

生物能源工程与生物修复

郑丽沙

生物与医学工程学院

lishazheng@buaa.edu.cn

内容

- * 生物能源工程
- * 生物修复

生物能源工程

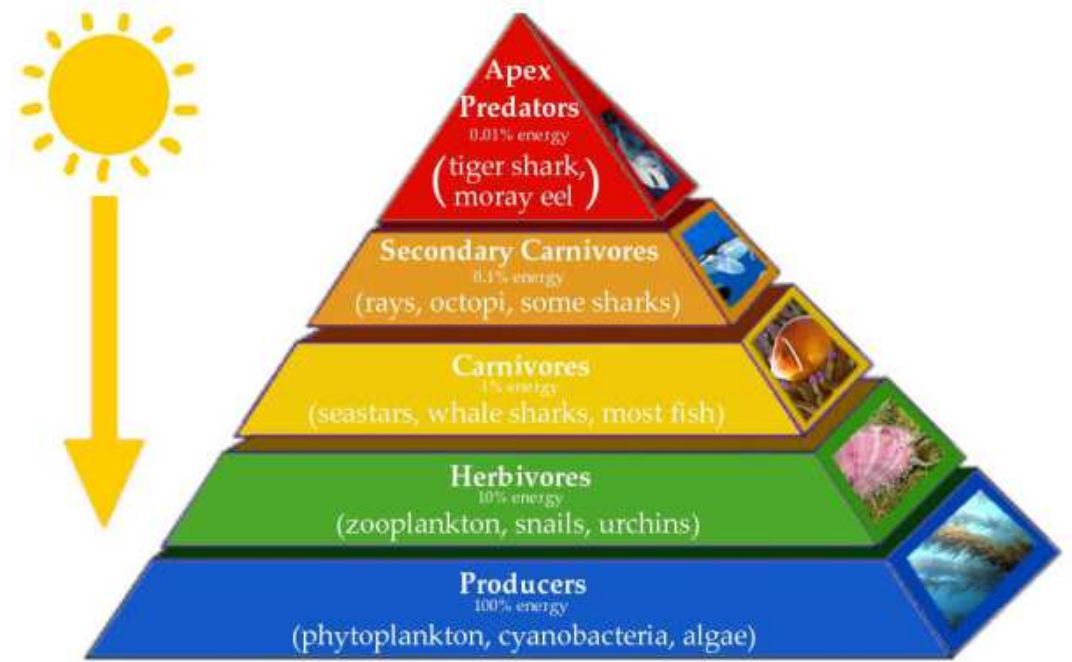
* 生物从外界获取太阳能或富含自由能的有机物并加以利用，这些能量都以化学键能（以碳链中的碳-碳键为主）的形式储存在生物中，由于新陈代谢维持着生命自身高度有序的状态，遗传与繁殖使生命得以延续。人类持续的生存发展终究不可能由自然界不可再生的非生命资源和能源来维持。因此可持续存在与发展（可再生）的生命所提供的能源和资源取代不可持续（不可再生）的非生命能源与资源是人类社会发展的必然趋势。



- * 生态系统(ecosystem)是各类生物或生物群落(community)与非生物因子通过能量流动(energy flow)和物质循环相互作用而构成的生态集合体。
- * 生态系统中的生物包括生产者(producer)、消费者(consumer)和分解者(decomposer) 3大功能类群。

- * 生态系统吸收的太阳能一般最多只能通过4-5个不同营养级的生物进行传递。由于通过食物链后能量的逐级损失，食物链中的能量也呈现下宽上窄的金字塔形，称为能量金字塔(energy pyramid)

Energy Pyramid



自然资源

- * 自然资源(natural resource)是在一定的时空条件下能够产生经济价值，提供人类生活所必需或提高人类福利的物质和自然的因素。
- * 地球上的自然资源一般包括气候资源、水资源、矿物资源、能源(energy resource)、生物资源(organic resource)等。其中只有生物资源是有生命的资源，其他为非生命资源。生物资源包括动物、植物和微生物等，是一种可再生的自然资源。能源也是自然资源，它是自然界中可为人类提供某种形式能量（包括热、光、动力）的物质资源。能源有一次能源和二次能源（由一次能源转换而来），可再生能源和不可再生能源之分。

可再生能源

- * 所谓可再生能源(renewable energy)是指在较短的时间内，通过自然循环或人工干预、可以不断补充再次形成的能源。在三大可再生自然能源（太阳能、风能和生物质能）中，生物质是唯一物质性的能源，具有可运输和可存储的性能，是替代化石能源的最佳选择。
- * 生物质能(bioenergy)可定义为：直接或间接通过光合作用将太阳能以化学能（主要是有机质的碳-碳键能）存储于各类生物质中的一种能量形式。

生物质能特征

- * 可再生性(renewable)，由于生命的代谢（生长）和遗传（繁殖）作用决定了它们的可再生性。
- * 可存储性(storable)，因为它们是以生物质为载体的能源，具有像煤炭、石油和天然气一样的可存储性。
- * 资源量大(abundant)，自然界生态系统分布于全球，地球上从森林到海洋现存着数量巨大的生物质。
- * 碳平衡，生物质能源燃烧释放出的 CO_2 可以在再生时重新经过光合作用吸收并固定在生物的有机质中，基本上不会短期地破坏地球 CO_2 的平衡，因此是一种环境友好型能源。

* 生物质能作为一次能源的利用主要通过直接燃烧途径提供热能、发电或热电联产。近年来利用物理化学法将一些农林木质类生物质粘连压缩制成颗粒燃料或成型燃料，大大提高运输、储存，其燃烧利用达到或相当于一些中等烟煤的效果。除了直接燃烧和压缩成型后直接燃烧外，将生物质转化为高效能源更重要的途径有**化学工程途径、热化学工程途径和发酵工程途径**。



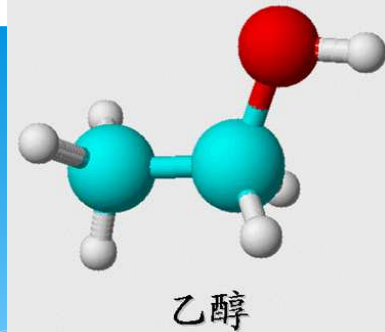
* 例如，从各种含油率高的生物质中提取油脂，利用化学工程中的酯化技术，即将上述油脂与甲醇或乙醇在催化剂和在特定温度作用下进行酯化反应，形成的产物即脂肪酸甲酯或脂肪酸乙酯就是一类最重要的生物质能源产品——生物柴油。它是传统石化柴油最好的一种替代液体燃料。



* 应用最广、最有前途的生物质能转化利用途径当属发酵工程途径，发酵工程途径的技术路线更长更复杂。利用从糖类类生物质直接得到的单糖类或从淀粉类生物质水解（酶解）间接获得的单糖为原料配制培养液，进行产乙醇酵母的发酵培养，最终获得燃料乙醇产品。



燃料乙醇



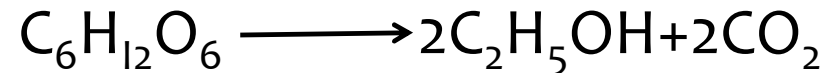
* 乙醇(ethanol)俗称酒精，化学分子式为 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ，它作为动力燃料使用时称为燃料乙醇。通过发酵工程途径将生物质转化为燃料乙醇是当前世界上生物质能源工程中规模最大的产业。乙醇是一种较优质的液体燃料，每千克乙醇完全燃烧可放出约30 000 kJ的热量，它不含硫和灰分，是不污染环境的清洁能源。乙醇与汽油混合可作为车用燃料，在中国东北的一些汽车加油站常年销售着添加10%-15%燃料乙醇的汽油。作为液体化石燃料的替代能源，燃料乙醇的生产应用越来越广泛。



乙醇发酵的生化反应

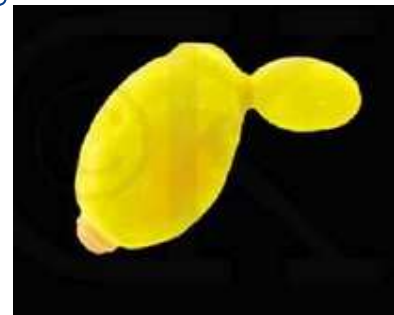
* 所谓发酵(fermentation)是指微生物在厌氧条件下将糖类物质通过一系列的生化反应步骤分解成乙醇、乳酸等发酵产物的过程。与细胞有氧呼吸不同的是，在这一过程中，糖类物质氧化释放的电子直接转移给了底物（糖类物质）本身未完全氧化的某种中间产物（乙醇或乳酸等），所谓厌氧就是整个反应过程没有氧气的消耗。

* 乙醇发酵



* 根据乙醇发酵的化学反应方程式，葡萄糖通过微生物酵生成乙醇的理论转化率可达到51.4%，糖类物质能量(2 872 kJ/mol)的91%左右被保存在生成物乙醇中，说明这种微生物发酵工程的能量转换率相当高，即发酵过程的能量损耗非常低。

- * 在燃料乙醇发酵工程中，应用最为广泛的微生物是酵母菌(yeast)，酵母菌是一种单细胞真菌(fungi)，常规状态为圆形、卵圆形或柠檬形，大小变化较大，直径5-30 μm 不等。细胞内有单一细胞核，细胞质膜外包被着几丁质的细胞壁。
- * 目前最常用的是酿酒酵母，其拉丁文种名为 *Saccharomyces cerevisiae*。酿酒酵母对乙醇的酵能力和对乙醇的耐受性都很强，因此在工业上的应用很广泛。



乙醇发酵工艺

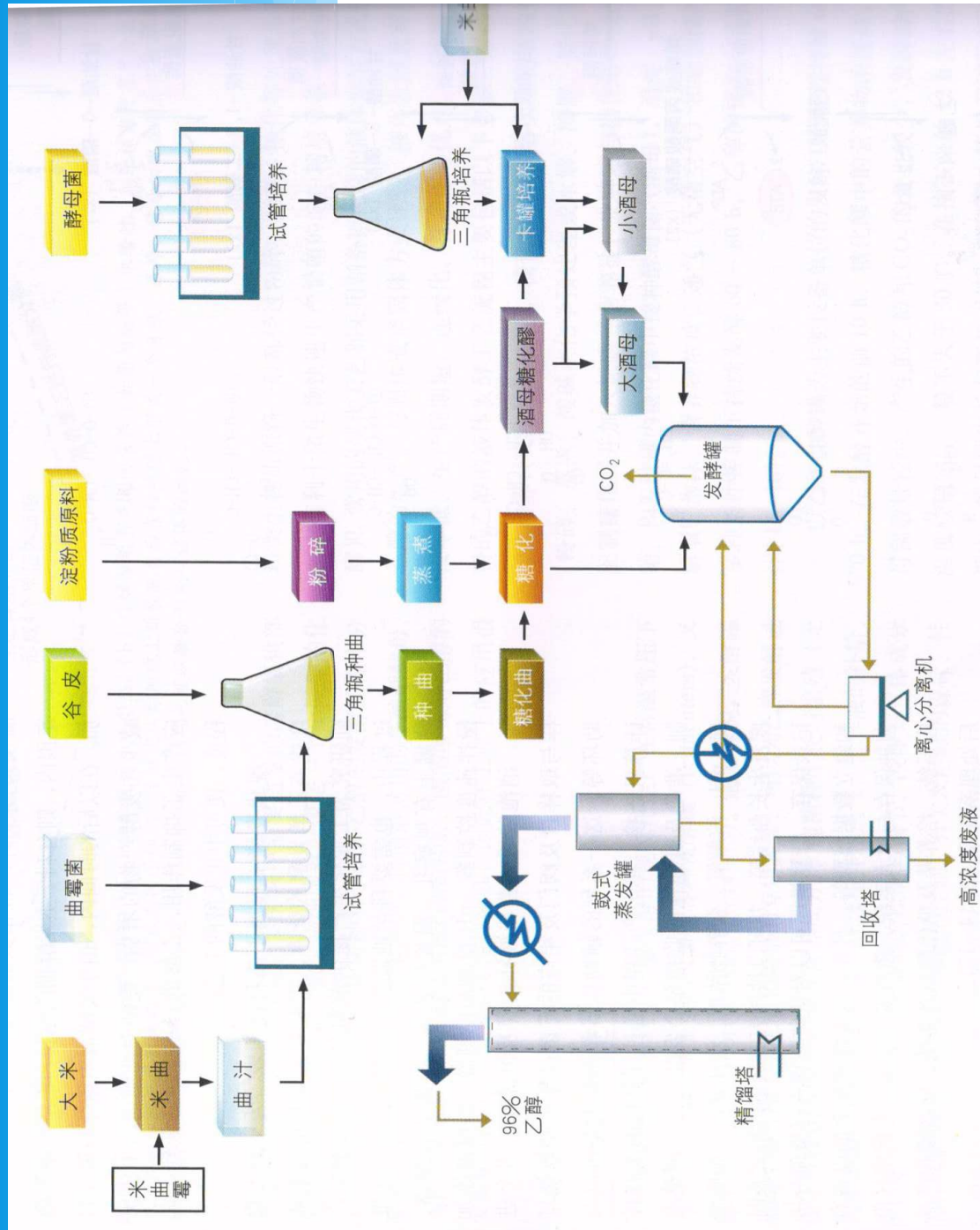
- * 利用酿酒酵母进行乙醇发酵的规模化生产在常温常压下进行，生产线上最重要的设备是各种发酵罐(fermenters)，又称生物反应器(bioreactors)。通俗地说，发酵罐是微生物细胞大量生长和繁殖的专用容器，可以为乙醇发酵过程连续提供各种条件。



- * 按照物料存在的状态，微生物发酵包括液体发酵、固体发酵和半固体发酵3种方式。
- * 在规模化乙醇发酵开始前，淀粉类生物质原料一般都经过粉碎、蒸煮、糖化等处理步骤转变成有利于微生物快速生产繁殖的淀粉糖培养基（又称糖化醪），常用的现代工艺都采用制备糖化醪的液体发酵方式进行乙醇的生产。与固体或半固体方式比较，液体发酵具有生产成本低、生产周期短，连续化、自动化等优点。



* 以淀粉为原料的乙醇的液体发酵工艺流程主要包括以下步骤：酵母菌的预先培养（又称酒母制备），糖化曲制备、各类生物质的处理（粉碎、蒸煮、酸碱法化学预处理或水解、酶解、糖化等），制糖化醪并加入氮磷等营养盐，发酵罐与糖化醪的蒸汽灭菌，向发酵罐中接种酵母菌（酒母），温度、pH、溶解氧、泡沫、营养物浓度、通气无菌空气）和电动搅拌等多种条件控制下持续发酵60–80 h，乙醇的提取与蒸馏等。



* 用上述普通蒸馏法制取的95.57%的乙醇还不能作为车用燃料来使用，也不能与汽油混合使用。燃料乙醇质量分数一般需要达到99.5%以上。以95.57%乙醇为起点，进一步提高其浓度的方法主要有以下几种：(1)利用生石灰、氯化钙、醋酸钠等脱水剂的化学反应脱水；(2)利用分子筛的分子分离法脱水；(3)利用苯为脱带剂的三元共沸物蒸馏法脱水；(4)加入甘油、乙二醇、醋酸钾等萃取剂的萃取蒸馏法脱水。

原料来源和制备

- * 从工艺角度看，凡是含有可供发酵利用的葡萄糖、果糖、麦芽糖和蔗糖等成分的生物物质都可以成为燃料乙醇发酵生产的原料。发酵生产燃料乙醇的原料可包括淀粉质原料、糖质原料和纤维素质原料。
- * 常用的淀粉质原料有玉米、甘薯、马铃薯等谷物和薯类。
- * 用作燃料乙醇生产常用的糖质原料有甘蔗、甜高粱和甜菜等，其中以甘蔗的应用最为广泛。



燃料乙醇的应用

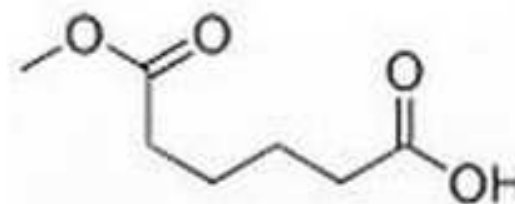
- * 燃料乙醇可以单独使用，为机动车发动机提供动力，但大多数情况下是与汽油或柴油混合使用。燃料乙醇与汽油的混合比例一般控制在(5-15): (95-85)。燃料乙醇有利于减少汽油的消耗，降低对环境污染、减小发动机的噪声。乙醇与汽油混合燃烧运用也存在一些不足和需要解决的问题。



生物柴油

- * 生物柴油(biodiesel)是植物油脂、微生物油脂或动物脂肪在碱(KOH , NaOH)、酸(H_2SO_4)或脂肪酶的催化下与低碳醇经酯交换反应获得的脂肪酸酯类，这类脂肪酸酯类的化学组成及物理化学性质与石化柴油基本相同，是一种具有重要应用价值的生物质液体燃料和可再生能源。

- * 本质是植物油或动物油脂中的主要成分甘油三酯和醇在催化剂存在的作用下，反应生成脂肪酸酯。



* 从原理上来说，未经加工的植物油只能在柴油发动机里短时间使用。这是由于植物油里含有饱和程度不同的物质，能使柴油机里的润滑油发生聚合。而且植物油与柴油的分子式完全不同，也可能造成雾化不良，燃烧不充分，喷嘴堵塞等问题。而生物柴油则能完全避免这一问题。

生物柴油的主要优点

- ① **生物柴油具有可再生性：**生物柴油是一种可再生能源，其资源不会像石油、煤炭那样会枯竭。
- ② **生物柴油具有可调和性：**生物柴油可按任意比例与石化柴油配合使用
- ③ **生物柴油具有可降解性，**在环境中容易被微生物分解利用，降解速率是普通柴油的2倍，可大大减轻意外泄漏时对环境的污染；
- ④ **生物柴油具有优良的燃烧性能：**由于生物柴油中所含的氧元素能够促进燃料的燃烧，可以提高它的燃烧性能。
- ⑤ **生物柴油具有优良的环保特性：**硫含量低，二氧化硫和硫化物的排放量大大减少，使用生物柴油答题石化柴油可减轻对环境的污染。
- ⑥ **生物柴油中不含对环境造成污染的芳香族烷烃，**因而废气对人体损害低于普通的石化柴油。

原料来源

- * 生产生物柴油的生物油脂原料来源广泛。它们包括植物油脂，如大豆油、菜籽油、花生油等各种食用油；光皮树、麻风树、黄连木等果实油脂；动物脂肪，如猪油、牛油、鱼油等；以及餐饮废油（“地沟油”）等。这些原料以脂肪酸甘油酯为主要成分，特别是植物油已经被广泛应用于生物柴油的生产。

各国使用原料不一



美国 大豆



巴西 蓖麻籽



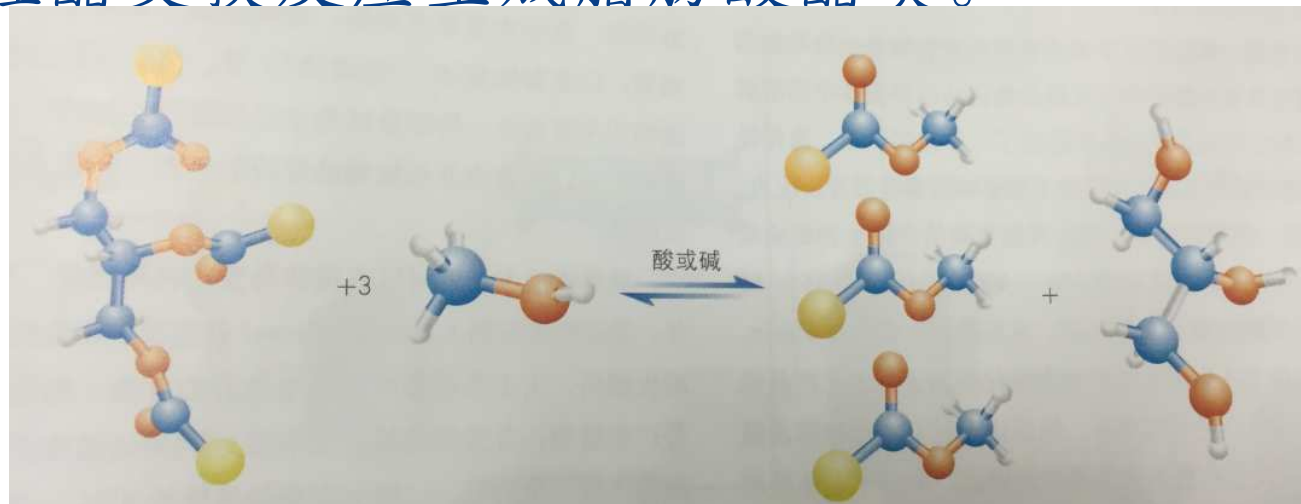
日本 煎炸油



中国 地沟油

原理与工艺

- * 以生物油脂（甘油酯）为原料生产生物柴油采用的原理是一种酯交换化学反应，酯交换反应也称为醇解，是用短链一元脂肪醇置换甘油酯中的醇。在碱(KOH、NaOH)、酸(H₂SO₄)或脂肪酶的催化下，甘油酯与低碳醇经酯交换反应生成脂肪酸酯类。



工艺流程简图

原料

脱水、脱臭↓净化

反应釜

加醇+催化剂↓70℃

↓搅拌反应1小时

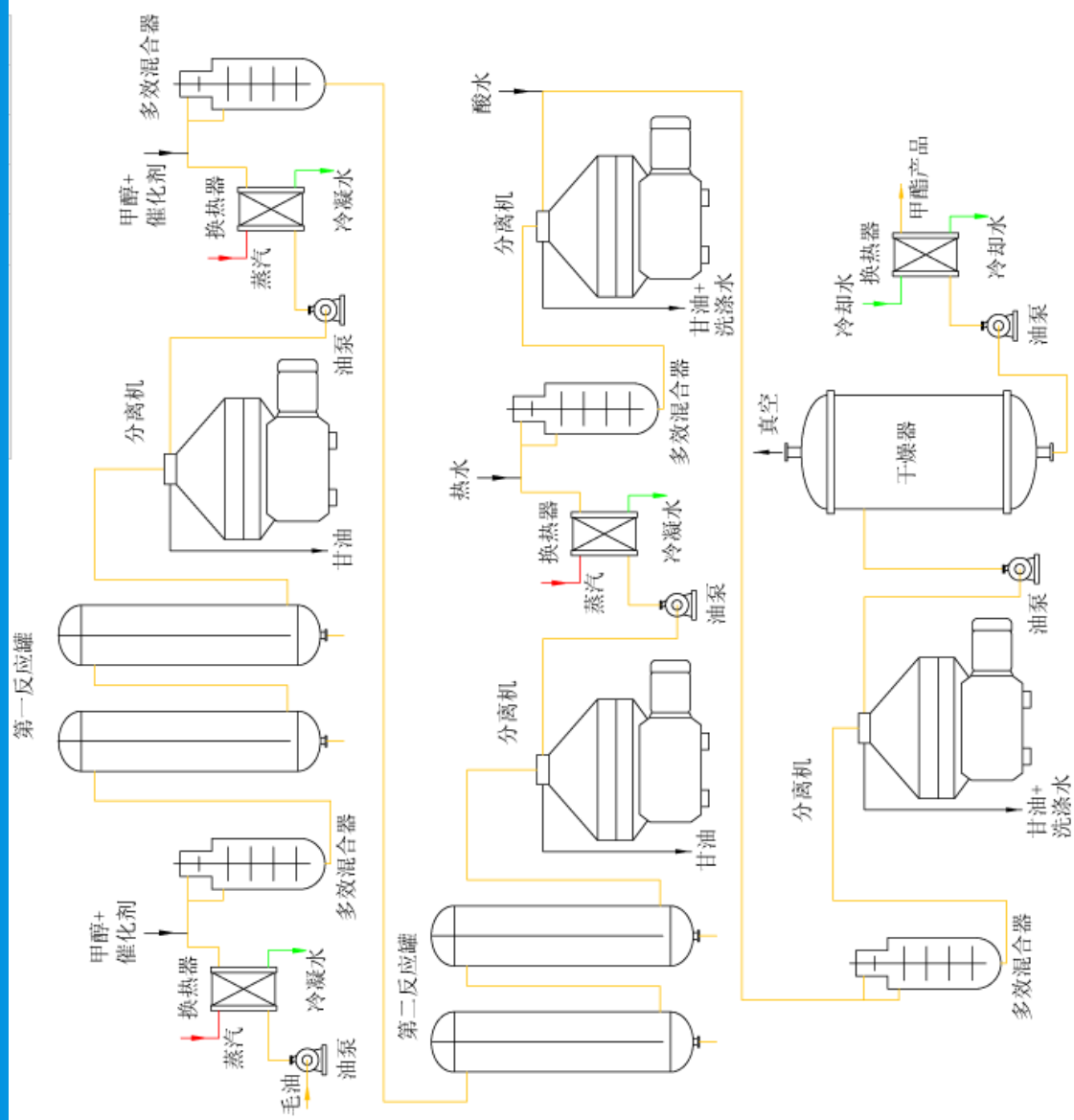
↓沉淀分离排杂

↓→回收醇

→过滤→成品



工艺流程



存在问题一

- * 生物柴油生产与商业化应用最关键的是油脂原料的问题，发展油料植物生产生物柴油走的是一条农林产品向工业品转化的途径。在中国，利用农用地间歇期如长江流域冬闲耕地种植油菜等油料等作物并建立油料作物基地，利用不适宜种的山地及盐碱地种植麻风树、黄连木、小油桐等木本油料植物，有利于调整农业结构，促进农村经济发展。

* 由于利用传统农业或林业的方法生产生物柴油原料油脂效率很低，需要几个月甚至几年的生产周期，产品分散，占用大地资源，再加上投入的劳动力较大，生接近或已经高于市场上的石化柴油的价格。甚至有专家估算，如果果把美国的全部土地都用来种植油菜，所制取的生物柴油也仅能满足美国一半的液体燃料需求。因此，加强生物科学的来源途径，即发明和利用新的高科技手段发展原料油脂的来源途径，才可能真正实现生物柴油的商业化普及应用，从根本上解决全球能源短缺的问题。



存在问题二

- * 生物柴油本身比普通柴油粘度高，在低温下会降低可用性。正如红烧肉冷后形成的白色油脂。学名叫云化，凝固的温度叫云点。普通柴油的云点在-15摄氏度，而生物柴油的云点在零度左右，容易堵塞油路。



存在问题三

- * 环保的争议
- * 使用原本种植农作物的耕地去种植产油作物，会造成粮价上涨。
- * 开垦新的农地会造成生态失衡。有研究表明，开垦新农地产生的CO₂，可能需要该耕地的作物吸收数十年。
- * 对策：利用抗逆性较好的产油作物：例如麻疯树（小桐子）。产生的油有毒，不可食用，但产油率高，耐干旱。



利用微藻等制备生物柴油

- * 藻类属于一类营光合自养的低等放氧植物，它种类繁多、分布广泛，几乎在有光和水的地方都能生存。其中单细胞藻由于个体微小，需要借助显微镜观察，统称为微藻。微藻也被微生物学家归入具有光合放氧能力的微生物中。世界常见的微藻在分类学上大多归入绿藻门、硅藻门、蓝藻门等。



- * 微藻作为可再生生质能源的原料具有以下优势。
- * (1) 储存能量高：微藻具有高效的光合作用系统，可高效地利用太阳能将二氧化碳和水合成为储存能量更高的有机化合物；
- * (2) 生物量巨大：微藻在自然界的生态分布广泛，其作为海洋和湖泊中的原初生产力具有比其他各类生物更大的生物量，因此在古代它们是形成石油与天然气最主要的一类母质来源；
- * (3) 改善环境：微藻的生长直接或间接地大量吸收二氧化碳，可有效地缓解温室气体效应

- * (4) 生长收集
- * (5) 易操作
- * (6) 油可为



细胞
生产、

转基因
工程

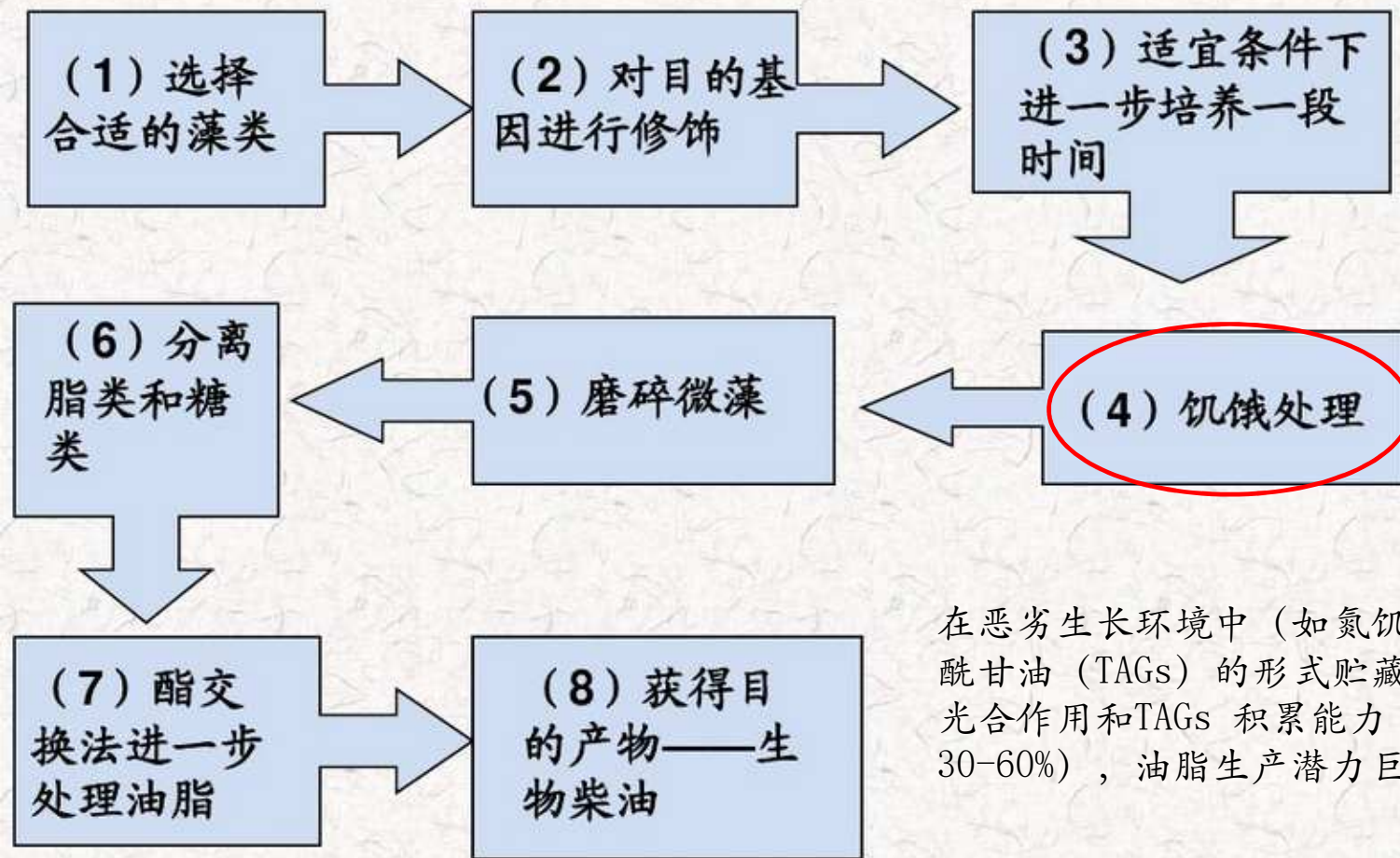
高，



作物与微藻产油率对照表

种类	玉米	大豆	向日葵 葵	油菜 籽	油棕	微藻
产油 率（ 升/ 公顷 ）	145	446	952	1100	5000	1000 00

基本工艺流程



在恶劣生长环境中（如氮饥饿），微藻体内能量主要以三酰甘油（TAGs）的形式贮藏。某些种类的微藻具有高效的光合作用和TAGs 积累能力（三酰甘油含量可占到干重的30-60%），油脂生产潜力巨大远远超过了传统的陆生植物。

- * 我们把微藻等微生物来源的油脂制备生产的生物柴油统称为微生物柴油(microbial diesel)，区别一般动植物来源的油脂制备的生物柴油，把利用微藻异养发酵技术生产的生物柴油定义为发酵微藻生物柴油(algal fermentation based microbial diesel, AFMD)。
- * 实现AFMD技术产业化或商业化面临的最大挑战在于扩大规模和降低成本两个方面。

生物修复

* 我们的环境正以令人担忧的速度遭受各种各样的威胁。由于人类活动的直接影响，我们呼吸的空气、喝的水以及我们种植农作物所依赖的土壤都受到了污染。美国人平均每天每人产生4磅固体垃圾，每年产生超过1400磅垃圾。然而，生活垃圾只是问题中相对较小的一部分。来自工业制造产生的废物、化学泄漏、家居用品以及农药等均导致了环境的污染。有毒化学物质不断增多，对世界各地的环境卫生以及生活在那里的生物均已造成严重的威胁。



- * **生物修复**是利用生物将有害物质降解成为毒性较弱的物质，从而清除环境中的化学污染物的过程。
- * 生物修复不是一种新的解决环境污染的方法。人类依靠生物作用降解废弃物已有几千年的历史。简单地说，厕所就是生物修复的一种，它是利用土壤中的微生物降解人类粪便。同样的，污水处理厂利用微生物降解人类废弃物也有几十年的历史了。



生物修复的重要性

- * 我们的生活质量与环境的清洁和卫生有直接的关系。环境中的化学物质能够影响人类的遗传特性，某些化学物具有诱变剂的作用，是导致人类产生疾病的原因之一。因此，我们有理由担心短期或长期的化学暴露以及周围环境中的化学物质对人类和其他生物会产生影响。

诱变育种



诱变剂导致的精子畸形

* 为什么要使用生物修复？我们可以使用物理方法消除污染物，如土壤，或使用化学方法处理污染地区，但这些过程资金花费很大。在进化学处理的情况下，可能会产生更多需要清理的污染物。生物修复的一个**主要优势**是，大部分的有害污染物换成相对无害的材料，如二氧化碳、氯化物、水和简单的有机分子。由于是使用生物进行清理，修复过程一般会比其他类型的清理方式更加洁净。

- * 生物修复的另一个优点是通常可在**原地进行**清理。由于受污染的材料不需要被运送到另一个地方，所以可以进行更全面的清理，往往不会对环境造成影响。除了净化环境外，生物技术还可以检测污染物、恢复生态系统、了解导致人体疾病的因素以及将废物转化为有价值的能源产品等。

哪些地方或物体需要清理

- * 几乎一切都需要清理。
- * 土壤、空气、水和沉积物（土壤和生活在水体最底层且腐烂的动植物的混合体）都受到污染物的影响。水、土壤、沉积物是最常见的需要治理的，它要求通过生物修复来清除污染物，尽管新的生物修复方法正在开发检测和清除空气污染。



环境中的化学物质

* 每天家用的材料如清洁剂、除臭剂、香水、咖啡因、驱虫剂、杀虫剂、化肥和药品等都会出现在我们的废水中。越来越多的研究人员也发现美国排水管道含有处方药和非处方药，包括避孕药、止痛药、抗生素、降胆固醇药物、抗抑郁药、抗惊厥药和抗癌药。

* PS：下水道的秘密



清理反应的基础

* 1. 氧化和还原反应

* 氧化反应包括一个原子或分子失去一个或多个电子，可以改变一个分子的化学结构和特性。以化学污染物为例，通过改变化学性质，氧化可以使该化学物变成无害的。氧化反应通常伴随着还原反应而发生。在还原反应中，一个原子分子获得一个或多个电子。因为氧化和还原反应通常一起发生，所以这些电子转移的反应称为氧化还原反应



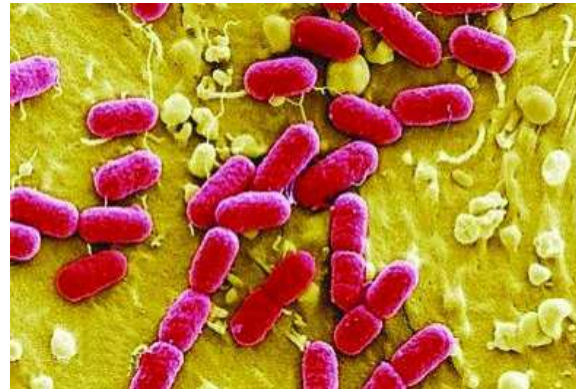
* 2. 好氧和厌氧生物降解

* 在某些环境中，如氧气充足的地表水和土壤中，好氧细菌通过氧化反应来降解污染物。在好氧生物的降解反应中，氧气能氧化多种包含有机分子在内的化学品（那些含有碳原子的化学物），如石油产品。在这个过程中，氧气被还原生成了水，微生物可进一步降解氧化后的有机化合物，使其变为相对简单、无害的分子（如二氧化碳和甲烷气体）。

* 在大多数土壤中含有量非常丰富的绿脓杆菌的不同菌株，可以降解几百种不同的化学物。大肠杆菌的某些菌株也能相当有效地降解许多污染物



绿脓杆菌



大肠杆菌

耐辐射奇球菌

- * 加工天然铀的矿井的水中已经发现含有铀、钚和其他放射性化合物。核电厂放射性废物的处理是一个全球性的问题。美马萨诸塞州大学的研究人员发现，有一种非常特殊的耐辐射奇球菌菌株。
- * 大约50年前，耐辐射奇球菌在变质的罐头牛肉中被发现和分离出来，即使它已经经过了辐射消毒。后来，科学家们发现，耐辐射奇球菌能承受的辐射量超过了包括人类在内所有生物的3000倍。高剂量的辐射可破坏DNA的双链结构，并导致基因突变，但耐辐射奇球菌却抵抗了辐射的影响。这种微生物明显拥有折叠基因组的复杂系统，从而减少了辐射的损伤，同时也具有新的DNA修复机制，以取代损坏的基因组拷贝。最近，耐辐射奇球菌的基因组图谱已经完成，预计将对其独特的DNA修复基因提供有价值的研究依据。



生物修复基因组计划

- * 美国能源部门设立了微生物基因组计划(MGP), 已有超过200个微生物被测序, 其中有很多是涉及生物修复的基因组。访问相关网站上的链接“Genomes to Life”, 你可以了解MGP和其他涉及生物修复微生物的基因组学的研究进展。

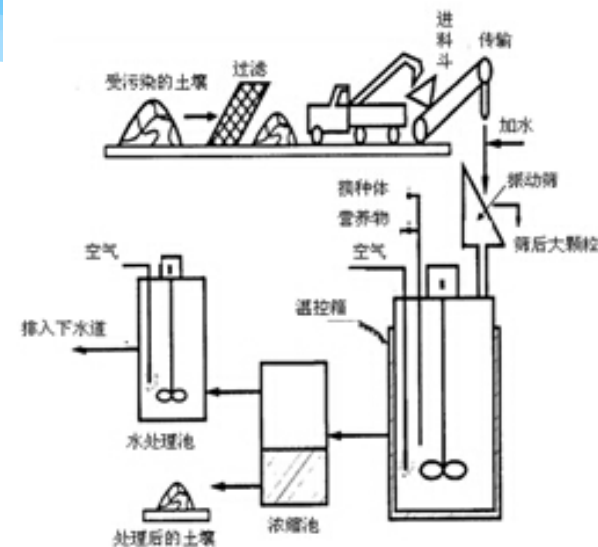


净化土壤

- * 无论是净化土壤还是水源，处理方法基本有两种。一种是把污染物中的化学物质转移到另一个地方进行处理，称为**异地生物修复**。另一种是在污染区直接进行处理，不对污染物进行转移，称为**原地生物修复**。
- * 原地生物修复比异地修复方法成本低，所以原地修复方法通常比较受欢迎。其依赖于受污染的土壤或水源中的刺激性微生物。原地处理的微生物通过需氧降解经常需要**生物通风**，即把空气和过氧化氢泵进受污染的土壤里。过氧化氢在水中容易降解得到氧气，氧气能够为水中的微生物提供氧气来源，所以经常使用过氧化氢净化水源。肥料也被添加到土壤中，通过生物通气刺激土壤中固有细菌的生长与降解活动。



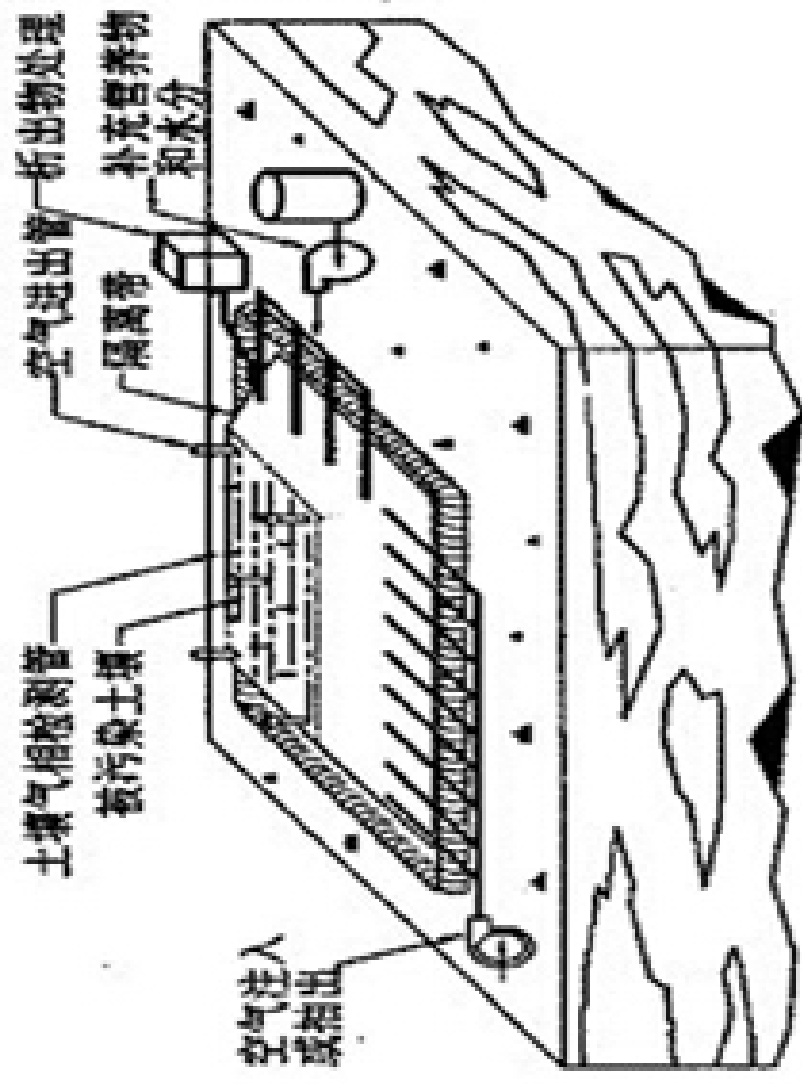
- * 泥浆法生物修复是一种常见的异地技术，这种方法是将污染物移动到另一个地点，然后用水和肥料（通常也要加氧）与土壤在一个大生物反应器中混合，这种生物反应器能够对土壤中微生物的降解反应条件进行严格的检测和控制。当少量土壤需要净化和化学污染物成分明确时，泥浆法生物修复是一个快速的净化过程，效果非常好。



生物泥浆反应器典型工艺流程

* 堆肥被用于降解土壤中的化学污染物。在堆肥过程中，干草、稻草或其他材料被添加到土壤中，为土壤中的细菌提供营养物质，促进细菌降解化学物质。土地农耕策略使受污染的土壤在小片范围扩散，使水和渗透液都从土壤中泄漏出来。这种方法的主要目的是收集垃圾渗透液，使受污染的水不再污染环境。土地农耕还使得化学物质从土壤蒸发和暴露出来，使微生物能够更好地降解污染物。





生物堆制示意图

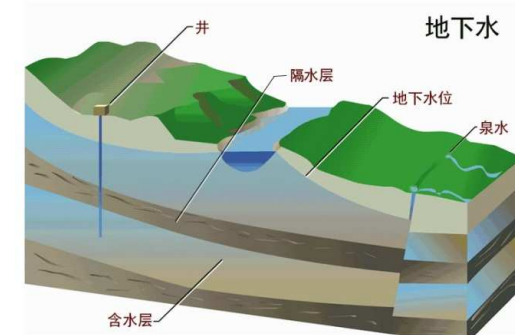
水的生物修复

* 1. 废水净化

- * 在一个典型的化粪池中，一户人家的排泄物和废纸通过管道系统运送到一个化粪池里，化粪池位于附近房屋的地下。在化粪池中，沉到池子底部的粪便和纸张等固体废弃物会由微生物进行降解，而液体从池子的顶部流出，通过土壤和砾石层散进入地下称为腐生质层。该层土壤中原有的微生物可降解污水中的污染物。

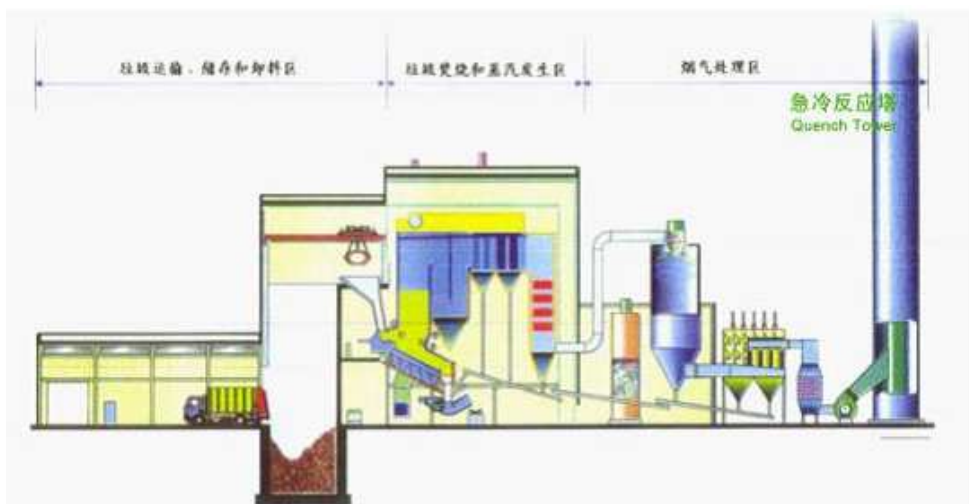
* 地下水的净化

* 异地和原地方法在实际应用中通常相结合。例如，当地下水被石油或者汽油污染，这些污染物常常浮在水层表面。石油和汽油有一部分可以直接抽出来，但是与地下水混合的部分必须抽到地表，再通过一个生物反应器进行处理。生物反应器内含降解污染物的细菌，这些细菌生长在滤网或筛子上，同时生物反应器也需要经常添加料和氧气。从含有肥料、细菌和氧气的生物反应器中排出的净化水被运输回到含水层，进行原地生物修复。



将垃圾转化成能源

- * 研究生物反应堆中的厌氧细菌将食物残渣和其余垃圾转化为土壤养分和甲烷气体。甲烷气体可以用于发电，土壤养分可供商业出售，卖给农场、古圃或其他农业产业。



利用基因工程菌净化环境

* 第一次用于生物修复的有效转基因微生物发生在20世纪70年代，由通用电气公司的Ananda Chakrabarty和他的同事创造。他从被各种化学物污染的土壤中分离出10株假单胞菌，包括杀虫剂污染和原油污染，然后鉴定出可降解奈、辛烷和二甲苯等有机化合物的菌株。由于这些细菌含有质粒，能够编码基因分解有机化合物中的每一成分，所以大多数菌株在这些化合物中可以生存。Chakrabarty将这些不同的菌株进行杂交，最终产生了一种含有多种质粒的菌株。这些质粒产生的重组蛋白可有效地降解原油中的化学物质。根据他的工作成果，Chakrabarty被授予了美国第一个转基因生物的专利。不过这项专利非常具有争议性，法庭审判过程持续了十年。最主要的争议在于生命形式是否能够申请专利，Chakrabarty的基因工程菌是否是自然的产物，还是一项发明创造。最终，最高法院裁定重组的假单胞杆菌是一项值得授予专利的发明。

大肠杆菌工程菌清理重金属

- * 铜、镉、铬、汞等重金属对人类和野生动物有严重的危害。汞是一种剧毒金属，会污染环境，常用于制造业、电池、电器开关、医疗器械及其他许多产品中。汞及其相关化合物称为甲基汞，可以通过生物富集作用在生物体内累积。生物链中的高级生物比低级生物所含的化学物质的浓度更高。
- * 科学家已经开发出大肠杆菌的基因工程菌，对清理汞和其他重金属可能有作用。这些转基因细菌有的可以直接吸收汞；有的生长在生物膜上，能够像海绵一样从自来水中吸收汞。生物膜必须定期更换以消除含汞的细菌。同样的，含有金属硫蛋白的基因工程单细胞藻类和蓝藻也给科学家带来了希望，这些藻类可能具有吸收镉和其他许多严重影响人类健康的有毒重金属的能力。



生物传感器

- * 研究人员已经开发了荧光假单胞菌的基因工程菌株，能有效降解具有复杂碳氢结构的多环芳香烃化合物 (PAHs) 及其他有毒化学物。
- * 利用重组DNA技术，科学家已经能够将编码代谢污染物的酶的细菌基因剪接到报告基因，如荧光海洋细菌的lux基因。类似的技术正被用于开发含有lux基因的细菌重组体生物传感器。



转基因植物和植物修复

* 科学家也一直在研究转基因植物，从而改善其植物修复能力。

*

炸药的生产、使用和处理产生的六氢-1, 3, 4-三硝基-1, 3, 5-三嗪(俗称大规模爆破拆除, RDX)和2, 4, 6-三硝基甲苯(TNT)是最常见的化学污染物, 这些化学物质的扩散很容易造成土壤和地下水污染。RDX和TNT对大多数生物来说都是剧毒的, 对野生动物和人类的健康构成了重大威胁。



* 烟草转基因植物从阴沟肠杆菌中获得的硝基还原酶基因能够有效地将TNT转化为毒性较低的化学物质。最近，科学家将玫瑰红红球菌的xplA基因导入拟南芥中，该基因能够产生一种RDX的降解酶，称为细胞色素P450，一旦RDX被植物吸收则会被降解。现在也许有植物能够降解TNT和RDX。自从白杨的基因组测序以来，生物修复的科学家对研究转基因杨树和其他生长快、根系深的转基因植物常狂热，因为这些植物能够很好地降解表面土壤下的TNT和RDX。



生物修复的案例研究

*

美国南卡罗来纳州哈纳汉喷气燃料泄漏

- * 1975年，在南卡罗来纳州查尔斯顿郊外的哈纳汉发生了喷气燃料泄漏，导致大约80000加仑的煤油泄漏到环境中。尽管采取了一系列清理措施，但是泄漏物仍不受控制，浸透了砂质土壤，污染了地下水源。十年之后，这些污染物到达了住宅区。由于污染面积过大，清除污染的土壤是不切实际的，也无法做到清除受污染的地下水。美国地质调查局(USGS)的科学家发现，土壤中固有的微生物能够降解喷气燃料中的有毒化合物，他们还发现，增加肥料能够大大地刺激这些微生物的生物降解率。这个地区是第一次应用生物修复技术的区域。USGS的科学家给地下水添加养分，同时消除地下水污染。到20世纪90年代初，地下水的污染量减少了75%，生物修复证明其作为有效的净化方法，有其潜在的价值。

* 埃克森瓦尔迪兹号石油泄漏

* 1989年，埃克森公司瓦尔迪兹号油轮搁浅在阿拉斯加海岸的威廉王子湾，泄漏了大约1100万加仑的原油，致使阿拉斯加海岸的1000多英里(1英里=1.609km)海岸线受到污染。许多来自实验室的生物修复方法都被用于清理这些泄漏的原油。从这个角度来看，威廉王子湾是一个尝试新型清理策略的巨型生物修复实验室。





物理清洁措施首先用来遏制和消除大量的石油。首先采用了封锁吊杆或溢油回收器，固定表面网、栅栏或类似浮标的充气装置，在船后拖拽这些装置来收集和容纳原油，然后使用真空泵将表面的原油泵入处理池。海滩和岩石用洁净水进行高压冲洗，冲散原油。通过稀释和溶解海中的原油，原油逐渐散去。一种生物技术方法使用柑橘类产品固定原油，并使它能够通过吸水垫收集起来。但使用这些物理方法消除大面积的石油后，还有数百万加仑的石油依然存在于受污染海岸线的地表和地下砂石、岩石和砾石中。这时必须使用生物修复。



* 为生物修复的第一步，氮、磷化肥被应用到海岸线中刺激在沙地和岩石中生长的解细盲（主要是假单胞菌株）。激固有细菌立即显示出不断降解石油的迹象。微生物降解石油产品过程中，形成多环芳香烃化合物，最终将其氧化成能够被降解的 CO_2 和 H_2O 的碳链。随着时间的推移，对海岸线土壤进行的化学检测表明化学成分有着显著的变数，表明的固有时间才能彻底清除这次石油泄漏要数百年时间才可能永远也不会回到石油泄漏之前的自然状态。

* 科威特油田

* 海湾战争十年后，科威特仍然有大面积沙漠浸渍在石油中。1990~1991年伊拉克侵占科威特，无数油田遭到破坏和焚烧，排放到沙漠中的石油估计有2.5亿加仑，超过埃克森瓦尔迪兹号事故泄漏的石油数量的20倍！这些泄漏的石油严重影响了受污染地区的动植物的生命。



* 科威特政府已经制10亿美元的解决方案，这可能是世界上最大的生掺复工程。作为一个净化干旱沙漠环境的模型，以前的研究地区从未达到过这种规模。因此，来自世界各地的生物修复研究人员集中研究科威特沙漠，希望能够开发出清理这种石油浸透沙地的技术。科学家们在研究这一地区的过程中所获得的信息，将对其他沙地环境中石油泄淤理有巨大的价值。



讨论

- * 假设你有一块地，这块地曾经作为化学堆放地，现在已经通过生物修复清理干净，计划将其开发作为居民生活区。你想住在曾经是生物修复场所的房子吗？根据这种情况，讨论可能存在的问题。



* 铅是一种有毒的金属，且在环境中不容易被降解。铅管、含铅油漆、汽车电池甚至是钓鱼的铅锤，都可能把铅泄漏到环境中。设计一种能够鉴定有效降解铅的细菌的方法。



作业

- * 2002年11月Prestige号油轮船身裂开一半，沉没在西班牙的西北海岸。至少有3万吨燃油泄漏。上网搜索，看看能否找到这个区域的有关生物修复的资料。

Thank you