

微生物合成 PHA 的研究进展

柳 杰¹,王晚晴^{1,2},刘文慧^{1,2},华 威^{1,2},程艳玲^{1,2*}

(1. 北京联合大学生物化学工程学院,北京 100023;
2. 生物质废弃物资源化利用北京市重点实验室,北京 100023)

摘要:传统化石来源的塑料虽然给人类的生活带来了许多便利,但这些难降解塑料不断地堆积在环境中,导致了全球环境恶化、固体垃圾难处理等问题。因此,可生物降解塑料的研究与开发成为了近年来研究的重点。聚羟基脂肪酸酯(PHA)是一类微生物合成的高分子生物聚脂,具有良好的生物可降解性、生物相容性等特殊性质,可替代传统化石塑料成为新型生物材料,有很好的环境效应与应用前景,目前其作为心脏瓣膜材料的研究在动物实验中已取得了很好的结果。在本文中,作者结合国内外合成 PHA 的相关研究,对合成 PHA 微生物的种类及其发酵工艺进行了总结,并对其未来发展进行了展望。

关键词:聚羟基脂肪酸酯;微生物;发酵

1 PHA 的概况

1.1 PHA 的结构与分类

聚羟基脂肪酸酯(Polyhydroxyalkanoates,PHA)是一种高分子生物聚酯,可以作为分子内 C 源和能源储备,并成为颗粒体聚集在细胞质内。当细菌处于 C 源充足,而某些营养成分如 N、P、微量元素缺乏时,细菌就会把多余的 C 源转化为 PHA 储存起来,以缓解 C 源不平衡期。PHA 主要是羟基脂肪酸(HA)的聚合物,具有结构通式如下:

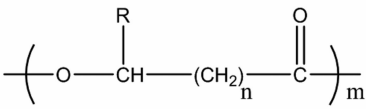


图 1 PHA 的结构通式
Figure 1 The general structure of PHA

图 1 中, $n=1,2,3$ 或者 $4,n$ 为 1 最为常见, m 表示的是聚合度,可以取数百到数千不等,它决定了分子量的大小。 R 为可变基团,从饱和度来看,可以是饱和的,也可以是不饱和的;从链接的烷基方式来看,可以是直链的也可以是含有侧链的。不同的 PHA 所含的 R 侧链不同,因此可以根据单体的 R 侧链基团的化学结构对 PHA 进行分类:当 R 为 H,CH_3,C_2H_5 时为短链 PHA(short-chain-length, SCL PHA),一共含有 3 至 5 个碳原子,这类单体聚合之后形成常见的均聚物,如聚羟基丁酸酯(PHB)、聚羟基戊酸脂(PHV)等;当 R 为 C_3H_7 至 $C_{13}H_{27}$ 时为中长链 PHA(medium-chain-length, MCL PHA),一共含有 6 至 14 个碳原子,如聚羟基辛酸酯(PHO)和聚羟基己酸酯(PHH_x)等等^[1]。这种分类的主要原因是 PHA 合

10.14028/j.cnki.1003-3726.2017.02.003
收稿:2016-06-23;修回:2016-10-19;
基金项目:“863 计划”课题(2015AA020202,2014AA022002);国家国际科技合作课题(2015DFA60170,2014DFA61040);北京市大学科技园项目“微波裂解纤维素类生物质多联产关键技术”;北京市教育委员会科技计划一般项目(122139916080101-010);北京市教育委员会科技计划面上项目(KM201511417011);
作者简介:柳杰(1993—),女,湖北黄冈,硕士研究生,研究方向为生物活性物质分离技术;
* 通讯联系人:程艳玲(1972—),女,博士,副教授,研究方向为生物活性物质分离与生物能源,E-mail: cheng1012cn@aliyun.com.

成酶的底物具有专一性,使其只能接受一定数量碳原子长度的 3-HAs 单体。

1.2 PHA 的性质及其应用

PHA 单体具有光学活性和立体专一性,构成单体的所有碳原子均为手性碳原子,可以广泛地应用于化学药品合成的结构元件,例如抗生素、维生素、芳香素和信息素等,比常规药物更加安全有效,使用剂量也更小^[2]。

PHA 聚合物的物理性质由其分子结构和单体构成所决定^[3]。当 PHA 为短链时,具有良好的热塑性,当 PHA 为中长链时,具有良好的弹性^[4]。因此,PHA 家族在机械性质上表现出很大的差异,既有坚硬的晶体,又有结晶度很低的弹性体,而且不同单体的结合可以显著地改善 PHA 的性能,给其带来一些新的特性,这也使 PHA 的应用范围更加广阔,例如,PHA 具有与聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)类似的力学性能,同时又可以完全被生物降解,可成为传统化工塑料的替代品,解决因不可降解塑料累积而造成的环境污染等问题。除此之外,PHA 相比于其它聚合物更具有生物相容性和生物降解性,可以不同的形式存在,并广泛地应用于医学领域,例如人体组织中的各种支架、心脏阀门、心血管修补材料等,目前其作为心脏瓣膜材料的研究在动物实验中已取得了很好的结果^[5]。

2 合成 PHA 微生物的种类

合成 PHA 的微生物总共可以分为三大类:单一菌种、工程菌以及混合菌。为了大量生产 PHA,国内外学者在菌种选育、发酵条件优化等方面做了大量的研究。目前为止,研究人员在各种环境中分离得到的可合成 PHA 的细菌不计其数,共 65 个菌属、300 多种微生物,按利用营养物质的方式可分为光能菌、化能菌、自养菌和异养菌。但是,发酵水平较高的野生菌种只有产碱杆菌属(*Alcaligenes*)、假单胞菌属(*Pseudomonas*)、甲基营养菌(*Methylobacter*)等少数几种^[6]。它们可以利用不同的 C 源合成不同结构的 PHA,其产率以及合成机制也均有差别,一些有机酸、糖类、醇类以及二氧化碳和氢气的混合气体均可以作为 C 源^[7]。目前,研究最多的可用于 PHA 合成的微生物如表 1 所示。

表 1 常见的合成 PHA 的微生物
Table 1 Common microorganisms used as biosynthesis of PHA

菌属	中文名称	举例
Alcaligenes	产碱杆菌属	Alcaligenes faecalis ^[8] Alcaligenes latus ^[9]
Ralstonia	罗氏菌属	Ralstonia eutropha H16 ^[10]
Azotobacter	固氮菌属	Azotobacter vinelandii UWD ^[11]
Bacillu	芽孢杆菌属	Bacillus cereus SPV ^[12]
Methylobacterium	甲基杆菌属	Methylobacterium extorquens ^[13]
	Methylobacter	
Pseudomonas	假单胞菌属	Pseudomonas putida ^[15] Pseudomonas fluorescens BM07 ^[16]
Rhodospirillum	红螺菌属	Rhodospirillum rubrum ^[17]

2.1 纯菌种

对于纯菌种来说,可以利用苏丹黑或尼尔兰等亲脂染料轻易的区分 PHA 合成菌和非 PHA 合成菌。目前研究最多的纯菌种是真养产碱杆菌(*Alcaligenes eutrophus*),它可以利用简单的 C 源积累大量的 PHB,可达细胞干重的 80%。20 世纪 80 年代英国 ICI 公司利用 *Al. eutrophus*,以葡萄糖和丙酸的混合物作为 C 源发酵得到的 P(HB-co-2HV)(商品名 Biopol),这是最早面世的 PHA 产品,随后该公司也公开了许多关于生产及提取 PHA 的专利。在此之后,在国内也开始了对真养产碱杆菌(*Alcaligenes eutrophus*)的研究。许懿等^[18]在单因素的基础上,采用 Plackett-Burman 设计,确定了 C 源浓度和 C、N 质量比是影响真养产碱杆菌生长和累积 PHB 的两个显著因素,并通过响应面设计法获得了最优发酵培

培养基组成,在此发酵条件下,细胞干重浓度达到 16.1g/L,PHB 的质量浓度达到 7.9g/L,糖对细胞的转化率为 64%,对 PHB 的转化率为 32%。

除了利用真养产碱杆菌进行 PHA 合成, Ray 等^[19] 还利用土着微生物 ERC8 生产 PHA,发现采用 0.8%(v/v)甘油废弃物、0.26%(w/v) BHM 和 1.25%OD 作为培养基时可生产较高的 PHA,且在培养 96h 后,PHA 的产量最高可以达到 1.36g/L。Mokhtari-Hosseini 等^[20] 也研究了甲基营养菌利用甲醇为原料积累 PHB,采用反应面分析法对其培养基进行优化,发现 N 和 Mg 的缺乏对 PHB 的积累尤为重要,并将优化好的培养基在 5L 发酵罐中进行生产,最终得到细胞干重浓度 15.4g/L,PHB 占细胞干重的 62.3%。

2.2 工程菌

用基因工程的方法,使外源基因得到高效表达的菌类细胞株系一般称为“工程菌”。它是一类采用现代生物工程技术加工出来的新型微生物,具有多功能、高效和适应性强等特点。研究发现,野生菌中 PHA 的基本生物合成途径主要有乙酰辅酶 A 通路、原位合成脂肪酸以及脂肪酸 β -氧化途径^[21]。而与这些途径有关的基因已被鉴定并表征,根据 PHA 的合成机制和代谢途径可以构建出各种工程菌,并且通过调节菌体内能源流动方向来更高效的生产 PHA,这些菌的生产能力比野生菌株要强很多。

PHA 合成最关键的酶是 PHA 合成酶,按其亚基的构成和底物专一性的不同可分为三类:Ⅰ类 PHA 合成酶以真养产碱杆菌合成酶为代表,只有 PhaC 一个亚基,以短链 HA-CoAs 为底物合成 SCL-PHA;Ⅱ类 PHA 合成酶以一些假单胞杆菌为代表,以长链 HA-CoAs 为底物合成 MCL-PHA;Ⅲ类 PHA 合成酶以酒色着色菌为代表既可以合成 SCL-PHA,又可以合成 MCL-PHAp^[22~24]。这些合成酶与基因库中其它的蛋白质没有明显的同源性,不过根据它们的一级结构和底物特异性,PHA 合成酶组成了一类高度同源的蛋白酶,并且有科学家推论Ⅰ类合成酶基因是由共同祖先直接进化而来的,Ⅱ类合成酶基因是共同祖先发生了加倍的事件形成的,Ⅲ类合成酶基因是由共同祖先发生不对等加倍或分裂而形成的,并且 phaC 基因编码的 PHA 合成酶(PhaC)被研究得最多^[25]。

Yang 等^[26] 往大肠杆菌中导入了丙酰辅酶 A 转移酶(pct)以及真养产碱杆菌的 PHA 合成酶等基因来合成 3-hydroxyvalerate(3HV)单体,最后重组菌株可以合成出 P(HB-co-HV),并且 3HV 单体占总聚合物质量的 80%以上。Kawashima 等^[27] 将豚鼠气单胞菌中与编码烯酰-CoA 水合酶有关的 phaJAc 插入到罗氏菌 phaP1Re 的下游,来提高 phaP1Re 的表达水平,结果表明,新构建的菌种利用大豆油可以合成更多的 P(3HB-co-3HHx)。

2.3 混合菌

目前 PHA 的规模化运用主要集中在单一菌种发酵工艺上,但是培养基原材料和严格灭菌等操作大大地增加了发酵成本,使其难以进一步推广。随后研究者发现,对一些有机废弃物进行处理的同时也会有 PHA 产生,例如富含微生物群体的城市污水活性污泥、富含 C 源的有机废水、餐厨垃圾发酵液等。因此,利用混合菌来生产 PHA 的工艺慢慢得以发展,此方法不仅降低了无菌操作的要求,增加了 C 源的选择性,节约了成本,而且还有很好的环境效益,实现了废弃资源的再利用。

混合菌种合成工艺主要包括厌氧-好氧工艺、微好氧-好氧工艺、好氧瞬时供料法。厌氧-好氧工艺是指微生物都能够在厌氧-好氧交替条件下,在厌氧条件下以 PHA 的形式在细胞内储存能源,在好氧条件下消耗内 C 源,一般情况下贮存的 PHA 量可达微生物细胞干重的 20%;微好氧-好氧工艺是厌氧-好氧工艺的改进,即在厌氧阶段通入微量的氧气,既缓解了完全厌氧时聚磷现象和糖原水解产能有限的现象,又避免了供氧充足时菌体只进行同化作用而不积累 PHA 的问题,此工艺下积累的 PHA 可增加至微生物细胞干重的 62%^[28];好氧瞬时供料工艺是指通过控制反应器中的底物浓度,使微生物处于底物时而丰富时而匮乏的状态,以抑制微生物的生长,驯化出具有强大 PHA 贮存能力的菌群,此工艺下合成的 PHB 含量高达微生物细胞干重的 78.5%^[29]。

杨幼慧等^[30] 对四家食品和生活污水处理厂活性污泥积累和发酵生产 PHA 的能力进行了研究。结

果表明,不同来源活性污泥自然积累 PHA 的能力有较大差异,不同工厂活性污泥经过驯化、发酵后均可有效富集 PHA 积累菌,PHA 产量大幅度提高,且产物经核磁共振($^1\text{H-NMR}$)和熔点分析,为羟基丁酸与羟基戊酸的共聚物(PHBV)。

Albuquerque 等^[31]利用混合菌群以不同浓度的发酵糖糖浆为原料来生产 PHA,发现当基质浓度为 45Cmmol VFA/L 时,有 88% 细菌产 PHA,且最高浓度可达细胞干重的 74.6%。贾振华等^[32]将两种工程菌混合培养,均以葡萄糖为唯一碳源来生产含有 3HB 和 4HB 的聚合物,结果表明培养 48h 后两种工程菌共培养能够获得韧性更强和强度更大的 PHA,PHA 的积累量占总生物量的 44.4%。表 2 列出了其它一些混合菌利用不同底物和工艺生产 PHA 的例子。

表 2 混合菌利用不同底物和工艺生产 PHA

Table 2 Mixed bacteria produce PHA by different substrate and process

底物	工艺	PHA 含量	参考文献
餐厨垃圾	厌氧-好氧工艺	51%	[33]
造纸厂废水活性污泥	好氧瞬时供料工艺	48%	[34]
啤酒废水活性污泥	厌氧-好氧工艺	37%~59%	[35]
污水处理厂二沉池沉淀污泥	微好氧-好氧工艺	21.19%	[36]
橄榄油果渣	好氧瞬时供料工艺	39%	[37]

3 PHA 的发酵培养方式

微生物发酵培养方式主要有分批培养、补料分批培养、半连续发酵以及连续培养四种方式。而 PHA 生产中最常采用的发酵方式是分批补料方式(Fed-Batch Culture),又称流加分批发酵,即在分批发酵过程中间接或连续地补充 C 源,可以满足 PHA 生产中所需要的过量 C 源。根据料流入(F_{in})和流出(F_{ex})发酵罐的速率,补料分批可分为以下几种形式。

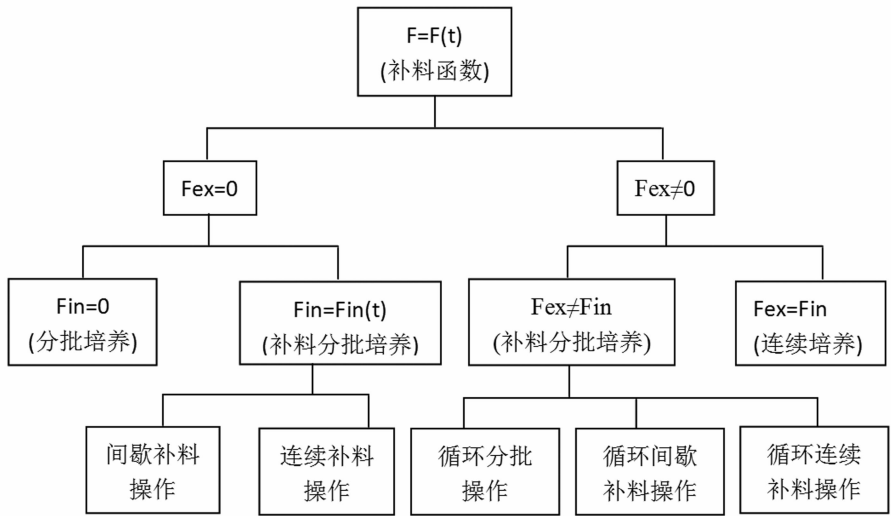


图 2 补料分批发酵的类型

Figure 2 The type of fill material batch fermentation

Huschner 等^[38]以有机酸为唯一碳源,利用分批补料的培养方式对罗氏菌生产 PHA 的过程进行了研究,实验过程中利用 pH 自动恒定器控制有机酸的传递,以此来减少有机酸的毒性影响,实验结果表明,此方法的 PHA 生产率超过了 2g/L/h 。Alkotaini 等^[39]用酸提前处理过的红藻 *Gelidium amansii* 作为一种廉价的 C 源,采用分批培养和补料分批培养两种方法,利用巨大芽孢杆菌 KCTC 2194 进行 PHA

的生产,在进行分批培养时,细胞干重和 PHA 含量分别为 5.5g/L 和 51.4%;在进行补料分批发酵时,采用两种方式:(1)恒定 pH 补料,细胞干重增加到 8.2g/L,其中 PHA 的含量是 53.2%;(2)浓缩的水解液间歇性补料,细胞干重增加到 10.1g/L,而 PHA 的含量增加到 54.5%。由此可以看出,分批补料的培养方式更利于 PHA 的生产,此过程能保证菌体有足够的营养物质可以利用,既能得到较高的菌液浓度,又能提高 PHA 的产率。除此之外,两步培养的方法也很受欢迎,特别是某些菌种在限制营养元素的条件下进行 PHA 的积累,培养时,细胞首先在营养充足的条件下进行生长,一定浓度后限制某种必须的营养元素,此时细胞不再生长而开始合成并积累 PHA。然而对于某些工程菌而言,如重组菌 *E. coli*,随着大量的 PHA 积累,菌体生长开始变得缓慢,甚至停止生长,从一定角度上来说,并不利于提高 PHA 的产率^[40]。因此,为了更有效地生产 PHA,应该在平衡细胞浓度和 PHA 产率的基础上优化发酵培养方式。

对于发酵而言,在发酵过程中产生的气泡对发酵结果影响很大,如果产生气泡过多,泡沫会顶罐甚至溢出,进而影响生产。因此,降低泡沫能有效提高 PHA 的产率,一般可采取两种方法:(1)采用大量的消泡剂来减少泡沫的产量,此方法最为常见;(2)降低搅拌的速率和通气量。但消泡剂本身是含有毒性的,对菌体自身的生产有害,而第二种方法则会使培养基的溶氧量下降,对菌体的生产也是不利的,所以这两种方法各有利弊,降低发酵过程中气泡产生的方法还有待研究。

4 结论与展望

目前,国内外对于生产 PHA 的研究数不胜数,已被发现的可合成 PHA 的微生物也越来越多。在研究初期,研究者们利用纯菌种来生产 PHA,发现了高产 PHA 的菌属,但是其发酵的高成本以及对于无菌条件的高要求阻碍了其继续发展的脚步。随后,科学家开始利用工程菌以及混合菌来生产 PHA:工程菌通过调节能流方向来提高 PHA 的产率,城市活性污泥、有机废水、餐厨垃圾等废弃物中的混合菌利用各种碳源,降低了无菌操作的要求,节约了成本,而且还有很好的环境效益,实现了废弃资源的再利用。

为了利用更廉价的碳源生产更多的 PHA,未来研究主要集中在以下几方面:(1)筛选出能够以廉价碳源为底物的新型菌种,或者对现有菌种进行诱变来提高 PHA 的产率;(2)一些有机酸、糖类、醇类以及二氧化碳和氢气的混合气体均可作为 PHA 合成的底物,但单从底物原料来看,二氧化碳和氢气最为廉价,而且它们是合成气的组成部分,合成气简单易得,所以在今后的研究中可以多利用合成气来进行 PHA 的合成,但因气体混合时易燃易爆,所以应对气瓶进行固定,并在操作时注意爆炸极限;(3)对发酵方式进行改善,以提高细胞培养密度,缩短发酵周期,提高生产力和底物转化率;(4)在筛选组建更高产的菌种并进行完善合适的发酵工艺得到 PHA 之后,对 PHA 的提取方法进行研究,选择低成本且回收率高、产品纯度高的提取方法。相信随着各种新型 PHA 合成微生物的发现以及发酵提取工艺的不断完善,PHA 的研究将更好的为人类的生活作出贡献。

参考文献:

- [1] 王蕊. 生物技术世界,2012,(4):18~19.
- [2] 陈国强,张广,赵锴,田格,陈金春,吴琼. 无锡轻工大学学报,2002,21(2):197~208.
- [3] Doi Y. Macromol Symp,1995,98(1):585~599.
- [4] 黄锦标,尚龙安. 化工进展,2011,30(9):2041~2048.
- [5] Levine A C,Sparano A,Twigg F F,Numata K,Nomura C T. Acs Biomater Sci Eng,2015,1(7):768~772.
- [6] 郑冰心. PHA 生产菌株的选育及其混合发酵条件的优化. 新疆省石河子:石河子大学硕士学位论文,2014.
- [7] 黄媛媛. 生物技术通报,2009,(6):59~74.
- [8] Tanio T,Fukui T,Shirakura Y,Saito T,Tomita K,Kaiho T,Masamune S. Eur J Biochem,1982,124(1):71~77.
- [9] Wang F,Sang Y L. Appl Environ Microbiol, 1997,63(9):3703~3706.
- [10] Radecka I,Irorere V,Jiang G Z. Materials, 2016,(9):367.
- [11] Page W J,Manchak J,Rudy B. Appl Environ Microbiol, 1992,58(9):2866~2873.

- [12] Valappil S P, Rai R, Bucke C, Roy I. J Appl Microbiol, 2008, 104(6): 1624~1635.
- [13] Höfer P, Choi Y J, Osborne M J, Miguez C B, Vermette P, Groleau D. Microb Cell Factories, 2010, 9(3): 1~13.
- [14] Babel W. Fems Microbiol Lett, 1992, 103(2/4): 141~148.
- [15] Beckers V, Poblete-Castro I, Tomasch J, Wittmann C. Microb Cell Factories, 2016, 15(1): 1~18.
- [16] Lee H J, Choi M H, Kim T U, Yoon A S C. Appl Environ Microbiol, 2001, 67(11): 4963~4974.
- [17] Brandl H, Jr E J K, Fulle R C, Gross R A, Lenz R W. Int J Biol Macromol, 1989, 11(1): 49~55.
- [18] 许懿, 陈荣辉, 赖瑞华, 王远鹏, 李清彪, 何宁. 厦门大学学报(自然科学版), 2011, 50(5): 942~946.
- [19] Ray S, Prajapati V, Patel K, Trivedi U. Int J Biol Macromol, 2016, 86: 741~749.
- [20] Mokhtari-Hosseini Z B, Vasheghani-Farahani E, Heidarzadeh-Vazifekhoran A, Abbas Shojaosadatia S, Karimzadeha R, Daranib K K. Bioresour Technol, 2009, 100(8): 2436~2443.
- [21] Chen G Q, Hajnal I, Wu H, Lv L, Ye J. Trends Biotechnol, 2015, 33(10): 565~574.
- [22] Hezayen F F, Steinbüchel A, Rehm B H A. Arch Biochem Biophys, 2002, 403(403): 284~291.
- [23] Song A J. Cloning of new pseudomonas sp. MBEL 6 19polyhydroxyalkanoate synthase genes and their use in the development of recombinant microorganisms. MS Dissertation, KAIST, 2004.
- [24] Liebergesell M, Rahalkar S, Steinbüchel A. Appl Microbiol Biotechnol, 2000, 54: 186~194.
- [25] 李爱萍, 李光吉. 高分子通报, 2004, (5): 20~27.
- [26] Yang Y H, Brigham C J, Song E, Jeon J M, Rha C K, Sinskey A J. J Appl Microbiol, 2012, 113(4): 815~823.
- [27] Kawashima Y, Orita I, Nakamura S, Fukui T. Microb Cell Factories, 2015, 14(1): 1~12.
- [28] Satoh H, Iwamoto Y, Mino T, Matsuo T. Water Sci Technol, 1998, 38(2): 103~109.
- [29] 周晓杰. 利用淀粉发酵产酸合成 PHA 的研究. 天津: 天津大学硕士学位论文, 2010.
- [30] 杨幼慧, 伍朝晖, 钟士清, 余海虎. 食品与发酵工业, 2002, (8): 5~8.
- [31] Albuquerque M G E, Torres C A V, Reis M A M. Water Res, 2010, 44(11): 3419~3433.
- [32] 贾振华, 马宏, 张霞, 宋水山, 邱健, 李承光. 生物技术, 2006, 16(2): 61~63.
- [33] Rhu D H, Lee W H, Kim J Y, Choi E. Water Sci Technol, 2003, 48(8): 221~228.
- [34] Bengtsson S, Werker A, Christensson M, Welander T. Bioresour Technol, 2008, 99(3): 519~526.
- [35] 陈志强, 田婷, 温沁雪, 陈玮. 环境工程学报, 2010, 4(4): 771~775.
- [36] 李晓雁, 黄海东, 卢显芝, 杨红澎, 王燕森, 曹晓娟. 环境科学与技术, 2009, 32(9): 124~128.
- [37] Waller J L, Green P G, Loge F J. Bioresour Technol, 2012, 120: 285~289.
- [38] Huschner F, Grousseau E, Brigham C J, Plassmeiera J, Popovic M, Rhaf C, Sinskey A J Proc Biochem, 2015, 50(2): 165~172.
- [39] Alkotaini B, Koo H, Kim B S. Korean J Chem Eng, 2016, 33(5): 1669~1673.
- [40] Wang F, Lee S Y. Biotechnol Bioeng, 1998, 58: 25~328.

Research Advances in Microbial Synthesis of PHA

LIU Jie¹, WANG Wan-qing^{1,2}, LIU Wen-hui^{1,2}, HUA Wei^{1,2}, CHENG Yan-ling^{1,2*}

(1. Biochemical Engineering College, Beijing Union University, Beijing 100023, China;

2. Beijing Key Laboratory of Biomass Waste Resource Utilization, Beijing 100023, China)

Abstract: Traditional fossil plastics has brought a lot of convenience to human, but these refractory plastic are continuous accumulating in the environment, leading to the deterioration of global environment, the solid waste disposal problems. Therefore, the research and development of biodegradable plastic has become the main point in recent years. Polyhydroxyalkanoate (PHA), a microbially synthesized polyesters with good biological degradability, biocompatibility and other special properties, can become the new biological materials alternative to traditional fossil plastic. Also PHA, as a heart valve tissue material, has achieved very good results in animal trials. It has shown good environmental effects and some promises. In this paper, the microorganisms in synthesis of PHA and their fermentation technology were reviewed combining with synthesis of PHA related research at home and abroad, then its development is prospected.

Key words: Polyhydroxyalkanoate; Microorganism; Fermentation