

# تولید پلاستیک‌های قابل تجزیه بیولوژیکی از فاضلاب شیمیایی

## یک روش نوظهور برای کاهش لجن فعال اضافی تولید شده از

### تصفیه فاضلاب صنعتی\*

ترجمه:

مریم آویشن\*\*

مهدی اسدی\*

#### چکیده

پلیمرهای بیولوژیکی تولید شده به وسیله تخمیر میکروبی به طور طبیعی قابل تجزیه بیولوژیکی هستند و جان‌نشین‌های بالقوه‌ای برای پلاستیک‌های مصنوعی به حساب می‌آیند که با محیط زیست نیز سازگارند. تولید گسترده این نوع پلیمرها به لحاظ هزینه‌های بالای تولید محدود شده است. در این مطالعه با کتری‌های لجن فعال در یک سیستم متعارف در فاضلابی که شامل مواد آلی گزنویوتیک<sup>۱</sup> می‌باشد با کاهش نیتروژن در راکتور مایع مخلوط شروع به ذخیره‌سازی درون سلولی پلیمرهای تجمع‌پذیر می‌کنند که می‌توان آنها را به عنوان منبع کم هزینه پلاستیک‌های قابل تجزیه بیولوژیکی استخراج نمود. با آنالیز کروماتوگرافی پلیمرهای استخراج شده ترکیبی از پلی هیدروکسی آلکانوات و تعداد از کوپلیمرهای مربوطه تشخیص داده شده است. گونه‌های آلکالیژن در مجموعه میکروبی لجن فعال به عنوان اصلی‌ترین گونه‌هایی که پلیمر در آنها تجمع می‌یابد تشخیص داده شده‌اند. با افزایش نسبت کربن به نیتروژن (C:N) از ۲۰ به ۱۴۰ راندمان ویژه تولید پلیمر، حداکثر تا میزان ۰/۳۹ گرم پلیمر به ازاء هر گرم وزن خشک سلول افزایش یافت در حالی که راندمان رشد ویژه به ۰/۲۶ گرم وزن خشک سلول به ازاء هر گرم ماده کربن‌دار مصرف شده کاهش یافت. بالاترین راندمان تولید پلیمرها به میزان ۰/۱۱ گرم پلیمر به ازاء هر گرم ماده کربن‌دار مصرف شده زمانی قابل دست‌یابی است که نسبت C:N با کاهش نیتروژن، در حد ۱۰۰ حفظ شود. راندمان ویژه پلیمر در گونه‌های جدا شده آلکالیژنز حداکثر تا ۰/۷ گرم پلیمر به ازاء هر گرم جرم خشک سلول رسید. این روش علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید پلاستیک‌های قابل تجزیه بیولوژیکی همچنین باعث می‌شود که لجن اضافی تولید شده از فرآیند تصفیه فاضلاب به میزان ۳۹ درصد کاهش یابد.

#### مقدمه

در هنگ کنگ، میزان مود پلاستیکی به کار رفته در بسته‌بندی محصولات یکبار مصرف بیش از ۱۵ درصد از وزن ۱۰ هزار تنی مواد زائد جامد شهری تولید شده در هر روز را

تشکیل می‌دهد. این مواد پلاستیکی مصنوعی متداول که از

\*- کارشناس ارشد مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب  
\*\* - دانشجوی کارشناسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت اصفهان

1- Xenobiotic

صنعت پتروشیمی مشتق می‌شوند به طور طبیعی قابل تجزیه بیولوژیکی نیستند و مواد زائد مضر برای محیط زیست به حساب می‌آیند. نظر به این که پیش‌بینی می‌شود تولید مواد زائد پلاستیکی بیش از ۱۵ درصد در سال در دهه‌های آینده افزایش یابد علاقه زیادی به گسترش مواد سازگار با محیط زیست مانند مواد جایگزین پلاستیک وجود دارد.

در میان انواع مختلف پلاستیک‌های قابل تجزیه بیولوژیکی یک خانواده بیش از ۴۰ پلی هیدروکسی آلکانواتی<sup>۱</sup> و مشتقات کوپلیمر آنها (شکل ۱) به دلایل زیر مورد توجه قرار گرفته‌اند:

۱- قابلیت تجزیه بیولوژیکی کامل

۲- خواص فیزیکی و مکانیکی گسترده آنها بعد از

کوپلیمریزه شدن

۳- سازگاری بیولوژیکی آنها با بافت‌های بدن در

کاربردهای جراحی

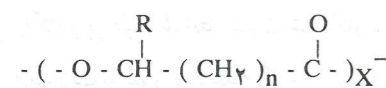
تعدادی از باکتری‌ها مانند گونه‌های الکلایژن، به گونه‌های پسود و مونس، اشرشیا کلی با صفات ارثی جدید و تعدادی از دسته فیلامنتوس‌ها وقتی با شرایط نامساعد کمبود مواد غذایی مواجه می‌شوند پلیمرها یا کوپلیمرها را به شکل یک ذخیره کربنی درون سلولی در خود جمع می‌کنند. پلیمرهای استخراج شده و تغییر یافته دارای چند خاصیت هستند که با پلاستیک‌های کاربردی معمولی بنام ترموپلاستیک قابل مقایسه است. این خاصیت‌ها عبارتند از خاصیت ارتجاعی و کشش در برابر حرارت. همچنین در برابر آب ۱۰۰ درصد عایق می‌باشند.

هزینه‌های بالای تولید، کاربرد گسترده PHAS را با مشکل مواجه کرده است.

در دهه گذشته تلاش‌های زیادی برای تکمیل فرآیند تولید PHAS و استفاده کمتر از مواد خام گران قیمت انجام شده است. علیرغم این کوشش‌ها، هزینه رایج PHAS هنوز در حدود ۶ برابر هزینه پلاستیک‌های معمولی می‌باشد.

قبل از کاربرد گسترده این پلاستیک‌ها در بسته‌بندی و محصولات یکبار مصرف معمولی لازم است که قیمت‌ها به طور قابل توجهی کاهش یابد. مطالعات قبلی در مورد باکتری‌های لجن فعال موجود در سیستم‌های تصفیه فاضلاب که توسط چوآ<sup>۲</sup> انجام گرفته است نشان می‌دهد که کاربرد PHAS در زمینه ذخیره‌سازی پلیمرها بر اساس یک زوج مخصوصی از نسبت‌های C:N در راکتور مایع است. این به معنای گامی بلند در جهت کاهش قیمت PHAS است.

این مقاله روش جدیدی را شرح می‌دهد که بر طبق آن باکتری‌های لجن فعال در فرآیند تصفیه فاضلاب و ترکیبات آلی گزنویوتیک موجود در فاضلاب شیمیایی صنعتی را به PHAS تبدیل می‌کنند. به این طریق می‌توان هزینه‌های تولید PHAS را



R = گروه n-alkyl از قطعه اتم‌های زنجیره‌ای ناپایدار

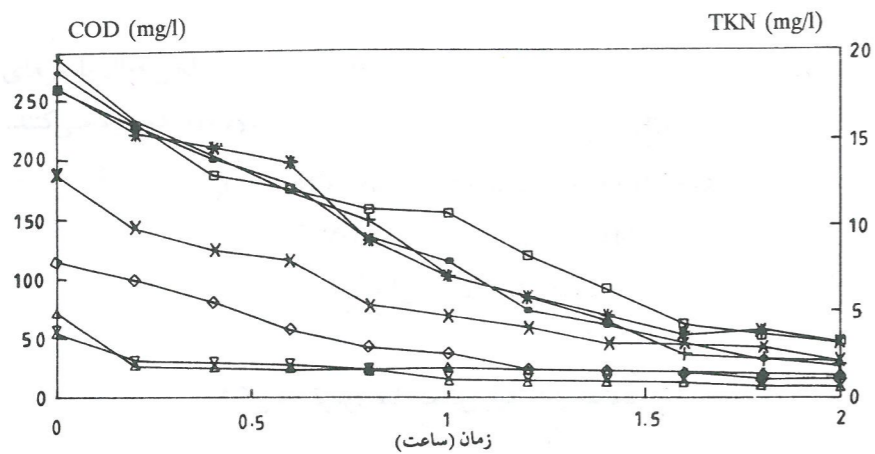
1- PHAS

2- Chua

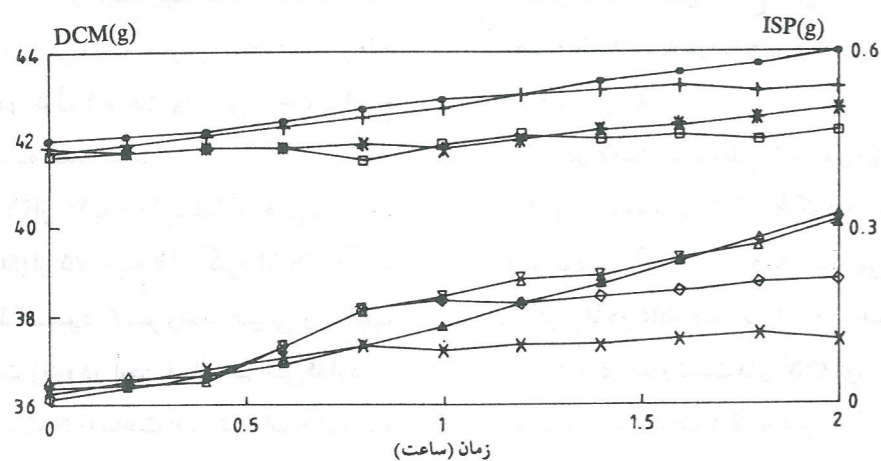
n	گروه عامل	اعضای خانواده PHA
۱	متیل	۳-HB, ۳ - hydroxybutyrate
۱	اتیل	۳-HV, ۳ - hydroxyvalerate
۱	ان - پروپیل	۳-EC, ۳ - hydroxycaproate
۱	ان - بوتیل	۳-HH, ۳ - hydroxyheptanate
۱	ان - پنتیل	۳-HO, ۳ - hydroxyoctanoate
۱	ان - هگزیل	۳-HN, ۳ - hydroxynonanoate
۱	ان - هپتیل	۳-HD, ۳ - hydroxydecanoate
۱	ان - اکتیل	۳-HVD, ۳ - hydroxyundecanoate
۱	ان - نانیل	۳-HDD, ۳ - hydroxydodecanoate
۲	متیل	۴-HV, ۴ - hydroxyvalerate
۲	اتیل	۴-HC, ۴ - hydroxycaproate

شکل ۱- فرمول‌های مختلف پلی هیدروکسی آلکانواتها و کوپلیمرها

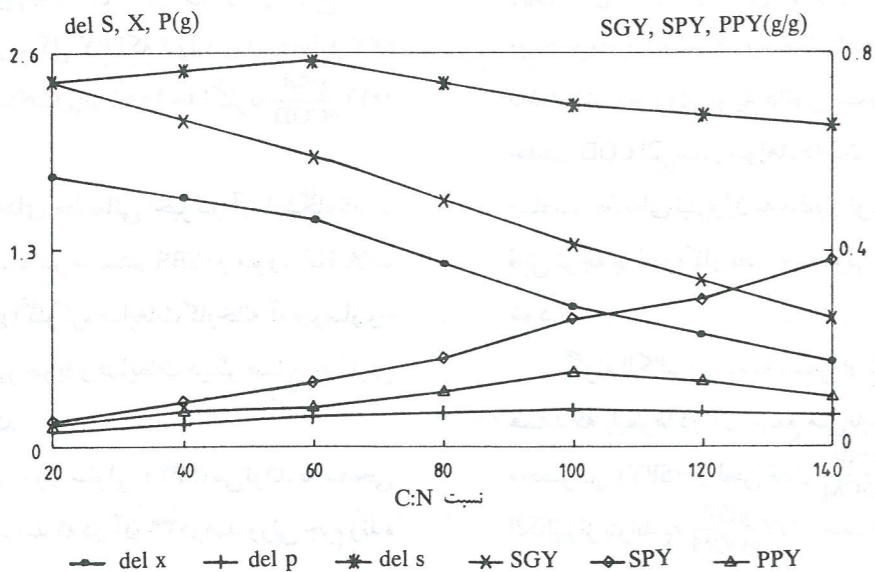




شکل ۱- مصرف کربن و نیتروژن بر اساس نسبت‌های مختلف C:N



شکل ۲- رشد سلولی و تجمع پلیمر بر اساس نسبت‌های مختلف C:N



شکل ۳- تولید پلیمر بر اساس نسبت‌های مختلف C:N

کاهش داد. ضمناً میزان لجن اضافی تولید شده در تصفیه فاضلاب نیز کاهش می‌یابد.

### روش‌ها

لجن فعال حاصل از فرآیند تصفیه فاضلاب شهری در ۲۰ آزمایشگاه در یک SBR ۲۰ لیتری (راکتور بسته متوالی) کشت شد تا فرآیند شیمیایی فاضلاب مورد بررسی قرار گیرد. متوسط فاضلاب با COD حدود ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر که شامل گزنویوتیک منشعب از اسیدهای کربوکسیک و کتونها بود مورد استفاده قرار گرفت. برای این که سنتر نرمال با کتری‌ها در لجن فعال انجام گیرد، با استفاده از آلومینیوم کلراید به میزان ۰/۴۸ در میلی‌گرم در لیتر، نسبت جرمی C:N در حد ۲۰ نگه داشته شد. راکتور بهره‌برداری شده به صورت بسته متوالی با زمان واکنش حداکثر ۲ ساعت و نسبت واکنش به تماس ۰/۷۵ مورد استفاده قرار گرفت. میزان بارگذاری در حالت بسته  $\frac{\text{mgCOD}}{\text{mgMLVSS.day}} = 0.13 \pm 0.25$  تنظیم گردید و متوسط راندمان کاهش مواد آلی ۹۰٪ به دست آمد. جزئیات سیکل عملیات و اجزاء سیستم به وسیله هو<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۷ شرح داده شده است. وقتی راکتور بر طبق شرایط تثبیت شده کار می‌کند غلظت نیتروژن در فاضلاب به طور تصاعدی کاهش می‌یابد و در نتیجه نسبت جرمی C:N به ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ می‌رسد که این نسبت‌های مختلف در اثر کمبود مواد غذایی ایجاد می‌شود. وقتی که SBR در شرایط پایدار به هر کدام از نسبت‌های C:N فوق رسید نمونه‌ها به صورت دوره‌ای در یک سیکل بهره‌برداری به صورت تصادفی جمع‌آوری شدند. این نمونه‌ها از نظر COD - TKN - DO - pH رشد سلولی (جرم خشک سلول)<sup>۲</sup> آنالیز شدند. تکنیک‌های آنالیز بر طبق استاندارد متد انجام شدند.

توده‌ای از پلیمرهای ذخیره شده درون سلولی<sup>۳</sup> توسط فرئون (۱، ۱، ۲ - تری فلئوئورو - ۱، ۲، ۲ - تری کلرواتان) از حجم سلول استخراج شده و اندازه‌گیری گردید.

روش تقطیر و ته‌نشینی حلال‌های آلی برای پلیمرهای ذخیره‌ای درون سلولی مطابق آن چیزی است که سوزوکی و همکاران<sup>۴</sup> شرح داده و توسط یو و همکاران<sup>۵</sup> تغییر و اصلاح

شده است.

ترکیب آنالیز شده و ISPS استخراج شده توسط روش گاز کروماتوگرافی میکروسکوپی (GC) آنالیز شده و همچنین مشاهده میکروسکوپی انواعی از میکروب‌ها که پلیمرها را در خود ذخیره می‌کردند در سال ۱۹۹۸ توسط یو توضیح داده شده است.

### نتایج و بحث

SBR با کاهش مؤثر مواد آلی در حدود ۹۰ درصد برای مدت ۳ ماه مورد بهره‌برداری قرار گرفت.

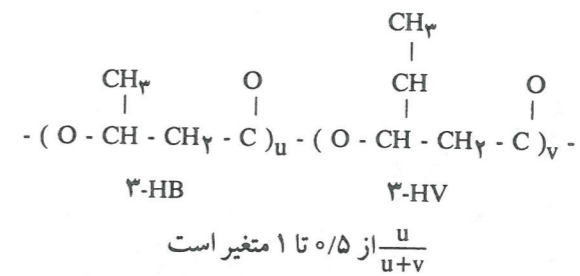
کربن آلی باقیمانده در (COD) و غلظت نیتروژن (TKN)، بر C:N رشد سلولی (DCM) و تجمع پلیمر (ISP) در ۲ ساعت زمان واکنش سیکل عملیات SBR بر حسب نسبت‌های مختلف C:N در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در نسبت C:N ۲۰، هم COD و هم TKN کاهش پیوسته را نشان می‌دهند.

نمودار DO با واکنش‌های میکروبی در طول راکتور مطابق است. pH مایع راکتور کنترل نشده، بین ۶/۵-۷ متغیر است. رشد توده سلولی به اندازه ۱/۸ گرم DCM و تجمع به اندازه ۰/۱ گرم ISP در یک راکتور به دست آمد.

وقتی که نسبت C:N به ۴۰، ۶۰ و ۱۸۰ افزایش یافت مشاهدات مشابهی بر روی روند COD، TKN، DO و pH باقیمانده انجام شد. اگر چه رشد شبکه سلولی به ۱/۵ گرم DCM کاهش یافت ولی تجمع پلیمرهای ذخیره‌ای به ۰/۲ گرم ISP افزایش یافت. وقتی نسبت C:N به ۱۰۰ افزایش یافت TKN در ۳۰ دقیقه اول واکنش بدون کاهش باقی ماند و راکتور وارد شرایط کمبود N در کل زمان باقیمانده واکنش شد. رشد توده سلولی به میزان ۰/۹ گرم DCM اساساً کمتر از مواقعی بود که نسبت بیشتر از C:N پایین‌تر از این مقدار قرار داشت. با این وجود پلیمر ذخیره درون سلولی به میزان ۰/۲۵ گرم ISP بیشتر از مواقعی بود که میزان C:N زیر ۸۰ قرار داشت. بعد از گذشت ۳۰ دقیقه از واکنش، نسبت تجمع پلیمرها به میزان زیادی افزایش

1- Ho (1997) 2- DCM  
3- ISPS 4- Suzuki et. al (1985)  
5- Yu et. al (1998)





شکل ۵- فرمول ساختمانی پلیمرهای استخراج شده.

یافت. این زمانی بود که راکتور وارد شرایط کاهش N شده بود. وقتی نسبت C:N به ۱۲۰ و ۱۴۰ افزایش یافت رشد توده سلولی به ۰/۷ - ۰/۶ گرم تغییر یافت و تجمع پلیمر بدون تغییر ماند. در شکل ۴ کل مواد آلی مصرفی، رشد سلولی، تجمع پلیمرها و راندمان رشد و تولید در طول ۲ ساعت واکنش بر حسب انواع نسبت‌های C:N نشان داده شده است.

افزایش نسبت C:N از ۲۰ به ۱۴۰ باعث کاهش راندمان رشد مخصوص (SGY) از ۰/۷۵ به ۰/۲۶ گرم DCM به گرم COD شد. شرایط کمبود N بر رشد طبیعی و ترکیب سیئوپلاسمی موجودات زنده در لجن فعال اثر می‌گذارد. از طرف دیگر افزایش نسبت C:N باعث افزایش راندمان ویژه پلیمر یا بخش پلیمر دورن سلولی (SPY) از ۰/۰۵ به  $\frac{\text{gISP}}{\text{gDCM}} \cdot 0.39$  می‌شود. شرایط نامساعد کمبود N باعث می‌شود که میکروارگانیزم‌ها در لجن فعال، ذخیره کربن درون سلولی را بیشتر به شکل پلیمرهای ذخیره‌ای در خود جمع کنند. راندمان تولید پلیمر کل PPY که تولیدی از SGY و SPY می‌باشد بر حسب نسبت C:N برابر با ۱۰۰ حداکثر به  $\frac{\text{gISP}}{\text{gCOD}} \cdot 0.11$  می‌رسد.

این نتایج با یافته‌های مطالعاتی اخیر در آزمایشگاه که در آن یک راهکار مشابه در سیستم SBR در مورد فاضلاب مصنوعی که شامل ۴ g/L گلوکز، ضایعات کارخانه آبجوسازی، ضایعات کارخانه تخمیر سویا و ضایعات دیگر صنایع غذایی است قابل مقایسه است.

نسبت پلیمرهای درون سلولی (SPY) می‌تواند به سطحی بالاتر از  $\frac{\text{gISP}}{\text{gDCM}} \cdot 0.39$  برسد که در آن ۳۹ درصد وزنی جرم زنده

لجن فعال از پلیمرها ساخته شده است. اگر این بخش برای استفاده به عنوان پلاستیک‌های قابل تجزیه بیولوژیکی استخراج شود تصفیه و دفع لجن اضافی تولید شده از فرایند تصفیه فاضلاب به درصدهای مشابهی با مطالعات آزمایشگاهی کاهش می‌یابد.

در فاضلاب شیمیایی تغییر در میزان C:N به میزان بیشتر از ۲۰ درجات مختلفی از شرایط کمبود نیتروژن در لجن فعال را بوجود می‌آورد و اثر قابل توجهی روی کاهش کارآیی ارگانیزم‌ها در SBR ندارد. راندمان حذف COD بیشتر از ۹۰ درصد برای تمام نسبت‌های C:N مورد تحقیق به دست آمده است. این مشاهدات با نظریه قابل قبول عمومی که نسبت C:N در فرآیندهای لجن فعال برای توان ایجاد سنتز سلولی میکروبی نرمال را در حد ۲۰ می‌داند مغایرت دارد. کمبود نیتروژن باعث آکندی رشد میکروبی می‌شود که این نیز به نوبه خود اثر منفی بر روی عمل تصفیه مواد آلی در فرآیند دارد. این موضوع باید مورد توجه باشد که اگر وضعیت کمبود نیتروژن در SBR ادامه داشته باشد، بر روی تولید دائمی پلیمر، رشد سلول و راندمان حذف COD اثر منفی خواهد داشت. بنابراین باید یک برنامه متناوب تغذیه‌ای نیتروژن به منظور تولید بهینه پلیمر بدون اثر قابل توجه بر نحوه کار تصفیه معمولی فرآیند لجن فعال ایجاد شود.

گونه الکلایرونز دسته مهمی از باکتری‌ها در لجن فعال هستند که پلیمرها در آن تجمع می‌یابند. وقتی راندمان پلیمر مخصوص (SPY) در لجن فعال  $\frac{\text{gISP}}{\text{gDCM}} \cdot 0.39$  می‌شود که گونه الکلایرنز بتواند به  $\frac{\text{gISP}}{\text{gDCM}} \cdot 0.7$  برسد. این مقدار قابل مقایسه با

یافته‌های یو و شیمیزو<sup>۱</sup> می‌باشد که از فرایندهای تخمیری تک محیطی یا خالص استفاده کرده‌اند. مواد پلیمری به وسیله گاز کروماتوگرافی آنالیز شده‌اند که شامل پلی بتا هیدروکسی بوتیریک اسید و کوپلیمرهایی از بتا هیدروکسی بوتیریک اسید (۳-HE) و بتا هیدروکسی والریک اسید (۳-HV) می‌باشد. (جزئیات آنالیز نتایج کروماتوگرافی توسط یو و هو توضیح داده شده است). فرمول ساختمانی این کوپلیمرها در شکل ۵ نشان داده شده است.

اگر در کوپلیمرها U و V به ترتیب معادل بخش مولی ۳-HB و ۳-HV باشد  $\frac{u}{u+v}$  بین ۰/۵ تا ۱ برای انواع مختلف محصولات استخراج شده متغیر است. میزان  $\frac{u}{u+v}$  از پلیمریک اثر آشکار بر روی خواص فیزیکی مانند نقطه ذوب حرارتی و خواص شیمیایی مانند خاصیت انبساط، انقباض، فشار، قدرت انعطاف و خمیدگی دارد. این خاصیت‌ها به تفصیل توسط چوا<sup>۲</sup> شرح داده شده است.

### نتیجه گیری

در یک سیستم تصفیه شیمیایی فاضلاب،

### منابع و مراجع

- American Public Health Association. (1992). " *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ", 18th ed. APHA. Washington, USA.
- Chang, H.N. (1994). " *Biodegradable Plastics and Biotechnology*. In : *Better Living Through Innovative Biochem*. " Eng, Teo, W.K. (ed), Singapore University Press, PP. 24-30.
- Chua, H., Yu, P.H.F., Xing, S. and Ho, L. Y. (1995a ). " *A Critical Review of Plastic - Waste Generation and Management in Hong Kong* ", J. Plast. Technol., 18, PP. 132-148.
- Chua, H., Yu, P. H. F., Xing, S. and Ho, . Y. (1995b). " *Potential of Biodegradable Plastics as Environmentally - Friendly Substitutes for Conventional Plastics in Hong Kong* ", Presented in 17th Symposium on Biotech for Fuels and Chemical, Colorado, USA.
- Chua, H., Yu, P.H.F. and Ho, L.Y. (1997a). " *Coupling of Wastewater Treatment with Storage Polymer Reduction* ", Appl. Biochem. Biotechnol., 63, PP. 627-635.
- Chua, H., Yu, P.H.F. and Ho, L.Y. (1997b). " *Recovery of Biodegradable Polymers from Food - processing Wastewater Activated Sludge System* ", J. IES, 37 (2), PP. 9-13.
- Chua, H., Yu, P.H.F. and Ma, C.K. (1999). " *Accumulation of Biopolymers in Activated Sludge Biomass* ", Appl. Biochem. Biothech., ( in press ).

میکروارگانیزم‌های لجن فعال پلیمرهای ذخیره‌ای را بر حسب شرایط کمبود نیتروژن ذخیره می‌کنند. راندمان تولید پلیمر مخصوص با افزایش C:N افزایش یافته در حالی که راندمان رشد مخصوص با افزایش C:N کاهش می‌یابد. نسبت اِپتیمم C:N=۱۰۰ بالاترین راندمان تولید پلیمرها را فراهم می‌کند. مقادیر مختلفی از نسبت‌های C:N تأثیر مؤثری بر کارآیی تصفیه ندارد.

این تکنیک جدید برای تولید و بازیافت PHAS از لجن فعال، یک منبع ارزان پلاستیک‌های قابل تجزیه بیولوژیکی را فراهم کرده و در عین حال مقدار اضافی لجن را که نیاز به تصفیه بیشتر دارد کاهش می‌دهد.

گونه‌های الکلایرنز دسته مهمی از باکتری‌ها می‌باشند که پلیمرها را در خود ذخیره می‌کنند. مواد پلیمری تجمع پذیر اساساً پلی بتا هیدروکسی بوتیریک اسید و کوپلیمرهایی از بتا هیدروکسی بوتیریک اسید (۳-HB) و بتا هیدروکسی والریک (۳-HV) است.

1- Chua et. al (1999)



- Ho, L. (1997). " *Synthesis of Environment - Friendly Material* ", Master Thesis, Hong Kong Polytechnic Univ.
- Hong Kong and Kowloon plastic Product Merchants United Association (1992). " *Plastics and the Environment* ", Hong Kong Plast. Ind. Bull., 33, December Issue.
- Hong Kong Environmental Protection Department. (1998). " *Information on Waste Facilities* ", Environment Hong Kong 1998, Hong Kong Government Press, PP. 68-75.
- Hong Kong Government Industry Department. (1991). " *International Market and Local Analysis* ", Techno - Economic and Market Research Study of Hong Kong's Plst. Ind. 1990-1991,1
- Hong Kong Government Industry Department. (1993). " *Hong Kong Manufacturing Industries* ", Hong Kong Government press.
- Huang, T., Zhao, J. Q. and Shen, J.R. (1991). " *The Progress in Microbiodegradable Plastics* ", plast. Ind. 4, PP. 23-27.
- Industries - Anzeiger. (1987). " *Biologically Produced Polymer* ", PP. 109,26.
- Kumagai, Y. (1992). " *Enzymatic Degradation of Binary Blends of Microbial Poly (3-hydroxybutyrate) with Enzymatically Active Polymers* ", Polym. Degrad. Stab., 37, PP. 253-26.
- Lee, S.Y., Chang, H. N. and Chang, Y. K. (1994). " *Comparison of Escherichia Coli Strains for the Synthesis of poly-3-hydroxybutyric Acid in Various Media* ", In : Better Living Through Innovative Biochem. Eng., Teo, W.K. (ed), Singapore University Press, PP. 53-55.
- Pelissero, A. (1987). " *Update on Biodegradable Plastic Materials* ", Imballaggio, PP. 38, 54.
- Pfeffer, J.T. (1992). " *Recycling, Solid Waste Managt* ", Eg., PP. 72-84.
- Shimizu, H., Sonoo, S., Shioya, S. and Suga, K. (1992). " *Production of Poly - 3-hydroxybutyric Acid (PEB) by Alcaligenes Eutrophus H16 in Fed - Bactch Culture* ", In : Biochem. Eng. 2001, Furusaki et al. (eds), Springer - Verlag, Tokyo, PP. 195-197.
- Shirai, Y., Yamaguchi, M., Kusubayashi, N., Hibi, K., Uemura, T. and Hashimoto, K. (1994). " *Production of Biodegradable Co-Polymets by Fed - Batch Culture of Photosynthetic Bacteria* , In : Better Living Through Innovative Biochem., Eng., Teo, W. K. (ed), Ingapore Niversity Press, PP. 263-265.
- Suzuki, T., Mori, H., Yamane, T. and Shimizu, H. (1985). " *Automatic Supplementation of Minerals in Fed- Batch Culture to High Cell Mass Concentration* ", Biotechnol. Bioeng., PP. 27, 192-201.
- Young, R. J. (1981). " *Synthesis of Polymers* ", In : Introduction to Polymers, Chapman and Hall, New York, PP. 9-85.
- Yu, P., Chua, H. and Ho, L. Y. (1996). " *Microbial Synthesis of Biodegradable Plastics* ", Proc. Asia - Pacific Conf. Sustainable Energy & Env. : Technol., Greanfield, P. (ed.), Singapore, PP. 623-630.
- Yu, P., Chua, H. and Huang, A. L. (1997). " *Newly Developed Biological Packaging Material*. J. China Food Ind., 28, PP. 33-35.
- Yu, P., Chua. H., Huang, A.L., Lo, W. and Chen, G. Q. (1998). " *Conversion of Food Industrial Waste into Bioplastic* ", Appl. Biochem. Biotech., 70, PP. 603-14.
- ★ - Chua, H. and Yu, P.H.F. (1999). " *Production of Biodegradable Plastics from Chemical Wastewater - A Novel Method to Reduce Excess Activated Sludge Generated from Industrial Wastewater Treatment* ", Wat. Si. Teh., Vol. 39, No. 10-11, PP. 273 - 280.