حذف بیولوژیکی هیدروکربن‌ها

مهندس میترا غلامی ـ عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی استان زنجان

خلاصه

امروزه هیدروکربنها بعنوان آلاینده‌های محیط از اهمیت بسزایی برخوردار هستند.مقادیر زیادی از هیدروکربنها، از طریق مواد زائد جامد و مایع، صنایع مختلف و همچنین از طریق مبارزه با آفات، وارد محیط زیست شده و سبب ایجاد مخاطرات محیطی می‌گردند.نظر به اینکه میکروارگانیسم‌ها قادر به استفاده از هیدروکربنها برای تأمین انرژی، کربن و همچنین اکسیژن بعنوان گیرنده نهایی الکترون هستند، حذف میکروبی این ماده مورد توجه قرارگرفته است.

طی چند دهه اخیر، در بهسازی میکروبی[1] و بیوتکنولوژی[2]، کاربرد میکروارگانیسم‌های مختلف برای حذف این آلاینده‌ها بعنوان آلوده‌کننده‌های محیط، بررسی و نتایج چشمگیری نیز حاصل شده است. در این راستا بعنوان مثال می‌توان از حذف آفت‌کش‌های باقیمانده در محیط توسط سیانو باکترها نام برد.

در این مقاله به چگونگی متابولیسم هیدروکربنها و همچنین حذف بعضی از آنها توسط میکروارگانیسم‌های مشخص، اشاره مختصری شده است.

واژه‌های کلیدی :

ایران، زنجان، دانشگاه علوم پزشکی، دانشکده پیراپزشکی،هیدروکربنها، بهسازی میکروبی ، میکروارگانیسم هوازی و بیهوازی ، آلوده‌کننده‌های محیطی و بیوتکنولوژی .

مقدمه :

به دلیل اهمیت هیدروکربنها بعنوان آلوده‌کننده‌های محیط و کاربرد آن بعنوان سابستریت در تولید پروتئین سلول، متابولیسم هیدروکربنها باید مورد توجه قرار گیرد. می‌دانیم که مواد آلی را برحسب عنصرهای تشکیل دهنده آنها، به سه دسته کلی تقسیم‌می‌کنند:

۱- هیدروکربنها ۲- مواد اکسیژن‌دار مانند الکل و کربوهیدراتها ۳- مواد نیتروژن‌دار مانند پروتئین.

هیدروکربنها دسته‌ای از مواد آلی هستند که تنها دارای دو عنصر کربن و هیدروژن می‌باشند. فرمول کلی آنها C_xH_y می‌باشد.

هیدروکربنها را از نظر وضعیت زنجیره کربنی می‌توان به دو گروه زنجیری یا خطی (با زنجیره باز) و هیدروکربنهای حلقوی یا سیکلیک(با زنجیره بسته) تقسیم‌بندی کرد. در هیدروکربنهای زنجیری اتم‌های کربن به دنبال یکدیگر زنجیروار، (بدون شاخه یا با شاخه فرعی)، به یکدیگر پیوند دارند و دو انتهای زنجیره کربن، آزاد است. در هیدروکربنهای حلقوی، اتم‌های کربن به صورت حلقه یا حلقه‌های متعدد،(بدون شاخه یا با شاخه فرعی)، به یکدیگر پیوند دارند.

هیدروکربنهای زنجیری به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱- آلکانها(پارافینها) مانند متان که هیدروکربنهای سیرشده نامیده می‌شوند.(C_nH_{2n+2}).

1.Bioremediation 2.Biotechnology

۲- آلکن‌ها(اُلفینها) مانند اتیلن که دارای پیوند دوگانه بوده و در دسته هیدروکربن‌های سیرنشده قرار می‌گیرند.(C_nH_{2n}).

۳- آلکین‌ها مانند استیلن که دارای پیوند سه گانه بوده و در دسته هیدروکربنهای سیرنشده قرار می‌گیرند.(C_nH_{2n-2}).

هیدروکربنهای حلقوی نیز به دو دسته هیدروکربن‌های حلقوی سیرشده و معطر تقسیم می‌شوند. هیدروکربنهای حلقوی سیرشده که فرمول کلی آنها C_nH_{2n} $(n>=3)$ می‌باشد،با پیشوند سیکلو که نشانه حلقوی بودن آنهاست ، نامگذاری می‌شوند، مانند سیکلوهگزان.

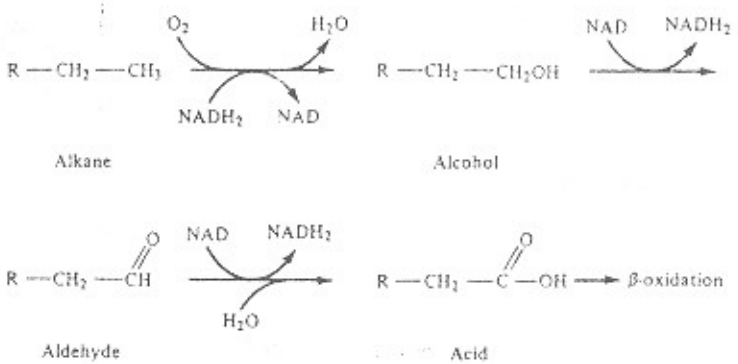
هیدروکربنهای معطر یا آروماتیک که به عنوان هیدرکربنهای بنزنی نیز معروفند؛ از هیدروکربنی به نام بنزن(C_6H_6) مشتق می‌شوند. نام دیگر بنزن، فن یا بنزول است و بنیان آن را فنیل (C_6H_5) می‌نامند.

الف ـ متابولیسم هوازی هیدروکربنها.

هیدروکربنهای آلفاتیک، (با زنجیره مستقیم)، توسط باکتریها و قارچ‌ها براحتی اکسید می‌شوند. برای متابولیسم میکروبی هیدروکربنها، اکسیژن مولکولی مورد نیاز است، بنابراین تجزیه در شرایط هوازی مطلق صورت می‌گیرد. مهمترین حالت متابولیسم این ماده، اکسیداسیون گروه متیل انتهایی به الکل نوع اول می‌باشد این مرحله نیاز به اکسیژن دارد. الکل نیز توسط آنزیم‌های دی‌هیدروژناز به صورت آلدئید اکسید شده ، سپس به اسید چرب تبدیل می‌شود و اسید چرب نیز طی مراحل مختلفی در واکنشی تحت عنوان بتااکسیداسیون تجزیه شده و تبدیل به استیل کوآنزیم A گشته، وارد چرخه کربن می‌شود. تمام هیدروکربنهای زنجیری اشباع و غیراشباع از طریق این مسیر اکسید می‌گردند.

شکل ۱ مسیر تجزیه هیدروکربن آلفاتیک توسط اکسیداسیون به اسیدهای چرب را نشان می‌دهد.

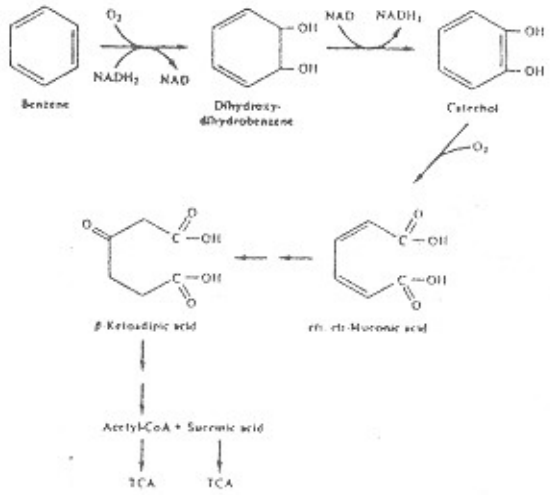
شکل ۱ ـ متابولیسم یک هیدروکربن آلفاتیک توسط اکسیداسیون به اسید چرب



هیدروکربنهای معطر، شامل بنزن و مشتقات آن، توسط شکستن حلقه و تبدیل آن به شکل اسید با زنجیره مستقیم متابولیز می‌گردند. بسته به محل قرار گرفتن حلقه، واکنش اولیه متفاوت است، اما به هر ترتیب مولکول اکسیژن در یک یا چند واکنش آن مورد نیاز است. در بعضی موارد، گروههای

جانشین قبل از شکستن حلقه، حذف یا اکسید می‌شوند. شکستن حلقه معمولاً بین گروههای هیدروکسیل با اضافه کردن اکسیژن صورت گرفته و اسید دی کربوکسیلیک خطی تشکیل می‌شود. بنزن پس از طی مسیری که در شکل ۲ مشخص شده است، به استیل کوآنزیم A و اسید ساکسینیک که ترکیبات واسطه چرخه TCA هستند، متابولیز و وارد چرخه TCA می‌گردد.

شکل ۲ـ متابولیسم بنزن



بیشتر هیدروکربنهای ماکرومولکول توسط میکروارگانیسم‌ها به آرامی تجزیه می‌شوند. در بعضی موارد متابولیسم کامل، تنها به وسیله یک ارگانیسم صورت نمی‌گیرد. در مطالعه چنین واکنشهایی با استفاده از کشت خالص، دیده شده است که ارگانیسم به ماده غذایی دومی که بتواند بعنوان منبع کربن و احتمالاً منبع انرژی اضافی مصرف شود نیاز دارد. به چنین واکنش‌هایی کواکسیداسیون گویند[1].

از مولکولهای بزرگ هیدروکربنها(ماکرومولکولها)، مولکولهایی با وزن مولکولی پائین‌تر بدست می‌آید که براحتی توسط فرایندهای میکروبی در حضور آب و اکسیژن تجزیه می‌شوند.

شایان ذکر است که وجود میکروارگانیسم‌ها در تأسیسات ذخیره مواد سوختی و خطوط انتقال لوله‌های محتوی این مواد، ایجاد اشکال می‌نماید. بهمین دلیل این مواد قبل از ورود به مخازن و خطوط لوله، باید از صافی استریل عبور کنند تا از رشد میکروارگانیسم‌ها در تانک و خطوط لوله جلوگیری به عمل آید. قارچ‌ها نیز بدلیل اینکه می‌توانند در رطوبت کم زنده بمانند، در این تأسیسات ایجاد مشکل می‌کنند.

ب ـ متابولیسم بیهوازی هیدروکربنها

هیدروکربنها بطور معمول طی متابولیسم بیهوازی تخمیر نمی‌شوند. بعضی گونه‌های باکتریایی به تنهایی و یا با کمک هم قادر به تجزیه بیهوازی ترکیبات منوآروماتیک هموسیکلیک مانند ترکیبات فنولیک، متیل بنزن‌ها و آمینوبنزن‌ها می‌باشند.

بر خلاف شرایط هوازی که این ترکیب توسط اکسیژن، به مواد واسطه‌ای دی‌هیدروکسیل تجزیه می‌شوند؛ بیشتر ترکیبات آروماتیک

1.CO - Oxidation

تحت شرایط بیهوازی به ترکیبات واسطه‌ای اسید آروماتیک نظیر نیتروبنزوآت ، هیدروکسی بنزوات یا فنیل استات متابولیزه می‌گردند.
قبل از احیا و شکستن حلقه بنزن و تبدیل آن به اسیدهای چرب، اسیدهای آروماتیک به بنزوآت تبدیل می‌شوند. مسیر تجزیه به صورت زیر است :

اسیدهای چرب ← بنزن (حلقه بنزن شکسته می‌شود) ← بنزوآت ← اسیدهای آروماتیک ← ترکیبات آروماتیک

در مرحله‌ای از این مسیرهای کاتابولیکی، کوآنزیم A به گروه کربوکسیلیک اسیدهای آروماتیک اضافه می‌شود. این وضعیت، مسیر تبدیل آنزیماتیک اسیدهای آروماتیک به بنزوایل کوآنزیم A و در مراحل بعدی تجزیه آن توسط یک سری از باکتریها تحت شرایط بیهوازی می‌باشد. البته این باکتریها تحت شرایط هوازی نیز قادر به تجزیه بعضی ترکیبات آروماتیک می‌باشند، همچنین برای رشد، نیاز به ATP بعنوان انتقال‌دهنده انرژی Mg^{2+} و COASH بعنوان کوفاکتور دارند. PH مناسب برای رشد آنها بین ۸/۲-۹/۳ می‌باشد.
نوع دیگری از باکتریهای بیهوازی مطلق وجود دارد که تتراکلرواتان یا پرکلرواتیلن PCE را به تری‌کلرواتان TCE تبدیل و آن را هم به سیس ۲ و ۱- دی‌کلرواتان تجزیه می‌کنند و از آن همراه با پیرویت بعنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند. این باکتری دی‌هالوسپیریلیوم مولتی ورانس[1] نامیده می‌شود. این ارگانیسم باکتری گرم منفی - اسپیرل مارپیچی شکل بدون اسپور است که جزو فامیل پروتئوباکترها می‌باشد. باکتری دی‌هالوسپیریلیوم قادر به ترشح کوآنزیم‌های کوئینوز، سیتوکروم b و c و کورنیویدز می‌باشد. این ارگانیسم در محیط حاوی PCE و H_2 بعنوان منبع انرژی و استات بعنوان منبع کربن رشد می‌کند. تحت این شرایط میزان تولید سلولی آن ۱/۴ گرم پروتئین سلول در مول کلر آزاد می‌باشد. علاوه بر PCE، باکتری D.M قادر است از فرمات و نیترات بعنوان گیرنده نهایی الکترون استفاده کند.

سولفات نمی‌تواند جایگزین PCE، فرمات و نیترات گردد. علاوه بر هیدروژن، دهنده الکترونی دیگری‌مانند پیروات، لاکتات، فرمات و گلیسرول نیز توسط ارگانیسم استفاده می‌شود.
در محیط پیروات و PCE، محصولات اصلی تخمیر توسط این باکتری، استات ، لاکتات ، DCE (دی کلرواتان) و H_2 می‌باشد. در PH مناسب (۷/۳-۷/۶)و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در حضور پیروات و PCE، سرعت کلرزدایی این باکتری بالا می‌رود. این ارگانیسم برای بهسازی میکروبی[2] محیطهای آلوده به تتراکلرواتان به کار می‌رود.
TCE از طریق فرایند هوازی نیز قابل تجزیه می‌باشد. باکتریهای فعال در این مورد، در دسته گزانتوباکترها قرار دارند. گزانتوباکترها باکتریهای گرم منفی، کاتالاز مثبت هستند. تجزیه TCE توسط این باکتری بستگی به غلظت TCE و جرم سلولی دارد. البته باکتریهای هوازی مختلفی قادر به تجزیه TCE هستند. این باکتریهادر محیطهای حاوی هیدروکربنهای حلقوی سیرشده و آروماتیک رشد می‌کنند. از گونه‌های گزانتوباکتر، گونه PY_2 قادر به تجزیه TCE، در زمانی‌که‌روی محیط حاوی پروپن رشد می‌کند، می‌باشد. سمیت TCE یک مشکل‌اساسی‌درتجزیه هوازی این ترکیب است. نوع دیگری‌ازگزانتوباکترها،بنام گزانتوباکتر فلاووس[3] که از لجن رودخانه جدا می‌شود نیز می‌تواند از دی‌کلروبنزن بعنوان تنها منبع

1.Dehalospirillum Multivorans(D.M)

2.Bioremadiation 3.ex.flavus

کربن و انرژی استفاده کند. در طی تجزیه DCB، یونهای کلر، آزاد می‌شوند. این باکتری با گرفتن اکسیژن از DCB و سپس شکستن حلقه بنزن، آن را تجزیه می‌کند. این گونه تنها از DCB می‌تواند استفاده کند. سیانوباکترها نیز قادر به تجزیه هیدروکربنهای آروماتیک و ترکیبات ساخته شده توسط انسان می‌شوند. سیانوباکترها میکروارگانیسم‌های فتوتروف با زندگی آزاد هستند که انرژی مورد نیاز خود را از نور خورشید و کربن مورد نیاز خود را از هوا تأمین می‌کنند. بعضی از آنها قادر به تثبیت نیتروژن اتمسفریک می‌باشند.

سیانوباکترهای رشته‌ای که حاوی گونه تثبیت کننده نیتروژن، هستند در سلولهای گیاهی خود، متابولیسم هوازی و بیهوازی را ادغام می‌کنند. این ارگانیسم‌ها که بطور وسیعی در بعضی اکوسیستم‌ها پراکنده‌اند، هتروکیست‌ها نامیده می‌شوند.

اخیراً از سیانوباکترها در بهسازی میکروبی آبهای سطحی بخصوص آبهای حاوی مواد شیمیایی مصنوعی بجای باکتریهای هتروتروف، که نیاز به مواد آلی مغذی در محیط دارند، استفاده می‌شود. دو نوع سیانوباکتر رشته‌ای وجود دارند که قادر به تجزیه آفت‌کشهای آلیفاتیک کلرینه شده یعنی لیندن و همچنین ترکیبات حلقوی معطر مانند ۴-کلروبنزوآت می‌باشند. این دو گونه آنابنا ونستوسلیپ سپوریوم[1] هستند. این گونه قادر به کلرزدایی بوده و اغلب می‌توانند هالوژن‌های دیگر مانند ید و برم را نیز از ترکیب حذف کنند.

طی چندین دهه گذشته کاربرد وسیع بنزن‌های کلرینه شده منجربه رها کردن این ترکیبات در محیط شده است. بدلیل پایدار بودن بنزن‌های کلرینه شده در طبیعت، تجزیه بیولوژیکی آنها تنها فرایندی است که می‌تواند گسترش این ترکیبات را محدود سازد. استفاده از دو باکتری سودوموناس و آلکالی ژنز که ۱ و ۴ دی‌کلروبنزن را بعنوان تنها منبع کربن و انرژی مصرف می‌کنند، روشی برای کاهش این ترکیبات می‌باشد. باکتری‌های گرم مثبت مایکوباکتریومها و اکتینومیسیتها نیز قادر به تجزیه ترکیبات آروماتیک می‌باشند. کار این میکروارگانیسم‌ها در بیوتکنولوژی بسیار جالب توجه است زیرا پتانسیل تجزیه بیولوژیکی بالایی دارند و همچنین بخوبی در خاک رشد می‌کند.

یکی از باکتریها که قادر به استفاده از بنزن‌های هالوژنه است، گونه ردوکوکوس اپاکوس می‌باشد این گونه که به GM-14 معروف است، در خاک آلوده به کلروبنزن یافت می‌شود.

این ارگانیسم قادر به استفاده از این ترکیب بعنوان منبع انرژی و کربن می‌باشد. این گونه همچنین به طور وسیعی سابستریت‌های هالوآروماتیک را مصرف می‌کنند. باکتری GM-14 باکتری گرم مثبت اکتینومیست است که در مقابل اسید مقاومت آن کم می‌باشد. این باکتری دارای سیکل مرفولوژیک از کوکسی و باسیل‌های کوتاه به باسیل‌های طویل و باکتریهای رشته‌ای شاخه‌ای شکل می‌باشد.

1.Nostocellip sosprum

مآخذ

1.Elefsiniotis-p;Oldham-WK."Substrate degradation patterns in acid-phase anaerobic digestion of municipal primary sludge",Envirnmental Technology,Vol.15,No .8,PAGE 741-751,1994.

2.Elke SPIESS, and others."Degradation of 1,4-Dichlorobenzene by Xantobacter flavus 14 PI.",Applied and Envirnmental Microbiology,Vol.61,No.11,1995,Page 3884-3888.

3.MartinW.and others,"Continuous degradation of Trichloroethylene by xentobacter SP.Strain PX2 during growth on propene Applied and Envirnmental Microbiology ,Vol .61 ,No.8,P.2936-2942 ,1995.

4.Gennad-M;and others;"Utilization of Halogenated Benzenes, Phenols and Benzoates by RhodococusOpacusGM-14.",Applied and Envirnmental Microbiology ,Vol .61,No.12 ,p.4191-4201,1995.

5.Gaudy E.;G.A;" Microbiology for envirnmental scientists and engineers."Mcgrow hill book company,1976.

6.Scholz-M and others,"Isolation and characterization of Dehalospirillum multivorans gen.nov.,a tetrachloroethene utilizing, strictly anaerobic bacterium.",Archives of Microbiology,Vol.163,No.1,p.48-56,1995.

7.Shirley F.and others,"Oxidative path Way for the biodegradation of nitrobenzene by comamonas sp.strainJS765."Applied and Envirnmental Microbiology ,Vol .6 ,No.6,p. 2308-2313,1995.

8.Tanya K.and C.peter wolk,"Use of filamentous cyanobacteria for biodegradation of organic pollutants.",Applied and Envirnmental Microbiology,Vol.61,No.1,p.234-238,1995.

9.Yaguchi-k and others,"Tetrachloroethylen degradation by culture suspernatant of the anaerobic bacteruim,strainT.",JPN-J-Toxicol_Environmental Health, Vol. 40,No.3,p .252- 258 ,1994.

۱۰. امینی حسام ، ملازدی محمدرضا،" آشنائی با مبانی شیمی" میتکران، چاپ پنجم، ۱۳۷۳.

۱۱. سهرابی مرتضی،" زیست شیمی و زیست شناسی " دانشگاه صنعتی امیرکبیر ، چاپ اول ،۱۳۷۴ .