

研究报告

固体废弃物处理与产氢技术

李延川, 魏云林, 王华

昆明理工大学生物工程技术研究中心, 昆明 650224

摘要: 氢气能作为一种清洁能源和工业上的原料所使用。目前国际上氢气的获得主要有化学制取和电解水制取两种方法, 但这些方法都需要耗费大量的能源, 特别是化学制取法在耗能的同时还极易对环境造成污染。相比之下, 生物制氢有着极大的优势, 它主要是通过微生物发酵或者光合微生物的作用, 将有机废弃物进行分解从而获得氢气。利用废弃物制氢即可以低廉的获得氢能源同时又能资源化利用废弃物。以下对固体废弃物的类型、产氢的方法等进行了综述。

关键词: 生物产氢, 固体废弃物, 废物生物处理

Solid Wastes Treatment Process and Biohydrogen

Yanchuan Li, Yunlin Wei, and Hua Wang

Biotechnology Research Center, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China

Abstract: As a clean energy source and industrial material, hydrogen is very valuable. Electrolysis of water and chemical methods are well-known for producing hydrogen, however, all of these methods need additional energy supply. Besides highly energy cost, the chemical methods will lead to serious environment pollution. Compared with traditional methods, biological production of hydrogen has showed significant advantages. Bio-hydrogen can be produced by anaerobic and photosynthetic microorganisms during treatment of organic waste. It provides a low cost method for producing hydrogen gas, and a way of utilizing waste at the same time. This paper summarized the procedures of treatment of solid waste and the production of bio-hydrogen.

Keywords: biohydrogen, solid waste, bio-processing

随着人类对能源需求的剧增, 化石燃料储量的锐减以及化石燃料燃烧时排放出的 CO_2 对环境的污染日趋严重, 人类期待着替代化石燃料的清洁能源的出现, 许多科学家都在为之努力。众所周知, 氢气燃烧时不排出 CO_2 , 并且水是其唯一燃烧产物, 同时水又可以再次参与自然循环, 实现真正的“零污染”和“零排放”, 因此氢气是一种真正清洁的能源。此外, 除核燃料外氢的发热值是所有化石燃料、化工燃料和生物燃料中最高的, 为 142351 kJ/kg , 是汽油发热值的 3 倍, 焦炭的 4.5 倍。目前阻碍氢气成

为新能源的原因主要有 2 点: 一是在自然界中氢气含量低, 二是目前人工获得氢气需以耗费大量能源为代价。因此, 氢气目前主要只做为一种工业原料, 如制造氢氧电池、焊接或切割金属、冶炼钨和钨等重要金属、制造氨和盐酸等。

据报道 2005 年全球氢气的交易量在 5000 万吨左右并且以每年近 10% 的速度增长^[1]。以美国为例, 到 2025 年, 氢气将占到它整个能源市场的 8%~10%^[2]。由于全球对氢气需求量的增加, 找到一种效率高效、低能耗的产氢方法已迫在眉睫。

Received: January 15, 2008; **Accepted:** March 12, 2008

Corresponding author: Hua Wang. Tel: +86-871-3801018-205; Fax: +86-871-3801191; E-mail: weiyunlin@yahoo.com.cn; Wanghua65@163.com

目前传统的制氢方法有: 电解水方法、利用化石燃料化学制取方法等。电解水法是目前应用较广且比较成熟的方法之一, 是氢与氧燃烧生成水的逆过程, 只要提供一定的能量, 则可使水分解成氢和氧, 其制氢效率一般在 75%~85%; 工艺过程简单、无污染、但能耗大, 占整个生产消耗的 80%左右, 并且水必须进行前处理以去除矿物质, 以免腐蚀电极^[2], 因此其应用受到一定的限制。

从目前世界氢制备量来看, 96%是由天然的碳氢化合物——天然气、煤和石油产品中提取的, 4%是采取水电解法制取的, 但这两种方式都需要消耗大量的化石燃料, 不适应社会的发展需求。生物制氢技术作为一种可持续发展战略的课题, 已在世界上引起了广泛的重视。如德国、日本、俄罗斯、瑞典、英国、美国都投入了大量的人力、物力对其进行研究开发。日本和美国等一些国家为此还成立了专门机构, 并制定了生物制氢发展规划, 以期通过对生物制氢技术系统研究, 在 21 世纪中叶实现商业化生产。

生物制氢是一项“绿色技术”, 它是通过微生物发酵或者光合微生物的作用, 将有机废弃物进行分解, 获得氢气的一种技术。与传统的制氢法相比, 生产过程的清洁化和原料来源的低廉化是生物制氢的最大优势。基于这一点, 以下将重点对可进行生物制氢的固体废弃物类型及制氢方法等做简要概述。

1 固体废弃物的类型

固体废弃物通常是指在生产建设、日常生活和其它活动中产生的污染环境的固态、半固态废弃物, 通俗地说, 就是“垃圾”。随着人类科学技术的进步, 生活水平的不断提高, 固体废弃物的种类和成份也越来越复杂, 但总的来说, 固体废弃物按组成可分为有机废弃物和无机废弃物; 按形态可分为固体(块状、粒状、粉状)和泥状废弃物; 按来源可分

为工业废弃物、矿业废弃物、城市垃圾、农林废弃物和放射性废弃物等; 按危害特性可分为有害和无害废弃物。如何从种类繁多的固体废弃物中选择生物制氢的原料, 主要标准就是废弃物可利用性、生物降解性。为此我们归纳了以下几种可能用于生物制氢的固体废弃物。

1.1 农业固体废物

农业固体废物也称为农业垃圾, 多指农、林、牧、渔业等生产及日常生活过程中产生的植物秸秆、牲畜粪便、生活废物等。许多农业废弃物富含淀粉和纤维素, 这些废弃物可通过厌氧发酵产生氢气, 有文献报道利用秸秆发酵产氢的单位总产氢量为 90.5 mL/g^[3]; 但是含纤维素类的农业废弃物需要先通过机械或化学手段进行脱木质素处理, 才能作为生物制氢的原料, 其原因是木质素的存在会影响酶的水解效率^[4,5]。我国是农业大国, 各类农作物秸秆年产量多达 7 亿多吨, 如能将其转化为燃烧氢气, 可很大程度上解决农业废弃物的处置问题。图 1 为农业废弃物生物制氢的简单流程图。

1.2 城市生活固体废物

城市生活固体废物主要是指在城市日常生活中或为城市日常生活提供服务的活动中产生的固体废弃物, 即城市生活垃圾。我国经济的持续快速发展, 城市生活垃圾的产生量在逐年增加, 早在 1992 年就已达 8200 多万吨, 而且年增长率 9%^[6]。这其中能用来生物制氢的有机垃圾占很大一部分(表 1 为上海市的数据^[7])。由于厨房垃圾成分太复杂, 淀粉、蛋白质、脂肪等都需要特定的环境和微生物条件才能获取最佳产氢效果, 过程往往难以控制, 所以目前主要还是停留在实验室阶段对各单组开展了厌氧产氢的基础研究。Lay 等通过从活性污泥中获得的微生物, 利用不同化学组成的厨房垃圾如糖类(米饭和土豆)、脂类(肥肉和鸡皮)、蛋白质类(鸡蛋和瘦肉)在反应器中进行发酵产氢, 结果表明糖类垃圾的产氢能力大概是其他 2 类垃圾的 20 倍^[8]。

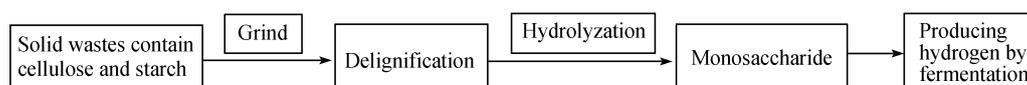


图 1 农业废弃物生物产氢

Fig. 1 Bio-hydrogen production from agriculture waste

表 1 1988~2000 年上海市生活垃圾成分调查统计及 2005~2015 年预测值
Table 1 Statistical data of municipal refuse component in Shanghai from 1988 to 2000 and the predictive value from 2005 to 2015

Year	Yield ($\times 10^4$ t)	Organic rubbish (%)						Inorganic rubbish (%)			
		Paper	Plastic	Bamboo and wood	Fabric	Kitchen rubbish	Fruit	Metal	Glass	Broken rock	Others
1988	240.0	4.3	2.99	1.94	1.68	70.61	10.94	1.02	2.91	3.61	-
1990	301.0	4.26	4.19	1.44	1.14	70.05	12.04	0.95	3.74	2.19	-
1993	335.0	8.36	7.54	1.89	1.97	61.09	11.08	0.72	4.74	1.86	0.04
1995	372.0	6.5	11.21	1.47	2.17	56.66	11.99	0.91	3.81	2.29	0
1997	454.0	8.05	11.78	1.44	2.24	58.06	12.03	0.58	4.00	1.82	-
2000	641.0	8.02	13.93	1.43	2.81	54.66	12.84	0.85	4.15	1.26	0.05
2005	709.6	10.83	13.21	1.93	3.21	62.37		0.83	5.45	2.70	-
2010	863.2	12.82	12.98	2.49	4.41	58.76		0.98	5.64	1.92	-
2015	1050.1	15.44	12.62	2.86	5.28	55.78		0.87	5.36	1.79	-

值得关注的是在未来几年内,国内城市污水处理厂的污泥将成为城市固体废弃物的一大来源,并将成为城市面临的主要环境问题之一。污水处理厂的污泥中含有大量的碳水化合物和蛋白质,这些都可以作为产氢的原料。利用它们进行发酵产氢的研究表明产氢量可达 $16.9 \text{ mL/g}^{[9]}$ 。

2 固体废弃物传统的处理方法

固体废弃物处理的目标是无害化、减量化和资源化。目前主要采用的三大基本技术是填埋、焚烧和生物处理(如堆肥)。

2.1 填埋处理

填埋处理是固体废物当前的主要处置手段,它是利用天然地形或人工构造形成一定的空间,将固体废物填充、压实、覆盖,达到贮存的目的(流程见图 2)。随着时间的推移,它已经从传统填埋到卫生填埋发展到生态填埋。虽然它有着投资少、适于处理多种类型固体废弃物、技术成熟等一些优点,但其缺点亦很明显:填埋场占用大量的土地资源,受

地理和水文地质条件限制较多,填埋场选址越来越困难;垃圾中可回收利用部分也被填埋掉,造成资源浪费;产生的渗透液污染地下水和土质,生成的沼气不仅对大气有影响,而且有时会引起爆炸,带来安全隐患。所以在土地资源短缺、经济发达的国家对填埋法的采用有一定的限制。根据我国国情以及现有的经济技术,填埋处理仍将在较长时期内居主导地位,但随着能源和资源回收工作的加强,相信它在垃圾处理中所占的比例将会越来越小。

2.2 焚烧处理

焚烧处理是一种高温热处理技术,即以一定的过剩空气量与被处理的有机废物在焚烧炉内进行氧化分解反应,废物中的有毒有害物质在高温中氧化、热解而被破坏同时回收热能(流程见图 3)。主要目的是尽可能焚毁废物,使之最大限度地减容,并尽量减少新的污染物质产生,避免造成二次污染。优点是处理量大,减容性好,无害化彻底,而且能回收热能。缺点在于它对垃圾的低位热值有一定要求,通常应大于 4127 kJ/kg ,不是任何垃圾都能焚

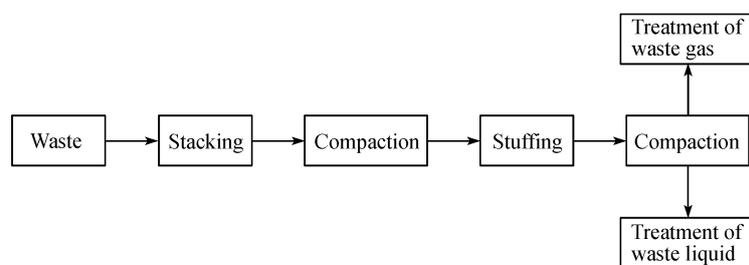


图 2 填埋处理流程图

Fig. 2 Flow chart of stuffing disposal

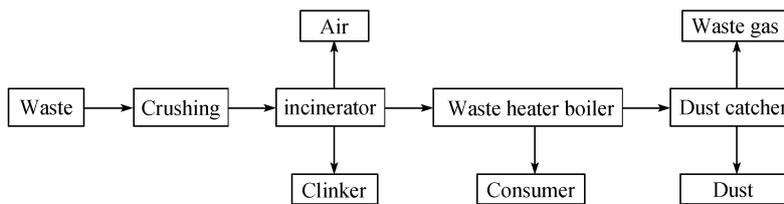


图 3 焚烧处理流程图
Fig. 3 Flow chart of burning disposal

烧, 设备一次性投资大、运行成本高、耗能大, 有可能产生有害气体二恶英等。

2.3 生物处理技术

生物处理技术是利用生物尤其是微生物对有机固体废弃物的分解作用使其无害化, 并可使它们转化为能源、食品、饲料和肥料, 还可从废品和废渣中提取金属, 是固化废物资源化的有效的技术方法之一。它目前主要还是以处理有机组分为主, 主要是处理含有大量的淀粉和纤维素的固体废弃物。目前应用比较广泛的有: 堆肥化、沼气化、纤维素糖化、饲料化以及重金属的生物浸出等。

3 固体废弃物处理新手段——生物制氢

早在 19 世纪, 人们就已经认识到细菌和藻类具有产生分子氢的特性。生物制氢想法最先是 Lewis 于 1966 年提出的^[10], 20 世纪 70 年代世界性的能源危机爆发, 生物制氢的实用性及可行性才得到高度的重视。当今人类所面临的能源与环境双重压力, 使生物制氢研究再度受到重视, 人们试着把氢气的获取和固体废弃物的处理结合起来, 即以有机固体废弃物为供氢体, 利用纯的光合细菌或厌氧细菌制备氢气。20 世纪 90 年代后期, 人们直接以厌氧活性污泥作为天然产氢微生物菌群, 通过厌氧发酵亦成功制备出氢气^[11]。厌氧发酵的优势在于, 首先固体废弃物转化为氢气的过程中实现了垃圾的减量化;

其次, 与好氧过程相比, 厌氧消化过程不需要氧气, 降低动力消耗, 因而将大大降低运行成本。

3.1 固体废弃物厌氧产氢机理

固体废弃物的厌氧发酵产氢是通过产氢发酵细菌的生理代谢来完成, 氢化酶是整个代谢中的关键酶。有机物氧化产生的 NADH 与 H⁺一般可通过与乙酸、丁酸和乙醇发酵等过程相偶连而使 NAD 再生, 但当氧化过程慢于形成过程时, 为避免 NADH 与 H⁺的积累, 细胞则以释放 H₂ 的形式平衡氧化还原过程中的剩余电子, 以保证代谢过程的顺利进行^[12]。丙酮酸经丙酮酸:铁氧还蛋白氧化还原酶作用后, 当环境中无合适的电子受体时, 氢化酶将接受铁氧还蛋白(Fd)传递的电子以 H⁺作最终电子受体而产生分子氢(图 4)。

3.2 固体废弃物厌氧产氢微生物的类型和影响因素

许多厌氧微生物都能利用一些有机固体废弃物产生氢气, 这些微生物一般都是梭菌属的 *Clostridium buytricum*、*C. thermolacticum*、*C. pasteurianum*、*C. paraputrificum* M-21 和 *C. bifermentans*, 它们都是专性厌氧菌并且能形成孢子, 处在指数生长期时能产生氢气, 在利用 DGGE 对污泥产氢微生物多样性研究时发现梭状芽孢杆菌是产氢优势菌^[13]。因此, 我们可以通过高温预处理来获得梭状芽孢杆菌占多数的产氢污泥。

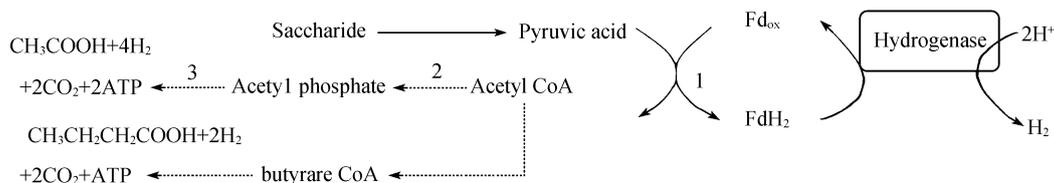


图 4 厌氧细菌产氢途径

Fig. 4 The pathway of anaerobes producing hrdrogen

1: pyruvic acid: ferredox oxidase; 2: phosphotransacetylase; 3: acetokinase; 4: butyryl-CoA synthetase and butyrate kinase

针对固体废弃物厌氧发酵产氢生态因子控制开展的研究, 主要集中于对特定微生物产氢过程中温度、pH、氧化还原电位(ORP)和金属离子等的影响。

pH 值对细菌发酵产氢的产量、产率均有重要的影响, 因此 pH 值影响发酵产氢的研究最多。文献报道, pH 值控制在 5.0~6.0 时有利于获得最高的产氢量或产氢率^[14,15]。但也有些报道表明最适的 pH 值是 6.0~8.0^[16,17], pH 值随着发酵过程的进行会逐渐降低主要是在发酵过程中产生了有机酸, 逐步降低的 pH 值影响了氢酶的活性, 从而影响了氢气的产生, 所以控制合适的 pH 值至关重要。任南琪等对此进行了系统的研究, 并建立了产氢产酸发酵细菌 3 种发酵类型的 pH/ORP 二维实时生态位图^[18]。厌氧发酵产氢的发酵产物主要产物含有大量有机酸, pH 值同样也能影响有机酸的组成分配, 例如 pH 值在 6.5~7.0 时能产生几乎一样多的醋酸和丁酸^[14], 有时也会观察到乙醇的产生。

金属离子的存在同样对微生物厌氧发酵产氢影响显著, 其中有关 Fe^{2+} 、 Ni^{2+} 和 Mg^{2+} 的研究较多, 根据林明、任南琪^[19]等关于几种金属离子对高效产氢细菌产氢能力的促进作用的研究发现: 在一定浓度下, Ni^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Fe^{2+} 对高效产氢菌 B49 的生长和发酵产氢有促进作用; 促进生长作用的顺序为: 发酵初期 $\text{Fe}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$, 末期则为 $\text{Fe}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$; 促进产氢能力作用的顺序则为: $\text{Fe}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 。这是因为铁存在于细胞色素、铁氧还原蛋白和其他铁硫蛋白、酶的辅助因子中, 是大多数细菌生长的必要因素, 另外 Fe^{2+} 可以和 Ni^{2+} 等重金属离子发生络合作用, 减轻其对细菌生长的毒害作用; 尽管 Ni^{2+} 在较高浓度下有较强的毒性, 但它也是细菌生理代谢中某些酶(如脲酶)的必要成分, 所以在某些细菌生长中仍需要一定浓度的 Ni^{2+} ; Mg^{2+} 不仅仅是许多酶的辅助成分和细胞壁、细胞膜的组成成分, 而且它对一些重金属的毒性有抵抗作用, 可以降低它们的抑制作用。

此外, 洪天求等^[20]发现: 当 Na^+ 在 1000~2000 mg/L 时, 对厌氧发酵产氢有促进作用; 当 Na^+ 在 8000~16000 mg/L 时, 对厌氧发酵产氢有很大抑制作用; 当 Na^+ 浓度较低(<1000 mg/L)时, 对微生物的

活性和产氢能力有不良的影响, Chang 等^[21]发现 Ca^{2+} 也有类似的作用。 O_2 会对氢化酶的活性起抑制作用同样影响厌氧发酵产氢, 所以使用一些还原剂如氩、氮以去除 O_2 。但是, 这些还原剂是相当昂贵的, 如果真正用于工业化生物制氢则成本过高。*Enterobacter aerogenes* 是一种兼性厌氧菌, 而且一样能产生氢气^[22,23], 我们知道兼性厌氧菌能在含有微量氧的情况下依然有能力存活, 这就意味着我们如果在产氢的体系中加入 *E. aerogenes* 既不会影响产氢量, 又可以降低成本。

4 生物制氢的发展趋势

针对国内外以有机废弃物为原料的产氢技术研究中的问题, 提出两步生物产氢的新思路, 即光合细菌和厌氧非光合细菌联合制氢(暗发酵/光发酵耦联制氢)^[24], 一方面, 暗发酵细菌降解大分子有机物的能力很强, 而光合细菌分解大分子有机物能力相对较弱, 但可以有效地利用暗发酵细菌分解大分子有机物后产生的小分子物质, 两者混合培养可以充分利用有机物质, 提高产氢效率。另一方面, 暗发酵细菌在发酵放氢的过程中会产生大量的有机酸等, 使发酵液的 pH 值下降至 4.0~4.8 之间^[25], 偏离暗发酵细菌生长和放氢的最适条件, 导致氢气产量下降, 而光合细菌在放氢过程中可以分解、利用这些小分子有机酸, 使发酵环境中的 pH 上升, 恢复暗发酵细菌的产氢效率。同时, 氨抑制光合细菌放氢气^[26], 通过暗发酵可以去除氨。因此, 把这两种微生物联合培养有利于提高底物的利用率和产氢率。目前只进行了藻、菌混合培养, 进一步的发酵试验有待进行^[27]。

利用固体废弃物生物制氢, 一方面可以减少固体废弃物的排放量, 减轻固体废弃物给环境造成的压力, 起到治理环境的作用; 另一方面, 使固体废弃物中的有用物质转化能源及对环境有益的二次产物, 具有明显的经济效益、环境效益和社会效益, 是实现有机废物无害化、减量化、资源化的最有效的途径。我们相信, 随着科学技术的进一步发展, 会有更为有效的生物制氢处理工艺被发明并应用于实践, 从而真正实现由“废物”变“财富”的梦想。

REFERENCES

- [1] Winter CJ. Into the hydrogen energy economy-milestones. *Int J Hydrogen Energy*, 2005, **30**(7): 681–685.
- [2] Armor JN. The multiple roles for catalysis in the production of H₂. *Applied Catalysis A: General*, 1999, **176**(2): 159–176.
- [3] Zhou JH, Qi F, Cheng J, *et al.* Influence factors of hydrogen production in straw fermentation. *Environmental Science*, 2007, **28**(5): 1153–1157.
周俊虎, 戚峰, 程军等. 秸秆发酵产氢的影响因素研究. *环境科学*, 2007, **28**(5): 1153–1157.
- [4] Vrije T, Haas GG, Tan GB, *et al.* Pretreatment of miscanthus for hydrogen production by *Thermotoga elfii*. *Int J Hydrogen Energy*, 2002, **27**(11-12): 1381–1390.
- [5] Li DM, Chen HZ. Biological hydrogen production from steam-exploded straw by simultaneous saccharification and fermentation. *Int J Hydrogen Energy*, 2007, **32**: 1742–1748.
- [6] Tan WC, Wang YB. On the comprehensive treatment of municipal refuse and energy resources recovery. *Journal of Changsha University of Science & Technology (Social Science)*, 2006, **21**(2): 44–46.
谭万春, 王云波. 城市垃圾的综合处理与能源回收. *长沙理工大学学报(社会科学版)*, 2006, **21**(2): 44–46.
- [7] Shanghai Development Plan of Solid Wastes Treatment, Shanghai Municipal City Appearance and Environmental Sanitation Administration. 2001.
上海市市容环境卫生管理局. 上海市固体废弃物处置发展规划, 2001.
- [8] Lay JJ, Fan KS, Ku CH, *et al.* Influence of chemical nature of organic wastes on their conversion to hydrogen by heat shock digested sludge. *Int J Hydrogen Energy*, 2003, **28**(12): 1361–1367.
- [9] Cai ML, Liu JX. Factors of effecting hydrogen production from anaerobic fermentation of excess sewage sludge. *Environmental Science*, 2005, **26**(2): 98–101.
蔡木林, 刘俊新. 污泥厌氧发酵产氢的影响因素. *环境科学*, 2005, **26**(2): 98–101.
- [10] Fang HP, Zhang T, Liu H. Microbial diversity of mesophilic hydrogen-producing sludge. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2002, **58**: 112–118.
- [11] Ueno Y, Haruta S, Ishii M, *et al.* Microbial community in anaerobic hydrogen-producing microflora enriched from sludge compost. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2001, **57**: 555–562.
- [12] Ren NQ, Wang BZ. Hydrogen gas bio-production technology for organic wastewater treatment. *China Environmental Science*, 1994, **14**(6): 411–415.
任南琪, 王宝贞. 有机废水处理生物制氢技术. *中国环境科学*, 1994, **14**(6): 411–415.
- [13] Xing D, Ren NQ, Gong M, *et al.* Monitoring of microbial community structure and succession in the biohydrogen production reactor by denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE). *Science in China (Ser C)*, 2005, **48**(2): 155–162.
- [14] Fang HP, Liu H. Effect of pH on hydrogen production from glucose by mixed culture. *Bioresour Technol*, 2002, **82**(1): 87–93.
- [15] Venkata MS, Mohanakrishna G, Ramanaiah SV, *et al.* Simultaneous biohydrogen production and wastewater treatment in biofilm configured anaerobic periodic discontinuous batch reactor using distillery wastewater. *Int J Hydrogen Energy*, 2008, **33**: 550–558.
- [16] Zhang T, Liu H, Fang HHP. Biohydrogen production from starch in wastewater under thermophilic conditions. *J Environ Manage*, 2003, **69**(2): 149–156.
- [17] Hilkeah IA, Ayotamuno MJ, Eze CL, *et al.* Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Appl Energ*, 2008, **85**: 430–438.
- [18] Sun YJ, Ren NQ, Wang Y. Study on PH ecological niche of pro-hydrogen and ferment bacterium of butyric acid type. *Acta Energiæ Solaris Sinica*, 2004, **25**(12): 232–235.
孙寓蛟, 任南琪, 王勇. 丁酸型产氢-产酸发酵细菌 pH 生态位探讨. *太阳能报*, 2004, **25**(12): 232–235.
- [19] Lin M, Ren NQ, Wang AJ, *et al.* Promotion of hydrogen producing ability of hydrogen producing bacteria by several kinds of metal ions. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2003, **35**(2): 147–151.
林明, 任南琪, 王爱杰, 张颖, 王相晶, 马放. 几种金属离子对高效产氢细菌产氢能力的促进作用. *哈尔滨工业大学学报*, 2003, **35**(2): 147–151.
- [20] Hong TQ, Hao XL, Yu HQ. Tentative research on effect of sodium ion concentration on hydrogen-generating by anaerobic fermentation of sucrose. *Technology of Water Treatment*, 2004, **30**(5): 270–272.
洪天求, 郝小龙, 俞汉青. Na⁺离子浓度对厌氧发酵产氢气影响的实验研究. *水处理技术*, 2004, **30**(5): 270–272.
- [21] Chang FY, Lin CY. Calcium effect on fermentative hydrogen production in an anaerobic up-flow sludge blanket system. *Water Sci Technol*, 2006, **54**(9): 105–112.
- [22] Nakashimada Y, Rachman MA, Kakizono T, Nishio N. Hydrogen production of *Enterobacter aerogenes* altered by extracellular and intracellular redox states. *Int J Hydrogen Energy*, 2002, **27**(11-12): 1399–1405.
- [23] Yokoi H, Tokushige T, Hirose J, Hayashi S, Takasaki Y. H₂ production from starch by mixed culture of *Clostridium buytricum* and *Enterobacter aerogenes*. *Biotechnol Lett*, 1998, **20**: 143–147.
- [24] Kim MS, Baek JS, Yun YS, *et al.* Hydrogen production from *Chlamydomonas reinhardtii* biomass using a two-step conversion process: Anaerobic conversion and photosynthetic fermentation. *Int J Hydrogen Energy*, 2006, **31**: 812–816.
- [25] Liu G, Shen J. Effects of culture medium and medium conditions on hydrogen production from starch using anaerobic bacteria. *J Biosci Bioeng*, 2004, **98**(4): 251–256.

[26] Salerno MB, Park W, Zuo Y, *et al.* Inhibition of biohydrogen production by ammonia. *Water Res.* 2006, **40**(6): 1167-1172.

[27] Melis R, Melnicki, MR. Integrated biological hydrogen production. *Int J Hydrogen Energy*, 2006, **31**(11): 1563-1573.

科学出版社科学出版中心生命科学分社新书推介

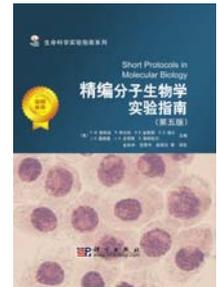
精编分子生物学实验指南(第五版)

【美】F.M.奥斯伯 R.布伦特 R.E.金斯顿 D.D.穆尔 J.G.塞德曼 J.A.史密斯 K.斯特拉尔 主编
金由辛 包慧中 赵丽云 等译校

978-7-03-020336-2 ¥180.00 2008年5月30日 出版

本书是知名度很高、不断更新的《最新分子生物学实验方法汇编》(Current Protocols in Molecular Biology)系列的精编版本。新版对原有内容进行了修订和更新,包括:大肠杆菌、质粒和噬菌体, DNA 的制备和分析, DNA 和 RNA 的酶学操作, RNA 的制备和分析, 重组 DNA 文库的构建, 重组 DNA 文库的筛选, DNA 序列测定, 克隆化 DNA 的诱变, DNA 导入哺乳动物细胞, 蛋白质分析, 免疫学, DNA 蛋白质相互作用, 酿酒酵母, 原位杂交和免疫组织化学, 聚合酶链反应, 蛋白质的表达, 蛋白质磷酸化的分析, 生物信息学, 蛋白质相互作用的分析等; 又新增了染色质的装配与分析, 核酸阵列, 组合文库的建立和使用, 单个细胞或一群细胞间差异表达基因的发展和四章内容。

本书可供高等院校和科研机构从事分子生物学研究的科研工作者和研究生参考。



遗传学: 从基因到基因组 (原书第三版) (配彩图光盘)

【美】L.H. 哈特韦尔 著 张博 等 选译 戴灼华 审校

978-7-03-021375-4 ¥138.00 2008年5月30日 出版

本书试图集成当代遗传学知识和方法, 内容包括: 形式遗传学——基因传递规律; 分子遗传学——DNA 结构及其如何指导蛋白质合成; 基因组学——基因分离新技术和有机体完整基因组深入分析; 人类遗传学——基因如何调控健康和疾病状态; 生命形成的统一——来自不同有机体的信息合成为一个整体内核; 分子进化——物种如何进化和趋异。

本书适用于高等院校生命科学、遗传学、分子生物学等专业的教师和学生使用, 并可供相关专业研究人员阅读参考。



实验细胞资源的描述标准与管理规范

刘玉琴 编著

978-7-03-021135-4 ¥35.00 2008年5月20日 出版

实验细胞资源平台的工作内容包括: 技术规范研究制定、实验细胞实物库建设、信息库建设、质量检测及评价体系建设、共享体系建设及人才队伍建设。其中实验细胞描述规范的研究制定是实施实验细胞资源有效收集、整理及保藏的前提条件。

本书在各项项目工作基础上, 参考了国内外相关资料并结合我国具体情况, 进一步修改、完善了实验细胞资源共性描述规范, 结合平台建设, 新制定了实验细胞资源保藏机构应具备的一系列制度和规章, 为实验细胞资源实现标准化整理、整合共享提供完整的技术支撑。

本书可供所有实验细胞保藏单位借鉴、参考。



欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书(免邮费)

邮购地址: 北京东黄城根北街 16 号 科学出版社 科学出版中心 生命科学分社 邮编: 100717

联系人: 阮芯 联系电话: 010-64034622(带传真)

更多精彩图书请登陆网站 <http://www.lifescience.com.cn>