولوژی تولید سوخت از محصولات بیولوژیک است که به آن سوخت زیستی یا biofuel می گویند. نسل اول زیست سوخت ها با استفاده از محصولات غذایی و پسماندهای آن است و نسل دوم، از مواد غیر خوراکی به دست می آید. این مساله می تواند به عنوان یک منبع سالم انرژی در آینده مطرح شود.

[1] Microbial Enhanced Oil Recovery

بازیابی انرژی توسط بیوتکنولوژی فقط منحصر به نفت نیست؛ بلکه بازیافت کمپوست زباله ها، تولید گاز از محلول های شیمیایی و حتی تولید بیوسوخت از دیگر فواید استفاده از بیوتکنولوژی در بازیابی انرژی است که در بخش های دیگر بیشتر مورد بحث قرار خواهد گرفت.

شکل شماره ۱۰. منابع زیست توده و زیست سوخت

بخش دوم: توسعه کاربردهای زیست فناوری در محیط زیست- مدیریت پسماندها

مقدمه

زیست‌فناوری محیطی مجموعه‌ای از دانش و فناوری‌های مربوط به استفاده از میکروارگانیسم‌ها و محصولات آن‌ها برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست از طریق تصفیه زیستی مواد زاید جامد، مایع و گازی می باشد. تصفیه زیستی محیط‌های آلوده و نظارت زیستی بر محیط جزو فرآیندهای تصفیه است.

مطالب این بخش در موارد زیر طبقه بندی می شود:

- مروری بر مزایای استفاده از بیوتکنولوژی در تصفیه پسماندها
- مروری بر تصفیه انواع منابع زیستی شامل تصفیه منابع آبی، خاکی و هوا
- مروری بر انواع روش های زیست تصفیه، شامل تصفیه هوازی و بی هوازی
- مروری بر انواع مکان های تصفیه: تصفیه در فضای آزاد، تصفیه در بیورآکتور[1]، تصفیه در مخازن زیرخاکی
- مروری بر تولید کمپوست و امحاء زباله

این بخش با استفاده از به روزترین منابع و کتاب ها جمع آوری و تکمیل شده است. اطلاعات هر بخش ماحصل ترجمه وجمع آوری اطلاعات جدید در حوزه بیوتکنولوژی صنعتی، محیط زیست و ذخیره انرژی است.

تصفیه زیست فناورانه با تکیه بر استفاده از روش های بیوتکنولوژی یکی از جدیدترین زمینه های علمی در صنعت بیوتکنولوژی است که به صنعت پولسازی بازیافت کمک شایانی می کند.

مزایای تصفیه زیست‌فناورانه زباله‌ها به شرح زیر است:

[1] Bioreactor

- تجزیه زیستی یا سم‌زدایی طیف گسترده‌ای از مواد خطرناک مانند انواع الکل ها و اسیدهای مخرب توسط میکروارگانیسم‌های طبیعی
- در دسترس بودن طیف گسترده‌ای از روش‌های زیست‌فناورانه برای از بین بردن کامل زباله‌های خطرناک ناشی از پسماندهای فاضلاب صنعتی که حاوی پلیمرهای پیچیده و غیر قابل تجزیه در محیط هستند
- ایجاد تنوع در روش های تصفیه پسماندها

مزایای اصلی استفاده از زیست‌فناوری در تصفیه پسماند از نظر فنی و اقتصادی مربوط به سرعت معقول و مناسب تخریب زیستی یا سم زدایی از مواد در طی تصفیه زیست فناورانه به نسبت حجم بالای ضایعات و توانایی میکروارگانیسم‌های طبیعی در تخریب مواد است.

نوع تصفیه زیستی براساس ویژگی‌های فیزیولوژیکی میکروارگانیسم‌های مورد استفاده تعیین می شود. این ویژگی ها به نوع متابولیسم و تنفس میکرواورگانیسم بستگی دارد. تنفس سلولی نوعی فرآیند متابولیسمی است که در آن منابع انرژی به مواد آلی تبدیل می شوند و چرخه انتقال الکترون منجر به تولید محصولات و یا انرژی متابولیکی می شود که برای فعالیت های میکرواورگانیسم حیاتی است، این روش ها عبارتند از: تنفس هوازی، تنفس بی هوازی، تخمیر بی هوازی و میکروآئروفیلیک

واژه های مهم

- تخمیر بی هوازی: نوعی متابولیسم که در آن محصولات الکلی از روش تنفس غیر هوازی تولید می شود.

- تنفس بی هوازی: تولید انرژی سلولی با استفاده از واکنش های بیوشیمیایی مستقل از اکسیژن

- میکروآئروفیل: خردهوازی: میکروب‌هایی هستند که برای رشد و نمو به اکسیژن کمی نیاز دارند.

- تنفس هوازی: تولید انرژی سلولی با استفاده از واکنش های بیوشیمیایی وابسته به اکسیژن

انواع تصفیه زیست‌فناورانه پسماندها را می‌توان با استفاده از عوامل زیر بهبود بخشید:

- بهینه سازی شرایط محیطی
- بهبود دسترسی آلاینده‌ها، مواد مغذی و ضایعات به زیست توده میکروبی تصفیه کننده
- افزودن زیست توده از سویه(های) میکروبی انتخاب شده

در صورت عدم وجود و یا ناکافی بودن غلظت میکروارگانیسم‌ها، که برای تصفیه زباله‌های خطرناک ضروری هستند، می توان با استفاده از فرآیند تجمع زیستی سرعت راه اندازی تصفیه زیستی را افزایش داد. فرآیند تجمع زیستی مربوط به روشی است که درآن زیست توده میکروبی در فضای محدودتری به مقدار مشخصی از ضایعات دسترسی دارد و فضای واکنش قابل کنترل است.

اگر نرخ تصفیه زیستی که توسط میکروارگانیسم‌های بومی‌انجام می‌شود کم باشد، نیاز است که تجزیه زیستی را به سمت بهینه‌ترین روش از میان تمام روش‌های موجود هدایت کرد و از رشد و پخش شدن سویه‌های میکروبی بیماری‌زا و یا فرصت طلب در سیستم‌های تصفیه ضایعات جلوگیری کرد. میکرواورگانیسم های فرصت طلب گونه هایی هستند که مقاومت به رشد در شرایط نامطلوب را دارند و در رقابت با سایر میکرواورگانیسم ها می توانند بر محیط غالب شده و منابع غذایی را مصرف کرده و سایرگونه ها را حذف کنند.

برای جلوگیری از به هم ریختن تعادل محیط‌های تصفیه معمولاْ یکسری بیوسنسور یا زیست‌حسگر استفاده می شود که به تغییرات pH، دما و محصولات فرعی حساس هستند. زیست‌حسگرها می‌توانند ابزار مناسبی برای پایش زیستی محیط و فرآیندهای تصفیه باشند. مجموعه‌ای از زیست‌حسگرها (بیوسنسورها) به صورت یک توالی می‌توانند غلظت و یا سمیت یک ترکیب خطرناک را اندازه‌گیری کنند. برخی از این زیست‌حسگرها به یکسری ریزآرایه مجهز شده اند که ازجنس توالی نوکلئوتیدی یا ترکیبات نانویی هستند و برای اندازه‌گیری

کمی و کیفی ارگانیسم‌های مختلف و یا ژن‌های موجود در نمونه‌های محیطی به کار می‌روند و از این طریق برای پایش محیط زیست مناسب هستند.

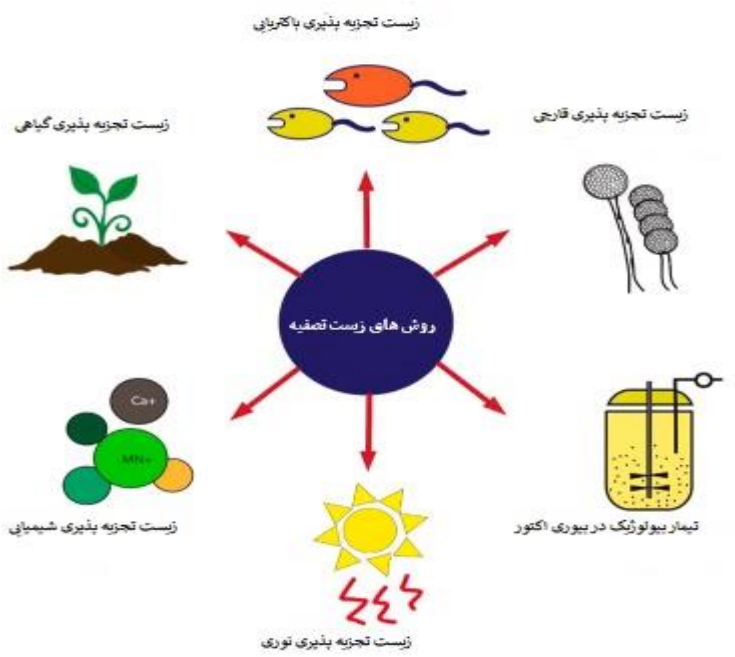
عوامل زیست فناورانه مورد استفاده در زیست‌فناوری محیطی شامل باکتری‌ها، آرکئی‌باکترها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و پروتوزوآها است. باکتری‌ها و آرکئی‌باکترها، میکروارگانیسم‌های پروکاریوتی هستند. پروکاریوت‌ها فعال‌ترین شکل ارگانیسم‌های دخیل در فرآیندهای‌تجزیه زیستی مواد آلی و پرکاربردترین ارگانیسم های مورد استفاده در تمامی‌حوزه‌های زیست‌فناوری محیطی هستند.

قارچ‌ها ارگانیسم‌های یوکاریوتی هستند که مواد آلی را جذب می‌کنند. قارچ‌ها تجزیه‌کنندگان بسیارمهم پلیمرهای زیستی هستند و در تصفیه ضایعات جامد، به خصوص در تولید کمپوست و یا تصفیه زیستی خاک بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. از زیست توده قارچی می‌توان برای جذب فلزات سنگین استفاده کرد.

پروتوزوآها نقش بسیار مهمی‌در تصفیه آلودگی‌های صنعتی خطرناک دارند. آن‌ها با حفظ مقادیر کافی از زیست توده باکتریایی در سیستم‌های تصفیه و کمک به کم کردن غلظت سلول‌ها در پساب نهایی منجر به تصفیه محلول می‌شوند. جلبک‌ها میکروارگانیسم‌های یوکاریوتی هستند که انرژی نوری را جذب می‌کنند و مواد آلی را هضم می‌کنند.

در واقع زیست تصفیه به انواع روش های زیستی اطلاق می شود که در افزایش زیست تجزیه پذیری ضایعات و مواد خطرناک موجود در آب و خاک نقش دارند. این روش با استفاده از میکرواورگانیسم های باکتریایی و قارچی، کشت

گونه های متنوع گیاهی، تغییرات نوردهی و تراکم زیستی، استفاده از بیورآکتورها و نیز مواد شیمیایی و تغییرات محتوای یونی محیط قابل انجام هستند (شکل شماره ۱۱). بیورآکتورها محفظه های بزرگی برای کشت میکرو ارگانیسم های میکروبی هستند که در آن شرایط ایده آل رشد این میکروارگانیسم ها مهیا می شود. در بیوتکنولوژی تصفیه زیست محیطی، مواد زاید و آلوده در این بیورآکتورها قرار داده می شود که به عنوان مواد اولیه موردنیاز میکرواورگانیسم ها مورد استفاده قرار می گیرد و سوخت ناشی از تجزیه و یا انرژی تولیدی که بصورت گاز ساطع می شود برای مصارف دیگر به کار گرفته می شود.



شکل شماره ۱۱. انواع روش های زیست تصفیه

یکی از کاربردهای اصلی زیست‌فناوری محیطی، تجریه زیستی مواد آلی موجود در فاضلاب و سم زدایی ترکیبات خطرناک موجود در فاضلاب‌های صنعتی است. امروزه می‌دانیم که دو سوم مواد خطرناک موجود در خاکِ آلوده به نفت و لجن، ضایعات حاوی گوگرد، لکه‌های رنگ، حلال‌های آلیِ هالوژنه و غیرهالوژنه، ضایعات گالوانیزه شده، ضایعات حاوی آفت‌کش‌ها، مواد منفجره، فاضلاب صنایع شیمیایی و بخارات گازی را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف زیست‌فناورانه تصفیه کرد. ترکیبات آلی سنتز شده در صنایع شیمیایی اغلب به سختی به صورت زیستی تجزیه می‌شوند. ترکیباتی که به صورت طبیعی تولید نمی‌شوند و به آرامی تخریب می‌شوند را زنوبیوتیک[1](بیگانه‌زیست) می‌نامند. یا به عبارت دیگر می توان زنوبیوتیک را این گونه تعریف کرد که ماده شیمیایی بیگانه است که به طور طبیعی در بدن جانداران یافت نمی شود. زیست تخریب‌پذیری زنوبیوتیک‌ها را می‌توان از طریق تست‌هایی مانند میزان تشکیل CO_2 (نرخ معدنی سازی)، میزان مصرف اکسیژن (تست رسپیرومتری)، نسبت BOD[2] (اکسیژن مورد نیاز برای واکنش بیوشیمیایی) به COD[3] (نسبت مقدار اکسیژن مصرف شده برای اکسیداسیون زیستی به مقدار مصرف اکسیژن مصرف شده برای اکسیداسیون شیمیایی) و بررسی طیف محصولات حدواسط تولید شده طی فرآیند تخریب زیستی، مشخص کرد.

[1] xenobiotics
[2] biochemical oxygen demand
[3] chemical oxygen demand

کاربرد دیگر زیست‌فناوری محیطی جلوگیری از آلودگی و بازیابی کیفیت آب در مخازن، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و نواحی ساحلی است.

حوزه‌های فعالیت زیست فناوری محیطی شامل موارد زیر است:

- آزمایش سمیت و بیماری‌زایی منابع آبی و خاکی
- طراحی و تولید زیست‌حسگرها و تراشه های فعال شونده با محرک های زیستی (بیوچیپ) برای پایش کیفیت محیط زیست
- جلوگیری از تولید ضایعات خطرناک با استفاده از جایگزین‌های زیستی
- توسعه مواد زیست تخریب‌پذیر برای حفاظت پایدار از محیط زیست
- تولید سوخت از زیست‌توده‌ها و ضایعات آلی
- کاهش انتقال مواد سمی خطرناک به سایر نواحی از طریق غیر متحرک سازی آلودگی با روش های زیستی

۲-۲)مقایسه تصفیه های زیست‌فناورانه با سایر روش‌ها

آلودگی آب، خاک، ضایعات جامد و هوا را می‌توان به وسیله روش‌های فیزیکی، شیمیایی، فیزیکوشیمیایی و یا زیستی (زیست فناورانه) از بین برد و یا حتی از وقوع آن‌ها جلوگیری کرد.

مزیت تصفیه های زیست‌فناورانه عبارتند از:

۱) تخریب زیستی و یا سم‌زدایی از طیف گسترده‌ای از مواد خطرناک به وسیله میکروارگانیسم‌های طبیعی

۲) قابلیت استفاده از طیف وسیعی از روش‌های زیست‌فناورانه برای تخریب کامل ضایعات خطرناک

۳) قابلیت استفاده در شرایط مختلف محیطی

با وجود این مزایا، روش‌های زیست‌فناورانه معایبی نیز دارند:

۱) مواد غذایی و گیرنده‌های الکترونی باید به ترکیب اضافه شوند تا تصفیه زیستی تقویت شود

۲) شرایط بهینه تصفیه درطول فرآیند باید حفظ شود

۳) ممکن است اتفاقات ناخواسته و یا حتی منفی مانند تولید بو و گازهای سمی، آزادسازی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، سمی و یا فرصت طلب به محیط زیست طی فرآیند تخریب زیستی رخ دهد

۴) ممکن است مشکلات ناخواسته در مدیریت سیستم‌های زیست‌فناورانه به واسطه پیچیدگی و حساسیت بالای فرآیندهای زیستی به وجود بیاید

مسائل اساسی که می‌بایست طی استفاده از روش‌های زیست‌فناورانه در تصفیه آلودگی‌ها مورد توجه قرار گیرد، عبارتند از:

۱) میزان بازدهی تخریب زیستی ضایعات یا نرخ تخریب زیستی، مقدار سم زدایی منطقی و توجیه اقتصادی محصولات حاصل از بازیافت طی تصفیه های زیست فناورانه

۲) حجم بالای آلودگی‌های تصفیه شده

۳) بهینه سازی استفاده از این روش برای آلودگی‌های با غلظت پایین

۴) توانایی میکروارگانیسم‌های طبیعی در تجزیه ضایعات

۵) پذیرش بهتر تصفیه های زیست فناورانه توسط جامعه

کارایی روش‌های زیست‌فناورانه کاملاً بر طراحی، بهینه شدن فرآیند و کم کردن هزینه‌ها بستگی دارد. شکست‌های بسیاری چه در سطح آزمایشگاهی و چه در سطح صنعتی به واسطه ناپایداری و تنوع ویژگی‌های میکروبی و شرایط تصفیه تا به امروز گزارش شده است.

در بسیاری از موارد، ترکیبی از تصفیه های زیست‌فناورانه و شیمیایی، کارایی بهتری نسبت به استفاده از یک روش داشته است. استفاده از فرآیندهای بهینه قبل از تصفیه زیست فناورانه، مانند هموژنیزاسیون ذرات جامد و حل نشده در آب، اکسیداسیون شیمیایی هیدروکربن‌ها به وسیله H_2O_2، اوزون و یا عناصر فنتونی[۱]، اکسیداسیون نوری-شیمیایی و شستشوی اولیه ضایعات بوسیله سورفاکتانت‌ها[۲] که پیش از تصفیه های زیست‌فناورانه انجام می‌شوند، نتایج بهتری به دنبال داشته است.

[۱]: Fenton's reagent معرف فنتون محلولی از پراکسید هیدروژن (H2O2) و ترکیبات آهنی مانند سولفات آهن (FeSO4)به عنوان یک کاتالیزور است که برای اکسید کردن آلاینده ها یا آب های زائد استفاده می شود.

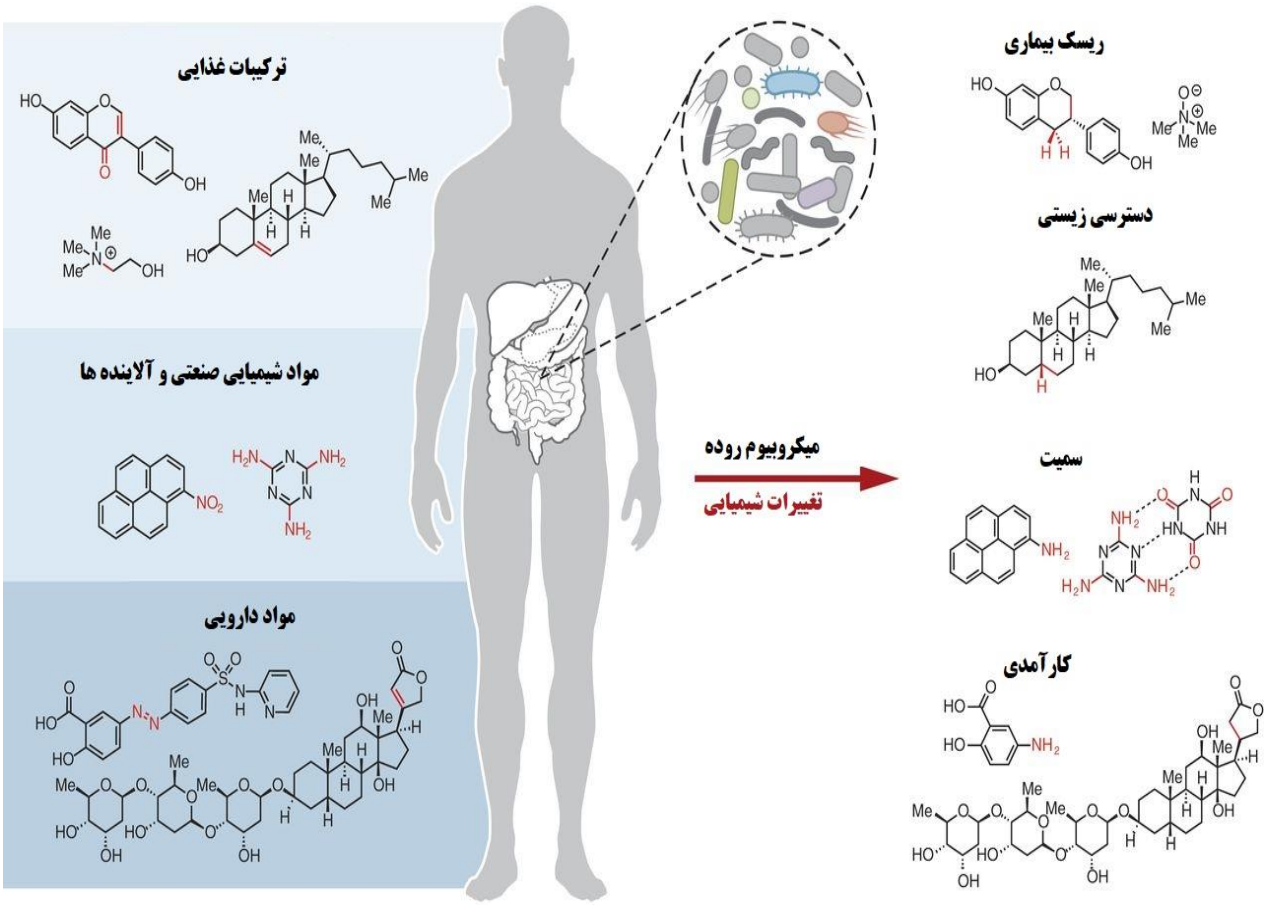
[۲]: Surfactant سورفکتانت‌ها یا مواد فعال سطحی، موادی هستند که هنگامی که به مقدار بسیار ناچیز استفاده می‌شوند کشش سطحی آب را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهند.

تصفیه هوازی ضایعات

در تصفیه هوازی میکرواورگانیسم های موثر در این فرآیند از تنفس هوازی به عنوان روش متابولیسم استفاده می کنند. این ارگانیسم‌های هوازی به اکسیژن به عنوان آخرین گیرنده الکترون مواد آلی و یا غیرآلی احتیاج دارند. انتقال الکترون‌ها از دهنده به گیرنده یک منبع در دسترس انرژی زیستی است.

علاوه بر ضایعات روتین، آلودگی مربوط به مواد زنوبیوتیک را نیز می توان به صورت کارآمدی با استفاده از میکرواورگانیسم های هوازی تصفیه کرد. این مواد عبارتند از: هیدروکربن‌های غیر قطبی یا آلیفاتیک و مشتقات آن‌ها، ترکیبات آلیفاتیک کلردار و مشتقاتش(متیل، اتیل، متیلن، و اتیلن کلرید)، هیدروکربن‌های دارای ساختار حلقوی یا آروماتیک و مشتقات(بنزن، تلوئن،فتالات،اتیل بنزن، زایلن و فنول)، هیدروکربن‌های آروماتیک پلی سیکلیک، ترکیبات آروماتیک‌هالوژنه (کلروفنول، ترکیبات پلی بایفنیله کلردار، دی اکسین‌ها و مشتقات، DDT و مشتقات)، رنگ‌های آزو، ترکیبات دارای گروه نیترو (زباله‌های حاوی مواد منفجره و علف‌کش‌ها)، و ضایعات ارگانیک حاوی ترکیبات فسفاتی. زنوبیوتیک‌ها بعد از ورود به بدن تحت تاثیر میکروبیوم روده تغییراتی می کنند که این تغییرات می تواند منجر به سمیت، ایجاد ریسک بیماری گردد. میکروبیوم روده به جمعیت میکروب های مقیم در روده کوچک و بزرگ اطلاق می شود که به همزیستی با انسان سازگاری پیدا کرده اند و از بدن انسان توسط سیستم ایمنی حذف نمی شوند و به هضم مواد غذایی و پایداری شرایط داخل روده کمک می کنند. برخی از زنوبیوتیک ها داروهایی هستند که در روند درمان تجویز می شوند که تغییرات شیمیایی رخ داده در آن ها بعد از عبور از میکروبیوم

روده در نحوه اثر آن‌ها تاثیر گذار است. زنوبیوتیک هایی که وارد بدن می شوند یا به صورت مواد غذایی صنعتی هستند یا ترکیبات شیمیایی و آلاینده ها و یا مواد دارویی. در مورد داروها مهمترین تاثیر باکتری ها تغییر کارآمدی است ولی در مورد سایر مواد ریسک ابتلا به بیماری، تغییر در میزان دسترسی زیستی، سمیت و زیست تجزیه پذیری از مهمترین ویژگی های گزارش شده هستند. این پدیده یکی از شواهد غیرقابل انکار نقش باکتری‌ها در ایجاد تغییرات در زنوبیوتیک ها در محیط زیست است. (شکل شماره ۱۲)



شکل شماره ۱۲. زنوبیوتیک ها شامل ترکیبات غذایی، مواد شیمیایی صنعتی و مواد دارویی در عبور از روده تغیر می یابند.

مهندسی ژنتیک سویه‌های میکروبی می‌تواند به میکروب قابلیت تجزیه زیستی زنوبیوتیک‌ها را بدهد و یا توانایی آن‌ها در تجزیه زیستی سایر مواد را افزایش دهد. طراحی و ساخت مسیرهای متابولیکی هیبریدی، استراتژی دیگری است که به منظور افزایش دامنه تجزیه زیستی زنوبیوتیک‌ها و تشدید نرخ تجزیه زیستی سایر مواد به کار گرفته می‌شود. ژن‌های مورد نظر به منظور تجزیه زیستی زنوبیوتیک‌های مختلف را می‌توان جدا کرد و درون پلاسمیدها کلون کرد. برخی از پلاسمیدها حاوی ژن‌های متعددی برای تجزیه زیستی زنوبیوتیک‌های مختلف به صورت همزمان هستند. سویه‌های حاوی این دست از پلاسمیدها را می‌توان برای تصفیه زیستی مکان‌های شدیداً آلوده به انواع مختلفی از زنوبیوتیک‌ها استفاده کرد. پایداری پلاسمید در این سویه‌ها اصلی‌ترین مشکل بر سر راه توسعه این روش است. سایر نگرانی‌های فنی و یا عمومی در مورد خطرات استفاده از میکروارگانیسم‌های دستکاری شده و آزاد شدن آن‌ها در محیط زیست نیز همچنان وجود دارد.

تصفیه هوازی ضایعات جامد

ضایعات جامد معمولا حاوی ضایعات گیاهی مانند چوب آلات، پارچه، ترکیبات فلزی و پلاستیکی هستند که می توانند در بستر خاک و یا مجزا از خاک قرار گرفته باشند. معمولاْ ضایعات زیست تخریب پذیر به مشتقات آلی تجزیه می شوند که این مشتقات میتوانند به عنوان منبع تولید انرژی گیاهان مورد استفاده قرار بگیرند. محصول بدست آمده از تجزیه ضایعات با عنوان کمپوست شناخته می شود. تولید کمپوست یکی از ساده‌ترین روش‌های تصفیه

ضایعات جامد به صورت هوازی است. ساخت کمپوست، مواد آلی ناپایدار از نظر زیستی را، به مواد پایدارتر و شبیه‌تر به تولیدات انسانی تبدیل می‌کند که می‌توان از آن‌ها به عنوان نرم‌کننده خاک و یا کود آلی استفاده کرد. مزیت دیگر تولید کمپوست از ضایعات آلی، جلوگیری از تولید بو به واسطه فساد ضایعات، تخریب پاتوژن‌ها و انگل‌ها (خصوصا در کمپوست سازی گرمادوست)، و ماندگاری مواد غذایی در محصول نهایی است. سه مدل کمپوست سازی اصلی وجود دارد:

سیستم بادگیر[۱]، سیستم ستون ثابت[۲]، سیستم درون لوله ای[۳].

تولید کمپوست در سیستم‌های بادگیر شامل مراحل زیر است:

۱) مخلوط کردن ضایعات آلی به همراه عناصر حجیم ارزان قیمت (ورقه‌های چوب، برگ‌ها، پوست درخت، بادام، خلاف برنج) برای تولید یک داربست سفت و سخت که با جلوگیری از انتقال گرما از داربست به محیط بیرونی باعث افزایش تصفیه گرمایی و افزایش نرخ انتقال اکسیژن می شود.

۲) افزودن ماده مخلوط شده درون ستون‌هایی به طول یک تا دو متر به نام بادگیر یا پشته خاک که در ادامه دو تا سه بار در هفته به وسیله روش‌های مکانیکی هم زده می شود تا مواد آلی موجود در ضایعات با هوای طبیعی در تماس قرار بگیرند.

[1] windrow system
[2] static pile system
[3] in-vessel system

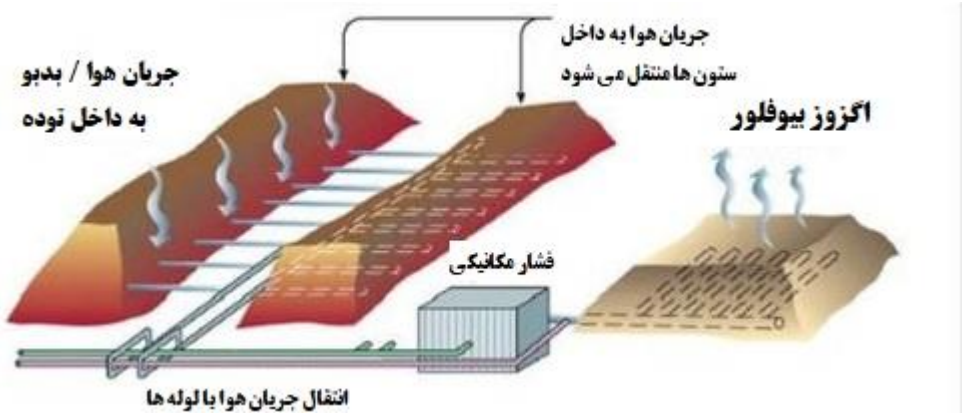
۳) رشد میکروارگانیسم‌های هوازی و شبه غیرهوازی در ضایعات آلی که در خود زباله ها وجود دارند و یا از کمپوست‌هایی قدیمی که قبلا تولید شده اند ایجاد شده است.

۴) تغییر میکروب های غالب در مخلوط از فرم مقاوم به گرما به گرما دوست که باعث افزایش دمانی درون ستون ها به واسطه اکسیداسیون زیستی و آزادسازی انرژی می‌شود. فرآیند تولید کمپوست بین ۳۰ تا ۶۰ روز طول می‌کشد (شکل شماره ۱۳).

شکل شماره ۱۳. کمپوست سازی و تصفیه خاک به روش بادگیری یا پشته سازی

سیستم ستون ثابت یک تصفیه زیستی تشدید شده است زیرا ستون ضایعات آلی و مواد حجیم به شدت با استفاده از دمنده‌ها و پخش‌کننده‌های هوا، هوادهی می‌شود. همانطور که در شکل شماره ۱۴ مشاهده می کنید در این روش ستون معمولاْ با کمپوست پوشیده شده است تا بو حذف شود و دمای درونی ستون حفظ گردد. یکسری لوله های

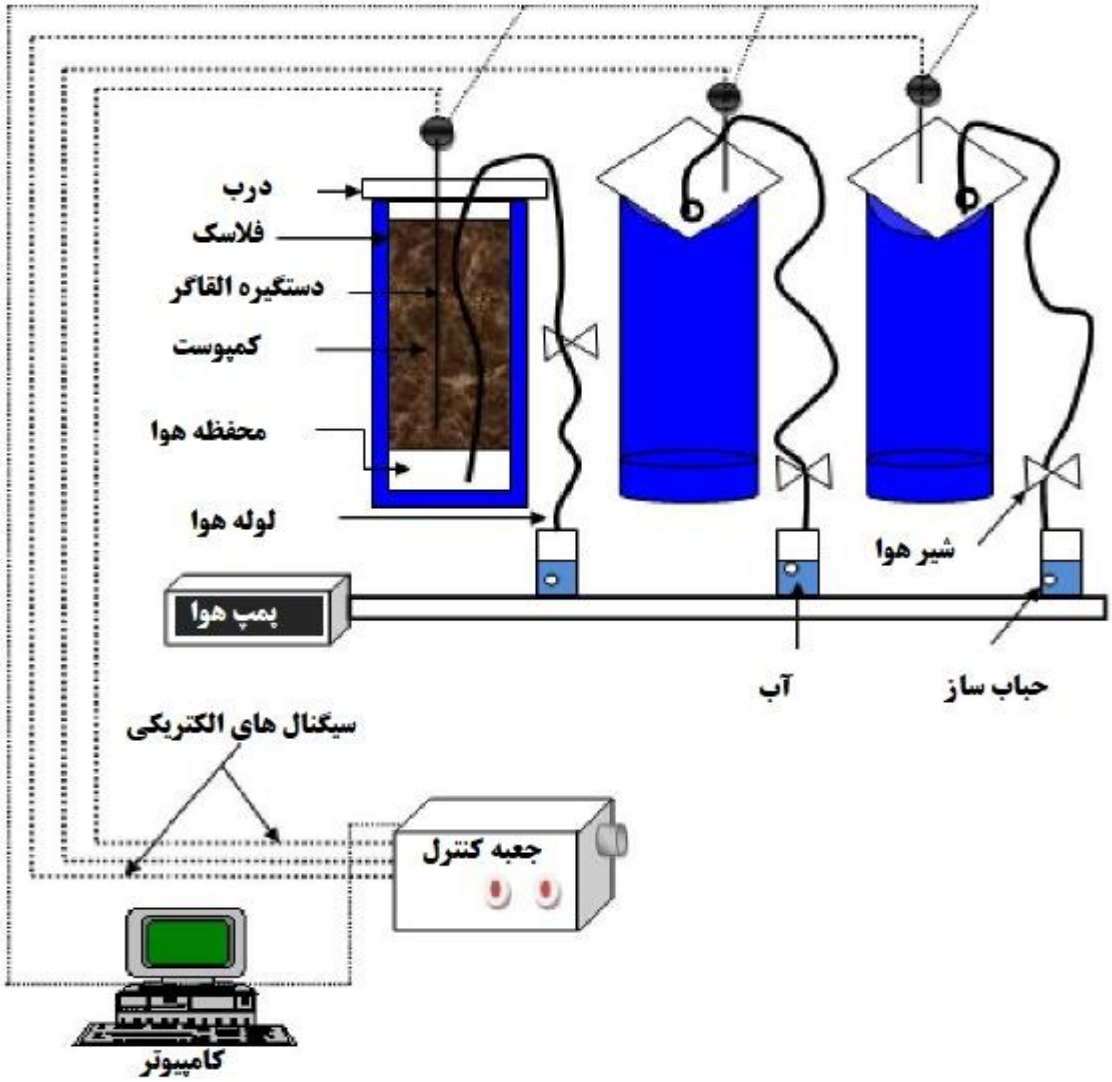
انشعاب دار در این ستون ها وارد می شوند و فرآیند هوادهی به ستون ثابت ۲۱ روز طول می‌کشد و سی روز دیگر زمان لازم است تا کمپوست خشک شود و عناصر حجیم از آن جدا شود. (شکل شماره ۱۴)



شکل شماره ۱۴. تصفیه هوازی خاک به روش سیستم ستون ثابت

تولید کمپوست به شکل درون لوله ای شدیدترین نوع تحول زیستی ضایعات آلی است که به آن کمپوست سازی درون لوله ای گفته می شود که می تواند به صورت جزئی و یا به صورت کامل در محفظه‌های بسته که مقدار رطوبت، دما و اکسیژن گازی آن به شکل دقیقی کنترل می‌شود، انجام گردد و این فرآیند نیازمند فضای اندکی است و چند روز زمان می‌برد؛ با این حال هزینه انجام آن از سیستم‌های باز بیشتر است (شکل شماره ۱۵). همانطور که بصورت شماتیک نشان داده شده است در این روش ضایعات تولید کننده کمپوست در یک محفظه استوانه ای قرار می گیرد و هوا از طریق پمپ به درون لوله های متصل به مخزن تزریق می شود. میزان هوای درون لوله از طریق یک سری حسگر اندازه گیری می شود و اطلاعات آن با نرم افزار در کامپیوتر ثبت می شود در ادامه میزان

آب و ایجاد حباب و شدت هم زدن کمپوست توسط حسگرهای دیگری اندازه گیری شده و با کامپیوتر آنالیز می شود. بطور مثال اگر میزان آب کم باشد یا کیفیت حباب سازی مشکل داشته باشد دستگاه تنظیمات جدیدی را اعمال می کند تا کیفیت تولید کمپوست حفظ شود (شکل شماره ۱۵).



شکل شماره ۱۵. کمپوست سازی درون لوله ای

فرآیندهای تولید کمپوست از ضایعات جامد دارای مراحل پیش تصفیه است تا کیفیت آن بهتر شود این مراحل عبارتند از:

۱) متلاشی کردن مکانیکی و جداسازی آن ها به منظور افزایش دسترسی زیستی مواد

۲) تصفیه گرمایی

۳) شستشوی ضایعات به وسیله آب و یا محلول‌های سورفاکتانتی به منظور از بین بردن ترکیبات سمی‌موجود در ضایعات

۴) پیش تصفیه شیمیایی بوسیله H_2O_2، اوزون و یا عناصر فنتونی به منظور اکسید کردن و شکستن حلقه‌های آروماتیک هیدروکربن‌ها

بعد از مبحث تولید کمپوست به عنوان یک راهکار برای تغییر ضایعات و استفاده بهینه از آن ها، یکی دیگر از روش های تصفیه ضایعات جامد، استفاده ار فرآیندهای زیستی در تصفیه خاک به عنوان اصلی ترین جامد احاطه کننده زمین و کاهش تاثیرات آلودگی آن بر روی سایر ارکان حیات است. از تصفیه زیستی خاک برای تصفیه ضایعات داخل یا روی خاک استفاده می‌شود. گزینه‌های متعددی برای طراحی فرآیند تصفیه وجود دارد.

گزینه‌های اصلی تصفیه زیستی خاک به شرح زیر هستند:

۱) تصفیه زیستی in situ (تصفیه یک محیط آلوده در همان محل): زمانی استفاده می‌شود که آلودگی کم باشد، مدت زمان تصفیه چندان مهم نباشد و آلودگی در آب‌های زیرزمینی وجود نداشته باشد.

۲) تصفیه زیستی on situ (تصفیه مایع نشت کرده و یا گازهای پسماند در درون رآکتور موجود در مکان‌های آلوده). یکی از مهمترین دستگاه های تصفیه در این راستا، راکتورهای plug – flow (PFR)[۱] هستند که به صورت لوله ای بلند دیده می شوند که جریان مواد واکنش دهنده در آن به صورت پیوسته قرار دارد که در فاز گازی کاربرد دارد و در داخل این لوله ها جریان به صورت پلاگ (نوع خاصی از جریان سیال در لوله) می باشد و تغییر غلظت مواد به صورت دیفرانسیلی تصور می شود. از این نوع راکتور عمدتاً در موارد زیر استفاده می شود:

۱) واکنش های سریع

۲) واکنش های با دمای بالا

۳) تولید محصول زیاد

۴) واکنش های همگن و ناهمگن

از سایر ابزارهای مورد استفاده در این زمینه می توان به بیوراکتورهای همزن زیست توده مخزن دار نیز اشاره کرد. کنتاکتورهای[۲] دیسک چرخان، راکتورهای بیوفیلم[۳] ثابت تصفیه کننده بسته بندی شده (بیوفیلتر) که برای تصفیه خاک بستر رودخانه به کار می رود، راکتورهای سیال برای تصفیه بستر، مخازن هوادهی پخش

[1] Plug flow reactor

[۲] کنتاکتور (به فرانسوی: Contacteur) یک کلید کنترل شونده (الکترو مغناطیسی) به صورت الکتریکی است که برای کلیدزنی یک مدار قدرت یا کنترل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

[۳] بیوفیلم یا زیست لایه اجتماعی از سلولهای میکروارگانیسمی است که به یک سطح متصل شده‌اند و توسط مواد پلی‌مری خارج سلولی پوشیده شده‌اند.

شده، راکتورهای زیستی بالابر هوا، بیوراکتورهای جت، راکتورهای غشایی و راکتورهای بستر سرریز نیز از سایر انواع مورد استفاده می باشند. از این سیستم زمانی استفاده می‌شود که سطح آلودگی بالا باشد و یک آلودگی دیگر نیز در آب‌های زیرزمینی آلوده کننده خاک نیز وجود داشته باشد.

۳) تصفیه زیستی Ex situ (تصفیه خاک و یا آب آلوده وارد شده به خاک)، زمانی استفاده می‌شود که سطح آلودگی به قدری بالا باشد که میزان تجزیه زیستی به واسطه سمیت بالای ترکیبات و یا سرعت پایین انتقال مواد کم باشد. دلیل دیگر برای استفاده از این روش این است که ممکن است شرایط in situ و یا on situ بخاطر برخی شرایط محیطی مانند pH، شوری، بافت سخت و یا نفوذپذیری بالای خاک، سمیت بالای ترکیبات و فاصله ایمن از اماکن عمومی برای تجزیه زیستی مناسب نباشد.

جلوگیری از پخش شدن مواد خطرناک از محل آلودگی اصلی به محیط زیست یکی از کاربردهای بسیار مهم زیست‌فناوری محیطی است. برای رسیدن به این هدف می‌توان سدهای فیزیکی را بر سر مسیرهای اصلی انتقال مواد قرار داد تا با استفاده از میکروارگانیسم‌هایی که توانایی تحول زیستی مواد خطرناک را دارند و همچنین ساخت برخی تجهیزات مانند سدهای ویسکوز پلی ساکاروزی در زیر سطوح آلوده میزان آلودگی را کاهش داد.

روش دیگر که می‌توان از آن برای غیرمتحرک کردن فلزات سنگین در خاک پس از وقوع آلودگی استفاده کرد، ساخت سدهای بیوژئوشیمیایی است. این سدهای بیوژئوشیمیایی را می‌توان از ترکیب H_2S، H_2 و یا غلظت‌هایی از Fe^{2+} تولید شده به وسیله باکتری‌های احیاکننده گوگرد غیرهوازی (پس از اضافه کردن مواد آلی و در غیاب

اکسیژن)، و یا باکتری‌های احیاکننده آهن (در حضور Fe(III) و مواد آلی) ساخت. ساخت برخی سدهای زمینی که در آنها فرآیندهای شیمیایی با استفاده از باکتری ها انجام می‌گیرند به عنوان سد زمین-شیمیایی شناخته می شود که بر سر راه منابع آلودگی فلزات سنگین در مرز بین شرایط هوازی و بی‌هوازی ایجاد شده و مانع از مهاجرت فلزات سنگین به سایر منابع آبی و خاکی می شود. یک نمونه از این موارد باکتری‌های وابسته به عناصر فلزی مانند آهن هستند که با اکسید کردن آهن Fe^{2+}و ضایعات اسیدی مربوطه در این سد باعث تشکیل کلات (توده رسوبی سفت) شده و در ادامه اکسید آهن تولید می‌شود که می‌تواند از نفوذ و خروج آمونیاک، فسفات، اسیدهای آلی، سیانیدها، فنول‌ها، فلزات سنگین و رادیونوکلیدها (یک اتم است که انرژی هسته ای بالایی دارد که باعث ناپایداری آن می شود) از درون سد جلوگیری کند.

تصفیه هوازی ضایعات مایع

تضفیه هوازی فاضلاب مایع با استفاده از روش های زیستی متنوعی مانند بیوراکتورهای همزن زیست‌توده مخزن‌دار، راکتورهای PFR، کنتاکتورهای دیسک چرخان، راکتورهای بیوفیلتر و راکتورهای زیستی هوادهنده می تواند انجام شود. آلودگی‌های ثانویه مانند هوا و رسوبات خاکی آلوده منابع آبی را نیز آلوده کرده و ضایعات مایع می تواند با نفوذ به منابع خاکی دست نخورده آن ها را نیز آلوده سازد. بطور کلی فاضلاب هایی که غلظت آلاینده ها در آن

کمتر است با روش‌های زیست‌فناورانه‌ای مانند راکتورهای حاوی کربن فعال گرانوله شده[1] (GAC) می تواند براحتی تصفیه شود.

GAC یا بیوفیلترهای جاذب دیگر، می توانند جذب مواد خطرناک آبگریز را تضمین کنند. همچنین بیوفیلم‌های میکروبی با توجه به اینکه حاوی موادی از مخلوط میکروب ها و مواد ترشحی آن ها هستند و قدرت اتصال به سطوح بسیار بالایی دارند، می‌توانند به سطح این ذرات خطرناک آبگریز متصل شده و در جدا شدن مواد آلاینده آبگریز از فاضلاب نقش ایفا کنند. در ادامه باکتری های موجود در بیوفیلم با سرعت و مقدار بیشتری نسبت به شرایطی که هم مواد و هم زیست‌توده میکروبی در فاضلاب معلق هستند، تجزیه کنند.

به تجزیه زیستی همزمان مواد آلی خطرناک (که به عنوان منابع انرژی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند) و مواد مشابه از نظر پیوندهای شیمیایی که به عنوان منبع کربن و انرژی توسط میکروب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، کومتابولیسم[2] می‌گویند. اکسیداسیون زیستی مواد خطرناک بواسطه شباهت پیوندهای شیمیایی این مواد با سوبستراهای آنزیم‌های میکروبی انجام می‌شود. معروف‌ترین کاربردهای کومتابولیسم، تجزیه زیستی/ سم‌زدایی از کلرومتان‌ها، کلرواتان‌ها، کلرواتلین‌ها و کلرومتیلن‌ها بوسیله آنزیم‌های باکتریایی به منظور اکسیداسیون متان و آمونیاک به عنوان یکی از منابع اصلی انرژی است. در عمل، تصفیه زیستی بوسیله اضافه کردن متان یا آمونیاک،

[1] granular activated carbon
[2] Co-metabolism

اکسیژن (هوا) و زیست توده متانوتروف[1]ها یا باکتری‌های تثبیت کننده نیترات به خاک و آب‌های زیرزمینی آلوده به سموم کلری انجام می‌شود. در روش تصفیه هوازی مایعات در خاک از یک مخزن زباله دفن شده در زیر تک خاک استفاده می شود که بصورت تک محفظه به یک واحد تصفیه وصل است. باکتری های درون این واحد تصفیه باعث تولید گازهای متان و دی اکسید کربن می شوند که در ادامه با ورود به یک مخزن دیگر با استفاده از دستگاه اسپری ساز محتوای گازی به بیرون از خاک انتقال داده می شوند. (شکل شماره ۱۶)

شکل شماره ۱۶. تصفیه هوازی مایعات در زیر خاک

[1]متانوتروف ها (گاهی اوقات متانوفیل نامیده می شوند) پروکاریوت هایی هستند که متان را به عنوان منبع کربن خود متابولیزه می کنند و می توانند به صورت هوازی یا بی هوازی رشد کنند و برای زنده ماندن به ترکیبات تک کربنی نیاز دارند.

برای تشدید فرآیند تصفیه زیستی ضایعات مایع، مراحل پیش تصفیه زیر انجام می‌شود:

۱) جداسازی/ معلق سازی(امولاسیون) مکانیکی ذرات و مواد آبگریز به منظور افزایش سطح در دسترس در سوسپانسیون و افزایش نرخ تجزیه زیستی

۲) حذف و یا کاهش غلظت مواد خطرناک از فاضلاب بوسیله رسوب‌گذاری، سانتریفیوژ، فیلتراسیون، معلق سازی، جذب، استخراج، تبادل یونی، تبخیر، تقطیر، انجماد و جداسازی

۳) اکسیداسیون اولیه بوسیله H_2O_2، اوزون و یا عوامل فنتونی به منظور تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن؛ اکسیداسیون نوری اولیه بوسیله UV و اکسیداسیون الکتروشیمیایی ترکیبات خطرناک

انواع تصفیه ضایعات گازی:

در مجموع میکروارگانیسم‌ها از نظر نیاز به اکسیژن به گونه های بی‌هوازی (بدون نیاز به اکسیژن)، بی‌هوازی اختیاری (زندگی تحت شرایط هوازی و غیرهوازی) میکروآئروفیل (ترجیح به زندگی تحت غلظت پایین اکسیژن حل شده) و هوازی اجباری (زندگی تنها تحت شرایط هوازی) تقسیم می‌شوند. برخی از میکروارگانیسم‌های هوازی و گونه های بی هوازی تحمل‌کننده اکسیژن، دارای مکانیسم هایی هستند که بوسیله آن خود را از معضلات اکسیداسیون و ضایعات مرتبط با آن حفظ می کنند. گونه های بی‌هوازی اجباری چنین مکانیسمی‌ندارند و ممکن است پس از تنها چند ثانیه در معرض اکسیژن قرار گرفتن، از بین بروند. گونه های بی هوازی اجباری انرژی خود را از راه های زیر بدست می آورند:

۱) تخمیر (تخریب مواد آلی بدون گیرنده خارجی الکترون)

۲) تنفس بی‌هوازی با استفاده از گیرنده‌های الکترونی مانند CO_2، NO^{3-}،NO^{2-}، Fe^{3+}، SO_4^{2-}.

۳) فتوسنتز بدون اکسیژن (تبدیل H_2S به S) یا با اکسیژن (تبدیل H_2O به O_2)

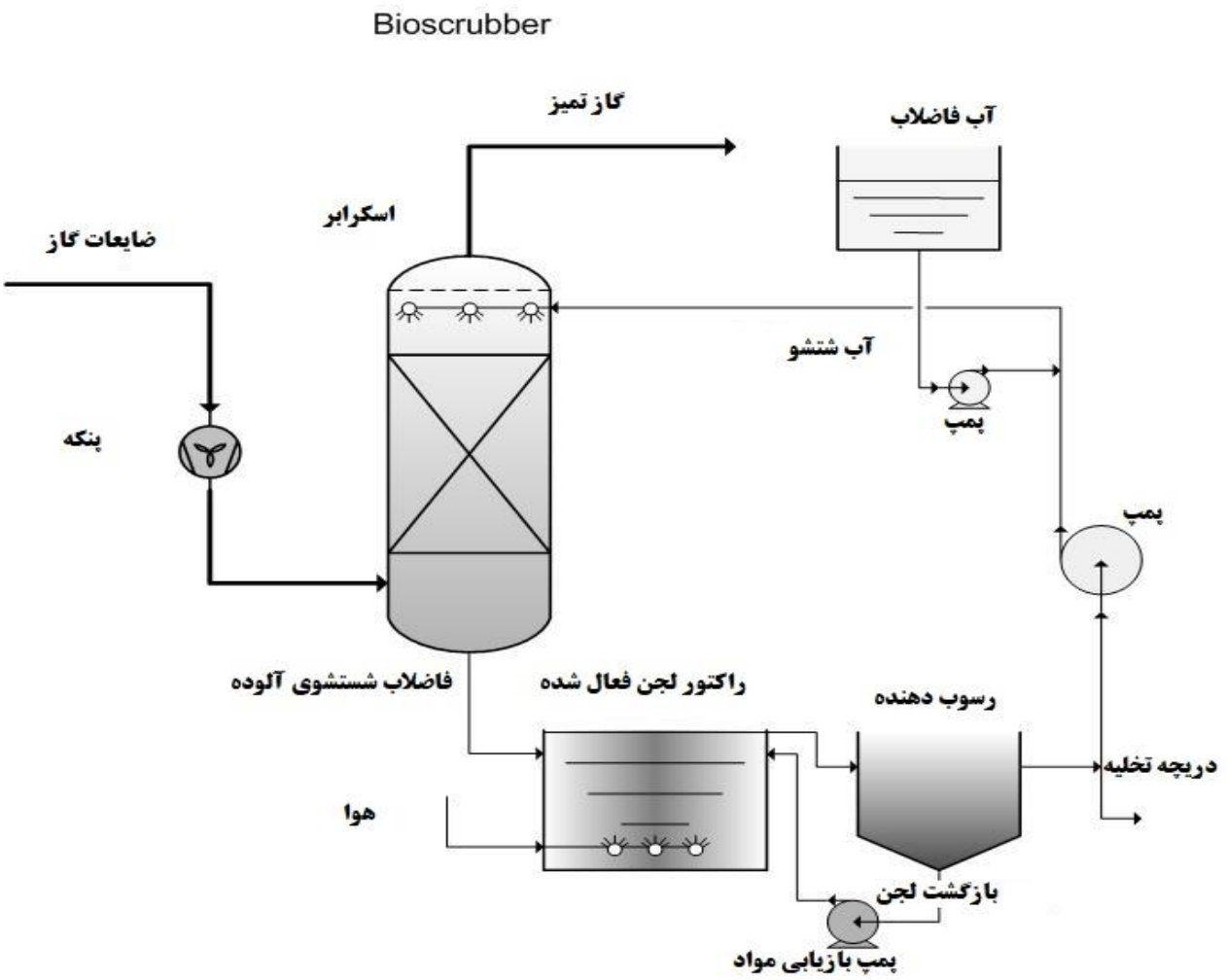
تصفیه هوازی ضایعات گازی

کاربردهای اصلی زیست‌فناوری در تصفیه ضایعات گازی شامل حذف زیستی حلال‌های آلی زیست تخریب پذیر، بوها، گازهای سمی‌مانند هیدروژن سولفید و سایر گازهای سولفیددار از دودکش سیستم‌های تهویه هوای صنایع و مزارع کشاورزی می‌شود. هوای تهویه شده صنعتی حاوی فرمالدهید، آمونیاک و سایر مواد با وزن مولکولی کم است که می‌توان با استفاده از ابزارهای لته مال زیستی(بیواسکرابر)[1] و برخی فیلترهای زیستی به شکل بهینه‌ای آن‌ها را تصفیه کرد. تعدادی از زنوبیوتیک‌های گازی که می‌توان آن‌ها را با روش‌های زیست‌فناورانه تصفیه کرد عبارتند از: کلروفرم، تری کلرو اتیلن، ۱و۲ – دی برومو متان، ۱و۲ دی برومو-۳ کلروپروپان، کربن تترا کلورید، زایلن‌ها، دی بروکلروپروپان، تلوئن، متان، متیلن کلرید، برومین، متیل مرکوری و ...

بیواسکرابر حاوی سوسپانسیونی از میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده است که آلودگی‌های گازی و یا جریان هوا می‌بایست از میان آن و یا بیوفیلترهای پک شده حاوی ناقل‌های متخلخل که با زیست توده ای از جنس میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده پوشیده شده‌اند عبور کنند. این ناقل های متخلخل با توجه به ماهیت و حجم

[1] Bioscrubberr

آلودگی گازی ممکن است از مواد متخلل ارزان قیمت مانند ذغال سنگ نارس، ورقه‌های چوب، کمپوست و یا ناقل‌های مصنوعی مرسوم از جنس پلاستیک و یا حلقه‌های فلزی، سیلندرهای متخلخل، فیبرها و توری‌های فیبری ساخته شود. محتوای بیواسکرابر می‌بایست مرتباً هم زده شود تا از نرخ بالای انتقال ماده میان گاز و سوسپانسیون میکروبی اطمینان حاصل شود. مایعی که با آلودگی گازی در تماس است در کف بیوفیلتر جمع می‌شود و در قسمت بالایی بیوفیلتر بازیافت می‌شود تا از برقراری کافی تماس میان گاز آلوده و مایع و برقراری رطوبت بهینه درون بیوفیلتر اطمینان حاصل شود. اضافه کردن مواد غذایی و آب تازه به بیوفیلتر و بیواسکرابر می‌بایست به صورت منظم و یا پیوسته انجام شود. آب تازه در حقیقت جایگزین مقدار آبی می‌شود که درون بیوراکتور تبخیر شده است. اگر نرخ انتقال ماده بالاتر از نرخ تجزیه زیستی باشد، آلودگی‌های جذب شده می‌بایست در یک بیوراکتور معلق و یا بیوفیلتر اضافی متصل به مجموعه‌ای از بیواسکرابرها یا بیوفیلترهای جاذب به صورت زیستی تجزیه شوند. (شکل شماره ۱۷)



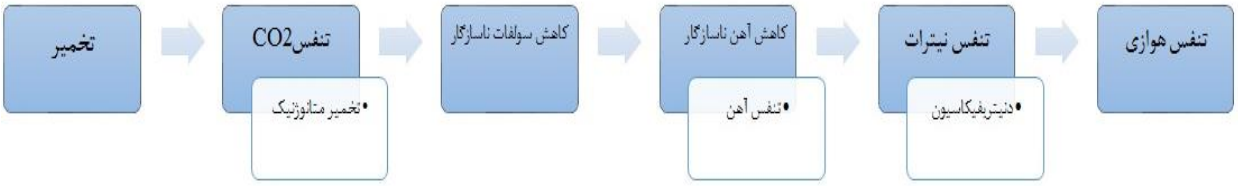
شکل شماره ۱۷. تصفیه هوازی ضایعات گازی با استفاده از بیواسکرابر

تصفیه بی‌هوازی ضایعات

مزیت تصفیه بی‌هوازی در این است که دیگر نیازی به تامین اکسیژن برای سیستم‌های تصفیه‌ای وجود ندارد. این مسئله در مواردی مانند تصفیه زیستی شن‌های آلوده به نفت و آلودگی های روغنی و یا ضایعات آلی بسیار سخت مانند برخی پلیمرهای سنتتیک، به کار می‌آید. با این وجود، تصفیه بی‌هوازی ممکن است از تصفیه هوازی کندتر

باشد و ممکن است در خروجی نهایی مقادیر قابل توجهی از محصولات آلی محلول که به واسطه تخمیر و یا تنفس غیرهوازی تولیده شده‌اند، وجود داشته باشد.

واکنش های زیر فرآیندهای تنفسی را با توجه به افزایش کارآمدی انرژی برای تجزیه زیستی (به ازای هر مول الکترون منتقل شده) نشان می‌دهد در واقع این واکنش ها بر اساس تنفس CO_2 و تخمیر متانوژنیک که باعث کاهش سولفات ناسازگار می شود، طراحی می شود. در ادامه تنفس مقادیر آهن منجر به کاهش آلایندگی های فلزی می شود، مرحله آخر نیتریفیکاسیون است که نوعی تنفس نیترات به شمار می رود بعد از کاهش نیترات نوبت به تنفس هوازی می رسد(شکل شماره ۱۸):



شکل شماره ۱۸. سیر فرآیند های شیمیایی از تخمیر تا تنفس هوازی

میکرواورگانیسم های بی‌هوازی اختیاری می‌توانند از طریق این واکنش‌های بیوشیمیایی یا از طریق اکسیداسیون هوازی مواد آلی، انرژی تولید کنند و ممکن است هنگامی‌که با میکروارگانیسم‌های هوازی و بی‌هوازی در مواد میکروبی ترکیب شوند، مفید واقع شوند. تولید برخی اکسیدان‌های فعال مانند پراکسید هیدروژن توسط گونه های

بی هوازی اختیاری مانند اشرشیاکلی یکی از این مزایاست که در طی متابولیسم هوازی طبیعی باعث تجزیه بهتر ضایعات می شود.

مقدار تولید انرژی در فرآیند تنفس بی‌هوازی نسبت به تخمیر بیشتر است. تنفس بی‌هوازی معمولا با استفاده از گیرنده های ویژه CO_2، NO^{3-}،NO^{2-}، Fe^{3+}، SO_4^{2-} در گونه های متفاوتی از پروکاریوت‌ها انجام می شود. بدین طریق اگر غلظت یکی از این گیرنده‌ها در ضایعات خطرناک برای انجام تنفس بی‌هوازی و اکسیداسیون آلودگی کافی باشد، فعالیت گروه‌های باکتریایی مرتبط می‌تواند برای این فرآیند تصفیه به کار گرفته شود. تثبیت CO_2 که نوعی فرآیند بیوشیمیایی برای تغییر ماهیت کربن موجود در ضایعات است، توسط پروکاریوت‌ها (متانوژنز) برای تجزیه زیستی متانوژنیک ضایعات آلی خطرناک به کار گرفته می‌شود. در این روش کربن موجود در ساختار مواد به دی اکسید کربن و بخار آب تبدیل می شود.

باکتری‌های احیاکننده سولفات که منابع تامین انرژی در آن ها غیر از اکسیژن است و در حقیقت بی هوازی هستند، می‌توانند مواد آلی را به صورت زیستی تجزیه کنند و یا فلزات سنگین حاوی سولفات موجود در ضایعات خطرناک را رسوب داده و غیر متحرک کنند. باکتری‌های احیاکننده آهن می‌توانند یون Fe^{2+} محلول را از Fe(III) غیرمحلول تولید کنند. تجزیه زیستی غیرهوازی مواد آلی و سم‌زدایی از ضایعات خطرناک را می‌توان به شکل چشمگیری بوسیله رسوب دادن مواد آلی خطرناک مانند اسیدها، فنول‌ها و سیانیدها با استفاده از Fe(II) بهبود داد. از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیترات می‌توان برای نیتروژن زدایی و کاهش تبدیل نیترات به N_2 گازی، استفاده

کرد. می‌توان نیترات را به ضایعات خطرناک اضافه کرد تا تجزیه زیستی مواد آلی مختلف از جمله هیدروکربن‌های پلی سیکلیک آروماتیک آغاز شود. گروه نیترو در مواد خطرناک از طریق مسیری مشابه با آمین‌های مرتبط احیا می‌شود.

باکتری‌های تخمیرکننده غیرهوازی (مثلا از جنس کلستریدیوم) دو کار مهم برای تخریب زیستی مواد آلی خطرناک انجام می‌دهند:

۱) هیدرولیز پلیمرهای طبیعی مختلف

۲) تخمیر مونومر ها با تولید الکل، اسیدهای آلی و CO_2

بسیاری از ترکیبات خطرناک، برای مثال حلال‌های کلری، فنول‌ها، اتیلن گلیکول‌ها و پلی اتیلن گلیکول‌ها توسط میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی تجزیه می‌شوند. باکتری‌های تخمیرکننده با احیای منابع کلری، کلرزایی غیرهوازی احیاکننده انجام می‌دهند. این باکتری ها در تجزیه زیستی زنوبیوتیکهای حاوی کلر نقش بسزایی دارند.

سیستم‌های متفاوت زیست‌فناورانه می‌توانند تصفیه زیستی غیرهوازی فاضلاب را انجام دهند: تصفیه زیستی به وسیله میکروارگانیسم‌های شناور، فیلتراسیون زیستی بی‌هوازی و تصفیه زیستی در رآکتورهای UASB[1].

[1] Up flow anaerobic sludge blanket technology

ماهیت ضایعات آلی و غیرآلی به آرامی‌توسط میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی در محل‌های دفن زباله، تغییر می‌کند. مواد آلی به وسیله باکتری‌ها و قارچ‌ها هیدرولیز می‌شوند و نتیجه تجزیه این ضایعات زیستی آمینواسیدهایی است که در اثر واکنش های بیوشیمیای به مواد معدنی آمینی بخصوص آمونیاک که سمی هستند تجزیه می شوند..

آمینواسیدها، نوکلئوتیدها و کربوهیدرات‌ها تخمیر شده و یا به صورت بی‌هوازی اکسید می‌شوند (این فرآیند با تولید اسیدهای آلی، CO_2 و CH_4 همراه است). زنوبیوتیک‌ها و فلزات سنگین ممکن است احیا شده، محلول و یا رسوبی شوند. احتمال دارد این فرآیندهای زیستی در نهایت منجر به تولید شیرابه سمی‌در محل‌های دفن زباله شوند که می‌توان این‌ها را به وسیله تصفیه های زیست‌فناورانه هوازی سم‌زدایی کرد تا ترکیبات آلی سمی اکسید شده و فلزات سمی به ترکیبات رسوبی تبدیل شده و یا حل شوند.

ترکیب تصفیه زیستی هوازی و غیرهوازی، می‌تواند از تصفیه هوازی و یا غیرهوازی به تنهایی کارایی بیشتری داشته باشد. ساده‌ترین موارد برای این دست از تصفیه ها در تالابها و مردابها صورت می گیرد. معمولا تصفیه هوازی نوعی فرآیند تثبیت منابع کربنی همراه با فرآیند هوادهی است و تصفیه غیرهوازی برای مردابهایی است که درآن ها جریان آب راکد متوقف شده است و سیستم باتلاقی ایجاد شده است که هوادهی را متوقف می کند، در این سیستم‌ها تصفیه هوازی در بخش بالایی و تصفیه بی‌هوازی در بخش پایینی اتفاق می‌افتد. شکلی تشدید شده از تجزیه زیستی می‌تواند به وسیله ترکیب رآکتورهای هوازی و بی‌هوازی به همراه شرایط کنترل شده و یا به وسیله ترکیب نواحی هوازی و غیرهوازی درون یک بیورآکتور به دست آید.

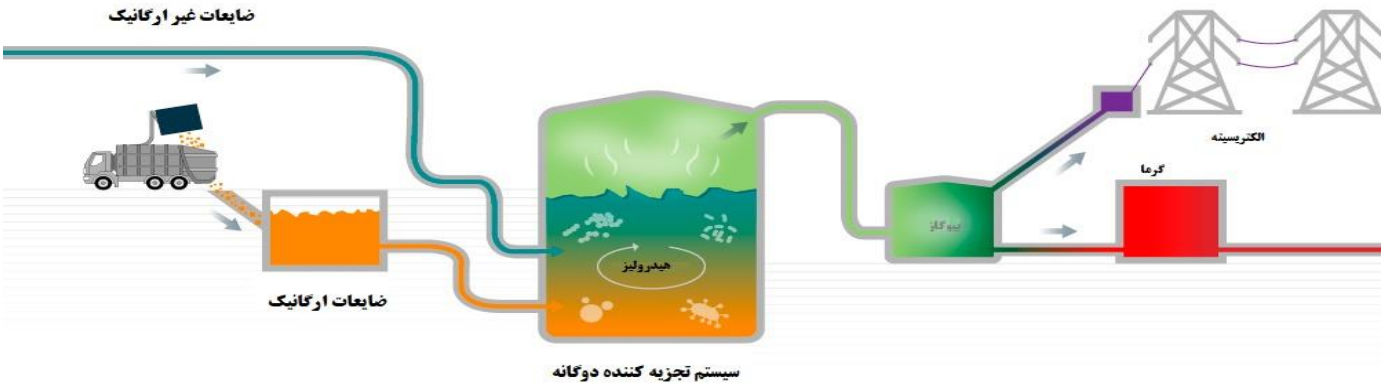
ترکیب تصفیه های هوازی و غیرهوازی در شرایط ذیل بسیار مفید است:

۱) تجزیه زیستی هیدروکربن‌های آروماتیک کلردار شامل کلرزدایی بی‌هوازی و شکستن حلقه به صورت هوازی

۲) حذف متوالی نیتروژن شامل نیتریفیکاسیون هوازی و دنیتریفیکاسیون بی‌هوازی

۳) احیای سولفات و یا Fe(III) به همراه تولید H_2S یا Fe(II) (گونه‌های فعال لازم برای ته نشینی فلزات سنگین، اسیدهای ارگانیک و مواد غذایی)

یکی از جدید ترین و پیشرفته ترین مواردی که به تازگی در حال توسعه است سیستم های تجزیه کننده دوگانه برای تصفیه ضایعات ارگانیک و غیر ارگانیک است که در نهایت با تولید گاز از راه فرآیندهای زیستی که اصطلاحاً بیوگاز نامیده می شود، این ضایعات به سوخت قابل مصرف تبدیل شده و حتی از انرژی گرمایی آن ها در نیروگاه ها استفاده می شود. (شکل شماره ۱۹)



شکل شماره ۱۹. سیستم های تجزیه کننده دو گانه و تولید بیوگاز

تصفیه ضایعات آبی-خاکی-گازی که حاوی فلزات سنگین هستند

ضایعات مایع و جامد حاوی فلزات سنگین را می‌توان با استفاده از روش‌های زیست‌فناورانه تصفیه کرد. برخی از فلزات را می‌توان با استفاده از آنزیم‌های تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها اکسید و یا احیا کرد. متابولیسم میکروبی، محصولاتی مانند هیدروژن، اکسیژن و H_2O_2 تولید می‌کند که برای اکسیداسیون/احیای فلزات ضروری هستند. ترکیبات حاصل از اکسیداسیون یا احیای فلزات معمولاْ با محلول شدن و یا رسوب کردن فلزات همراه است. محلول شدن و یا رسوب کردن فلزات ممکن است از طریق واکنشگرهای میکروبی نیز انجام شود. تولید میکروبی اسیدهای آلی در تخمیر و یا اسیدهای غیرآلی (نیتریک و سولفوریک اسید) در اکسیداسیون هوازی باعث تشکیل رسوبات نمک های فلزی (کلات فلزی) می شود که در نهایت به فرم محلول در می آیند. تولید میکروبی فسفات، H_2S و CO_2 فرآیند رسوب نمک های فسفاتی، کربناتی و سولفیدهای فلزات سنگین مانند آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب، جیوه و نیکل را تحریک می‌کند. با توجه به اینکه برخی از باکتری ها منابع گوگردی را احیا می کنند، تولید H_2S از طریق احیای سولفات توسط باکتری‌ها برای حذف فلزات سنگین و ایزوتوپ های رادیواکتیو (رادیونوکلیدهای موجود درون آب) حاوی سولفات زهکشی شده معادن و ضایعات مایع تاسیسات هسته-ای بسیار مفید است. از اسیدهای آلی تولید شده طی تخمیر بی‌هوازی سلولز می‌توان به عنوان منبعی از کربن احیا شده برای احیای سولفات و رسوب بیشتر فلزات استفاده کرد.

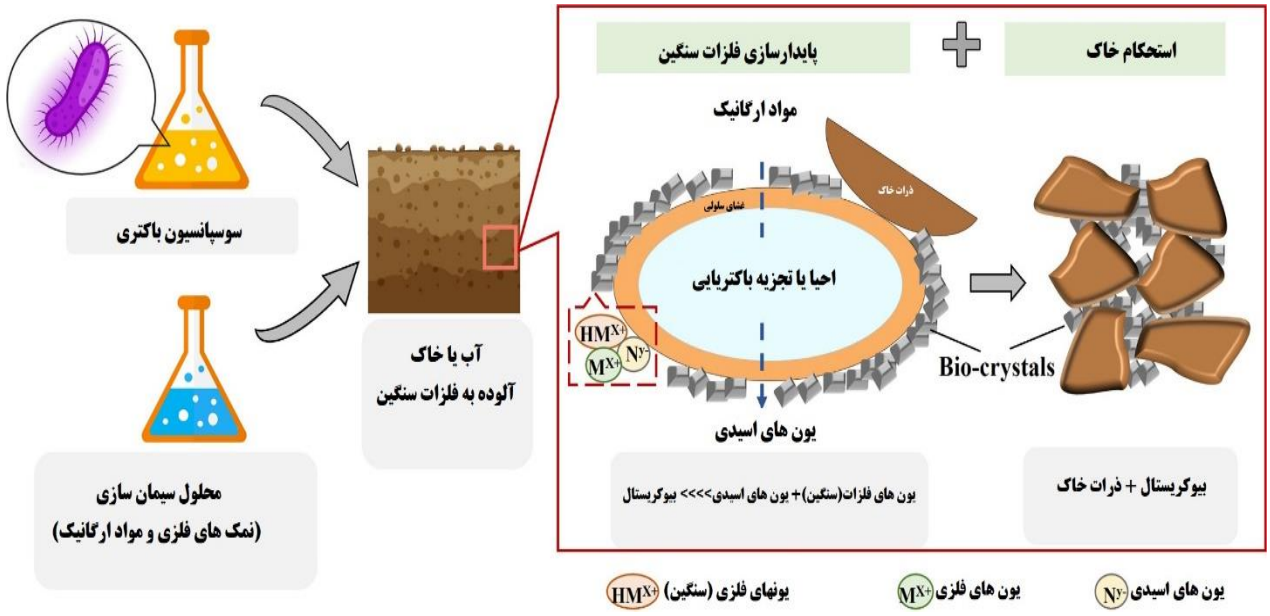
سطح سلول‌های باکتریایی با کربوکسیل‌ها و گروه‌های فسفات دارای بار منفی و گروه‌های آمین با بار مثبت پوشیده شده است. بدین طریق، بسته به شرایط pH محیط، فلزات سنگین به شکل قابل توجهی به سطح سلول‌های میکروبی جذب می‌شوند. جذب زیستی برای مثال به وسیله تولیدات تخمیر قارچی برای جمع‌کردن اورانیوم و سایر رادیونوکلیدها از بخار ضایعات به کار می‌رود.

مواد معدنی حاوی فلز، مانند نمک های سولفید فلز را می‌توان اکسید نموده و یون های فلزی را محلول کرد. از این استراتژی برای بیولیچینگ (جداسازی بیولوژیک عناصر از محلول ها) فلزات سنگین از لجن فاضلاب پیش از دفع زباله‌ها و تغییرات زیستی محیط استفاده می‌شود. برخی از فلزات مانند آرسنیک و جیوه، ممکن است به واسطه متیلاسیون طی فعالیت غیرهوازی میکروارگانیسم‌ها، تبدیل به بخار شوند. آرسنیک به وسیله آرکی‌ها و قارچ‌های متانوژنیک متیله می‌شود و به بخار دی متیل آرسین و یا تری متیل آرسین سمی و یا توسط جلبک‌ها به متان آرسونیک اسید و دی متیل آرسنیک کمتر سمی و غیربخاری تبدیل می‌شوند. ارگانوتین‌های[1] هیدروفوب برای ارگانیسم‌ها سمی‌هستند؛ زیرا در غشای سلولی حل می‌شوند. این ترکیبات از مشتقات عنصر قلع و کربن ایجاد شده اند که خواص بسیار متنوعی دارند. با این وجود، بسیاری از میکروارگانیسم‌ها نسبت به ارگانوتین‌ها مقاوم هستند و از آن‌ها به وسیله تجزیه نواحی آلی‌شان سم‌زدایی می‌کنند.

[1] ترکیبات ارگانوتین یا قلع ترکیبات شیمیایی بر پایه عنصر قلع متصل به کربن هستند.

در برخی از موارد ممکن است روش‌های زیست‌فناورانه متفاوت با هم ادغام شوند. برای مثال ته نشینی زیست‌فناورانه کروم از ضایعات حاوی Cr(VI) در کارخانه‌های آبکاری با استفاده از احیای سولفات به کروم سولفید ته نشین شده در احیای سولفات از اسیدهای چرب به عنوان ترکیباتی آلی که هیچ تجمع سولفیدی ندارند، استفاده می‌شود. در غیاب اسیدهای چرب اما در حضور کاه به عنوان یک ماده آلی، احیای مستقیم کروم بدون احیای سولفات مشاهده شده است.

در شکل شماره ۲۰ فرآیند تصفیه فلزات سنگین با کمک باکتری ها به صورت شماتیک نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می کنید آب آلوده می تواند لایه هایی از خاک را آلوده کند و بالعکس خاک آلوده به مواد رادیواکتیو می تواند در منابع آبی زیرزمینی نفوذ کرده و آن را آلوده سازد. با توجه به جنس مواد رادیواکتیو باکتری هایی که می توانند از منابع آلودگی به عنوان منبع تثبیت انرژی استفاده کنند به صورت سوسپانسیون باکتری به خاک اضافه می شود. در ادامه مواد تقویت کننده خاک برای رشد باکتری ها نیز به موضع افزوده می گردد. تکثیر و فعالیت زیست توده باکتریایی در خاک باعث تغییر pH محیط می شود و فرآیند تجزیه و یا احیا در خاک تسریع می شود. با مصرف این نمک ها زیست توده بزرگتر شده و خاک تصفیه می شود. ذرات خاک در مجاورت یون های اسیدی به بیوکریستال تبدیل می شوند. این بیوکریستال خواص فیزیکی و شیمیایی متنوعی دارد.



شکل شماره ۲۰. تصفیه آلودگی با فلزات سنگین توسط باکتری ها

بهبود تصفیه های زیست‌فناورانه ضایعات

عوامل کلیدی متعددی برای کاربرد موفقیت‌آمیز زیست‌فناوری در تصفیه ضایعات خطرناک وجود دارد:

۱) فاکتورهای محیطی مانند pH، دما و غلظت اکسیژن محلول می‌بایست بهینه شوند.

۲) آلودگی‌ها و مواد غذایی می‌بایست برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها در دسترس باشند.

۳) محتوا و فعالیت میکروارگانیسم‌های حیاتی در ضایعات تصفیه شده می‌بایست کافی باشد.

دمای رشد بهینه بازه‌ای از ۱۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد است و می‌بایست این محدوده برای تصفیه زیستی بهینه به وسیله گونه های مشخصی از میکروارگانیسم‌ها تعیین شود. معمولا باکتری های محیطی در دماهای زیر ۲۵ درجه

به خوبی رشد می کنند. گرمای ضایعات تصفیه شده، از اکسیداسیون میکروبی و یا فعالیت‌های تخمیری ایجاد می‌شود. این مسئله، جدایی گرمایی مناسبی بین ضایعات تصفیه شده و ضایعات اطراف که هنوز تصفیه نشده‌اند ایجاد می‌کنند. عوامل حجیم اضافه شده به ضایعات جامد نیز ممکن است به عنوان جداکننده گرمایی مورد استفاده قرار بگیرند.

pH انواع بیولوژیک طبیعی میکروبی چیزی بین ۱ تا ۱۱ است: خاک‌های آتشفشانی و معادن زهکشی، pHای بین ۱ تا ۳ دارند؛ شیره گیاهان و خاک‌های اسیدی pHای بین ۳ تا ۵ دارند. آب شیرین و دریاها pHای بین ۷ تا ۸ دارند. خاک‌های قلیایی و دریاچه‌ها، ترکیبات آمونیاکی و مواد آلی پوسیده pHای میان ۹ تا ۱۱ دارند. بسیاری از باکتری‌ها در شرایط pH بین ۵ تا ۹ رشد بهینه دارند و به آن‌ها نوتروفیل می‌گویند. به گونه‌هایی که برای رشد در pHهای کمتر از ۴ سازگار شده‌اند، اسید دوست[1] می‌گویند. گونه‌هایی که برای رشد در pHهای بالاتر از ۹ سازگار شده‌اند، قلیادوست[2] نامیده می‌شوند. بدین طریق pH محیط تصفیه می‌بایست در شرایط بهینه نگه داشته شود تا تصفیه زیستی به شکل بهینه‌ای انجام شود.

pH بهینه به صورت فیزیولوژیکی و با اضافه کردن بافر pH و یا تنظیم کننده‌های pH بدست می آید و معمولا به مقاصد مختلفی باید تنظیم شود برخی از این موارد در ذیل اشاره می شود:

[1] acidophiles
[2] alkaliphiles

۱) کنترل تولید اسیدهای آلی طی تخمیر

۲) جلوگیری از تولید اسیدهای غیرالی در اکسیداسیون هوازی آمونیوم، گوگرد عنصری، سولفید هیدروژن و سولفید فلزی

۳)جذب آمونیوم، نیترات یا نیترات آمونیوم، منجر به کاهش pH، افزایش pH یا pH خنثی می‌شود

۴) بافرهای pH مانند $CaCO_3$ یا $Fe(OH)_3$ می‌توانند در تصفیه پسماند در مقیاس بزرگ استفاده شوند.

۵) محلول‌های KOH، NaOH، NH_4OH، $Ca(OH)_2$، HCl یا H_2SO_4 را می‌توان به طور خودکار اضافه کرد تا pH مایع را در راکتور هم زده حفظ شود.

نگهداری pH بهینه در پسماند جامد تصفیه شده یا خاک با استفاده از پالایش مجدد ممکن است در صورت وجود مقدار زیادی سولفید در پسماند یا اسیدی شدن / قلیایی شدن خاک در فرآیند بازیابی کیفیت خاک یا زیست پالایی[1]، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.

عناصر اصلی یافت شده در سلول‌های میکروبی C، H، O، N، S و P هستند. ترکیب اولیه باکتریایی به شکل تقریبی با فرمول $CH_{1.8}O_{0.5}N_{0.2}$ مطابقت دارد. بنابراین، اگر ضایعات حاوی مقادیر کافی از این عناصر اصلی نباشند، ممکن

[1] Bioremediation

است نیاز به اصلاح مواد مغذی وجود داشته باشد. زباله‌ها را می‌توان با کربن (بسته به نوع آلاینده تصفیه شده)، نیتروژن (آمونیوم بهترین منبع)، فسفر (فسفات بهترین منبع) و / یا گوگرد (سولفات بهترین منبع) غنی‌سازی کرد. سایر عناصرفلزی مغذی ضروری (K، Mg، Na، Ca و Fe) و ریز مغذی‌ها (Cr، Co، Cu، Mn، Mo، Ni، Se، V و Zn) نیز برای رشد میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی‌ضروری هستند و اگر غلظتشان در ضایعات کم باشد، باید به سیستم‌های تصفیه اضافه شوند.

بهترین منبع فلزات ضروری، نمک‌های محلول و یا کلات‌های حاوی اسیدهای آلی هستند. منبع فلز برای تصفیه زیستی لکه‌های نفتی، ممکن است ترکیبات چربی‌دوست تشکیل شده از آهن و یا سایر مواد مغذی ای باشد که می‌توانند در محدوده برخورد میان آب و هوا قرار گیرند. در این منطقه هیدروکربن‌ها و میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده هیدروکربن‌ها حضور دارند. در برخی از تصفیه های زیستی، فاکتورهای رشد نیز می‌بایست به ضایعات تصفیه شده اضافه شود. فاکتورهای رشد ترکیباتی آلی مانند ویتامین‌ها، آمینواسیدها و نوکلئوتیدها هستند که باکتری‌های اتوتروف (باکتری هایی که خودشان عناصر ضروری مورد نیاز خود را می سازند) به میزانی کم از آن‌ها احتیاج دارند. معمولاْ میکروارگانیسم‌های هم غذا و یا انگل گیاهان و جانوران برای رشد تنها به فاکتورهای رشد نیاز دارند. با این وجود برخی از اوقات این میکروارگانیسم‌ها توانایی منحصر به فردی در تجزیه برخی از زنوبیوتیک‌ها از خود نشان می‌دهند.

ممکن است مواد به وسیله برخی ترکیبات شیمیایی و یا فیزیکی در برابر تکثیر میکروبی محافظت شوند. این سدهای محافظتی می‌بایست به صورت مکانیکی و یا شیمیایی تخریب شوند تا سوسپانسیونی از ضایعات و یا تکه‌های بزرگی از آن ایجاد شود و سطح قابل دسترس برای اتصال میکروب‌ها و متعاقباً تجزیه زیستی فراهم شود. راهی دیگر برای افزایش دسترسی زیستی مواد آب‌گریز، شستشوی زباله و یا خاک به وسیله آب و یا محلولی از مواد فعال کننده سطوح است. یکی از معایب این فناوری، تولید ضایعات ثانویه خطرناک به واسطه مقاومت سورفاکتانت‌های تولید شده به صورت شیمیایی به تخریب پذیری زیستی است. بنابراین، تنها موادی که به راحتی به شکل زیستی تجزیه می‌شوند و یا سورفاکتانت‌های تولید شده با روش‌های زیست فناورانه می‌بایست برای پیش تصفیه مواد هیدروفوب خطرناک مورد استفاده قرار بگیرد.

آنزیم‌های خارج سلولی تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها معمولاْ برای استفاده در تصفیه زیستی در مقیاس بالای ضایعات آلی، بسیار گران قیمت هستند. با این وجود استفاده از آنزیم‌ها در برخی از موارد ممکن است اقتصادی باشد. ضایعات حاوی ارگانوفسفات سمی را می‌توان با استفاده از آنزیم پاراتیون هیدرولاز تولید شده توسط یک سویه دستکاری شده از استرپتومایسز لیویدانس[1] از بین برد. آنزیم های رها شده در محیط بدون سلول سیال می تواند ترکیبات ارگانوفسفاتی را هیدرولیز کند. راهکارهای آینده ممکن است شامل آنزیم‌های وابسته به سیتوکروم P450 اکسیژناز باشند که قادر به اکسید کردن زنوبیوتیک‌های مختلف هستند.

[1] *Streptomyces lividans*

غلظت پایین اکسیژن حل شده (0.01-10mg/L) به سرعت طی تصفیه زیستی از بین می‌رود. بنابراین اکسیژن می‌بایست به شکل پیوسته برای سیستم تصفیه تامین شود. تامین هوا در سیستم‌های تصفیه ضایعات آلوده مایع به وسیله هوادهی و به هم زدن مکانیکی انجام می‌شود. روش‌های مختلفی به کار گرفته شده است تا مقادیر کافی از اکسیژن در رآکتورهای بیوفیلم تثبیت شده، در ضایعات چسبناک جامد، در لایه‌های زیرین خاک و یا در سفره‌های زیرزمینی آلوده به مواد خطرناک را تامین کند. در اکثر مواقع تامین اکسیژن، عاملی حیاتی در گسترش مقیاس تکنولوژی‌های تصفیه زیستی از مقیاس آزمایشگاهی به مقیاس کاملاً صنعتی است. هوا دهی در محل، یک روش بسیار پرکاربرد در تصفیه زیستی است که تجزیه زیستی آلودگی‌های موجود در آب‌های زیرزمینی و خاک‌های اشباع شده را تسریع می‌کند. استفاده از اکسیژن خالص می‌تواند میزان انتقال اکسیژن را تا پنج برابر افزایش دهد، و این می‌تواند در شرایطی با سمیت شدید پسماندهای خطرناک و سرعت انتقال اکسیژن پایین، برای اطمینان از انتقال اکسیژن کافی در زباله‌های آلوده استفاده شود.

در تصفیه های هوازی کمبود اکسیژن مورد نیاز خود یک چالش اجرایی است. برخی از محققین از روش های متابولیسمی موجودات زنده و تولید آب اکسیژنه این معضل را حل می کنند. در برخی موارد، به دلیل غلظت محدود اکسیژنی که می‌توان آن را با استفاده از هوادهی از سطح زمین به آب زیرزمینی منتقل کرد، از پراکسید هیدروژن به عنوان منبع اکسیژن استفاده می‌شود. با این وجود به دلیل برهمکنش‌های بالقوه متعدد میان H_2O_2 و عناصر اصلی موجود در آب‌های زیرزمینی، تجزیه H_2O_2 ممکن است بسیار سریع باشد و نفوذ موثر آن به نواحی هدف

تصفیه، سخت و پرهزینه شود. همانطور که اشاره شد اکسیداسیون هوازی در تجزیه خیلی از ضایعات نقش سازنده دارد و قبل از تصفیه فاضلاب انجام می شود که به این روند پیش تصفیه فاضلاب نیز می گویند. این سیستم پیش‌تصفیه فاضلاب به وسیله اوزون، H_2O_2، فوتواکسیداسیون UV کاتالیز شده به وسیله TiO_2 و اکسیداسیون الکتروشیمیایی می‌تواند به شکل چشمگیری تخریب پذیری زیستی مواد آلی هالوژنه، رنگ‌های مورد استفاده در منسوجات، پساب‌های آسیاب خمیر کاغذ، فاضلاب چرم سازی، کارخانه‌های روغن زیتون، مواد فعال کننده سطح، فاضلاب‌های آلوده و مواد زائد دارویی را افزایش داده و سمیت شیرابه‌های دفن زباله شهری را کاهش می‌دهد. در برخی از موارد ترکیبات دارای رادیکال‌های اکسیژنی تولید شده بوسیله عوامل فنتونی (H_2O_2 Fe^{2+} + در pH پایین) و پراکسیدهای آهن (Fe(VI) و Fe(V)) می‌تواند به عنوان اکسیدان در تصفیه ضایعات خطرناک مورد استفاده قرار گیرد.

بسیاری از میکروارگانیسم‌ها می‌توانند متابولیت‌های سمی از جمله هیدروژن پراکسید، رادیکال‌های سوپراکسید و رادیکال هیدروکسیل را تولید و در محیط آزاد کنند. قارچ‌های "پوسیدگی سفید" اکسید کننده لیگنین می‌توانند لیگنین و سایر مواد شیمیایی را به دلیل تولید شدید رادیکال‌های اکسیژن که مواد آلی را با ترکیب تصادفی اکسیژن در مولکول اکسید می‌کنند، تخریب کنند. اطلاعات زیادی در مورد توانایی تجزیه زیستی باکتری‌های میکروآئروفیل مولد H_2O_2 در دسترس نیست.

زمانی که نرخ اکسیژن پایین است می توان از گیرنده‌های محلول الکترون مانند NO^{3-}، No^{2-}، Fe^{3+}، SO_4^{2-} و HCO^{3-} در سیستم‌های تصفیه استفاده کرد. انتخاب گیرنده الکترون به شرایط اقتصادی و زیست محیطی بستگی دارد. اغلب از نیترات برای تصفیه زیستی به کار گرفته می‌شود؛ زیرا بسیاری از گیرنده‌ها از آن به عنوان گیرنده الکترون استفاده می‌کنند. با این وجود، نیترات گران است و تامین آن برای سیستم‌های تصفیه نیازمند کنترل بسیار دقیق است؛ زیرا می‌تواند محیط را آلوده کند. Fe^{3+} یک گیرنده الکترون سازگار با محیط زیست است و معمولاْ در کانی‌های رسی، کلوخ طبیعی آهن، لیمونیت، اکسید آهن و سنگ معدن آهن یافت می‌شود؛ اما ترکیبات آن معمولاْ به شکل نامحلول است و نرخ اکسیداسیون پایین‌تری در مقایسه با گیرنده‌های محلول الکترون دارد. سولفات و کربنات به عنوان گیرنده الکترون در مناطق بی‌هوازی به کار گرفته می‌شوند. یکی از معایب این نوع از گیرنده‌ها این است که اکسیداسیون آنوکسیک[1] باعث تولید H_2S سمی و بد بو و یا گاز "گلخانه ای" CH_4 می‌شود.

شروع فرآیند تصفیه زیستی با استفاده از باکتری های مورد نظر به محیط حاوی ضایعات انجام می گیرد. در واقع اضافه کردن میکروارگانیسم‌ها (ماده تلقیح) به محیط به خاطر یکی از دلایل زیر انجام می شود:

۱) میکروارگانیسم‌هایی که برای تصفیه ضایعات خطرناک ضروری هستند، در ضایعات وجود نداشته باشند و یا غلظتشان پایین باشد.

[1] اکسیداسیون مستقل از اکسیژن، اگر سرعت اکسیداسیون مواد آلی توسط باکتری ها بیشتر از اکسیژن محلول باشد، شرایط بدون اکسیژن رخ می دهد.

۲) اگر نرخ تصفیه زیستی انجام شده توسط میکروارگانیسم‌های محلی برای رسیدن به اهداف تصفیه کافی نباشد.

۳) اگر دوره سازگاری طولانی مدت باشد.

۴) به منظور هدایت تصفیه زیستی به بهترین مسیر ممکن از میان تمامی‌مسیرهای ممکن.

۵) برای جلوگیری از رشد و پراکندگی سویه‌های میکروبی ناخواسته یا غیر تعیین شده مانند موجودات بیماری‌زا یا فرصت طلب در سیستم تصفیه پسماند.

استفاده از سویه(های) میکروبی تعریف شده و ایمن به عنوان محیط کشت آغازین به خصوص برای سیستم‌های زیست فناوری با استفاده از سلول‌های باکتریایی تجمع یافته در بیوفیلم‌ها، لکه‌ها یا گرانول‌ها به دو دلیل مهم است:

الف) تجمع سایر باکتری ها را می‌توان تسهیل و تقویت کرد.

ب) سلول‌های باکتریایی خود-تجمیع شده یا دگر-تجمع یافته اغلب پاتوژن یا پاتوژن فرصت طلب هستند که ممکن است نظم درون بیورآکتور را بهم بزنند و در ادامه راندمان فرآیند انجام شده در بیورآکتور را کاهش دهند.

در حال حاضر، یک استراتژی مرسوم در مهندسی محیط زیست برای فرآیند تصفیه زیستی استفاده از بخشی از ضایعات تصفیه شده و یا محیط کشت غنی شده در محیط برای القای فرآیند جدید است که به آن ماده تلقیح نیز گفته می شود. استفاده از محیط‌های کشت خالص معین مزایای زیر را در پی دارد:

۱) کنترل بیشتر بر روی فرآیندهای مورد نظر

۲) ریسک پایین‌تر آزادسازی پاتوژن‌ها و یا میکروارگانیسم‌های فرصت طلب طی تصفیه زیست فناورانه

۳) ریسک پایین تر تجمیع میکروارگانیسم‌های خطرناک در محصول نهایی تصفیه زیستی. محیط‌های کشت خالص را می‌توان از طریق روش‌های مرسوم میکروبیولوژیک جداسازی کرده، با روش‌های مولکولی – زیستی به سرعت مقدار و نوع آلودگی را شناسایی و برای بررسی ویژگی‌های تخریب پذیری زیستی و بیماری زایی آزمایش کرد.

۴) ماده تلقیح (میکرواورگانیسمی که برای نخستین بار به محیط وارد می شود) را می‌توان در مقیاس صنعتی تولید کرد.

۵) در مواردی که نرخ مرگ و میر میکروارگانیسم‌ها طی تصفیه بالا است، اضافه کردن منظم محیط کشت باکتریایی فعال ممکن است منجر به تثبیت مقدار زیست تخریب پذیری مواد خطرناک شود.

میکروارگانیسم‌های مناسب برای تصفیه زیستی ترکیبات خطرناک را می‌توان از محیط‌های طبیعی جدا کرد. با این وجود، توانایی آن‌ها را در تجزیه زیستی می‌بایست با استفاده از روش های مهندسی ژنتیک در سویه های منتخب

وارد کرد تا کشت و کنترل آن ها راحت تر و بازدهی عملکرد آن ها قابل برنامه ریزی باشد. نوترکیبی طبیعی ژنتیکی ژن‌ها (واحدهای ژنتیکی اطلاعات) طی همانندسازی DNA و تکثیر سلول‌ها انجام می‌شود و شامل شکستن و اتصال مجدد مولکول‌های DNA کروموزومی و پلازمیدها است.

تکنیک‌های DNA نوترکیب و یا مهندسی ژنتیک می‌توانند ترکیبی جدید و مصنوعی از ژن‌ها را بسازند و تعداد ژن‌های دلخواه در سلول را افزایش دهند. مهندسی ژنتیک سویه‌های میکروبی نوترکیب روشی مناسب برای تصفیه زیستی است و معمولاً از مراحل زیر تشکیل شده است:

۱) استخراج DNA موردنظر از سلول‌ها و شکستن آن به قطعات کوچک با استفاده از آنزیم‌های خاص

۲) وارد کردن قطعات کوچک DNA درون وکتورها

۳) یک وکتور (ویروسی یا پلازمیدی) به درون سلول منتقل می‌شود و در اثر رونویسی ماده ژنتیکی ممکن است نسخه‌های متعددی از ژن‌های وارد شده ساخته شود.

۴) سلول‌ها به همراه ژن‌های جدید اکتسابی بر مبنای فعالیت (برای مثال تولید یک آنزیم مشخص و یا پتانسیل تجزیه زیستی) و پایداری ژن وارد شده انتخاب می‌شوند.

برخی از باکتری ها ویژگی خودتجمیع شوندگی دارند که باعث ایجاد زیست توده می شود. این زیست توده می تواند بصورت بیوفیلم یا گرانول های از جمعیت باکتریایی باشد که با هدف تصفیه زیستی ضایعات خطرناک استفاده می‌شود. مزیت تجمع میکروبی در تصفیه ضایعات خطرناک به شرح زیر است:

۱) لایه‌های بالایی و بستر متراکم، از سلول‌ها در برابر آلودگی‌های سمی محافظت می‌کنند؛ بنابراین سلول‌های میکروبی متراکم و یا سلول‌های غیرمتحرک در برابر زنوبیوتیک‌های سمی، مقاوم‌تر از سلول‌های میکروبی معلق هستند.

۲) گروه‌های فیزیکی متفاوت و یا جایگزین از میکروارگانیسم‌ها ممکن است در توده‌های متراکم با هم وجود داشته باشند و این مسئله منجر به افزایش تنوع روش‌های تصفیه زیستی می‌شود و در نهایت کارایی تصفیه در یک رآکتور افزایش می‌یابد.

۳) توده‌های میکروبی متراکم را معمولاْ می‌توان به آسانی و به سرعت از آب‌های تصفیه شده جدا کرد. سلول‌های میکروبی غیرمتحرک بر روی سطح‌های ناقل مانند کربن‌های گرانوله شده فعال، زنوبیوتیک‌ها را بهتر جذب کنند و در ادامه بسیار بهتر از سلول‌های معلق تجزیه می‌کنند.

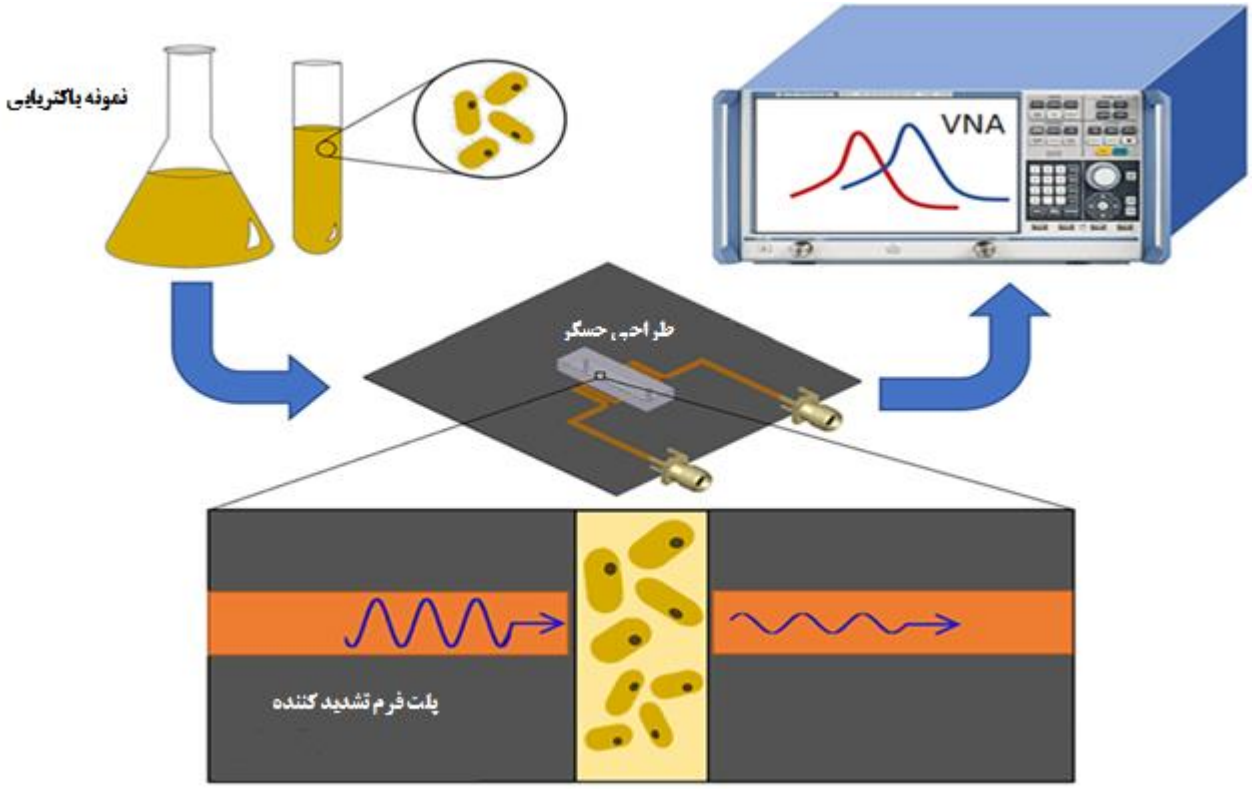
با وجود این مزایا مشکلاتی در عملکرد بیوفیلم ها وجود دارد که نقش آن ها در رآکتور را تحت تاثیر قرار می دهد. یکی از مهمترین مشکلات در این زمینه عبارتست از؛ محدودیت در نقل و انتقال مواد مانند میزان پایین ورود مواد غذایی و یا میزان پایین خروج متابولیت از توده؛ برای مثال سطح اکسیژن محلول می‌تواند حتی در برخی از نقاط بیوفیلم به صفر برسد و به همین دلیل ممکن است باکتری‌های بی‌هوازی در یک راکتور هوازی رشد کنند. این فاصله کاملاً به عواملی مانند نرخ مشخص جذب اکسیژن و چگالی زیست توده در توده میکروبی بستگی دارد. زمانی که شرایط محیطی درون بیوفیلم میکروبی نامناسب شود، سلول‌ها در نواحی که مواد غذایی کافی مورد نیاز وجود

ندارد و یا متابولیت‌های مهار کننده وجود دارد، از بین می‌روند. کانال‌ها و سوراخ‌ها در یک توده می‌تواند انتقال اکسیژن، مواد غذایی و متابولیت‌ها را تسهیل کند. اثبات شده است که کانال‌های موجود در گرانول‌های کروی میکروبی تا عمق ۹۰۰ میکرومتر نفوذ می‌کنند و لایه‌ای از باکتری‌های بی‌هوازی اجباری در زیر لایه کانال‌دار تشخیص داده شده است. این مسئله نشان می‌دهد که اندازه یا ضخامت بهینه‌ای برای توده‌های میکروبی مناسب برای استفاده در تصفیه مواد زائد خطرناک وجود دارد.

۲-۳)حسگرهای زیستی

یکی دیگر از کاربردهای بسیار مهم زیست فناوری محیطی، پایش زیستی است که شامل پایش میزان تجزیه زیستی، سمیت، جهش‌زایی، غلظت مواد خطرناک و پایش غلظت و بیماری‌زایی میکروارگانیسم‌های موجود در مواد زائد در محیط زیست است. حسگرهای زیستی در آزمونهای سنجش مواد مورد استفاده قرار می گیرند مکانیسم عمل آن ها بصورت برخط یا غیر برخط برای پایش کیفیت تجزیه زیستی و با استفاده از اندازه گیری تولید گاز CO_2 و یا CH_4 یا میزان جذب O_2 انجام می‌شود. مکانیسم هایی که حین انجام فرآیند صورت می گیرد آنلاین یا برخط نام دارد و سایر مکانیسم ها غیر برخط یا آفلاین نامیده می شوند. حسگرهای زیستی می‌توانند از سلول‌های باکتریایی کامل و یا آنزیم‌ها برای تشخیص مولکول‌های خاص موجود در مواد زائد خطرناک استفاده کنند. سمیت را می‌توان به طور مشخص با استفاده از حسگرهای سلولی کامل که در صورت وجود ماده خطرناک، ویژگی بیولومینسانس آن‌ها متوقف می‌شود، بررسی کرد (شکل ۲۱). با توجه به شکل، محیط کشت باکتری دارای متغیرهای زیادی است

که می تواند رشد متابولیسم آن را متاثر کند با توجه به این پارامترها بیوحسگرهایی طراحی می شوند که می توانند پلت فرم سیگنال الکتریکی را تشدید کرده و باعث شناسایی میزان متغیر در محیط شود.



شکل شماره ۲۱. بررسی محتوای محیط کشت باکتری با استفاده از بیوحسگرها

ویژگی بیولومیناسنس یک خاصیت فیزیکی مربوط به رنگ سنجی مواد است که در حضور طول موج های متفاوت خواص نوری متغیری را نشان می دهند. خواص لومینسانس در همه مواد وجود دارد، ولی در مواد زیستی به خاطر اینکه فعل و انفعالات زیستی باعث تغییر ویژگی لومینسانس مواد می شود به آن بیولومینسانس می گویند. این

ویژگی اساس بسیاری از واکنش های بیوشمیایی است که متغیر مورد اندازه گیری از نظر خواص فیزیکی لومینسانس (تغییر طول موج نور دریافتی و انعکاس آن) مورد مطالعه قرار می گیرد. حسگرهایی که تغییرات طول موج نوری جذب و منعکس شده را ثبت می کنند، بیوحسگرهای لومینسانسی نام دارند. در طبیعت برخی پروتئین ها خاصیت لومینسانس قوی ای دارند. این پروتئین ها در برخورد با یک نور با طول موج معین، نوری دیگر ساطع می کنند که معمولاْ قابل تمایز است. ژن های مشخصی در جانداران این پروتئین ها را رمزگزاری می کنند که ژن های لومینسانس نام دارند. امروزه گیاهان و حیوانات تراریخته ای تولید شده اند که به علت داشتن این پروتئین ها خواص بیولومینسانس قوی ای دارند و به رنگ های مختلفی دیده می شوند.

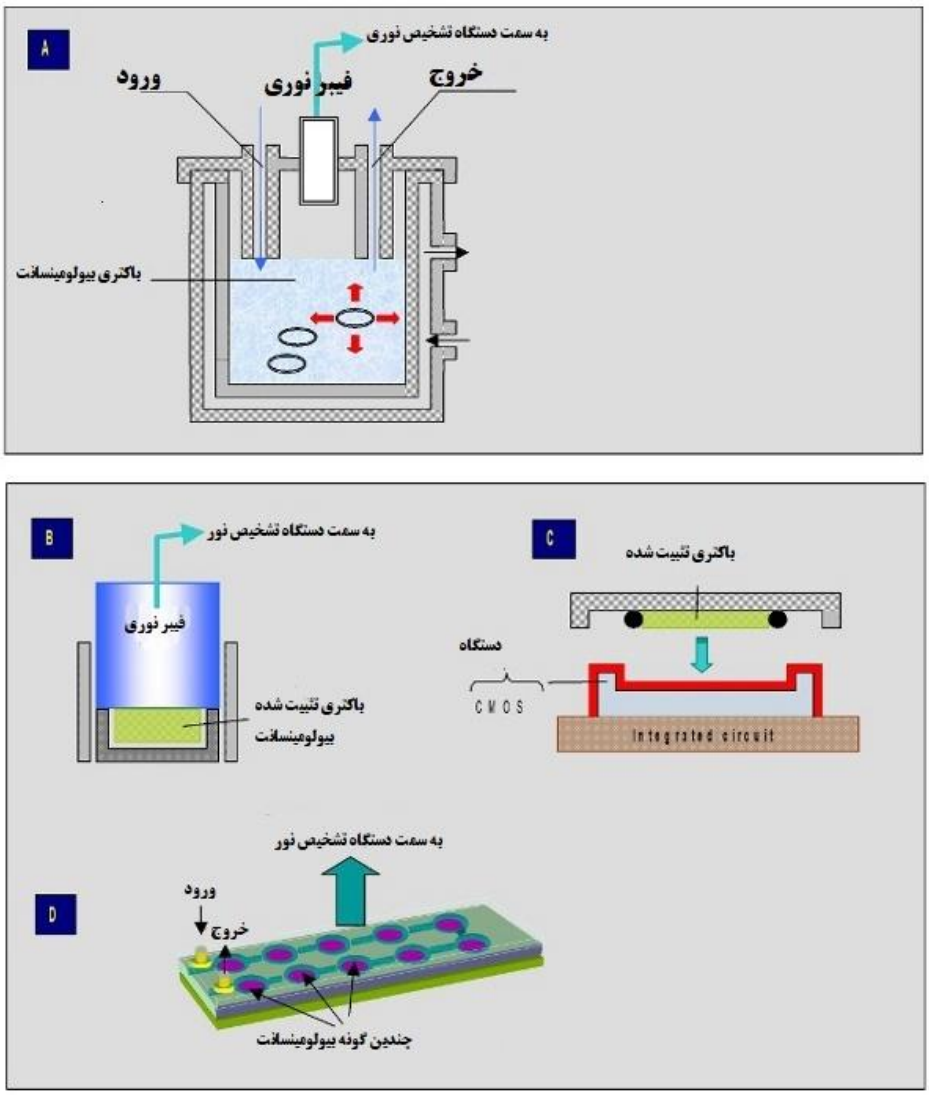
محبوب‌ترین کاربرد استفاده از ژن‌های لومینسانس گزارشگر وارد شده به سلول، به منظور بررسی تغییرات ایجاد شده در وضعیت متابولیکی سلول‌ها طی سم‌زایی است. یکی از باکتری هایی که در فرآیند تصفیه زیستی نقش دارند باکتری های تثبیت کننده نیترات هستند که می توانند نیتروژن مازاد موجود در محیط و ضایعات را به فرم قابل استفاده در ریشه گیاهان تبدیل کنند. باکتری‌های تثبیت کننده نیترات، غشای سلولی چند لایه دارند که نسبت به تمامی‌مواد از بین برنده غشا حساس هستند. موادی مانند: حلال‌های آلی، سورفاکتانت‌ها، فلزات سنگین و اکسیدان‌ها. بنابراین حسگرهای اندازه‌گیری تنفس، میزان تنفس این نوع باکتری‌ها را به منظور پایش میزان سمیت موجود در آب‌های تصفیه شده اندازه می‌گیرند.

حسگرهای زیستی تراکم مواد زائد خطرناک را اغلب بر مبنای بیولومینسانس اندازه گیری می‌کنند.

این حسگرها در اصل یک زیست گزارشگر بیولومینسانس هستند که در تصفیه فاضلاب به کارگرفته می‌شوند. این حسگرها به وسیله وارد کردن ژن‌های بیولومینسانس به درون میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شوند. این حسگرهای سلولی بسیار حساس هستند و ممکن است به عنوان پایشگرهای برخط مورد استفاده قرار بگیرند تا بتوان فرآیند تجزیه زیستی مواد محلول خطرناک را بهینه کرد.

ممکن است از حسگرهای مشابه برای اندازه گیری غلظت آلودگی‌های خاص استفاده شود. یک ژن بیولومینسانس درون ژن‌های کد کننده آنزیم‌هایی که آلودگی را متابولیزه می‌کنند قرار داده شده است. زمانی که این آلودگی‌ها تجزیه می‌شوند، سلول باکتری نور تولید می‌کند. شدت تجزیه زیستی و بیولومینسانس به غلظت و تراکم آلودگی وابسته است و می‌توان آن را با استفاده از سیستم‌های برخط فیبرنوری کمّی‌سازی کرد. ۴ نوع از بیوحسگرهای میکروبی در شکل شماره ۲۳ آورده شده است که ویژگی های مشترکی دارند، از قبیل استفاده از فیبرنوری، محل ورود و خروج مواد، باکتری بیولومینسانت و دستگاه تشخیص نور. در مدل A باکتری دارای خواص بیولومینسانس در یک مخزن کشت داده می شود که فیبر نوری در ناحیه سقفی آن قرار دارد. در مدل B باکتری بیولومینسانس در یک فضا تثبیت شده است که نور ساطع شده از آن توسط فیبر نوری پوشاننده شناسایی می شود. در مدل C باکتری تثبیت شده در یک سطح متحرک قرار داده می شود که نور ساطع شده از آن توسط دستگاه روبروی سطح باکتری شناسایی می شود. در مدل D یک چیپ ساخته می شود که دارای نواحی کوچکی برای رشد انواع باکتری

های بیولومینسانس است که تمام اجزای یک حسگر در یک خانه متمرکز شده است و با آن می توان به طور همزمان چندین آزمایش را انجام داد. (شکل ۲۲)



شکل شماره ۲۲. انواعی از بیوحسگرهای لومینسانسی

بررسی خواص مغناطیسی در پسماند ها یکی دیگر از فرآیندهایی است که برای مدیریت سلامت محیط زیست باید به آن توجه داشت. خواص مغناطیسی مواد شیمیایی معمولاْ با قدرت سرطان‌زایی آن‌ها همبستگی دارد. از سویه‌های باکتریایی جهش یافته برای تعیین توان مغناطیسی بالقوه مواد شیمیایی طبیعی و مصنوعی استفاده می‌شود. یکی

از مشهورترین آزمایش ها در این مورد، اختراع دانشمندی به نام Ames بود که در سال ۱۹۷۱ نوعی سویه باکتریایی اگزوتروف را توسعه داد که دارای نوعی جهش بود که قدرت استفاده از برخی مواد مغذی را از او گرفته بود، ولی در مجاورت مواد دارای خاصیت مغناطیسی رشد می کرد. این باکتری ها جزو خانواده مگنتوتاکتیک (MTB[1]) باکتری ها هستند که دارای اندامکی به نام مگنتوزوم هستند که بصورت بیولوژیک دو قطب N و S را برای باکتری ایجاد می کند. اینگونه جهش ها از نظر نیازهای متابولیسمی، جاندار را به رده های قدیمی تر می برد و باعث می شود توان جاندار در تجزیه و متابولیسم مواد به نسل های عقب تر افت کند لذا جهش رو به عقب نام گرفته است. زمانی که باکتری‌های اگزوتروف بر روی محیطی که فاقد برخی از مواد مغذی است که ژن تجزیه آن ها را از دست داده است کشت داده می‌شود، هیچ رشدی دیده نمی‌شود. برخی از مواد شیمیایی قادرند جهش هایی در ساختار ژنتیکی باکتری ها ایجاد کنند که مشکلات متابولیکی در پی داشته باشد. در آزمایش های انجام شده فراوانی جهش رخ داده، می تواند ملاک نسبتاً مناسبی برای فهم پتانسیل مغناطیسی و سرطان‌زایی ماده شیمیایی باشد. جهش زایی در باکتری‌ها به صورت گسترده در تحقیقات مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

طراحی و ساخت حسگر ها نیازمند استفاده از اجزای سلولی و یا مولکول هایی است که سلول در حین متابولیسم تولید می کند. این مولکول ها توانایی شناسایی مولکول‌های خاصی را دارند که عملکرد آن ها را اختصاصی می کند. به این حسگرها، **بیوحسگرهای مولکولی** گفته می شود.

[1] باکتری‌های مغناطیسی (یا MTB) یک گروه پلی‌فیلتیک از باکتری‌ها هستند که خود را در امتداد خطوط میدان مغناطیسی میدان مغناطیسی زمین جهت می‌دهند.

مولکول های شناسایی کننده در حسگرها می‌توانند از جنس آنزیم، توالی نوکلئیک اسیدی (DNA یا RNA)، آنتی بادی‌ها، پلی‌ساکاریدها باشند که نوعی مولکول گزارشگر به حساب می آیند. در تصفیه های زیستی که در آن ها از میکروارگانیسم‌ها استفاده می شود، اگر آنتی بادی ها با یکسری ذرات فلورسنتی به نام فلوروکروم جفت شوند، می توانند در یک سری دستگاه های فوق حساس شناسایی شوند. این آنتی بادی ها می توانند به ذرات معلق متصل شوند و میزان آلایندگی یا حتی تجزیه مواد را نشان دهند. استفاده از چنین آنتی بادی‌هایی در مطالعه سرنوشت باکتری‌های آزاد شده در محیط به منظور تصفیه محل آلوده بسیار مفید هستند. امروزه آزمون های ایمونولوژیکی که با استفاده از مارکرهای فلورسنتی یا آنتی بادی های جفت شده با آنزیم انجام می شود (Immunoassay) برای اندازه گیری اختصاصی برخی مولکول های ویژه در طیف وسیعی از آلودگی‌ها، مانند علف کش‌ها و پلی سیکلیک‌های کلری، مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنزیم‌هایی که با این روش ها اندازه گیری می شوند برای انواع آلودگی ها اختصاصی هستند و به یک بستر متصل هستند. برهمکنش میان آنزیم و آلودگی، وجود آلودگی را نشان می‌دهد. از این سیستم در حسگرهای زیستی برخط تصفیه زیستی آب و گاز استفاده شده است.

یک راهکار کارآمد برای مطالعه و ردیابی جمعیت‌های میکروبی در تصفیه زیستی ضایعات خطرناک، شامل تشخیص توالی معینی از اسیدهای نوکلئیک به وسیله هیبریداسیون (اتصال هیبریدی که نوعی اتصال محکم بین مولکول ها برای شناسایی است) از طریق پروب‌های الگونوکلئوتیدی مکمل است. مارکرهای رادیواکتیو، مارکرهای فلوئورسنت

و سایر مولکولها می توانند به پروب اولیگونوکلئوتیدی متصل می‌شوند تا حساسیت را افزایش داده و تشخیص را راحت تر کنند.

اسیدهای نوکلئیکی که توسط پروب‌ها قابل شناسایی هستند عبارتند از: DNA کروموزومی، DNA خارج کروموزمی‌مانند پلازمیدها، DNAهای سنتزی نوترکیب مانند وکتورهای کلونینگ، DNA ویروسی و یا فاژی، rRNA، tRNA، mRNA رونویسی شده از روی کروموزوم اصلی باکتری و یا DNA پلازمید که خارج کروموزمی است. این راهکار مولکولی شامل مرحله هیبریداسیون محتوای ژنتیکی کل سلول سالم و یا هیبریداسیون عصاره‌ای از آن به همراه تصفیه نوکلوئیک اسیدهای مورد نظر پیش از هیبریداسیون به وسیله پروب است. در کنار پروب ها می توان از یکسری مولکول های نوکلئوتیدی به نام ریز آرایه نیز استفاده کرد. ریزآرایه‌های برای شناسایی نیمه کمی همزمان میکروارگانیسم‌های مختلف یا ژن‌های خاص در نمونه محیطی به کار می روند و حساسیت آن ها از پروب ها بیشتر است زیرا مقادیر بسیار کم را نیز پیدا می کنند.

بخش سوم: میکرواورگانیسم های تراریخته و محیط زیست

مقدمه:

عمده مطالب این بخش با بیوتکنولوژی غذایی و کشاورزی همپوشانی دارد ولی هدف از مرور این مطالب بررسی تاثیر جانداران دستورزی ژنتیکی شده بر روی محیط زیست و نحوه مدیریت این تاثیر با استفاده از روش های بیوتکنولوژی است. با توجه به اینکه دستورزی ژنتیکی گیاهان و جانوران به منظور افزایش بازدهی تولید آن ها در کشاورزی صورت می گیرد معمولاْ این تغییرات ژنتیکی باعث غلبه یک سری صفات در برخی از گیاهان می شود. هر گونه انتقال مواد ژنتیکی از گیاهان و جانوران تراریخته به اکوسیستم طبیعی نوعی آلودگی زیستی محسوب می شود که باید کاملا کنترل شده باشد. ایجاد مقاومت وسیع الطیف در تمام گیاهان یک منطقه علیه آفات یا برخی املاح می تواند نتایج غیر قابل کنترلی در حوزه مدیریت زیست بوم ها داشته باشد. معمولا انتقال ژن از یک گونه تراریخته به یک گونه وحشی بصورت افقی نیست (انتقال ژن افقی یعنی بدون انجام تولید مثل) و در زاده های این گونه ها قابل ردیابی است.

ارگانیسم اصلاح شده ژنتیکی[1] (GMO) موجودی است که با استفاده از تکنیک های مهندسی ژنتیک، محتوای ژنتیکی آن تغییر یافته است. اصطلاح GMO برای اشاره به هر میکروارگانیسم، گیاه یا حیوانی استفاده می شود که در آن از تکنیک های مهندسی ژنتیک برای معرفی ژن خاص و حذف یا اصلاح قسمت

[1] Genetically Modified Organisms

های خاصی از ژنوم آن استفاده شده است. GMO هایی که از طریق فناوری های ژنتیکی تولید می شوند، بخشی از زندگی روزمره شده اند و از طریق کشاورزی، پزشکی، تحقیقات و مدیریت محیط زیست وارد جامعه می شوند. غذاهایی که از GMO ها تهیه می شوند به عنوان منابع غذایی اصلاح ژنتیک شده شناخته می شوند. همچنین در تحقیقات علمی برای تولید کالاهایی غیر از غذا به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد. GMOها ارگانیسم‌هایی هستند که نویدبخش خوبی در بهبود کشاورزی، بهداشت و محیط زیست هستند.

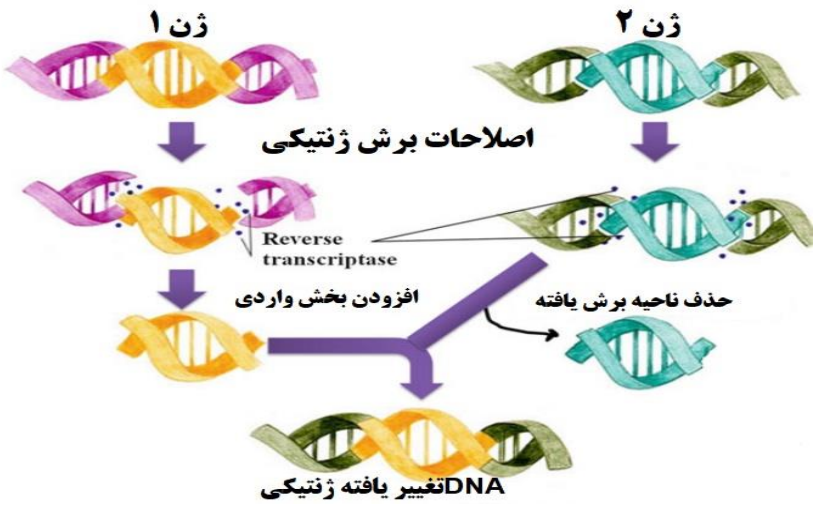
گیاهان GMO می توانند برای تحمل بهتر دما یا شرایط نامساعد جوی، برای داشتن ویتامین های مختلف یا توزیع داروها و واکسن ها، مهندسی شوند. تولید مواد غذایی با GMO در سه دهه گذشته به سرعت افزایش یافته است که تقریباً ۹۰٪ محصولات امروزی در ایالات متحده آمریکا را تشکیل می دهد. بسیاری از محققان تصور می کنند که غذاهای اصلاح شده ژنتیکی توانایی پایان دادن به گرسنگی در جهان را دارند. شرکت مونسانتو در آمریکا، بزرگترین شرکت تولید و پخش کننده محصولات تراریخته در بازارهای دارای بذرهای اصلاح شده برای غذاها است. GMO ها با استفاده از تکنیک های مهندسی ژنتیک تهیه می شوند و اولین بار توسط هربرت بویر و استنلی کوهن در سال ۱۹۷۳ تولید شدند.

تکنیک های مورد استفاده در تولید GMO:

- کلونینگ سلول تخم اصلاح یافته

- وارد کردن ژن مورد نظر در ژنوم گیاه
- تعویض کل محتوای ژنوم گیاه

در تمام این روش ها یک مسیر یکسان وجود دارد. معمولاً ژنی که به طور طبیعی در یک گیاه وجود دارد و در گیاه دیگر نیست به نحوی طراحی و مهندسی می شود که از طریق یک حامل ژنتیکی به میزبان گیاهی دیگر وارد شود. معمولا این انتقال نوعی جایگزینی است و ژن نخست از گیاه اول برش داده می شود و به جایگاه ژن دوم در گیاه دوم قرار داده می شود که این نوعی مهندسی ژنتیک است. (شکل شماره ۲۳).



شکل شماره ۲۳. نحوه تغییر ژنتیکی در DNA

در برخی از موارد نیازی به حذف ژن ۲ نیست و ژن ۱ در کنار ژن ۲ وارد شده و با آن همزمان بیان می شود.

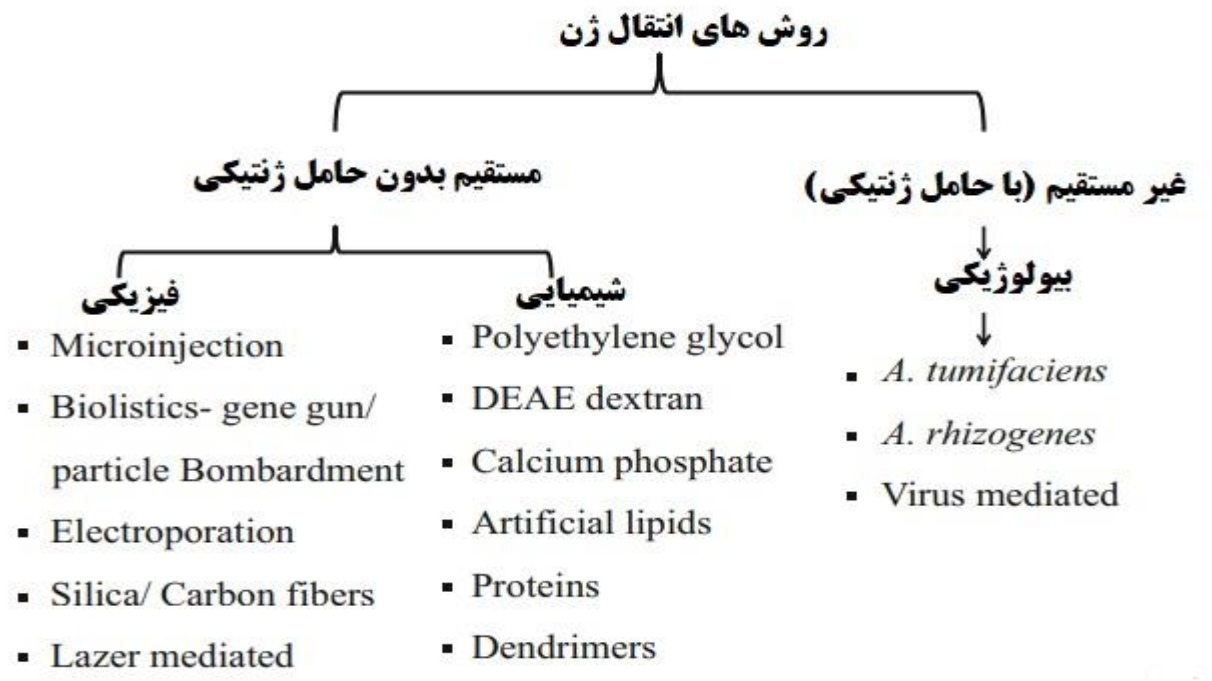
غذاهای اصلاح شده ژنتیکی اولین بار برای مصرف غذایی و غیر غذایی انسان در ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۹۴ مورد تأیید قرار گرفتند و تا سال ۲۰۰۷ حدود ۹۰٪ از ذرت، پنبه و سویای کاشته شده در ایالات متحده آمریکا

GMO بودند. تا پایان سال ۲۰۲۰، محصولات تراریخته بیش از ۱۰ میلیون کیلومتر مربع (۳,۸۶ میلیون مایل مربع) زمین در ۲۹ کشور جهان، (یک دهم زمین های کشاورزی جهان) را به خود اختصاص دادند. قاره آمریکا و ده محصول برتر اصلاح شده ژنتیکی در آن شکل شماره ۲۴ نشان داده شده است.

شکل شماره ۲۴. انواع محصولات تراریخته

تحول ژنتیکی ابزاری قدرتمند و تکنیک مهمی برای مطالعه ژنومیک عملکردی گیاه است. ژنومیک عملکردی نوعی مطالعه ژنوم جانداران است که در آن محتوای ژنتیکی از نظر تولید پروتئین هایی که روی عملکرد جاندار تاثیر دارد، بررسی می شود. تغییرات ژنتیکی در گیاهان اولین بار در سال ۱۹۸۴ در توتون و تنباکو توصیف شد. از آن زمان، پیشرفت‌های شگرفی در فناوری مهندسی ژنتیک منجر به اصلاح ژنتیکی بسیاری از گونه های گیاهی شده

است. روش‌های ورود ژنهای متنوع به سلولهای گیاهی شامل روشهای مستقیم یا غیرمستقیم است. روش های مستقیم بدون حامل ژنتیکی شامل روش های فیزیکی و شیمیایی است. برخی از روش های فیزیکی عبارتند از: تزریق میکرونی محتوای ژنتیکی (Microinjection) به داخل سلول، تفتگ ژنی و بمباران محتوای اسید نوکلئیکی به داخل هسته (Gene-gun)، الکتروپوراسیون که نوعی تکنیک الکتریکی است و با ایجاد شوک الکتریکی باعث بروز خلل و فرج در غشای سلول می شود. فیبرهای سیلیکونی-کربنی که باعث انتقال ژن به داخل سیتوپلاسم می شوند، لیزرهای ویژه ای که باعث ایجاد فضای بین غشایی می شود که انتقال اسید نوکلئیک را تسهیل می بخشد. از روش های شیمیایی می توان به پلی اتیلن گلیکول اشاره کرد که بار سطحی DNA را تغییر می دهد تا بتواند وارد سلول شود. دکستران (DEAE) که بار سطحی را تغییر می دهد ومثبت می کند، نمک کلسیم فسفات که باعث ایجاد وزیکول هایی می شود که می تواند محتوای DNA را به داخل سلول انتقال دهد. ترکیبات پروتئینی و دندریمرها (مولکول های شاخه دار حاوی واحد های تکرار شونده) که علاوه بر تغییر بار سطحی باعث انتقال DNA به داخل سلول می شود. از روش های غیر مستقیم می توان به استفاده از فاژها، ویروس ها و برخی باکتری های کوچکتر اشاره کرد(شکل ۲۵).

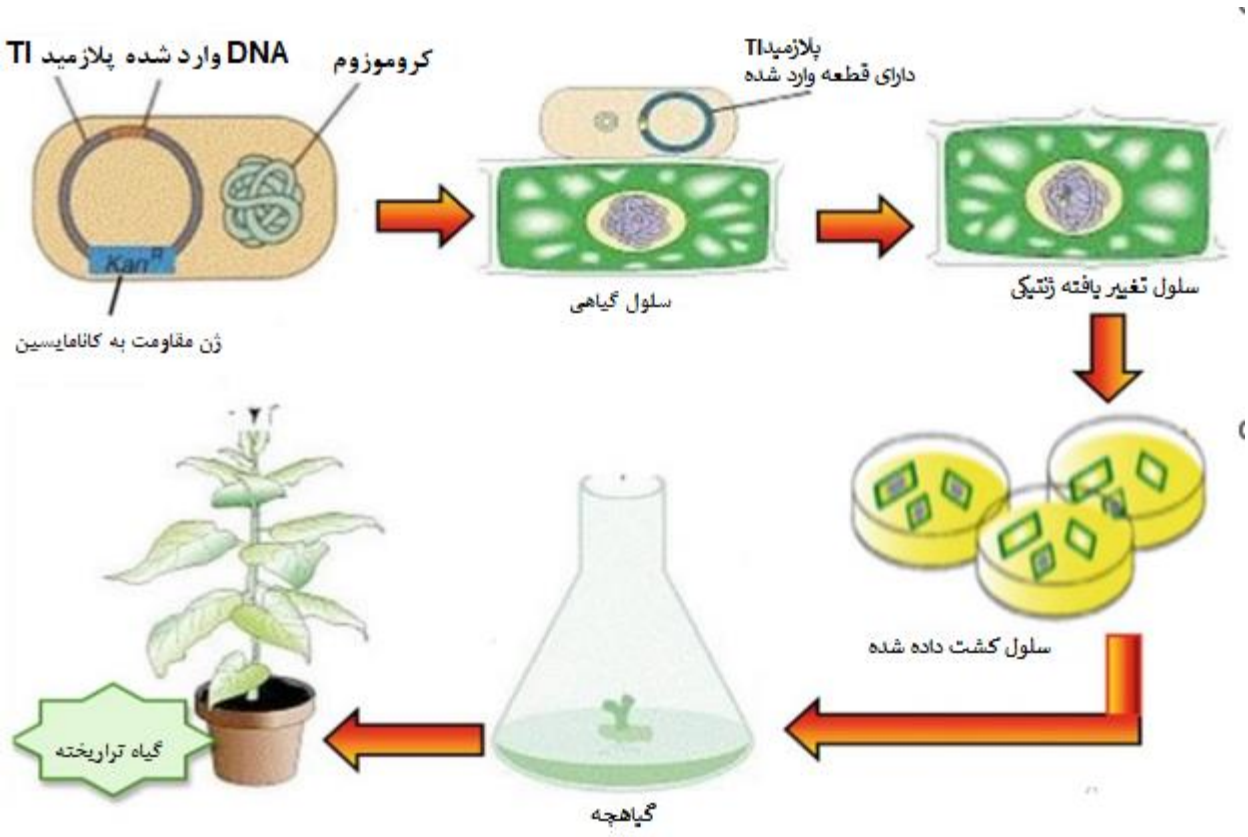


شکل شماره ۲۵. انواع روش های انتقال ژن به گیاهان

الکتروپوریشن و بمباران ژنتیکی ذرات از متداول ترین روشهای انتقال مستقیم ژن در سلولهای گیاهی هستند. در الکتروپوریشن از شوک الکتریکی با قدرت القای بالا برای افزایش نفوذ پذیری غشای سلول برای تسهیل جذب مواد ژنتیکی استفاده می شود. در این روش از مولکول‌های بزرگ ژنتیکی از جمله DNA برای تغییر سلول ها استفاده می شود. استفاده از حامل بیولوژیک برای این مورد یکی از شایع‌ترین روش های مهندسی ژنتیکی است.

در روش بمباران ذرات، ذرات طلا و تنگستن با DNA ای که برای انتقال ژن به بافت گیاه استفاده می شود، پوشانده می شوند. ذرات با سرعت زیاد به داخل ماده گیاهی هدف هدایت می شوند، جایی که DNA در سلول آزاد می شود و می تواند در ژنوم ادغام شود. تغییرات ژنتیکی گیاه با واسطه Agrobacterium tumefaciens، (یک باکتری

بیماری زا در گیاهان خاک)، می تواند منجر به تولید گیاهان تراریخته گردد. این باکتری حاوی پلازمیدی به نام Ti می باشد که می تواند به گیاهان پهن برگ منتقل شود. این پلازمید حامل یک بخش از DNA می باشد که T DNA نام دارد و می تواند در DNA گیاه ادغام شده و باعث تشکیل تومور در آن شود. این ویژگی پلازمید، آن را به یک ناقل یا وکتور مناسب برای دستکاری ژنتیکی گیاهان تبدیل کرده است. بدین صورت که ابتدا ژن مورد نظر وارد پلازمید Ti و جایگزین ژن های ایجاد کننده تومور می شود. این پلازمید دارای ژن مقاومت به کانامایسین است؛ بنابراین سلول های باکتریایی که این پلازمید به آن وارد شده است در محیط دارای کانامایسین قادر به رشد خواهد بود. در ادامه پلازمید از باکتری ها جداسازی و خالص می شود و با یکی از روش های انتقال ژن که در بالا ذکر شده به سلول گیاهی انتقال داده می شود سلول مورد نظر رشد کرده و پس از ایجاد گیاهچه یک گیاه دارای قدرت تکثیر ایجاد می شود که آن گیاه یک گونه تراریخته است (شکل شماره ۲۶).



شکل شماره ۲۶. چرخه تولید گیاه تراریخته با استفاده از آگروباکتریوم

توالی ژنتیکی تراریخته یا ترانس ژن واحدی از ژن یا ماده ژنتیکی است که پس از انتقال به داخل هسته سلول میزبان باعث می شود تا سلول تغییرات ژنتیکی انجام داده و به یک سلول تراریخته تبدیل و در ادامه به یک GMO تبدیل شود. ترانس‌ژن باید حاوی یک پروموتر (منطقه ای برای شروع رونویسی)، توالی کدگذاری و یک منطقه ترمیناتور (منطقه خاتمه) باشد. در برخی از طراحی ها یک توالی پلی آدنینی نیز گذاشته می شود که برای ترجمه و تولید پروتئین ضروری است. پروموتر توالی تنظیمی تراریخته است که برای شروع رونویسی سیگنال می‌دهد،

توالی کدگذاری توالی اسید آمینه پروتئین را تعیین می کند و یک خاتمه دهنده سیگنال پایان دادن به رونویسی را می دهد(شکل شماره ۲۷).

شکل شماره ۲۷. محتوای شماتیک توالی ترانسژن

مراحل تولید محصولات GMO به شرح زیر است که در شکل شماره ۲۸ آمده است:

شکل شماره ۲۸. مراحل ایجاد یک اورگانیسم تراریخته

برچسب گذاری مواد غذایی GMO

برچسب زدن به غذاها بهترین راه برای ارائه اطلاعات در مورد مواد غذایی به مصرف کنندگان توسط تولیدکنندگان است. هدف اصلی هر برچسب گذاری غذایی، این است که مصرف کننده باید از محتویات و کیفیت غذا آگاهی داشته باشد تا بتواند از بین محصولات موجود بهترین را برای سلامتی خود انتخاب کند. سیاست های مختلف برچسب گذاری مواد غذایی از نظر ماهیت ماده غذایی، دامنه مکان جغرافیایی، پوشش جمعیت مورد هدف و میزان اجرا متفاوت هستند که منجر به ارائه اطلاعات متفاوتی در مورد محتوای ماده غذایی برای مصرف کنندگان می شود، مانند نوع گوشت و منشا گیاهی، تاریخ تولید و انقضای محصول، اطلاعات آلرژن و مشخص بودن محصولات یخ زدایی شده که از کشوری به کشور دیگر متفاوت است.

برچسب زدن به غذاهای GMO تصوراتی ایجاد می کند و حتی به عنوان یک عامل هشدار دهنده تفاوت کیفیت یا ایمنی کمتر از غذاهای غیر GMO عمل می کند. گفته می شود که بدون اطلاعات برچسب گذاری، مصرف کننده فاقد قدرت انتخاب است و منجر به تصمیم گیری های غیر منطقی می شود. این مساله ممکن است بین تولید کننده و مصرف کننده اختلاف نظری ایجاد کند با توجه به اینکه محصولات GMO به عنوان کالاهای مجاز طبقه بندی می شوند، این برچسب ها برای آگاهی سازی مصرف کننده است زیرا نمی تواند صفات طولانی مدت GMO

را ارزیابی کند. بنابراین، برچسب زدن به مواد غذایی می تواند اطلاعات صحیح را به مصرف کنندگان انتقال داده و باعث انتخاب آگاهانه شود.

انگیزه اقتصادی

مهندسی ژنتیک و بیوتکنولوژی همچنان مزایای عمده زیست محیطی را فراهم می کنند و به کشاورزان اجازه می دهند تا با استفاده از منابع کمتر، رشد بیشتری داشته باشند. اکثر این مزایا در کشورهای در حال توسعه در بخش توسعه محصولات کشاورزی است. گراهام بروکس (۲۰۱۴) گفت: "در هفدهمین سال سازگاری گسترده، محصولاتی که از طریق اصلاح ژنتیکی ایجاد می شوند، روش های کشاورزی سازگار با محیط زیست را ارائه می دهند در حالی که پیشرفت های آشکاری در بهره وری و درآمد کشاورزان ایجاد می کنند."

همراه با مهندسی ژنتیک، و فناوری های مبتنی بر بیوتکنولوژی، محصولات تراریخته در کاهش قابل توجه انتشار گازهای گلخانه ای متاثر از کشاورزی و سمپاشی آفت کش ها نقش دارند. مهندسی ژنتیک که برای توسعه فناوری مقاومت در برابر حشرات در پنبه و ذرت استفاده شده است، به طور مداوم منجر به کاهش آسیب‌های متاثر از آفات و آفت کش ها را به همراه دارد. فناوری تحمل علف کش ها که در دانه های سویا و کلزا استفاده می شود نیز با کمک به کشاورزان به افزایش راندمان تولید در برخی کشورها کمک کرده است. مهندسی ژنتیک همراه با سطح متوسط بالاتر سود در کشورهای در حال توسعه همچنان یک سرمایه گذاری خوب برای کشاورزان در سراسر جهان است.

سمیت GMO

GMO ها گروه گسترده ای از گیاهان، حیوانات و باکتری ها هستند که برای انواع مختلفی از تولیدات کشاورزی تا تحقیقات علمی مهندسی شده اند. انواع خطرات احتمالی ایجاد شده توسط GMO ها با توجه به نوع ارگانیسم اصلاح شده و کاربرد مورد نظر آن متفاوت است. بیشتر نگرانی های GMO ها مربوط به پتانسیل تأثیرات منفی آنها بر محیط زیست و سلامت انسان است. آلرژی غذایی تقریباً ۵٪ از کودکان و ۲٪ از بزرگسالان را در ایالات متحده تحت تأثیر قرار می دهد و یک تهدید مهم برای بهداشت عمومی است. گاهی اوقات تغییرات ژنتیکی در گیاهان باعث ایجاد پروتئین هایی با ساختارهای مولکولی جدیدی می شوند که ممکن است منجر به آلرژی شوند. گاهی اوقات افزودن و حذف ژن ها صدها تا هزاران جهش ایجاد می کند که عملکرد طبیعی ژن را در گیاهان GMO مختل می کند. در میان محصولات تراریخته مقاوم به سمیت به علف کش، دانه های سویا اولین محصولی هستند که برای تحمل گلیفوزیت اصلاح ژنتیکی شده اند و در حال حاظر از نظر تجاری تولید می شوند. گلیفوزیت علف کش غیر انتخابی است که برای کنترل طیف وسیعی از علف های هرز استفاده می شود. هدف گلیفوزیت آنزیم[1] (EPSPS)است، آنزیمی است که در مسیر برای سنتز بسیاری از متابولیت های گیاهان معطر، از جمله برخی اسیدهای آمینه مورد نیاز است. اعتقاد بر این است که سمیت گلیفوزیت نسبت به سایر سموم دفع آفات زیاد نیست. با این حال، چندین مطالعه اخیر اثرات سوء احتمالی آن بر سلامتی را برای انسان نشان داده است؛ زیرا ممکن است

[1] enolpyruvoylshikimate- 3-phosphate synthase-5

باعث یک سری اختلال در غدد درون ریز باشد. سویه سویای اصلاح شده ژنتیکی نسبت به سویای سنتی سطح کمتری از ترکیبات فیتواستروژن را تولید می کند که به نظر می رسد از بیماری قلبی و سرطان محافظت می کند. در ادامه تغذیه مداوم مدل های حیوانی با این مواد باعث ایجاد تومور در این حیوانات شد در مقایسه با گروهی که این سویا های تراریخته را دریافت نکرده بودند. این یافته منجر به یک نگرانی گسترده در مورد مصرف طولانی مدت غذاهای تراریخته شد.

۳-۲)مزایا و مخاطرات احتمالی مصرف فرآورده های تراریخته

۱) **افزایش تولید غذا**: تراریخته ها می توانند از طریق تاثیر بر سرعت و میزان تولید مواد غذایی با کیفیت نقش بسیار مهمی در کاهش گرسنگی و فقر در سراسر جهان داشته باشند. گیاهان تراریخته بیش از ۲۰ گونه که به بیش از ۳۰ بیماری مختلف ویروسی مقاوم هستند، با استفاده از تغییرات استراتژی مقاومت ناشی از پاتوژن تولید شده اند. به عنوان مثال ژن δ-اندوتوکسین B. thuringiensis توسط بسیاری از انواع گیاهان مانند تنباکو، گوجه فرنگی، سیب زمینی، پنبه، گردو، ذرت، نیشکر و برنج مورد استفاده قرار گرفته است تا آنها را در برابر حشرات مقاوم کند. گیاهان دستکاری شده ژنتیکی ممکن است رسیدن فرآورده های گیاهی را به تأخیر بیندازند. این یک کاربرد بالقوه برای محصولات میوه گرمسیری است که به دلیل رسیدن سریع، نبود شرایط مناسب نگهداری و سیستم های حمل و نقل برای دسترسی به مصرف کننده متحمل خسارات شدیدی می شوند. بذرهای GMO از نظر تئوریکی ابزاری را برای افزایش تولید غذا فراهم

می کنند، که این امر می تواند دسترسی به غذا را برای نزدیک به یک میلیارد نفر در جهان تسریع کند. این مزایا توانایی افزایش بهره وری کشاورزی و کمک به کاهش بار گرسنگی در جهان را دارند.

مقاومت آنتی بیوتیکی در انسان

مصرف واکسن های خوراکی تراریخته ممکن است در انسان نسبت به آنتی بیوتیک ها مقاومت ایجاد کند. استفاده بیش از حد از آنتی بیوتیک های خوراکی یک منبع مقاومت باکتریایی شناخته شده در سراسر جهان است. سمیت ایمنی (immunotoxicity) محصولات تراریخته و اختلال ناخواسته در عملکردهای طبیعی ژن های سیستم ایمنی از دیگر خطرات احتمالی است. استفاده از برچسب مناسب بر روی محصولات تراریخته می تواند از برخی از این نگرانی ها جلوگیری کند.

علف های هرز مقاوم در برابر GMO

مانند بسیاری از مواد دیگر استفاده مداوم گلیفوزیت باعث ایجاد مقاومت به این سموم دفع آفت در این گیاهان می شود. عواقب طولانی مدت با افزایش استفاده از آفت کش ها و مقاومت آنها ممکن است میزان سرطان را در بین انسانها و حیوانات در معرض خطر افزایش دهد. البته استفاده از گیاهان دارای ژن مقاومت به گلیفوزات باعث شده است که علفهای هرز مقاوم در برابر گلیفوزات از زمان معرفی GMO ها در کشاورزی، پزشکی، صنایع و سایر صنایع به سرعت افزایش یابند.

افزایش نرخ سرطان

گلیفوزیت ماده موثره پرکاربردترین علف کش هاست و اعتقاد بر این است که سمیت آن از سایر سموم دفع آفات کمتر است. گلیفوزات رشد سلولهای سرطانی پستان انسان را از طریق گیرنده های استروژن فقط در سرطان پستان وابسته به هورمون انسان بخصوص در رده های سلولی سرطانی $T_{47}D$ ایجاد می کند، اما در سرطان های پستان مستقل از هورمون، و نیز سایر بدخیمی ها قرار گرفتن در معرض آفت کش زیاد ممکن است دلیل ایجاد تومورهای دیگری شود و یا باعث سرطان لنفوم غیر هوچکین باشد.

۳-۳) انواع روش های شناسایی فرآورده های GMO

تهیه GMO در ارگانیسم های مختلف از روش های متعددی انجام می شود. بیومارکرهای مولکولی در سطح DNA، RNA و پروتئین به نوعی رد پای حامل های بیولوژیکی است که می تواند منجر به تغییرات ژنتیکی شود. متداول ترین روش شناسایی استفاده از تکنیک Real Time PCR و مالتیپلکس PCR است، ولی امروزه بیوحسگرها، چیپ های میکرواری، توالی یابی و روش LAMP[1] که نوعی تکثیر مولکول DNA با استفاده از لوپ است هم برای این موارد مورد استفاده قرار می گیرد.

[1] Loop-mediated isothermal amplification

آینده GMO

مهندسی ژنتیک، ارگانیسم هایی را با فنوتیپ های جدید وارد شبکه های بوم شناسی موجود می کند. اگر این ژن ایجاد کننده این ویژگی ها از گیاهان موجود در این محیط فراتر رفته و به سایر جانداران بومی منطقه منتقل شود (انتقال افقی ژن)، تأثیرات آن بر زیست بوم های اطراف می تواند جدید و پیچیده باشد. ثابت شده است که GMO ها موجی بسیار منحصر به فرد و نسبتاً جدید در علم هستند. به عنوان نیاز به غذاهایی که نمی توانند برابر موانعی مانند خشکسالی مقاومت کنند توسعه GMO در مبارزه با خشکسالی و دسترسی به غذا نقش بسیار تعیین کننده دارد و توسعه آینده این زمینه از علم به یک ضرورت تبدیل می شود. با افزایش این نیازها و فرصتی برای کمک به کشورهای در حال توسعه برای تولید محصولات بزرگ و پیشرفته، توجه بیشتری به این حوزه از علم می شود. فقط تعداد انگشت شماری از مطالعات برای پیش بینی آینده این معضلات پیش بینی شده در علم انجام شده است. دو گروه متخصص عمده در زمینه پیشرفت مواد غذایی تراریخته، سازمان غذا و کشاورزی و سازمان بهداشت جهانی هستند.

هر دو سازمان با انتشار بیانیه هایی از نیاز به تحقیقات تراریخته برای توسعه در آینده دفاع کردند. در حالی که انتقاداتی در مورد تحقیقات GMO و خطرات بهداشتی مرتبط با آنها منتشر شده است، اکثر گروه تحقیقاتی مهم همچنان نیاز به تحقیق و توسعه در آینده را مطرح می کنند. اهمیت توسعه در این بخش توسط دانشمندان مطرح می شود که نیاز به تولید غذاهایی را تحمل می کنند که بتوانند در برابر تغییر

شرایط زمان کنونی مقاومت کنند. ما امیدواریم که بن بست در بخشهای علمی، ادامه تحصیل در این زمینه را متوقف نکند.

ملاحظات بهداشتی

چندین نگرانی در مورد تاثیرات دستکاری های ژنتیکی بر سلامت جوامع وجود دارد. نگرانی های متعددی در مورد دستکاری ژن و محصولات تراریخته توسط گروه های مختلف محققان و واسطه های سازمان غذا و دارو مطرح شده است. برخی از این موارد در اینجا ذکر شده است:

(الف) ژن های تغییر یافته می توانند با بیان مواد حساسیت زای پیش بینی نشده بر محیط و سلامت انسان تأثیر بگذارند. به عنوان مثال، برخی از محققان دانشگاه نبراسکا نشان دادند که با ورود آلرژن از مغزهای برزیل به دانه های سویا، برخی از آنتی بادی های خاص IgE علیه پروتئین های خاص موجود در آجیل ها ایجاد می شود که ممکن است منجر به واکنش های بسیار حساس شود.

(ب) توسعه گیاهان مقاوم در برابر حشره کش آفات هدف نگران کننده است، زیرا همه حشراتی که به سمت گیاهان می آیند مضر نیستند. وقتی گیاهان علیه حشره کش ها مقاوم می شوند غلظت بالای حشره کش ها باعث از بین رفتن سایر حشرات مفید نیز می شود که در ادامه روی الگوی گرده افشانی نیز می تواند تاثیر بگذارد. از طرفی ژن های مقاومت از طریق برخی باکتری ها می تواند به حشرات منتقل شود

به عنوان مثال، صدها زیرگونه شناخته شده از Bacillus thuringiensis مقاومت سموم حشره کش علیه گونه های خاصی از حشرات پیدا کردند.

ج) ژن های دستکاری شده در محصولات مهندسی شده می توانند به ارگانیسم های دیگر محیط منتقل شوند و ممکن است نگرانی های بهداشتی ایجاد کنند.

(د) غذاهای به دست آمده از فرآورده های GMO ممکن است باعث مقاومت آنتی بیوتیکی در انسان شوند زیرا در برخی از حامل های ژنتیکی یا ژن مقاومت به آنتی بیوتیک به عنوان نشانگر در تکنیک های دستکاری ژنتیکی استفاده می شوند.

ه) غذاهای به دست آمده از فرآورده های GMO مقدار بیشتری از یک ماده مغذی واحد دارند، اما ممکن است مواد مغذی دیگری در این فرآیند از بین بروند که منجر به کاهش کلی کیفیت تغذیه ای این ماده غذایی می شود.

و) برخی از گروه ها همچنین ادعا می کنند که ممکن است پس از مصرف غذاهای تراریخته، سرکوب سیستم ایمنی ایجاد شود.

(ی) مهمترین نگرانی در مورد GMO ها غیرقابل پیش بینی بودن آن به دلیل انجام نشدن مطالعات میدانی مدت دار است که به علت در دسترس نبودن اطلاعات، قرار گرفتن در معرض طولانی مدت هیچ پیشگویی ای برای تاثیرات طولانی مدت نمی توان ارائه داد. DNA خارجی در یک سلول میزبان ممکن

است باعث شود که مواد ژنتیکی دیگر در آن میزبان رفتار نامنظمی داشته باشد و خارج از کنترل این ژن ها بیان شده یا بیان نشده و باعث ایجاد مشکلات سلامتی متعددی شود.

بخش چهارم: انرژی سبز و بیوتکنولوژی

مقدمه:

سوخت زیستی و بیوتکنولوژی: یک راه حل انرژی پایدار

تنها تا ۱۵۰ سال پیش، ۹۰ درصد انرژی ایالات متحده از منابع تجدیدپذیر تامین می شد. امروزه انرژی های تجدید پذیر تنها شش درصد از منابع تامین انرژی را در اقتصاد ایالات متحده تشکیل می دهند که به شدت به عرضه محدود سوخت های فسیلی وابسته است. برای رسیدگی به این وضعیت ناپایدار، علم و جامعه به چالش کشیده شده اند تا یک استراتژی بلندمدت برای بازگشت به منابع تجدیدپذیر انرژی ایجاد کنند. چنین استراتژی همچنین باید به ناپایداری قیمت سوخت منجر شده و به مهار تغییرات آب و هوایی کمک کند. انرژی پایدار یا انرژی تجدید پذیر در مقابل انرژی های سوخت های فسیلی به کار برده می شود که در حال مصرف و اتمام هستند. انرژی پایدار در قالب انرژی زمین گرمایی، انرژی خورشیدی، باد و جریانات آبی می تواند مطرح باشد. اما برخی از منابع زیستی نیز با توجه به فرآیند بازیافت می توانند در این زمینه به کار گرفته شوند.

کشاورزی یکی از مهمترین منابع اصلی انرژی تجدیدپذیر است؛ زیرا ضایعات محصولات گیاهی در نهایت مجددا به خاک باز میگردند و در توسعه منبع پایدار انرژی نقش دارد. می توان انتظار داشت که استفاده از منابع انرژی پایدار باعث می شود تا تمرکز منابع روی تولید مواد غذایی و در نهایت افزایش قیمت مواد

غذایی کاهش یابد. در کوتاه مدت، ممکن است عرضه مکرر برخی از کالاها به پایان برسد. در درازمدت، ممکن است کشاورزی را تحت فشار قرار دهد، زیرا این انرژی باید بتواند نیاز جمعیت جهان که انتظار می رود در نیم قرن آینده سه میلیارد نفر افزایش یابد را نیز تأمین کند.

این یک چالش قابل توجه است که نیازمند تعهد جدی از سوی جامعه تحقیقاتی است. بهره وری کشاورزی جهان در ۵۰ سال آینده باید درست مانند ۵۰ سال قبل بیش از دو برابر شود. با این حال، این افزایش در تمام نهاده ها بطور یکسان صورت نمی گیرد. ما تا حدی به پیشرفت های بیوتکنولوژی کشاورزی متکی خواهیم بود که نوید افزایش محصول و تولید محصولات اصلی را می دهد که می توانند در زمین های حاشیه ای رشد کنند.

جامعه کشاورزی در گذشته بر چالش های مهمی غلبه کرده است. با افزایش شش برابری جمعیت جهان از ۱۸۰۰-۲۰۰۰، راندمان تولید محصولات کشاورزی ده برابر افزایش یافته است. در حالی که رشد گسترده - افزایش نهاده ها - باعث افزایش بهره وری قابل توجهی در گذشته می شد، امروز رشد شدید بوده و بر بهبود بهره وری کل عوامل متکی است و نه افزایش منابع آب و زمین که دو منبع کم عرضه هستند. بیوتکنولوژی فرصت های جدیدی را برای رشد بهره وری ارائه می دهد که می تواند شروع کاهش بازدهی نهایی را به تاخیر بیاندازد.

اشتهای روزافزون جوامع بشری برای انرژی متکی به منابع متعارف ناپایدار باعث نگرانی های عدیده ای شده است. حتی اگر طبیعت، منابع تجدیدپذیر فراوانی برای جایگزینی منابع ناپایدار ارائه دهد، در حال

حاضر سطح آمادگی فناوری در سراسر دنیا و سازگاری با شبکه های توزیع موجود، یک مسئله چالش برانگیز است.

منابع انرژی های تجدید پذیر و نامحدود مانند انرژی خورشیدی، انرژی جزر و مد دریا، انرژی گرمایی زمین، انرژی گرمایی اقیانوس و انرژی باد می توانند به عنوان منابع جایگزین مورد بررسی قرار گیرند، با این حال، هر کدام محدودیت های خود را دارند. علاوه بر این، زیست توده سلولزی یکی از منابع سریع در دسترس است که می تواند به عنوان جایگزین بالقوه برای سوخت های فسیلی عمل کند. زیست توده های سلولزی معمولا با استفاده از ضایعات مربوط به گیاهان یا ضایعات کاغذی تولید می شوند. فرآوری این ضایعات نقش بسزایی در بهبود وضعیت جنگل ها، تالاب ها و منابع شهری می تواند داشته باشد.

در این قسمت مطالبی در مورد انرژی پاک ارائه می شود که عمده محتوای آن در مورد زیست توده سلولزی است با توجه به کاربرد این زیست توده ها این مطالب در بخش های زیر ارائه می شود:

- زیست توده برای تولید بیواتانول
- زیست توده های تولید کننده بیوهیدروژن به عنوان سوخت زیستی
- زیست توده های تولید کننده پروبیوتیک ها به عنوان منابعی برای صنایع غذایی
- زیست توده های تولید کننده صنعتی آنزیم ها

گرچه آخرین مورد مربوط به زیست فناوری صنعتی است ولی تاثیرات آن بر روی محیط زیست انکارناپذیر است.

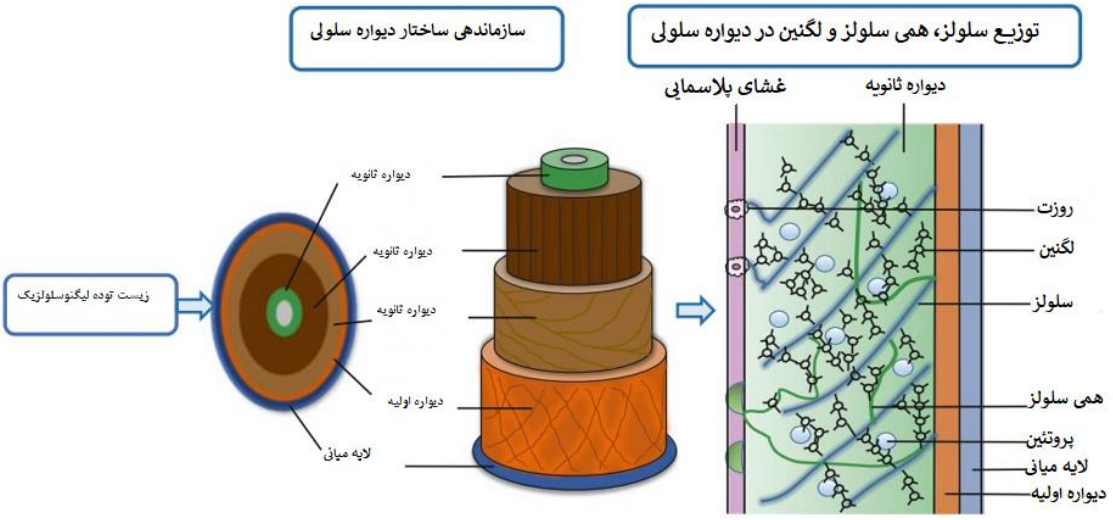
تولید مواد پروبیوتیک و الکل ها ظاهرا یکی از پر بازده ترین فرآیندهای زیستی هستند که با استفاده از زیست توده صورت می گیرند. مواد زاید ثانویه که در مسیر تولید و پردازش محصولات کشاورزی ایجاد می شوند به خصوص موادی که در تصفیه قند، شکر، روغن و برنج به دست می آیند منابع ارزنده ای برای تولید زیست توده هستند. البته با توجه به جنس و محتوای این زیست توده ها کاربرد آن ها می تواند متفاوت باشد. زیست توده لیگنوسلولزیک (LB[1]) یک ماده اولیه ارزان قیمت است. با توجه به ماهیت در دسترس بودن، به راحتی به عنوان بقایای ضایعات کشاورزی و جنگلی، زباله های شهری و غیره... قابل دسترس است و می تواند به عنوان جایگزینی ارزشمند برای سوخت های فسیلی عمل کند. از نظر ساختاری، LB حاوی مقادیر قابل توجهی پلی ساکارید است که می تواند تحت تخمیر میکروبی به انرژی و سایر محصولات با ارزش افزوده با اهمیت صنعتی تبدیل شود.

فراوان ترین و تجدید پذیرترین منابع انرژی زمین معمولاْ شامل نور خورشید، باد، گرمای زمین، آب (رودخانه ها، جزر و مد و امواج) و زیست توده است. همه اینها برای تولید برق مناسب هستند، اما زیست توده اصلی ترین ماده اولیه تجدیدپذیر برای تولید سوختهای "مایع" معمولاْ اتانول و بیودیزل و احتمالاً شامل بوتانول، هیدروژن و متان است. با این حال، تولید کارآمد و مقرون به صرفه بیواتانول از زیست توده

[1] Lignocellulosic Biomass

های مختلف سلولی بستگی به توسعه یک سیستم پیش تصفیه مناسب و جنبه های تکنولوژیکی مواد اولیه مهندسی زیستی دارد.

LB به طور کلی از ۴۰ تا ۵۰ درصد سلولز، ۲۰ تا ۳۰ درصد همی سلولز و ۱۰ تا ۲۵ درصد لیگنین تشکیل شده است. حدود ۵۰-۸۰ مورد از پلی ساکاریدهای موجود در LB را می توان برای تولید چندین محصول مفید تحت تخمیر میکروبی قرار داد. سلولز یک پلیمر بسیار پایدار است که عمدتاً از پیوند بین واحدهای گلوکوپیرانوز تشکیل شده است (شکل شماره ۲۹). LB حاوی مولکولهای سلولزی است که توسط پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی در حالت طبیعی کنار هم نگه داشته می شوند، اما تمایل زیادی برای ایجاد پیوندهای هیدروژنی درون مولکولی و بین مولکولی دارند و این تمایل باعث افزایش سفتی سلولز می شود و آن را کریستالی، نامحلول و بسیار مقاوم در برابر تجزیه می کند. زیست توده LB معمولاْ حاوی سلولز، همی سلولز، لگنین و پروتئین است. محتوای دیواره سلولی اولیه، ثانویه و لایه میانی در بخش های مختلف متفاوت است.



شکل شماره ۲۹. ترکیبات زیست توده لیگنوسلولوزیک

مهمترین چالش تبدیل بیولوژیکی LB به سوخت های زیستی ماهیت غیرقابل تجزیه آن است. تیمار اولیه LB برای تبدیل کارآمد آن به محصولات مفیدتر ضروری است (مرحله پیش تصفیه). فرآیند پیش تصفیه برای اصلاح سلولهای گیاهی ضروری است تا از بازگشت مجدد دیواره سلولی بکاهد. یک فرآیند ایده آل پیش تصفیه نه تنها باید مقرون به صرفه، کم مصرف و دارای کارآمدی بالا باشد، بلکه باید منجر به تولید قندهای با قابلیت تخمیر بالا و تشکیل ترکیبات ثانویه با حضور کمترین بازدارنده شود.

پیش تصفیه نقش مهمی در افزایش نفوذپذیری LB ایفا می کند، اما کارایی زیست توده در تبدیل به سوخت زیستی تنها با استفاده از روش اندازه گیری کاهش قندها قابل ارزیابی است. با توجه به اینکه بیشترین موادی که این زیست توده را تشکیل می دهد کربوهیدرات ها هستند یکی از اساسی ترین روش

های تجزیه آن ها ساکاریفیکاسیون است. Saccharification اصطلاحی برای نشان دادن هرگونه تغییر شیمیایی است که در آن یک مولکول پلی ساکارید یا دی ساکارید به واحدهای تشکیل دهنده خود تجزیه می شود و مونوساکارید پس از عدم اتصال به ساکارید دیگر دست نخورده باقی می ماند. به عنوان مثال، هنگامی که کربوهیدرات توسط هیدرولیز به مولکول های قند تشکیل دهنده خود شکسته می شود (به عنوان مثال، ساکارز به گلوکز و فروکتوز تجزیه می شود). ساکاریفاسیون زیست توده پس از یک پیش تصفیه مناسب، قابلیت پایداری این فرآیند را تعیین می کند.

سه مدل پیش تصفیه در انواع مسیرهای کار روی زیست توده ها وجود دارد که عبارتند از:

- پیش تصفیه فیزیکی: تغییر دما و فشار مکانیکی
- پیش تصفیه شیمیایی: اسیدی- قلیایی
- پیش تصفیه بیولوژیک: میکرواورگانیسم ها و آنزیم ها

روش های تجاری پیش تصفیه در جدول زیر آمده است:

مسیر پردازش	شرکت تولید کننده	ویژگی ها
انفجار با بخار	Beta Renewables	میزان زایلوز کم، زیاد بودن آنزیم مورد نیاز
اسید رقیق تک مرحله ای	Abengoa	میزان زایلوز زیاد، متوسط بودن آنزیم مورد نیاز
اسید رقیق دو مرحله ای	Poet-DSM	میزان زایلوز زیاد، کم بودن آنزیم مورد نیاز

آمونیاک و بخار	Dupont	زیاد بودن آنزیم مورد نیاز

۴-۱) زیست توده لیگنوسلولیک (LB) برای تولید الکل زیستی (بیواتانول)

عمده موارد زیست توده سلولزی عبارتند از محصولات کشاورزی، بقایای محصولات زراعی یا توده های جنگلی که شامل چوب، علف، محصولات کشاورزی و نخاله های جنگل مانند کاه، هیزم، خاک اره، پوست برنج، پوست نارگیل، هل، پوسته بادام زمینی، بامبو، نیشکر، ساقه پنبه و فلفل قرمز و غیره هستند و به عنوان بسترهای بالقوه برای تولید بیواتانول در نظر گرفته می شوند.

سلولز نشان دهنده اصلی تشکیل دهنده LB است و یک پلی ساکارید است که از یک زنجیره خطی d- گلوکز متصل به پیوندهای β- (۱، ۴) -گلیکوزیدی به یکدیگر متصل شده است. در دیواره سلولی گیاه، سلولز در ساختار بلوری (سازمان یافته) وجود دارد و همچنین در ساختار بی شکل می تواند به راحتی توسط آنزیم ها هضم شود.

همی سلولزهای واقع در دیواره های سلولی ثانویه، بیوپلیمرهای ناهمگن منشعب هستند که شامل پنتوزها[1]، هگزوزها[2] و/یا اسیدهای اورونیک[3] می باشند. همی سلولزها توسط پیوندهای هیدروژنی به سلولز و با پیوندهای

[1] (β-d-xylose ،α-l-arabinose)
[2] (β-d-mannose ،β-d-glucose ،α-d galactose)
[3] (α-d-glucuronic ،α-d-4-O-methylgalacturonic andα-d-galacturonic acid)

کووالانسی به لیگنین متصل می شوند. لیگنین یک پلیمر معطر آبگریز و متقاطع است که مستعد حمله میکروبی است. این یک ترکیب معطر پلی فنولیک است که از پیش سازهای فنیل پروپانوئید سنتز شده است. به طور کلی، ریزساختار دیواره سلولی گیاهی شبکه ای از لیگنین و پلی ساکاریدهایی است که با یکدیگر ارتباط تنگاتنگی دارند و دیواره سلولی سلول گیاهی را سفت و پایدار می کند. بنابراین، برای اینکه اجزای لیگنوسلولز (سلولز و همی سلولز) در دسترس آنزیمهای میکروبی قرار گیرند، یک استراتژی مناسب پیش نیاز است. این همان فرآیند پیش تصفیه است که در قسمت قبلی به آن اشاره شد. پیش تصفیه ضایعات گیاهی موانع فیزیکی و شیمیایی را که زیست توده بومی را غیرقابل کنترل می کند، حذف می کند و باعث می شود آنزیم ها قدرت هیدرولیز سلولی را داشته باشند و مونوساکارید ها تولید شوند. در واقع فرآیندهای پیش تصفیه دسترسی عوامل تجزیه کننده را به همه نواحی زیست توده فراهم می کنند این دسترسی می تواند با افزایش سطح سلولز قابل دسترس از طریق حل شدن همی سلولزها و/یا لیگنین، که سلولز زیست توده بومی را می پوشاند، باعث بهبود میزان تجزیه زیست توده شود.

پیش تصفیه فیزیکی

هدف اصلی از پیش تصفیه فیزیکی مانند فرز، سنگ زنی، خرد کردن، انجماد، تابش، افزایش سطح و کاهش اندازه ذرات مواد لیگنوسلولزیک است. علاوه بر این، منجر به کاهش درجه پلیمریزاسیون و تبلورزدایی مواد اولیه می شود. معمولاْ ترکیبی از روشهای پیش درمانی فیزیکی و دیگر روشها استفاده می شود.

پیش تصفیه شیمیایی

در پیش تصفیه شیمیایی LB از مواد شیمیایی مختلف مانند اسیدها، قلیاها و عوامل اکسید کننده استفاده می شود. همچنین پراکسید هیدروژن و اوزن و پیش تصفیه با اسید رقیق (H_2SO4/HCl) پرکاربردترین روش های پیش تصفیه شیمایی هستند. بسته به نوع ماده شیمیایی مورد استفاده، پیش تصفیه می تواند تأثیرات متفاوتی بر اجزای ساختاری لیگنوسلولز داشته باشد. پیش تصفیه قلیایی، ازنولیز، پراکسید و پیش اکسیداسیون مرطوب در حذف لیگنین موثرتر هستند، در حالی که پیش تصفیه اسیدی با استفاده از اسید رقیق در حلال سازی همی سلولز کارآمدتر است.

پیش تصفیه اسیدی یکی از متداول ترین روش ها برای افزایش راندمان تولید بالای قند از LB است. پیش تصفیه اسیدی با حل کردن بخش همی سلولزی زیست توده باعث افزایش قابلیت دسترسی آنزیم ها به بخش های سلولزی می شود. پیش تصفیه قلیایی در مقایسه با سایر مواد شیمیایی، پیش تصفیه را می تواند در دما و فشار کمتری جلو ببرد که باعث تجزیه کمتر قند نسبت به پیش تصفیه اسیدی می شود، اما زمان واکنش طولانی تر می شود. پیش تصفیه قلیایی مواد لیگنوسلولزی، باعث تورم می شود که منجر به افزایش سطح داخلی، کاهش میزان پلیمریزاسیون و تبلور، جداسازی پیوندهای ساختاری بین لیگنین و کربوهیدرات ها و اختلال در ساختار لیگنین می شود که سلولز و همی سلولز را برای تجزیه آنزیمی در دسترس قرار می دهد.

مایعات یونی نیز به عنوان یکی از روشهای پیش تصفیه قوی برای انحلال موثر قندهای سلولز و همی سلولز شناخته شده اند. مایعات یونی (IL[1]s) نمک های آلی پایدار از نظر حرارتی به عنوان "حلال های سبز" شناخته می شوندکه دارای ویژگی های فیزیکی عالی از جمله توانایی حل شدن ترکیبات آلی قطبی و غیر قطبی، معدنی و پلیمری هستند. استفاده از IL ها به عنوان یک استراتژی کارآمد برای پیش تصفیه LB مقاوم در حال پیشرفت است.

پیش تصفیه بیولوژیک

انواع باکتری ها و قارچ ها می توانند سلولز و همی سلولز را به قندهای مونومری مانند گلوکز، آرابینوز، زایلوز و غیره هیدرولیز کنند. قارچ های قهوه ای، سفید و کپکهای عامل پوسیدگی نرم به طور گسترده برای تجزیه انتخابی لیگنین و همی سلولز استفاده می شوند که در بین آنها قارچ های پوسیدگی سفید موثرترین قارچ ها هستند.

پیش تصفیه های بیولوژیکی بر خلاف روشهای پیش تصفیه فیزیکی و شیمیایی شامل دما و فشار زیاد نیستند و نیازی به اسیدها، قلیاها یا هر گونه واکنشگر شیمایی ندارند. این پیش تصفیه به دلیل استفاده کم از انرژی و شرایط محیطی ملایم، دوستدار محیط زیست است.

[1] Inoic Liquids

ساکارفیکاسیون (جداسازی واحدهای قندی) آنزیمی زیست توده لیگنوسلولوز پیش تصفیه شده

لیگنوسلولز را می توان با استفاده از آنزیم های هیدرولیز کننده سلولز یا از طریق واکنش های شیمیایی توسط ترکیبات گوگردی یا سایر اسیدها به قندهای ساده تجزیه کرد. با این حال، با توجه به اینکه هیدرولیز آنزیمی به انرژی کمتر و شرایط محیطی ملایم تر نیاز دارد و محصولات بازدارنده تخمیر کمتری تولید می کند، روش مناسب تری است. هیدرولیز آنزیمی شامل مراحل پردازش متعددی است که پلیمرهای کربوهیدرات را به قندهای مونومر تبدیل می کند.

عوامل بالقوه گوناگونی در مقاومت زیست توده در برابر هیدرولیز آنزیمی نقش دارند:

- بلورینگی سلولز
- سطح قابل دسترسی
- حفاظت توسط لیگنین و غلاف سلولز توسط همی سلولز

هیدرولیز آنزیمی با سلولازها در شرایط بهینه pH=4.5 و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد انجام می شود. برخی پروتئین ها مانند swollenin نقش مهمی در شل شدن غیر هیدرولیتی شبکه فیبریل سلولزی دارند و روی پیوندهای β-4،1 گلیکوزیدی سلولز عمل نمی کنند. swollenin با پراکندگی تجمع سلولز، دسترسی سلولازها به زنجیره های سلولزی را افزایش می دهد و در نتیجه زنجیره های سلولزی را در معرض آنزیم قرار می دهد.

عوامل مرتبط با آنزیم که بر هیدرولیز تأثیر می گذارند عبارتند از:

- غلظت آنزیم
- جذب آنزیم
- مقدار محصول نهایی و اثر فیدبک مهاری آن
- غیرفعال سازی حرارتی و اتصال غیرمولد به لیگنین

تخمیر اتانول

تخمیر اتانول یک فرایند بیولوژیکی است که در آن قندها توسط میکروارگانیسم ها برای تولید اتانول و CO2 تبدیل می شوند. یک عامل مهم که مانع استفاده صنعتی از لیگنوسلولزها برای تولید بیواتانول می شود، فقدان میکروارگانیسم هایی است که بتوانند به طور موثر پنتوزها و هگزوزهای آزاد شده در طول پیش تیمار و هیدرولیز را تخمیر کنند.

در سالهای اخیر، مفهوم تثبیت فرآیند زیستی (CBP[1]) یا تصفیه زیستی تلفیقی لیگنوسلولز و تولید بیواتانول به ترکیب چهار رویداد زیستی مورد نیاز برای این فرآیند در یک رآکتور اشاره دارد. این رویدادها عبارتند از: تولید آنزیم‌های ساکارولیتیک، هیدرولیز پلی‌ساکاریدهای موجود در زیست توده از مواد پیش تصفیه شده، تخمیر قندهای هگزوز و تخمیر قندهای پنتوز. یک راکتور به عنوان روشی کارآمد برای ساکارفیکاسیون و تخمیر قندها برای تولید اتانول و سایر اسیدهای آلی مطرح شده است. این فرآیند شامل پلیمرزدایی(depolymerization) ماتریس

[1] consolidating bioprocessing

لیگنوسلولیک و تولید همزمان آنزیم ها و اتانول در یک مرحله است. در CBP، اتانول و تمام آنزیم های مورد نیاز توسط یک سویه میکروارگانیسم واحد در یک بیوراکتور واحد تولید می شود. این روش "تولید بیواتانول"[1] نیز نامیده نامیده می شود. CBP با حذف هزینه های عملیاتی و در ادامه سرمایه گذاری مرتبط با خرید یا تولید آنزیم ها، هزینه تولید اتانول را کاهش می دهد. در CBP، می توان از تک کشت یا کشت میکروارگانیسم ها استفاده کرد که سلولز را مستقیماً به اتانول تخمیر می کند. مطالعات نشان داده است که پیش تصفیه قلیایی نیشکر با استفاده از سود (NaOH)، زیست توده را برای تخمیر و تثبیت زیستی با استفاده از فعالیت قارچ تخمیری سلولزی بهینه می کند.

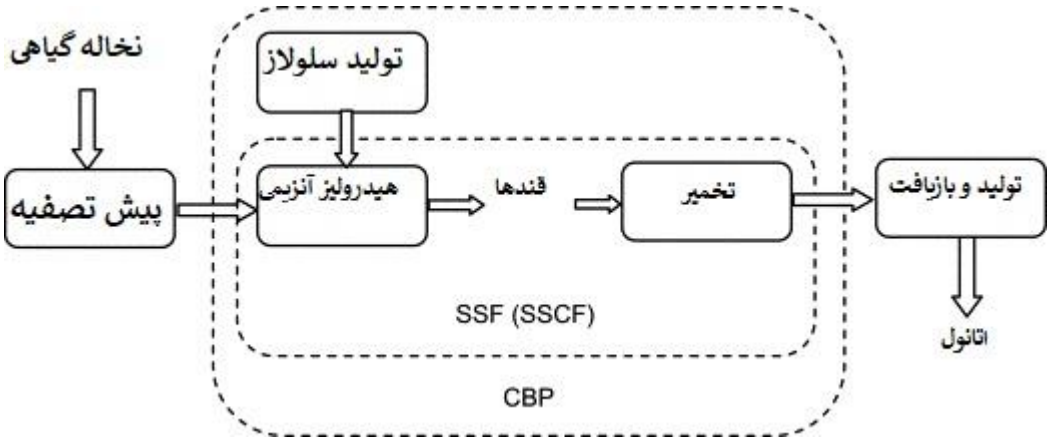
پیش تصفیه اسیدی نیز راندمان تولید را افزایش می دهد. سه گونه مخمر مهم در تخمیر الکلی گندم عبارتند از:

- Trichoderma reesei
- Saccharomyces cerevisiae
- Scheffersomyces stipites

یگی دیگر از این نمونه ها سویه ای از یک قارچ فرساینده است که با عنوان کپک سفید Trametes versicolor شناخته می شود. این کپک با رشد بر روی ضایعات زیست توده گیاهی، قادر به تخمیر موثر ضایعات حاوی زایلوز بوده و در شرایط بی هوازی باعث تولید اتانول می شود. بنابراین، به عنوان یک کل CBP از نظر اقتصادی

[1] Bioethanol production

مقرون به صرفه ترین روش تولید الکل است، ولی به مراحل پیش تصفیه نیاز دارد؛ زیرا به تنهایی زمان بر است که LB را مستقیماً به اتانول در یک مرحله مناسب تبدیل کنند (شکل شماره ۳۰).



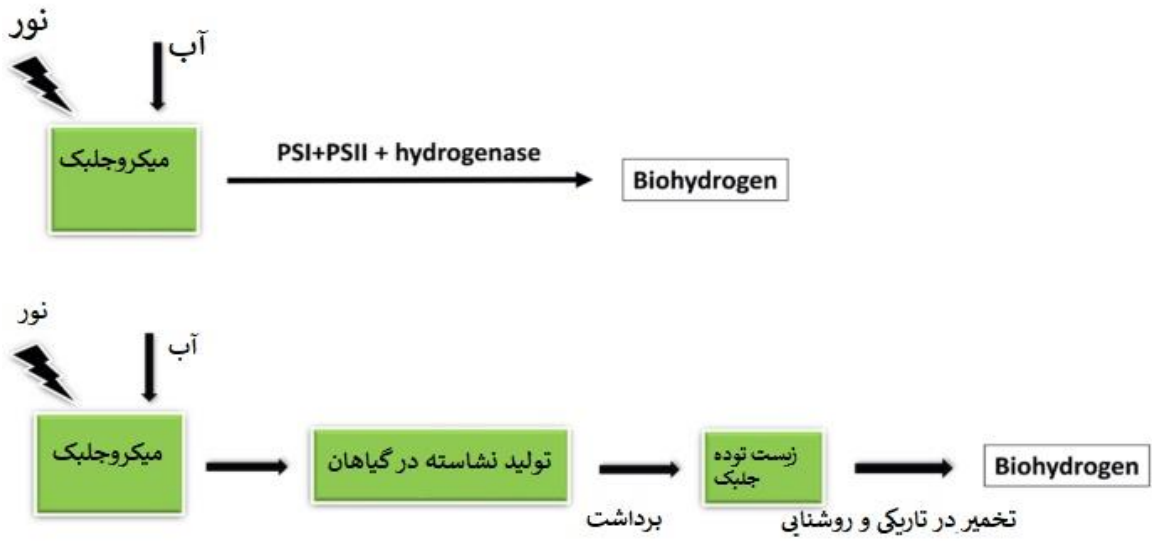
شکل شماره ۳۰. مراحل تولید بیواتانول

۲-۴)بیوهیدروژن به عنوان سوخت زیستی

بیوهیدروژن منبع جدیدی برای سوخت است که به عنوان سوخت ایده آل در آینده در نظر گرفته می شود؛ زیرا احتراق آن انرژی عظیمی تولید می کند و تنها منجر به تولید آب به عنوان یک محصول نهایی می شود و آن را به یک سوخت پاک تبدیل می کند. هیدروژن دارای چگالی انرژی گرانشی ۱۴۱ مگا ژول بر کیلوگرم است، یعنی بیشترین میزان انرژی تولیدی به ازای هر کیلوگرم در مقایسه با سایر سوخت های زیستی.

نسل دوم سوختهای زیستی عمدتاً از مواد لیگنوسلولزیک برای تولید سوختهای مایع (اتانول، بوتانول) یا گازی (بیوهیدروژنی یا بیوگاز) استفاده می کنند.

نسل سوم سوخت های زیستی مواد اولیه را به شکل ریزجلبک در تولید سوخت های زیستی بیشتر مورد توجه قرار داده اند. تولید سوخت زیستی از ریزجلبک ها به دلیل دارا بودن کربوهیدرات و لیپید زیاد، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این روش به دو صورت آنزیمی و وابسته به تخمیر روشنایی-تاریکی انجام می شود. هیدروژن تولید شده از منابع زیستی بیوهیدروژن نام دارد که سوخت آینده کره زمین نام گرفته است. تولید این سوخت در شکل زیر بصورت شماتیک توضیح داده شده است(شکل شماره ۳۱). همانطور که در شکل زیر مشاهده می کنید میکروجلبک های تک سلولی در مجاورت آب و نور رشد می کنند و محلول رویی حاصل از متابولیسم آن ها پس از برخورد با آنزیم ها باعث تولید هیدروژن می شوند. در روش دیگری میکروجلبک ها برای تولید نشاسته در گیاهان مورد استفاده قرار می گیرند، زیست توده بدست آمده در دو حالت تاریکی و روشنایی با استفاده از مکانیسم های میکروبی تخمیر می شوند و هیدروژن آزاد می شود این روش علاوه بر بیوهیدروژن فرآورده های صنعتی دیگری نیز تولید می کند.



شکل شماره ۳۱. تولید بیوهیدروژن از جلبک

۴-۳)زیست توده ها منابعی برای تولید پروبیوتیک ها

پروبیوتیک ها ترکیبات مرتبط با گونه هایی از باکتری ها هستند که امروزه اهمیت ویژه ای در درمان یا پیشگیری بسیاری از بیماری ها دارند. این باکتری ها در حالت عادی در روده افراد سالم قرار دارند و همزیستی مسالمت آمیز باکتری ها در بدن جانداران باعث ایجاد یک محیط مطلوب می شود که فلور نام دارد. در شرایط سلامت بدن وضعیت مطلوب رشد باکتری ها در بدن را فلور نرمال بدن می گویند. این باکتری ها در بدن بیماری ایجاد نمی کنند. در بسیاری از بیماری ها رد پای نقص محتوای پروبیوتیک ثابت شده است. امروزه تولید محصولات پروبیوتیک و یا فرآوری پودرهای پروبیوتیک یکی از مهمترین زمینه های مطالعات بیوتکنولوژی است. در این بخش نقش زیست توده ها در تولید پروبیوتیک ها مورد مطالعه قرار می گیرد. یکی از شرکت های بزرگ در این زمینه شرکت زیست تخمیر است که انواع محصولات پروبیوتیک را برای گروه های مختلف

از جمله خانواده، بانوان، کودکان و بیماری های خاص تولید کرده است. این محصولات می توانند در قالب پودر، قرص، کرم و لوسیون مورد استفاده قرار گیرند. در واقع محصولات پروبیوتیک تولیدی این شرکت و بسیاری از شرکت های دیگر مانند تک ژن زیست جهت بهبود شرایط میکروبی بدن است که می تواند مقدمه بسیاری از بیماری ها شود.

زیست توده Lignocellulosic به عنوان منبع پروبیوتیک ها

زیست توده ها محلی غنی برای رشد انواع ارگانیسم ها هستند. پروبیوتیک ها فرآورده هایی هستند که توسط گونه ای از میکرواورگانیسم ها تولید می شوند و در صنایع غذایی نقش بسیار مهمی دارند. مواد پروبیوتیک ها کربوهیدرات های غیرقابل هضم هستند که می توانند با تحریک انتخابی رشد و یا فعالیت برخی از باکتری های مفید برای سلامتی، باعث ایجاد تغییرات در میکرو فلور روده شوند. مکمل پروبیوتیک اساساً شامل استفاده از کربوهیدرات ها با طول زنجیره متفاوت از منابع مختلف از جمله پلی ساکاریدها است. این ترکیبات از مواد دیواره سلولی گیاهی تشکیل شده اند و در برابر هضم در دستگاه گوارش فوقانی و رسیدن به روده بزرگ مقاومت می کنند. اسیدهای چرب زنجیره ای کوتاه یکی دیگر از اجزای پروبیوتیک است که عمدتاً شامل اسید پروپیونیک، استیک اسید، اسید بوتیریک هستند. اسیدهای چرب زنجیره کوتاه جدا از ایجاد یک محیط مزاحم برای بقای عوامل بیماری زای روده همچنین می توانند به عنوان منبع انرژی برای میزبان عمل کنند.

سالانه چندین تن LB به شکل ضایعات گیاهی از فعالیتهای مختلف پردازش پس از برداشت تولید می شود. بنابراین عملکرد بالا و محتوای غنی از کربوهیدراتها، زیست توده لیگنوسلولزی را به گزینه ای جذاب برای تولید مواد بیواکتیو، دارای ارزش غذایی و عملکردی تبدیل می کند که می توانند در غذاها گنجانده شوند.

جزء همی سلولز عمدتاً حاوی زایلان است، پلی ساکاریدی که از ترکیبات پلیمری زایلوز متصل به پیوندهای 4-xylosidic،β-1 تشکیل شده است. زایلان یکی از اجزای اصلی ساختاری بافت های چوبی گیاهان دوپایه (گیاهانی که قسمت نر و ماده هر دو با هم در یک گیاه قرار دارند)، تک لپه، برخی از علف ها و بافت های دانه های غلات است و همچنین می تواند به عنوان یک منبع ارزان قیمت برای بازیابی پروبیوتیک های زایولان گلی ساکارید (XOS[1]) عمل کند که به طور انتخابی رشد باکتری های مفید را تحریک می کند.

منابع زایلان می توانند به عنوان یک منبع ارزان برای بازیابی فروکتان به کار روند. برخی مواد گیاهی مانند لپه، ذرت، نی، نیشکر، پوست برنج، کیک مالت و سبوس (نوعی محصول ثانویه که در تولید قند و شکر ایجاد می شود)، که زیست توده ارزان و تجدیدپذیر هستند، به طور طبیعی سرشار از قندها و پلی ساکاریدهای مقاوم مانند زایلان هستند. این مواد دارای الیگوساکاریدهای غیر قابل هضم هستند که در محدوده دی، الیگو و پلی الیگوساکاریدها (زنجیره ای از مونومرهای قندی) بوده و دارای خواص پروبیوتیک هستند.

[1] xylooligosaccharide

استفاده از پروبیوتیک ها یکی از روش های امیدوار کننده برای جلوگیری از حذف میکروبیوم طبیعی بدن (دیس بیوزیس) و بازسازی میکروبیوتای طبیعی روده است. این میکروارگانیسم ها مکمل های زنده میکروبی هستند که جمعیت میکروبی روده میزبان را بهبود می بخشد.

مزایای پروبیوتیک ها شامل موارد زیر است:

- کاهش سطح کلسترول سرم
- تأثیر مثبت بر سیستم ایمنی بدن
- بهبود استفاده از لاکتوز
- داشتن فعالیت ضد سرطان

بقای پروبیوتیک ها تحت فشار محیطی مانند اکسیژن، اسیدها و محیط دستگاه گوارش سرکوب می شود. تلاشهای مستمری برای افزایش تعداد و یا فعالیت باکتریهای پروبیوتیک مفید در روده انجام می شود.

اینولین، فروکتولیگوساکاریدها، گالاکتولیگوساکاریدها، لاکتولوز و پلی دکستروز، جزو ثابت ترکیب پلی ساکاریدی پروبیوتیک ها هستند، در حالی که ایزومالتولیگوساکاریدها، زایلولیگوساکاریدها و لاکتیتول ها در حال معرفی بوده و میزانشان متغیر هستند. اینولین و فروکتولیگوساکاریدها به دلیل کالری کم، قابلیت جایگزینی چربی، بافت کلی، بهبود احساس طعم در دهان غالب ترین پری بیوتیک ها هستند.

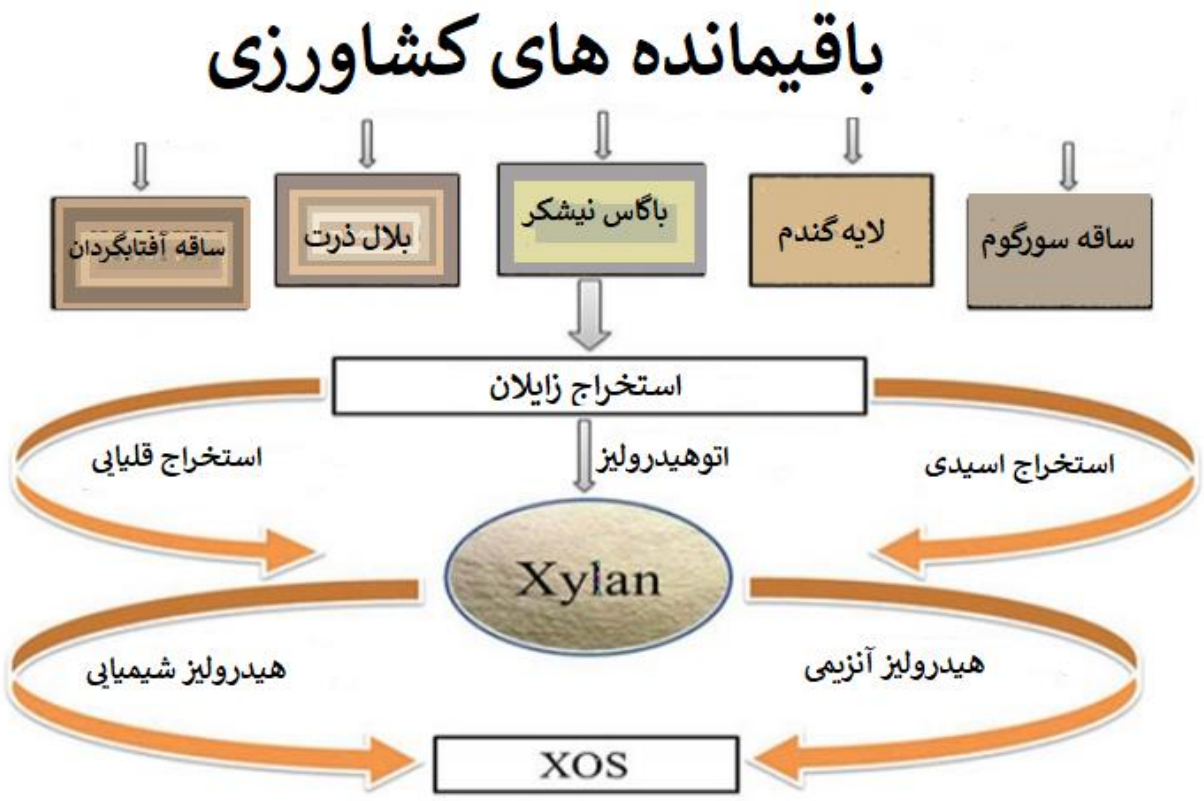
شناخته شده ترین پری بیوتیک ها، به استثنای اینولین که مخلوطی از فروکتولیگو و پلی ساکاریدها هستند، الیگوساکاریدهای غیرقابل هضم هستند که دارای ۳-۱۰ مونومر کربوهیدرات هستند.

مزایای سلامتی مرتبط با تجویز پری بیوتیک ها عمدتاً به دلیل افزایش تولید اسیدهای چرب زنجیره کوتاه است. آنها به عنوان یک منبع انرژی و یک مولکول سیگنال دهنده روی گیرنده جفت شده با پروتئین G عمل می کنند. اسیدهای چرب زنجیره کوتاه نقش مهمی در تنظیم متابولیسم گلوکز و هموستاز انرژی ایفا می کنند.

ضایعات کشاورزی در فرآیند پردازش XOS[1] (فرآوری زایلولیگوساکاریدها (XOS) از پلیمرهای زایلوز) چهار محصول دیگر نیز تولید می کنند که عبارتند از: این ضایعات از گیاهانی مانند آفتابگردان، ذرت، نیشکر و گندم به دست می آید. در ابتدا، زایلان به صورت اسیدی یا قلیایی استخراج می شود. در ادامه گونه های XOS از طریق هیدرولیز آنزیمی یا شیمیایی بدست می آیند. مواد مورد استفاده در این روش عبارتند از: (شکل شماره ۳۲)

- زایلان
- آلکالین
- اسیدها(H2SO4, HCl, H3PO4 ،HNO3)
- محصولات شیمیایی بدست آمده از اتوهیدرولیز مانند پروبیوتیک ها

[1] xylooligosaccharides



شکل شماره ۳۲. ضایعات کشاورزی و پردازش XOS

۴-۴)نقش زیست توده ها در تولید صنعتی آنزیم ها

تولید صنعتی آنزیم ها یکی از مهمترین فناوری های در حال حاضر دنیاست. امروزه دانش فنی تولید فله ای آنزیم با استفاده از روش های بیوتکنولوژی از مهمترین چشم اندازهای بیوتکنولوژی است. استفاده از ضایعات زیست محیطی دیدگاه جدیدی است که محققین را به سمت استفاده و بهینه سازی زیست توده ها سوق داده است. یکی از این آنزیم ها سلولاز است که از زیست توده قارچ ها بدست می آید. آنزیم دیگری که در صنعت

برای تولید گلوکز استفاده می شود، بتاگلوکوزیداز است که در کنار سلولاز برای تجزیه گیاهان و مواد زاید حاوی پلیمرهای گلوکزی استفاده می شود.

زیست توده لیگنو سلولزی برای تولید آنزیم های صنعتی

آنزیم ها به دلیل عمل بر روی یک بستر خاص برای صنایع مختلف از اهمیت بالایی برخوردار هستند. برنامه تولید در مقیاس وسیع آن ها در همه جا وجود دارد. آنها اجزای ضروری در فرایندهای مختلف هستند که در توسعه محصول نقش دارند. اما موانع زیادی در تولید آنزیم وجود دارند و عمده ترین آنها هزینه بالای تولید و بازده کم محصول است. LB یک منبع ارزان برای تولید آنزیم ها و سایر محصولات ارزشمند مانند بیواتانول، اسیدهای آلی و غیره است. آنزیم های هیدرولیتیک مانند سلولازها، زیلاناز و پکتیناز در ارزش دهی پسماندهای صنایع غذایی از اهمیت بالایی برخوردار هستند.

گونه های مختلف باکتری (Clostridium، Cellulomonas، Bacillus، Pseudomonas، Fibribacter، Ruminococcus، Butyrivibrio و غیره)، قارچ ها (Aspergillus، Rhizopus، Trichoderma، Fusarium، Neurospora، Penicillium و غیره)، و actinomycososos، در تجزیه لیگنوسلولزها به دلیل ویژگی تولید آنزیم خارج سلولی نقش دارند.

آنزیم ها کاتالیزورهای بیولوژیکی هستند که در تمام سیستم های زنده یافت می شوند و دارای ماهیت پروتئینی هستند و پتانسیل کاتالیز کردن واکنش های مختلف را دارند.

در حال حاضر آنزیم ها به منظور افزایش توانایی خود برای نتایج بهتر در محیط تخمیر، دستکاری ژنتیکی می شوند. چنین اصلاحاتی محققان را قادر ساخته است تا از چندین میکروارگانیسم ساده بدون سابقه صنعتی مانند Escherichia coli K-12، Fusarium venenatum و Pseudomonas fluorescens برای تولید آنزیم های بومی استفاده کنند تا با موفقیت به عنوان منبعی برای بیان آنزیم های مهم صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. تولید همی سلولاز از قارچ های رشته ای به دلیل توانایی آنها در ترشح مقادیر زیادی آنزیم مناسب برای کاربردهای صنعتی مانند توسعه و تجاری سازی محصولات جدید، به عنوان یکی از بهترین سیستم های تولید آنزیم در حال توسعه است.

از آنجا که هیدرولیز زیست توده برای تولید قندهای قابل تخمیر (با کمک تک سلولی ها باعث تولید اتانول از قند می شوند) ضروری است؛ بنابراین، یک روش تولید آنزیم متناوب با استفاده از بسترهای ارزان تر و فراوان با بازده بیشتر نیاز به زمان دارد. تولید سلولاز و همی سلولاز از Aspergillus niger KK2 با استفاده از نسبت های مختلف کاه برنج و زیست توده سبوس گندم نتایج بسیار عالی ای از نظر راندمان تولید داشت.

تولید میکروبی سلولازها و هیدرولیز آنزیمی بسترهای پیش تیمار شده

آنزیم ها محصولات بیولوژیکی با اهمیت اصلی در بسیاری از زمینه ها مانند کاربردهای صنعتی، زیست محیطی و فناوری غذایی هستند. در حال حاضر، توسعه و پیشرفت های بیوتکنولوژی منجر به کاربردهای جدیدی در رابطه با آنزیم ها شده است. قارچ های رشته ای در مقایسه با آنزیم هایی که از مخمر و باکتری به دست می

آیند، می توانند در تولید بسیاری از آنزیم های تجاری نقش داشته باشند. Aspergillus niger و Trichoderma Miridae مهمترین و ایمن ترین ارگانیسم ها برای مصارف صنعتی و تولیدکنندگان قوی سلولازها هستند. این موجودات به دلیل ظرفیت بالای مجموعه های مولکولی ترشح پروتئین منبع مهم آنزیمهای خارج سلولی با پروتئینهای همولوگ و هترولوگ هستند. توسعه قارچ رشته ای به آنها اجازه می دهد تا در بستر جامد نفوذ کنند و از این رو این قارچ ها نقش اساسی در تخمیر حالت جامد ایفا می کنند. به طور قابل توجهی، A. niger تولید کننده قوی آنزیم های تخصصی مانند پکتینازها، سلولازها، همی سلولازها و زیلانازها هستند.

هیدرولیز آنزیمی یک فرایند اقتصادی است که سلولز را به قندهای ارزان قیمت با سهولت تخمیر تبدیل می کند. مواد سلولزی طبیعی موجود یک هموپلی ساکارید خطی است که از بقایای D-گلوکز تشکیل شده است و از طریق پیوندهای β-1،4-glucosidic به هم متصل می شوند. کوچکترین واحد تکراری مونومر در سلولز سلولوبیوز است که از دو باقیمانده گلوکز تشکیل شده است.

سلولز به عنوان یک منبع ارزشمند در نظر گرفته می شود؛ زیرا می تواند در صورت شکسته شدن پیوندهای β به سلولوبیوز محلول و قندهای مونومر تبدیل شود. قارچ های هوازی T. reesei، T. viride، T. koningii، Penicillium pinophinum و ... تولیدکنندگان مهم سلولاز هستند. سلولاز همچنین توسط برخی از قارچهای هوازی-گرمادوست و قارچهای بی هوازی مزوفیل تولید می شود.

تاکنون هزینه تولید سلولاز یکی از موانع اصلی برای بهره برداری از سلولز است. ارگانیسم های سلولی با بازده بالا، مواد اولیه ارزان قیمت محلی و بهینه سازی شرایط کشت راه حل هایی برای مبارزه با مشکل فوق است، زیرا این استراتژی ها می تواند بهره وری تولید سلولاز را افزایش دهد.

با پیشرفت های بیوتکنولوژی صنعتی، اکنون می توان از بقایای کشاورزی و صنعتی، به ویژه آنهایی که از مناطق گرمسیری مانند باگاس نیشکر، باگاس کاساوا، سبوس گندم، سبوس برنج، تفاله چغندر قند و تفاله سیب و غیره جمع آوری می شود، استفاده اقتصادی کرد. ثابت شده است که زباله های زراعی بهترین بسترها برای فرآیندهای تخمیر حالت جامد (SSF[1]) هستند. به طور کلی، SSF شامل رشد میکروارگانیسم ها در بسترهای جامد مرطوب در غیاب یا عدم وجود آب آزاد و بستر جامد شبیه زیستگاه طبیعی میکروارگانیسم ها است که ممکن است بتوانند آنزیم ها، متابولیت ها، پروتئین ها و اسپورهای معدنی را با کارآیی بیشتری نسبت به تخمیر غوطه ور تولید کنند.

استراتژی های مورد استفاده برای بهبود تولید آنزیم قارچی

تولید آنزیم در سیستم قارچی از زیست توده ها نیازمند بهینه سازی های متعددی است که بیوتکنولوژی در این قسمت اهمیت بسیار ویژه ای دارد.

فناوری های بیوتکنولوژی ای که در این زمینه استفاده می شوند عبارتست از:

[1] Solid state fermentation processes

- جهش زایی: جهت افزایش مقاومت در برابر تغییرات pH
- هم کشتی چند گونه که با هم اثر سینرژیسم یا هم افزایی دارند(نوعی رابطه زیستی که رشد یک میکرواورگانیسم در یک زیست محیط بر روی رشد و فعالیت میکرواورگانیسم دیگر اثر تقویتی دارد.
- مهندسی مسیرهای متابولیک: تغییر نیازمندی و وابستگی قارچ ها به زیست توده ها بطوری که تصفیه زیستی به راحتی انجام گیرد.
- بیان هترولوگوس: جابجایی ژنتیکی بین دو گونه مشابه و انتقال ژن عرضی در دو قارچ که با هم در بیوراکتور رشد می کنند.
- بی حرکت کردن: ثابت کردن میکرواورگانیسم روی یک ستون باعث افزایش راندمان تولید و خالص سازی می شود.

در پایان، می توان گفت که زیست فناوری محیط زیست تلفیقی از همه شاخه های زیست فناوری است که با رویکرد حفظ منابع طبیعی و تولید انرژی پاک طراحی شده است. این شاخه در همه زمینه ها می تواند توسعه یابد ولی آنچه بدیهی است نقش بی بدیل زیست فناوری در مبحث تصفیه زیستی و ایجاد میکرواورگانیسم های هوشمندی است که بتوانند انواع ضایعات را به مواد تجدید پذیر تبدیل کنند. این آینده تولید انرژی پاک و حفظ محیط زیست خواهد بود.

واژه نامه

الف	الف	
اتمسفر	هواکره: (هواسپهر)یک یا چند لایه از گاز است که دور یک جسم آسمانی مانند یک سیاره، ستاره، یا قمر را احاطه کرده‌است	Atmosphere
استپ	سبزدشت: منطقه‌ای است دارای درختان خاردار و بوته‌های کوتاه قد که با فاصله از هم روییده‌اند	Estep
اکوسیستم	زیست بوم: به مناطق زندگی تمام گیاهان، جانوران و سایر موجودات با شرایط طبیعی محیط در یک منطقه ویژه گفته می‌شود	Ecosystem
اکولوژی	علم مطالعه زیست بوم ها	Ecology
ب	ب	
باگاس نیشکر	باگاس تفاله‌ای است که پس از استخراج شکر از نیشکر و سورگوم، حاصل می‌شود	Sugarcane Bagasse
بیوراکتور	یک بیوراکتور می‌تواند به هر سامانه یا دستگاه مصنوعی ساخته یا مهندسی شده که از یک محیط زیستی فعال حمایت می‌کند، اطلاق شود.[۲] به عبارتی یک بیوراکتور ظرفی است که در آن یک فرایند شیمیایی حاصل از فعالیت ارگانیسم‌ها (جانداران) یا مواد فعال بیوشیمیایی مشتق از آن‌ها در حال انجام است که می‌توانند به صورت هوازی یا بی هوازی باشند.	Bioreactor

بیوتکنولوژی	زیست فناوری: به‌کارگیری سامانه‌های زنده و جانداران برای توسعه یا تولید محصولات یا هر گونه کاربرد فناورانه که از سامانه‌های زیستی، جانداران یا مشتقات آن استفاده می‌کند تا محصولات یا فرایندهای خاصی را ایجاد یا اصلاح نماید، به‌کار برده‌شد.	Biotechnology
بیومس	زیست‌توده یا زی‌توده یک منبع تجدیدپذیر انرژی است که از مواد زیستی به دست می‌آید	Biomass
	پ	
پساب	ساب، چرک‌آب یا فاضلاب به بازمانده‌ها و دورریزی‌های عمدتاً مایع محلی، شهری یا صنعتی گفته می‌شود.	Effluent
	ت	
ترانس ژنیک	تراریخته(تراژن): به فرایند تزریق یک ژن به جانداران زنده، گفته می‌شود. به طوری که جاندار ویژگی جدیدی پیدا کند و آن را به فرزندانش منتقل کند. در فناوری تولید جانداران تراریخته (ترازایی)، یک یا چند ژن به ژنوم طبیعی جاندار اضافه یا از آن حذف می‌شود	Transgenic
تک یاخته	جاندار تک‌سلولی، همانطور که از نامش پیداست، جانداریست که تنها یک سلول دارد. جانداران تک‌سلولی در دو دسته بزرگ قرار می گیرند: پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها.	
	ج	
جهش یافته	در زیست‌شناسی و به‌ویژه در ژنتیک، جهش‌یافته به جانداری نو با ویژگی یا ویژگی‌های ژنتیکی نو می‌گویند که در پی یک جهش ژنی پدید می‌آید.	Mutant
	چ	
چرخه آلودگی	فرایند انتقال الودگی و تبدیل ان در طبیعت را چرخه آلودگی گویند. چرخه آلودگی میتواند منجر به گسترش آلاینده ها یا از میان رفتن آنها شود.	Pollution cycle
چیپ	ه هر مجموعه منسجم که به منظور ایجاد بستری برای مجموعه ای از فعل و انفعالات بکار میرود، مثل چیپ الکترونیکی و چیپ زیستی	Chip
	ح	
	خ	
خودتجمیع شوندگی	جذب خودبخودی باکتریها و تمایل به تشکیل زیست توده	
	د–ذ	
	ر	
ریزگرد	مجموعه‌ای است از گرد و غبار، دود و دیگر ذره‌های خشک معلق در هوا که باعث کدر شدن آسمان و در اغلب موارد سبب کاهش دید نیز می‌شوند. خاستگاه ریزگرد آلاینده‌های صنعتی، آمدوشد خودروها، آتش‌سوزی جنگل‌ها، گسترش بیابان‌ها، شخم زدن زمین در آب‌وهوای خشک و ... است.	Haze Pollution
رسپیرومتری	به مجموعه ارگانهای تامین کننده اکسیژن در بدن گویند شامل ششها، کیسه های هوایی و نای	Respiratory
رادیواکتیو	به موادی که از خود نور منشر می کنند، بدون بمباران الکترونی و تاباندن نور، مواد رادیواکتیو می گویند. هسته های ناپایدار عناصر با تابش اشعه دچار فراپاشی شده و پایدار می شوند. اورانیم از جمله معروفترین انهاست.	Radioactive Materials
	ز–ژ	
زنوبیوتیک	بیگانه‌زیست یا زنوبیوتیک یک ماده شیمیایی بیگانه‌ای است که به‌طور طبیعی در بدن جانداران یافت نمی‌شود. همچنین زنوبیوتیک به ماده‌ای که با غلظت بالاتر از حد نرمال در بدن وجود دارد نیز گفته می‌شود.	xenobiotic
زیست توده	ک منبع تجدیدپذیر انرژی است که از مواد زیستی به دست می‌آید. به‌طورکلی، زباله‌هایی که منشأ زیستی داشته باشند و از تکثیر سلولی پدید آمده باشند را زیست‌توده نامند.	Biomass
زیست تصفیه	ه عملیات استخراج فلزات از سنگ معدن با استفاده از موجودات زنده گفته می‌شود. میزان آلاینده‌هایی که در این روش تولید می‌شود بسیار کمتر از شیوهٔ سنتی تصفیهٔ توده‌ای ((heap leachingبا استفاده از سیانید است.	Bioleaching

	س/ ش	
ساکاریفاسیون	اصطلاحی برای نشان دادن هرگونه تغییر شیمیایی است که در آن یک مولکول پلی ساکارید یا دی ساکارید به واحدهای تشکیل دهنده خود تجزیه می شود و مونوساکارید پس از عدم اتصال به ساکارید دیگر دست نخورده باقی می ماند.	Saccharification
سوخت زیستی	به سوخت‌هایی گفته می‌شود که از زیست‌توده به‌دست می‌آیند. این تعریف، زیست‌سوخت‌های جامد، سوخت‌های مایع و زیست‌گازهای مختلف را دربر می‌گیرد.	biofuel
سویه	ر میکروبیولوژی و ویروس‌شناسی اصطلاحی است که برای توصیف نوع فرعی از میکروارگانیسم استفاده می‌شود، واریانت از نظر ژنتیکی از نمونه اصلی متمایز است، اما نه به اندازه‌ای که بتوان آن را یک سویه مجزا نامید.	variant
سیتوکروم	روتئین حامل و رنگدانه‌ای است که در تمام سلول های هوازی و برخی باکتریها وجود دارد. سیتوکرومها اغلب به غشا (مانند غشای داخلی میتوکندری) متصل می‌شوند و در زنجیره انتقال الکترون و تشکیل ATP فعالند.	Cytochrome
	ص–ض	
	ط–ظ	
طول موج	به فاصله بین دو قله متوالی موج (یا بین هر دو نقطه تکراری موج که شکل یکسان دارند) گفته می‌شود.	Wavelength
	ع	
	غ	
غشای سلولی	یک غشای زیستی است و به غشای نازک یاخته‌ها که از دو لایه فسفولیپیدی تشکیل شده گفته می‌شود. غشای سلول همچنین به عنوان مرز میان اندامک‌های درون‌یاخته‌ای عمل می‌کند. در واقع غشای یاخته دیواره‌ایست که محافظت از یاخته را برعهده دارد. سیتوپلاسم درون غشای یاخته جای دارد.	Cell membrane
	ف	
فلز سنگین	اصطلاحی در شیمی است که به فلزها یا شبه‌فلزهای دارای اثرات زیست‌محیطی اشاره دارد	Heavy metal
فیزیولوژیکی	دانش بررسی نحوه کارکرد اندام‌های مختلف بدن است. فیزیولوژی از شاخه‌های زیست‌شناسی که خود به زیرشاخه‌های فیزیولوژی جانوری، فیزیولوژی دامی، فیزیولوژی گیاهی، فیزیولوژی سلولی و فیزیولوژی پزشکی (انسانی)، نوروفیزیولوژی، فیزیولوژی ورزشی و... تقسیم می‌شود.	Physiology
	ق	
قنات	قنات یا کاریز راه‌آب یا کانالی است (که به وسیله فلرکسرون) که در زیرِ زمین حفر شده، تا آب در آن برای رسیدن به سطح زمین جریان یابد. این جوی یا کانال در عمق زمین برای ارتباط دادنِ رشته‌چاه‌هایی است که از مادر چاه سرچشمه می‌گیرد	subterranean canal
	ک–گ	
کمپوست زباله	مپوست پسماندهای آلی تجزیه‌شده و نسبتاً پایدار حاصل فرایند پوسش هستند و پوسش یا کمپوست کردن عمل پوساندن و تجزیه بقایای گیاهی، حیوانی یا زباله‌های شهری همچنین لجن فاضلاب است که تحت شرایط خاص و روش‌های گوناگون انجام می‌گیرد. این عمل شاید کهن‌ترین روش بازیافت باشد.	waste compost
گاز گلخانه ای	به گازی که در جو یک سیاره وجود دارد گفته می‌شود که در محدوده فرو سرخ به جذب و انتشار پرتوها می‌پردازد.	Greenhouse gas
گالوانیزه	الوانیزه، آهنی است که با روی پوشیده شده و به مقاومت بالا معروف است. روی باعث می شود آهن از هرگونه زنگ زدگی در امان بماند و به عمر آن اضافه شود.	Galvanized
گونه فرصت طلب	گونه هایی از میکروب¬ها، تک سلولی ها و گیاهان و جانوران که جزو گونه های بومی منطقه نیستند و سرعت رشد و تکثیرشان نسبت به گونه های مقیم بیشتر بوده و با افزایش زاد و ولد و تکثیر منابع غذایی را به سود خود تمام کرده و سایر گونه ها را در اثر رقابت حذف می کنند.	opportunistic species
	ل	
لایروبی	برداشتن هر نوع روسوبات تهنشین شده در نهرها و کانال های رو باز سر بسته و زیر پله را لایروبی گویند	Dredging

لومینسانس	تابش فوتون‌های نور (فرابنفش، مرئی یا فروسرخ) از یک جسم به دلیل گذار الکترون‌های برانگیخته از ترازهای بالا به پایین است. تابناکی دربرابر فروزندگی جای می‌گیرد.	Luminescence
	م	
متابولیسم	سوخت و ساز: گَرگشت، مجموعه تغییرات ترکیبی و تخریبی در موجودات زنده است	Metabolism
متابولیت	در علم بیوشیمی مواد شرکت‌کننده در متابولیسم یا سوخت و ساز سلولی را متابولیت مینامند. در واقع متابولیت‌ها ترکیبات واسطه یا محصول سوخت و ساز سلول زنده هستند و معمولاً اشاره به مولکول‌های کوچک[۱] شرکت‌کننده در سوخت و ساز سلولی دارد.	Metabolite
متروپولیس	کلان شهر: کَلان‌شهر یا مادَرشهر عنوانی است که در مورد شهرهای بزرگ و پرجمعیت به‌کار می‌رود	metropolis
مهندسی ژنتیک	بخشی از دانش زیست‌فناوری؛ به مجموعه روش‌هایی گفته می‌شود که به منظور جداسازی، خالص‌سازی، وارد کردن و بیان یک ژن خاص در یک میزبان بکار می‌روند و نهایتاً منجر به بروز یک صفت خاص یا تولید محصول مورد نظر در جاندار میزبان می‌شود.	Genetic Engineering
میکروآئروفیلیک	خردهوازی، میکروب‌هایی هستند که برای رشد و نمو به اکسیژن کمی نیاز دارند (برای مثال ۲ تا ۱۰٪ اکسیژن موجود در جو) و غلظت عادی اکسیژن موجود در جو (۲۱٪) برای آنها بیش از اندازه و مرگبار است	Microaerophilic
	ن	
نوکلئوتید	نوکلئوتید ترکیبی متشکل از یک قند ۵–کربنی (ریبوز یا دئوکسی ریبوز) اسید فسفریک (فسفات) و یکی از بازهای آلی پورین (آدنین، گوانین) یا پیریمیدین (سیتوزین، تیمین، یوراسیل) است. اغلب نوکلئوتید را نوکلئوزید فسفات می‌گویند. نوکلئوتیدها به دلیل داشتن اسید فسفریک ترکیبی اسیدی هستند.	nucleotide
	و	
وکتور	توالی مشخصی از ژنها که به دلیل تغییر در رفتار وارد سلول میشود.	Vector
	ه	
هوازی	هوازی ترجمه واژه ایروبیک می‌باشد که به معنی با اکسیژن بوده و به نیاز به اکسیژن در زیست تصفیه و فرایند آن اشاره دارد.	Aerobic
	ی	
یون	به اتم یا مولکول‌هایی که بار الکتریکی اضافه یا کم داشته باشند و این بار می‌تواند منفی یا مثبت باشد.	Ion

منابع

1. Ivanov V, Hung Y-T. Applications of environmental biotechnology. Environmental Biotechnology: Springer; 2010. p. 1-17.

2. Sexton SE, Martin LA, Zilberman D. Biofuel and biotech: a sustainable energy solution. History. 2030;1980.

3. Singh OV, Chandel AK. Sustainable biotechnology-enzymatic resources of renewable energy: Springer; 2018.

4. Gupta R, Singh RL. Genetically modified organisms (GMOs) and environment. Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future: Springer; 2017. p. 425-65.

5. Muhondwa MM, Burkhardt M. EFFECT OF HIGH BIOWASTE MOISTURE CON OF IN-VESSEL COMPOSTING TECHN. 2015.