

研究简报

生物降解塑料改性配方设计与建议

杨 青¹, 徐海军^{2*}, 李兆奇¹

(1. 中化学科学技术研究有限公司, 北京 100088; 2. 唐山旭阳化工有限公司, 唐山 063000)

摘要:介绍了生物降解塑料常用树脂和助剂, 结合吹塑、注塑和挤出等不同加工方法, 分析了几种生物降解塑料改性配方, 并对生物降解塑料配方的设计与建议进行了阐述。

关键词:生物降解塑料; 配方; 改性

引言

十四五时期“白色污染”治理要取得明显成效。作为白色污染全链条治理的重要一环, 生物降解塑料可大幅降低传统塑料向环境泄漏的风险, 是防治白色污染的重要路径。

生物降解塑料可在土壤、海水、淡水、堆肥等环境条件下, 被自然界的微生物转换成二氧化碳(CO₂)或/和甲烷(CH₄)、水(H₂O)及其所含元素的矿化无机盐, 是可以完全降解的一类塑料。

目前市场上生物降解产品主要有聚乳酸(PLA)、聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBAT)、聚羟基烷酸酯(PHA)、聚碳酸亚丙酯(PPC)、聚己内酯(PCL)等。不同的生物降解产品在性能上各具特点、各有侧重。在实际使用过程中通常对生物降解树脂进行改性。没有经过充分改性的可降解材料使用范围相对有限, 经过改性的生物降解塑料可有效达到合适的生产要求并增加材料的应用范围。生物降解树脂改性的方法一般有生物改性、化学改性及物理改性等方法。生物改性较为常见的是在发酵的过程中引入羟基烷酸等结构单元, 生成不同链段组合的聚合物。化学改性一般通过化学反应生成接枝、嵌段等聚合物, 改善可降解材料的物理化学性能。物理改性通过调整不同的共混组分及其比例, 对可降解材料的性能进行调控。这些改性方法中, 生物改性法局限性较大、成本较高。化学和物理改性方法较为常见, 尤其是物理改性方法简单易行、成本低廉。在实际使用过程中, 化学改性和物理改性经常结合使用, 针对材料的性能、选用不同的助剂按照不同配比设计生物降解树脂改性配方, 改善生物降解材料的性能。

本文主要从生物降解塑料的选材、加工和应用要求等方面介绍了生物降解塑料改性配方现状, 提出生物降解塑料配方设计的一些建议。

1 生物降解塑料改性配方组分

生物降解塑料包含树脂和助剂两部分。进行生物降解塑料改性配方设计时, 需要了解不同的树脂和助剂在配方中的特性和用途, 根据加工和应用需求, 有针对性地选择树脂和助剂。

1.1 生物降解树脂

生物降解塑料的基体是树脂, 树脂对生物降解塑料的性能起着基础支撑作用。表 1 给出了目前常用的生物降解塑料的树脂及其各自的特点^[1~14]。

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.11.006

收稿: 2021-09-28; 修回: 2021-12-12;

* 通讯联系人: 徐海军, 男, 硕士研究生, 主要从事醇酸树脂、不饱和聚酯和可降解材料等生产和改性技术研究工作。
E-mail: 1332999178@qq.com.

表 1 用于生物降解塑料的各种常用树脂^{*}

Table 1 Commonly used resins for biodegradable plastics

序号	种类	熔点 (℃)	拉伸强度 (MPa)	断裂伸长率 (%)	特性
1	聚(对苯二甲酸-co-己二酸丁二醇酯),PBAT	120	18	750	延展性好,结晶性差,拉伸及熔体强度低 ^[1~3]
2	聚丁二酸丁二醇酯,PBS	84	38	410	力学性能较好,结晶度偏高,熔体强度低 ^[1,3~5]
3	聚乳酸,PLA	210	60	6	拉伸强度高,耐热性较差,性脆 ^[1,3,6,7]
4	聚羟基烷酸酯,PHA	145	30	10	结晶性高,加工黏度较大,加工窗口较窄 ^[1,3,8,9]
5	聚碳酸亚丙酯,PPC	无定形聚合物	13	650	对氧和水阻隔性好,力学性能较差,玻璃化温度 30~40 ℃,分子链柔韧 ^[1,10~12]
6	聚己内酯,PCL	60	20	300	结晶性高、熔点低,生物相容性较好 ^[1,13,14]

^{*} 备注:相同树脂的不同牌号性能具有差异,表中数据仅供参考(表 1 中的树脂牌号为,PBAT:BASF, Ecoflex F Blend C1200;PBS:Mitsubishi Chemical Corporation *via* Helian Polymers BV, GS PlaR FD92WN;PLA:Nature Works LLC, 2002D;PHA:Nature Plast, PHI 002;PPC:南阳中聚天冠公司;PCL:Perstorp Holding AB, Capa 6500)。

通过表 1 可以看出,不同的生物降解树脂在性能有较大差异。PBAT 具有较好的韧性和热稳定性,但强度相对较低,制品的光泽性一般;PLA 结晶性较好,有良好的耐热性和力学性能,但是韧性较差,材料脆性大;PBS 与 PBAT 相比,在力学性能上有提高,但韧性稍差于 PBAT;PPC 是一种非晶的热塑性聚合物,阻隔性能、生物相容性及抗冲击性较好,呈现无定形状态,透明性好,但玻璃化转变温度低、耐温性能差;PCL 具有较好的生物相容性和加工性能,但熔点低,耐热性一般。针对不同生物降解树脂性能的差异,在进行配方设计时,通常根据加工和应用要求,采用不同生物降解树脂共混的方法进行改性。

1.2 助剂

改性的目的是克服树脂原有的缺点,巩固和发挥其原有的优点。一般改性配方的设计主要围绕改善其加工性能和应用性能两方面进行的,通过添加助剂使其加工和应用性能达到最佳状态。生物降解塑料改性配方常用的助剂有成核剂、扩链剂、抗水解稳定剂、增塑剂、熔体增强剂以及一些传统助剂等,如表 2 所示。

通过表 2 可以看出,生物降解塑料常用的助剂种类繁多,不同的助剂在配方中发挥着不同的作用。在进行配方设计时,助剂的选用通常要参考加工方法和应用要求^[15~38]。因此,助剂可以按照改善生物降解塑料加工性能和改善生物降解塑料使用性能两大类进行区分和选择。表 2 中用于生物降解塑料加工的助剂有:扩链剂、交联剂、增塑剂、润滑剂等。这类助剂通常在生物降解塑料加工过程中发挥作用,影响熔体流动和熔体强度,降低加工难度。用于改善生物降解塑料使用性能的助剂有:抗水解稳定剂、抗氧化剂、紫外线吸收剂、阻燃剂、抑菌剂等。这类助剂通常在生物降解塑料使用过程中发挥作用,影响生物降解塑料的老化和功能性。因为这类助剂主要在生物降解塑料应用的环境中发挥作用,有时也将这类助剂作为环境稳定助剂使用。还有一类助剂介于加工助剂和环境稳定助剂之间,这些助剂的作用发挥主要发生在加工过程中,但助剂所带来的性能体现大多集中在应用环境中。例如成核剂、填充剂、界面改善剂等。在进行配方设计时,根据配方改性的目的合理区分和选用助剂。

2 生物降解塑料配方设计与建议

加工、性能、成本是配方设计关注的三大因素。这三大因素与选材、加工方法、应用环境之间存在复杂的内在联系。在设计配方时应较好地了解树脂、助剂的特性,加工和应用环境的要求,以作为设计配方的主要依据。以下将结合已公开的一些生物降解塑料配方,尝试阐述生物降解塑料配方设计的方法。

表 2 生物降解塑料常用助剂
Table 2 Additives for biodegradable plastics

助剂	典型种类	效果
成核剂	侧重改善耐热与机械性能:酰肼类 ^[15] 、酰胺类 ^[16] 、稀土 β 类 ^[17] 等; 侧重改善透明性:山梨醇类 ^[18] 、松香类 ^[18] 、有机磷酸金属盐类 ^[19] 等。	提高结晶度、增加耐热性和机械性能;调控晶粒尺寸小于可见光波长时,可提高材料透明性
扩链剂 ^[20]	环氧官能化类(巴斯夫 ADR 系列、山西化工研究所 KL-E 系列、科莱恩 CESA-EXTEND)、异氰酸酯类、丙烯酸酯类(ACR)、噁唑啉类	提高分子量、增加熔体强度、改善力学性能,增加不同生物降解树脂共混相容性
引发与交联剂	双(叔丁基二氧异丙基)苯(BIBP) ^[21] 、过氧化二异丙苯(DCP)、三烯丙基异氰脲酸酯(TAIC) ^[22]	促使分子链形成三维网络结构,改善耐热及力学性能
抗水解稳定剂 ^[20]	碳化二亚胺、异氰酸酯类、噁唑啉类、环氧类、酸酐类(部分也作为扩链剂使用)	阻碍生物降解塑料水解反应,防止因水解产生降解断链
增塑剂 ^[20]	柠檬酸酯类、聚乙二醇(PEG) 等醚酯类、磷酸酯类、异山梨酸二酯类、蓖麻油衍生酯类、环氧类	增加柔韧性和熔体流动性,提高断裂伸长率
润滑剂(开口剂、分散剂)	脂肪酸类 ^[23,24] 、金属皂类 ^[25] 、甘油 ^[25] 、低分子量聚合物(PE 蜡) ^[25] 、石蜡 ^[26] 等	有内外润滑剂之分,内润滑剂可渗入树脂,减小分子链间相互作用,降低链间摩擦力;外润滑剂可减小树脂与加工设备表面之间的摩擦,有些也具有降低薄膜之间粘连的作用。
填充剂	碳酸钙 ^[27] 、蒙脱土 ^[28] 、滑石粉、硅藻土 ^[29] 、灰石 ^[30] 、二氧化硅 ^[31] 、淀粉 ^[32] 等	降低塑料成本,有些能够增加塑料的力学性能和结晶性能
界面改善剂	硅烷偶联剂 ^[33] 、钛酸酯偶联剂 ^[33] 、铝酸酯偶联剂 ^[34] 等	增加填料与树脂之间的结合作用,有助于填料分散
其他助剂	抗氧化 ^[35] 、光稳定剂(紫外线吸收剂) ^[36] 、阻燃剂 ^[37] 、抑菌剂 ^[38] 等	赋予塑料良好的抗老化性能,如抗氧化剂、紫外线吸收剂等;有些可赋予塑料功能性,如阻燃、抑菌等

2.1 吹塑料配方

目前常见的吹塑料配方较多采用 PBAT 树脂作为基础树脂进行改性。为了克服 PBAT 拉伸强度及熔体强度偏低的问题,配方设计时通常添加 PLA、PPC、PCL 树脂与 PBAT 树脂进行共混,PLA 可增加 PBAT 的强度、PPC 与 PBAT 相容性好,PCL 可提高吹塑膜的水氧阻隔性。较为常见的是添加 PLA 树脂,以改善吹塑膜的强度。

在加工过程中,PBAT、PLA 共混相容性较差,加之其分子链中含有较多的羟基、羧基等反应性官能团,这些反应官能团在加工过程中容易发生热降解,这些因素不利于改善熔体强度。因此,进行吹塑料配方设计时考虑添加扩链剂。例如环氧官能化的 ADR 扩链剂、甲苯二异氰酸酯扩链剂等。这些扩链剂同时也会起到增容的作用,改善 PBAT 和 PLA 之间的相容性。一般情况下,吹塑工艺要求塑料的加工流动性不高于 15 g/10min,熔体流动性过高或过低,均对吹膜稳定性产生不良影响。在进行配方设计时可根据具体情况,考虑添加增塑剂、润滑剂等助剂,对熔体流动性进行进一步的调配,以满足吹塑工艺要求。另外,PBAT 等生物降解塑料的吹膜开口性较差,对于含有 PBAT 树脂的配方设计,可考虑添加少量开口剂。

对于生物降解塑料的使用,有较多的配方基于降低生物降解塑料的成本的考虑,会添加填充剂,如碳酸钙、滑石粉、木粉等填料。为了提高填料的填充量,同时能够使填料较为均匀地分散在树脂基体中,通常会采用偶联剂、分散剂对填料进行处理。为提高生物降解塑料的环境稳定性,一些配方中也会添加防老化助剂。

表 3 是已公开的一些生物降解吹塑料配方^[39~41]。

表 3 生物降解吹塑料配方
Table 3 Biodegradable plastic formula used for blow molding

配方 1 ^[39]			配方 2 ^[40]		配方 3 ^[41]	
	组分	用量	组分	用量	组分	用量
树脂	PBAT	60	PBAT	56	PBAT	70
	PLA	10	PPC	9	—	—
扩链剂	环氧木质素	30	—	—	ADR-4400	0.8
增塑剂	柠檬酸三丁酯	3	山梨糖醇	—	—	—
润滑剂	硬脂酸锌	2	乙撑双硬脂酸酰胺/硬脂酸钙	1/0.5	聚山梨酯	1
分散剂	—	—	—	—	聚乙烯蜡	0.5
开口剂	—	—	芥酸酰胺	0.5	—	—
抗氧化剂	—	—	—	—	抗氧化剂 1010	0.5
填充剂	—	—	淀粉/滑石粉	21/3	碳酸钙	30
界面改善剂	—	—	马来酸酐/酞酸酯偶联剂	0.315/0.084	硅烷偶联剂 FD-1106	1.9

在配方 1 侧重改善生物降解塑料的加工性能,PBAT/PLA 体系的初始熔融指数为 18.2 g/10min,对于吹塑工艺树脂流动性稍显偏大,不利于稳定吹膜,环氧木质素作为扩链剂加入,可以有效地与 PBAT 和 PLA 分子链发生扩链反应,增加体系的分子量,增强材料的熔体强度,同时将体系的熔融指数降低到 9.8 g/10min,增加了吹膜稳定性。柠檬酸三丁酯作为增塑剂能够进一步提高体系的柔韧性,硬脂酸锌具有爽滑效果,起到了开口剂的作用,能够增加 PBAT/PLA 配方体系吹膜的开口性能,同时也作为润滑剂减少熔体与设备的摩擦,有利于成型加工。配方 2 侧重改善生物降解塑料的使用性能,采用 PBAT 与淀粉共混制备吹塑薄膜,PPC 树脂具有较好的水汽阻隔性,添加 PPC 组分可以较好地改善配方塑料耐水性,可抗潮湿环境。其他助剂组分可以有效地提高树脂和填料的相容性和塑化性能。配方 3 侧重于降低生物降解塑料的成本,采用单一的 PBAT 树脂和碳酸钙填料配置吹塑料。为增加碳酸钙的填充量,配方中使用偶联剂对碳酸钙进行表面改性,以增加其在 PBAT 树脂基体中的分散性和相容性。

上述几种生物降解吹塑料配方在选材方面各有侧重,以达到改善加工性、应用性和降低成本的目的。

2.2 注塑料配方

注塑工艺一般要求材料具有较高的强度,在常见的几种生物降解树脂中 PLA 树脂具有较高的强度。多数注塑料配方中 PLA 是较为常用的基础树脂。为了克服 PLA 较脆、韧性差等问题,配方设计时通常添加 PBAT、PBS、PPC、PCL 等树脂与其进行共混,在克服 PLA 树脂缺点的同时,发挥其他树脂的加工和使用优势。

在加工过程中,注塑工艺一般要求塑料的熔融指数在 1~60 g/10min 范围,尤其薄壁注塑工艺要求熔融指数更高,可超过 60 g/min。注塑工艺对于熔体流动性和熔体强度要求较高。进行注塑料配方设计,需考虑调控配方体系的熔体流动性和熔体强度。可选择高熔融指数的树脂牌号,同时考虑采用增塑剂、润滑剂,增加熔体的塑性和流动性。采用扩链剂或熔体增强剂提高熔体强度。通常生物降解塑料在注塑过程中会产生收缩现象,存在一定的收缩率。为克服生物降解塑料注塑收缩现象,一些配方中会添加部分填料,比如滑石粉、碳酸钙等。填料的添加,可有效地降低注塑制品的收缩率,保证制品的尺寸稳定性,同时也可以降低生物降解塑料的成本。

为满足生物降解塑料注塑制品的使用性能,配方设计时也会添加防老化助剂,有些配方中会添加成核剂改善制品的透明性、耐热性及力学性能。

表 4 是已公开的一些生物降解注塑料配方^[42~44]。

表 4 几种生物降解注塑料配方
Table 4 Biodegradable plastic formula used for injection molding

配方 1 ^[42]			配方 2 ^[43]		配方 3 ^[44]	
	组分	用量	组分	用量	组分	用量
树脂	PLA	70	PLA	77.5	PLA	50
	PCL	15	PBS	10	PBAT	30
成核剂	—	—	TMC-306	1	—	—
扩链剂	—	—	—	—	ADR	0.7
增塑剂	—	—	—	—	环氧大豆油/癸二酸	2.7/0.3
润滑剂	脂肪酸酰胺(外润滑)/对叔丁基邻苯二酚(内润滑)	1/1	乙撑双硬脂酸酐	1	—	—
抗氧化剂	四[β-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸]季戊四醇酯/三[2,4-二叔丁基苯基]亚磷酸酯	1/1	抗氧化剂 1010	0.5	—	—
填充剂	滑石粉	15	滑石粉	10	竹粉	20
界面改善剂	疏丙基甲基二甲氧基硅烷	0.75	—	—	—	—

配方 1 侧重于改善生物降解注塑料加工过程中的熔体流动性, PCL 树脂熔点低, 较高温下下的熔体流动性强。PLA/PCL 体系的初始熔融指数在 16 g/min 左右, 可满足一般注塑工艺要求, 但仍不能满足薄壁注塑料对于高熔体流动性的要求。脂肪酸酰胺和对叔丁基邻苯二酚的添加, 可以有效减小树脂分子链间的作用力, 降低熔体分子链之间的摩擦, 有效提高熔体流动性, 使该塑料体系的熔体流动性由 16 g/min 提升到了 82 g/min。滑石粉的加入一方面可以克服塑料体系在注塑过程中的收缩现象, 另一方面也起到增强的作用, 改善塑料的力学性能。配方 2 侧重于改善生物降解注塑料的使用性能, 选用具有较高耐热性和强度的 PBS 树脂与 PLA 树脂共混, 同时成核剂的加入可以有效提高其结晶度, 进一步增加制品的耐热性和力学性能, 满足制品较高温度下使用仍能具备较好的机械性能。配方 3 侧重于兼顾材料成本, 选用常用的 PBAT 树脂和 PLA 树脂共混, 并选用成本低廉的环氧大豆油作为加工助剂, 选用竹粉作为填料, 配合其他助剂得到了具有优异性能的生物降解注塑料。

上述几种生物降解注塑料配方在选材方面同样各有侧重, 以达到改善加工性、应用性和降低成本的目的。

2.3 挤出料配方

不同于吹塑和注塑需要较高的熔体流动性能, 挤出料需要控制熔体流动速度在较小的范围。较高的熔体流动速率会造成塑料在挤出时流动性增加, 体系黏度降低, 严重时无法成型。一般挤出工艺要求生物降解塑料的熔体流动速度不超过 8 g/10min。较多的挤出料配方采用 PLA、PHA 等树脂作为基础树脂。PLA 是研究较为成熟的一种生物降解树脂, 常用于注塑、挤出等。PHA 熔融黏度大, 可作为挤出料的调粘树脂使用, 调控树脂熔融指数。

在生物降解挤出料配方中较为常见的是填料组分, 填料的使用会增加熔体黏度, 降低熔体流动性。在加工工程中, 常加入增塑剂增加熔体流动性, 同时为减少熔体在挤出过程中与模具等机械设备的摩擦, 可以在配方中添加少量润滑剂, 增加熔体的润滑性, 减小熔体与设备表面的摩擦, 有利于挤出成型。为增加挤出过程中的熔体强度, 较多配方中添加有交联剂, 促使熔融挤出过程中熔体分子链之间发生交联反应, 形成三维网络结构, 这也使得制品的机械性能会有较大改善。

在挤出料配方设计时, 根据使用的具体要求可以考虑添加稳定类助剂、成核剂等。

表 5 是已公开的一些生物降解挤出料配方^[45~47]。

表 5 一些生物降解挤出料配方

Table 5 Biodegradable plastic formula used for extrusion

	配方 1 ^[45]		配方 2 ^[46]		配方 3 ^[47]	
	组分	用量	组分	用量	组分	用量
树脂	PLA	60	PHA	20~80	PLA	50(63)
	PHA	24.5	PLA	2~30	PBS(PBAT)	25(25)
成核剂	—	—	季戊四醇/二十二酰胺	0.05~3/0.05~3	—	—
交联剂	—	—	2,5-二甲基-2,5-二(叔丁基过 氧化)己烷	0.05~0.5	双(叔丁基二氧 异丙基)苯	0.15(0.05)
抗水解稳定剂	化二甲胺	0.4	—	—	—	—
增塑剂	环氧大豆油	1.5	聚乙二醇	1~10		
润滑剂	乙撑双硬脂酸酐	0.6	—	—	—	—
填充剂	竹粉	12	碳酸钙	10~35	碳酸钙(滑石粉)	50(25)
界面改善剂	铝钛偶联剂 HY-133	1	—	—	—	—

配方 1 和配方 2 采用 PLA 和 PHA 共混作为基体树脂,配合增塑剂,可调节生物降解注塑料加工过程中的熔体流动性,满足挤出工艺对熔体流动性的要求。配方 2 中 PHA 树脂组分占据主导地位,其力学性能稍差于 PLA,交联剂的使用可以提高其制品的强度,以满足使用需求。配方 3 采用高填充碳酸钙可大幅降低制品成本,但大量填充碳酸钙往往会造成塑料力学性能降低,为弥补塑料力学性能的损失,配方中采用交联剂,促使树脂分子链形成三维网络结构,提升塑料力学强度。

3 总结

生物降解塑料的改性配方设计,涉及的树脂和助剂的种类多,配方多样,主要围绕满足产品使用性能、加工性能和成本要求展开。根据具体的加工方法和使用要求确定树脂、助剂的种类及其用量,在加工过程中对其性能进行调控改性。

文中介绍的改性配方只是一些常用配方,所提的配方建议也仅供技术人员在产品具体研发和生产中参考,希望对生物降解塑料研发和生产人员有所帮助。

参考文献:

[1] 谢鸿洲,卢文新,商宽祥. 化肥设计, 2020, 58(4): 1~3.

[2] 程鹏飞,刘芸,康文倩,武丹丹,黄安平,李广全. 合成树脂及塑料, 2021, 38(1): 97~102.

[3] Jost V. Express Polym Lett, 2018, 12(5): 429~435.

[4] 王纲,杨卓妮,曾静,吕天一. 广东化工, 2021,48(15):96~97.

[5] 陈丽萍,王煦怡,张蔷,王晓辉,陈佳月,岳海生. 纺织科技进展, 2018, (12): 1~6.

[6] 黄晓兰,李彩玲,刘幸琪,廖铭能,李泳,景占鑫. 工程塑料应用, 2021, 49(7): 162~166.

[7] 潘文静,白桢慧,苏婷婷,王战勇,李萍. 应用化工, 2017, 46(5): 977~981.

[8] 车雪梅,司徒卫,余柳松,王辉,陈亚精,司徒建崧,李耀,余景升,陈国强. 生物工程学报, 2018, 34(10): 1531~1542.

[9] 王琪,周卫强,杨小凡,唐堂,彭超,安泰,陈博,李义,佟毅,刘志刚,陶进,潘喜春. 当代化工, 2020, 49(12): 2795~2799.

[10] 高建,张琴,陈枫,王柯,邓华,白红伟,傅强. 高分子通报, 2013, (9): 68~75.

[11] 杨明航,王文博,郑红娟. 山东化工, 2019,48: 72~74.

[12] 张美琼,吴浩,张静,马蕊燕,何军,罗庆华. 炼油与化工, 2020, (5): 10~11.

[13] 胡雪岩,高兆营,刘慧芳. 工程塑料应用, 2015, 43(11): 108~111.

[14] Mohamed R M, Yusoh K. Trop Conserv Sci, 2016, 3888: 249~255.

[15] 李向阳,杨林柱,翟国强. 中国塑料, 2021,35(8): 146~151.

- [16] 刘小文, 徐鼎, 林强, 潘莉莎, 卢凌彬, 庞素娟. 功能材料, 2011, 42(S2): 295~298.
- [17] 张竞, 程晓春, 徐青海. 精细石油化工, 2011, 28(5): 28~31.
- [18] 张浩琴, 杨文超, 陈月铃. 工程塑料应用, 2021, 49(8): 164~170.
- [19] 张惠芳. 塑料工业, 2021, 49(2): 125~127.
- [20] 李向阳. 塑料工业, 2016, 44(9): 8~12.
- [21] Ai X, Li X, Yu Y L, Pan H G, Yang J, Wang D M, Yang H L, Zhang H L, Dong L S. Polym Eng Sci, 2019, 59(S1): 227~236.
- [22] Yang S L, Wu Z H, Yang W, Yang M B. Polym Test, 2008, 27(8): 957~963.
- [23] 王勋林, 张敬勋, 赵保才, 王英宝, 张喆. 塑料科技, 2015, 43(5): 70~72.
- [24] 刘荣亮, 冯彦洪, 潘映雪, 瞿金平, 何和智. 塑料, 2013, 42(6): 38~40.
- [25] 曹永建, 王颂, 张春花. 林业与环境科学, 2020, 36(3): 1~9.
- [26] 王仁龙. 塑料包装, 2019, 29(6): 59~64.
- [27] Rocha D B, Jessika S D C, Sueli A D O, Derval S R. J Appl Polym Sci, 2018, 135(35): 46660.
- [28] Correa J P, Bacigalupe A, Maggi J, Eisenberg P. J Renew Mater, 2016, 4(4): 258~265.
- [29] Ding Y, Zhang C, Luo C C. Amer Art Illustr, 2021, 21(1): 234~243.
- [30] 涂鸿轶, 张云飞, 黄安平, 陈振斌, 徐人威. 工程塑料应用, 2020, 48(9): 24~31.
- [31] 周志斌, 刘跃军. 高校化学工程学报, 2016, 30(6): 1411~1417.
- [32] 杨菁卉, 杨福馨, 李绍菁, 陈祖国. 功能材料, 2020, 50(9): 10075~10080.
- [33] 杨冰, 季君晖, 许颖, 张长安, 张以河, 张自强, 李玉荣. 高分子材料科学与工程, 2014, 30(4): 139~142.
- [34] 刘逸涵, 边俊甲, 潘宏伟, 杨慧丽, 张会良, 张会轩. 塑料科技, 2020, 5: 60~65.
- [35] Pukpanta P, Sirisinha K. Adv Mat Res, 2012, 1768: 126~129.
- [36] 沈华艳, 刘海露, 李发勇, 谢东, 陈骏佳. 塑料工业, 2020, 48(2): 139~143.
- [37] 俞森龙, 胡香凝, 唐飞宇, 祝晨杰, 相恒学, 周家良, 胡泽旭, 冯琦云, 朱美芳. 化工进展, 2020, 39(9): 3421~3432.
- [38] Venkatesan R, Rajeswari N. Polym Adv Technol, 2017, 28(1): 20~27.
- [39] 应汉杰, 贾运秀, 李明, 朱晨杰, 庄伟, 唐成伦, 谭卓涛, 沈涛, 柳东, 陈勇, 牛欢青, 杨朋朋, 吴菁岚, 高南, 欧阳平凯. 中国, CN 111471285 A. 2020-07-31.
- [40] 张会良, 王泽澎, 潘宏伟, 边俊甲, 贾世玲, 杨慧丽, 韩立晶, 金宝昌, 周庆海, 高凤翔, 王献红, 董丽松. 中国, CN 113214615 A. 2021-08-06.
- [41] 翁云宣, 宋鑫宇, 张婷, 陈小杰, 董广杰, 杜华. 中国, CN 111423703 A. 2020-07-17.
- [42] 曹勇民, 王少卿, 曾少华. 中国, CN 111748184 A. 2020-10-09.
- [43] 陈光泽, 戴春发, 王仕杰, 吴立丰. 中国, CN 112778726 A. 2021-05-11.
- [44] 翁云宣, 张彩丽, 宋鑫宇. 中国, CN 113150520 A. 2021-07-23.
- [45] 李进, 吴兴旺, 刘之烨. 中国, CN 111040398 A. 2020-04-21.
- [46] 约翰逊 A, 麦克拉纳汉 E, 格拉布斯三世 J B. 中国, CN 113330069 A. 2021-08-31.
- [47] 董炎明, 马兵飞, 张金龙. 中国, CN 113004669 A. 2021-06-22.

Design and Suggestion of Biodegradable Plastics Modified Compound

YANG Qing¹, XU Hai-jun^{2*}, LI Zhao-qi¹

(1. China Chemical Technology Research Institute, Beijing 100088, China;

2. Tangshan Xuyang Chemical Co., Ltd, Tangshan 063000, China)

Abstract: In recent years, non-degradable plastics have been restricted to use. Research and industrialization of completely biodegradable materials are becoming a hot topic. In this paper, the considerable factors for the design in biodegradable plastic formulas were briefly introduced. Plastic resins and additives usually used in biodegradable plastic compound were summarized. Different processing methods used for biodegradable plastic modified compound were analyzed. Suggestions for biodegradable plastic compound design were illustrated.

Key words: Biodegradable plastics; Compound; Modify