

BIODEGRADABLE PLASTICS

“馅饼”

还是

“陷阱”

关于生物可降解塑料的

10 Q&A OF BIODEGRADABLE PLASTICS

十个 Q&A

compostable



发布单位



## 撰写

Simon Wong

郑雪

## 校对

舒妍玉

## 审稿

毛达

## 设计

刘绵绵 Dancy BBM

@nidtattoo 工作室

## 发布单位



摆脱塑缚

Break Free From Plastic China

电话:020-84131316

邮箱:actionnow@btsf.org.cn

微信公众号:baituosufu0705

摆脱塑缚是通过企业、公众与政策倡导为主，以消除生活与环境中的塑料污染为目标的民间机构。



无毒先锋

官网:www.toxicsfree.org.cn

邮箱:info@szzw.org.cn

微信公众号:Toxic\_Free\_China

无毒先锋致力通过独立检测和企业倡导，为公众日常消费品去毒，以及通过培育和发展民间合作网络，推动化学品管理议题主流化。

发布时间：2020年6月8日



阿拉善SEE

SOCIETY OF ENTREPRENEURS & ECOLOGY



创绿家

有行动 就有支持

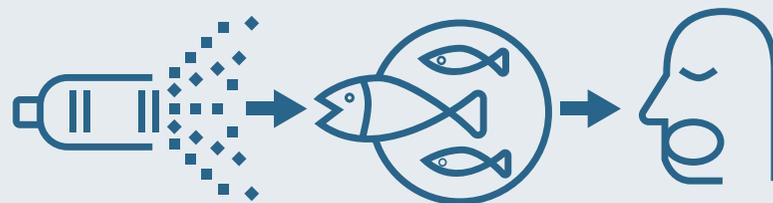
感谢北京市企业家环保基金会（阿拉善 SEE）提供资金支持。

本文内容及意见仅代表发布单位观点，与阿拉善 SEE 的立场或政策无关。

# 前言

## 为什么 我们要谈 生物可降解 塑料？

塑料 (plastic) 一词来源于希腊单词 “plastikos”，意思是指可以被塑造成任何形状的物质。<sup>[1]</sup>除了便宜之外，塑料具有良好的性能，尤其是经久耐用。在过去的半个世纪里，塑料的产量增长了 20 倍（从 1964 年的 1500 万吨到 2018 年的 3.59 亿吨），预计在未来的 20 年里还会再次翻倍。<sup>[2]</sup>



①海洋生物体内的塑料可经由食物链，最终抵达人类的餐桌

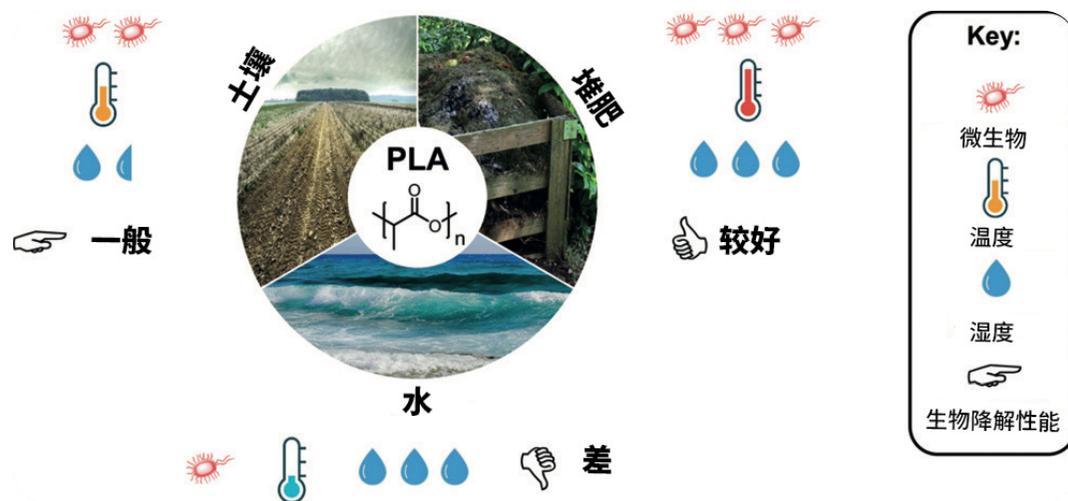
目前，约 50% 生产的塑料是一次性塑料。<sup>[2]</sup>“一次性使用”的文化，助长了塑料资源浪费。另外，垃圾管理不当导致大量废弃塑料进入自然环境。塑料垃圾在自然界中可以停留很长时间，例如塑料瓶至少为 450 年，<sup>[3]</sup>对我们的地球构成严重威胁：塑料在土壤中积累使土壤肥力下降；陆地和海洋生物误食塑料引发健康问题，甚至死亡；海洋生物体内的塑料可经由食物链，最终抵达人类的餐桌……

尽管塑料在 1950 年前后才开始大规模地生产和使用，<sup>[4]</sup> 但塑料本身难以降解，产量又增长过快的现实，使人类不得不面对一个可能持续数个世纪的环境问题。<sup>[5]</sup> 从 20 世纪 80 年代开始，科学家们着手研究塑料能否在微生物活跃的环境中，经过微生物的作用而降解消失。<sup>[6]</sup> 这类相较于普通塑料更容易被微生物转化的塑料，正是本报告所叙述的——生物可降解塑料 (biodegradable plastic)。

近年来，生物可降解塑料进入发展的黄金时期，市场份额稳定增长，为其叫好的相关报道频繁出现。然而，目前公众对生物可降解塑料的了解不足，尤其是对这种材料的局限性以及可能带来的负面影响缺少认识。

需要注意的是，“生物可降解”是一种比较笼统的说法，<sup>[7]</sup> 同一种生物可降解材料在工业堆肥或家庭堆肥等可控条件下，以及在不可控的土壤、海水等自然环境中，其生物降解性能各不相同。生物可降解塑料同样需要被回收，以特定方式妥善处置，不应被随意丢弃。

②不同的湿度、温度和微生物浓度等因素，使生物可降解塑料，如聚乳酸①，在各种环境中表现出不等的生物降解性能。



\* 资料来源：《Plastics of the Future? The Impact of Biodegradable Polymers on the Environment and on Society》

①一种常见的生物可降解塑料。

本文将聚焦于生物可降解塑料的 10 个常见问题，旨在使读者快速了解：什么是生物可降解塑料，当前推广应用这种材料还面临着什么困难，又有哪些切实可行的解决方向。

# 01

## 什么是生物可降解塑料？

当我们想认识生物可降解塑料时，常常会碰到以下几个概念：生物可降解塑料、可堆肥塑料、化石基塑料、生物基塑料、生物塑料和氧降解塑料。

### biodegradable plastic 生物可降解塑料

生物可降解塑料是指能够在细菌、真菌、藻类等自然界存在的微生物的作用下降解的塑料。在理想的条件下，生物可降解塑料被废弃后可以被微生物完全降解，生成二氧化碳、水等无害物质。<sup>[8]</sup>

### compostable plastic 可堆肥塑料

可堆肥塑料是生物可降解塑料中的一种，根据美国材料与实验协会 (ASTM) 的定义，可堆肥塑料指在堆肥①条件下进行降解，降解速率和其他可堆肥材料一致，并且不留下可见的或有毒的残留物的塑料。<sup>[9]</sup> 目前，可堆肥塑料在生物可降解塑料中发展最成熟、应用最广泛，因为堆肥处理更加可控，从而确保材料得到完全降解。

### fossil-based plastic 化石基塑料

### bio-based plastic 生物基塑料

按照塑料原料的来源不同（化石资源②或生物质资源③），塑料分为“化石基塑料”和“生物基塑料”。塑料是否可生物降解，跟塑料由哪种原料制成没有必然关系。同时，只有极少数化石基塑料可生物降解。目前的生物可降解塑料生产中，石油、天然气等化石原料的使用约占 25%。<sup>[2]</sup>

# bioplastic 生物塑料

“生物塑料”的概念比较宽泛，指塑料来源于生物质资源且 / 或可生物降解。

## oxo-degradable plastic 氧降解塑料

此外，还有一类备受争议的“氧降解塑料”。相比其他普通塑料，氧降解塑料含有促进氧化的助剂，能够促使塑料氧化并分解成碎片。但如果后续没有发生生物降解，则这种材料无法完全降解，只会成为塑料微粒④。<sup>[10]</sup>欧洲议会已经于 2019 年 6 月通过欧盟指令 (EU) 2019/904，禁止氧降解塑料制成的一次性塑料产品在欧盟成员国市场上流通。

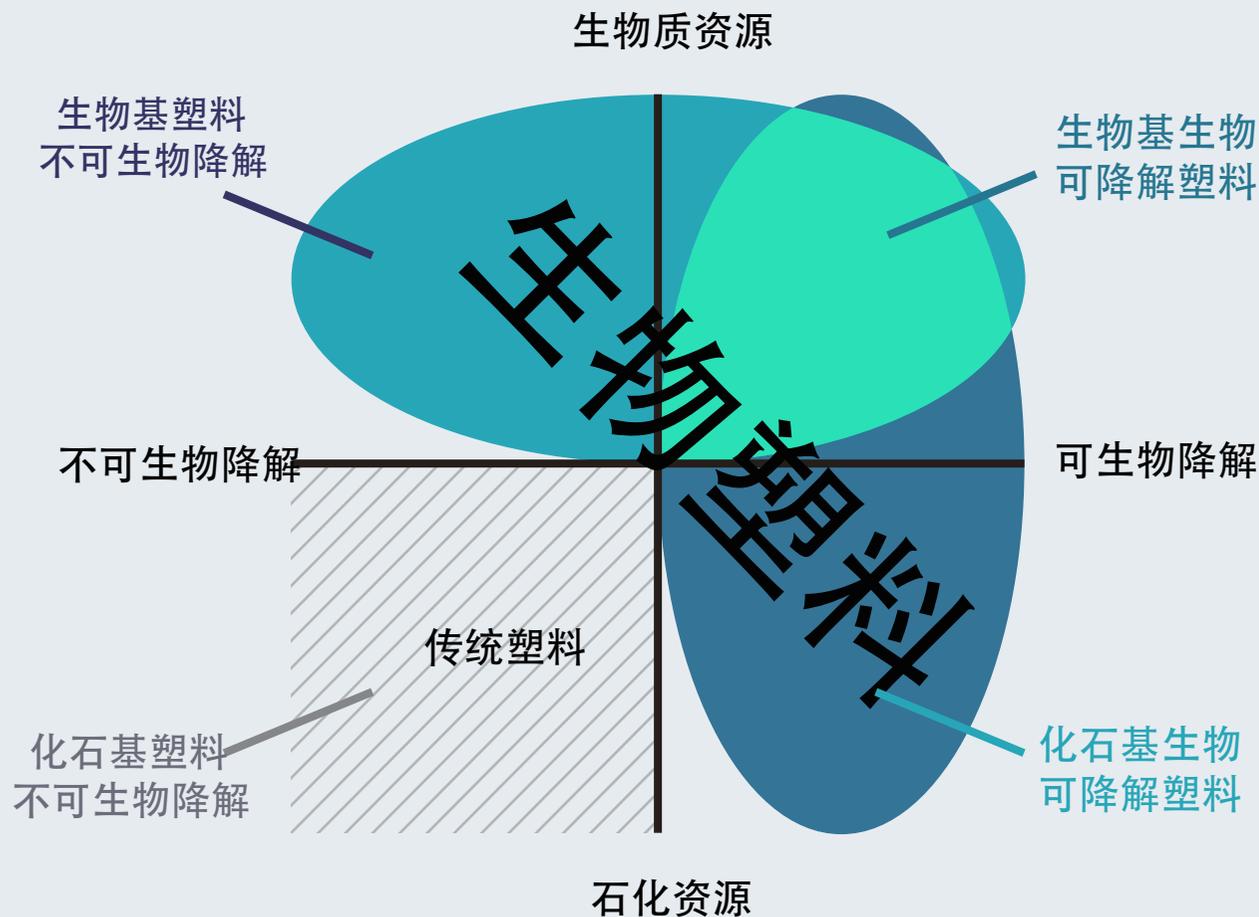
①一种在有氧条件下处理有机垃圾的方式，可产生有机肥料。

②主要指煤炭、石油和天然气。

③可再生的有机物质，如农作物。

④长度小于 5 毫米的微小塑料颗粒。

③与生物可降解塑料相关的若干概念关系图



# 02

## 目前我国应用生物可降解塑料有哪些困难？

在我国，推广使用生物可降解塑料的政策方向日趋明确，媒体报道中对生物可降解塑料总体趋向于欢呼叫好。然而，目前生物可降解塑料在产业化实践中还有一些问题尚待解决，故不应盲目推广。概括说来，包括：

### 生产

生产上，我国生物可降解塑料的相关标准存在老化、缺失、滞后的问题，评价体系和产品标准仍需进一步完善。



### 销售

销售上，由于我国未对“生物可降解”“可堆肥”等环保声明的使用作出规范，市面上的可降解塑料产品类型混乱，存在误导消费者的不实宣传。



### 使用

使用上，公众对生物可降解塑料存在着认识上的误区，包括认为生物可降解塑料可以在任何环境中快速降解，进而带来错误投放和乱扔垃圾的风险。



### 处置

处置上，目前对生物可降解塑料应该如何回收利用和处置，暂没有明确规定，各地区也缺乏分类收集和处置的能力。



# 03

## 目前我国生物可降解塑料相关标准情况如何？

我国生物可降解塑料的标准化工作开展得比较晚，前期主要以国外先进标准为蓝本进行一定的修改，或者直接等效使用国外标准。当前，我国的生物可降解塑料标准仍较为落后，存在老化、缺失、滞后的问题。<sup>[11]</sup>

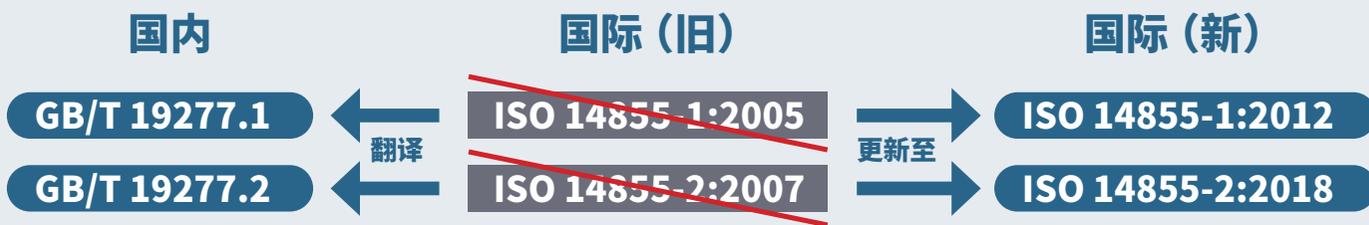
例如，在受控堆肥条件下，国内测定塑料生物降解能力的标准 GB/T 19277.1-2011 和 GB/T 19277.2-2013，分别等效使用国际标准 ISO 14855-1:2005 和 ISO 14855-2:2007 翻译而来。这两份国际标准已经分别被 ISO 14855-1:2012 和 ISO 14855-2:2018 代替，而我国没有作出相应更新。

再如，测定塑料厌氧生物降解能力的方法标准，我国暂只有在水性培养液中测定这一种（GB/T 32106-2015），而国际上还能在城市污水污泥等环境中进行测定。

④当前国内生物可降解塑料的标准化工作较为落后。

因此，我国应加快生物可降解塑料的标准体系建设，从而指导企业生产合乎规范的生物可降解塑料产品。

另外，在生物可降解塑料的检测认证上，我国暂没有得到普遍认可的第三方认证机构，生物可降解塑料产品也暂缺少统一易识别的标志。未来国内有关标志还需进一步取得国外的认可。<sup>[12]</sup>



我国标准 GB/T 19277.1 和 GB/T 19277.2，分别等效使用国际标准 ISO 14855-1:2005 和 ISO 14855-2:2007 翻译而来。这两份国际标准已经分别被 ISO 14855-1:2012 和 ISO 14855-2:2018 代替，而我国没有作出相应更新。

# 04

## 公众对生物可降解塑料认识不足有哪些影响？

生物可降解塑料产品和普通塑料产品在外观上非常相似。一项超过 2000 名公众参与的生物可降解塑料认知调查显示，愈半数公众反映他们不懂得如何辨认生物可降解塑料的有关标志，也因此难以区分哪些是生物可降解塑料产品。

需要注意的是，当一个塑料产品宣称其可生物降解，并不意味着该产品能够在短时间内在任意环境中完全降解。换句话说，“生物可降解”应该始终和明确的降解时间、降解环境联系在一起。

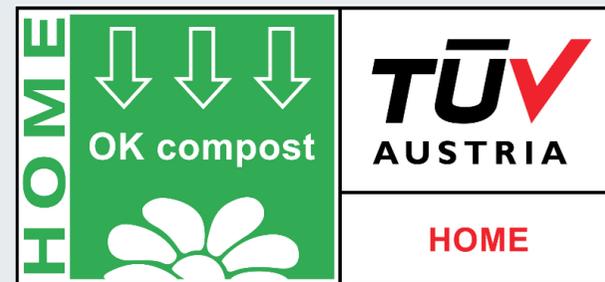
**该调查发现，仅有 20% 左右的公众能够明确指出，生物可降解塑料并不是置于自然环境中就能完全降解消失。**

另一项研究表明，当消费者得知多数生物可降解塑料产品需要在工业堆肥①条件下才能完全降解时，他们感到“震惊和失望”。<sup>[13]</sup>

由此可见，如若当前推广使用生物可降解塑料，极可能出现多数公众因高估其生物降解性能，将此类产品随意弃置于自然环境的情况。一项关于年轻人乱扔垃圾行为的研究证明，生物可降解塑料是个人处理垃圾不当的原因之一。<sup>[14]</sup>

生物可降解塑料和其他可回收物一样，在使用后是需要被分类回收的。生物可降解塑料认知调查显示，多数调查对象支持各地应在具备相应的回收处置能力之后，再推广使用这种材料。

⑤奥地利认证机构 TÜV AUSTRIA 对家庭可堆肥和工业可堆肥的标识有所区分。



适用家庭堆肥环境降解的可堆肥塑料标志



适用工业堆肥环境降解的可降解塑料标志

①因为有一较高温等可控条件，工业堆肥比家庭堆肥更有利于实现降解。

# 05

## 生物可降解塑料 使用后，该怎么 处置？

**生物可降解塑料的最终降解需要特定的环境条件，通常需要在堆肥设施中才能完成降解。**

目前我国城市的堆肥设施建设和垃圾分类体系不够完善，生物可降解塑料难以发挥作用。<sup>[15]</sup>

从国际经验来看，垃圾堆肥厂对于要不要接收可堆肥塑料也有所顾虑，比如：可堆肥塑料废弃物会不会对堆肥质量产生不利影响；如何保证可堆肥塑料废弃物中不掺进其他不可堆肥的材料；即使是已遵照执行相关标准的可堆肥产品，是否就能符合堆肥厂的现实情况（因为各地堆肥厂的堆肥条件略有差异）。试看挪威，该国已经有 75% 的人口做到对厨余垃圾单独分类，

处理厨余垃圾的工业堆肥厂有 15-20 家，但其中只有 3 家接受可堆肥塑料产品。<sup>[16]</sup>

如果垃圾堆肥厂不接收可堆肥塑料，那么这种材料还能怎么处理呢？在挪威，大多数生物可降解和可堆肥包装被送往了焚烧厂。但将这类材料当做一般的其他垃圾送往填埋或焚烧处理，则使材料失去其“生物可降解”的价值与意义，并带来其他不利环境的影响。因此，从现实情况来看，生物可降解塑料使用后将其送往堆肥厂处理的设想，也面临不少挑战。



# 06

## 生物可降解塑料 对普通塑料的回收有什么影响？

**如果在普通（不可降解）塑料的回收流程中混入了生物可降解塑料，会导致回收产品的质量下降或耐久性变差。**

例如，混入重量超过 3% 的聚乳酸<sup>①</sup>，会降低回收的聚丙烯<sup>②</sup>的机械性能。虽然可以使用现代技术识别不同的塑料材料，但现实操作中很难实现 100% 的正确分选。<sup>[13]</sup> 因此，生物可降解塑料产品应标示产品废弃后如何分类投放。

对于塑料回收物在多大程度上受到生物可降解塑料的影响，以及混入的生物可降解塑料的比例不高于多少是可接受的，目前还没有明确的答案。不同研究的结果差异很大，且这类研究多由利益相关者开展，难以保证结果的可靠性。

值得担忧的是，如果回收再加工塑料（即再生塑料）的需求方，对回收材料中生物可降解成分带来的不确定性有所顾虑，就可能影响再生塑料市场的发展。

- ①一种新型生物可降解塑料。
- ②一种广泛使用的普通塑料。



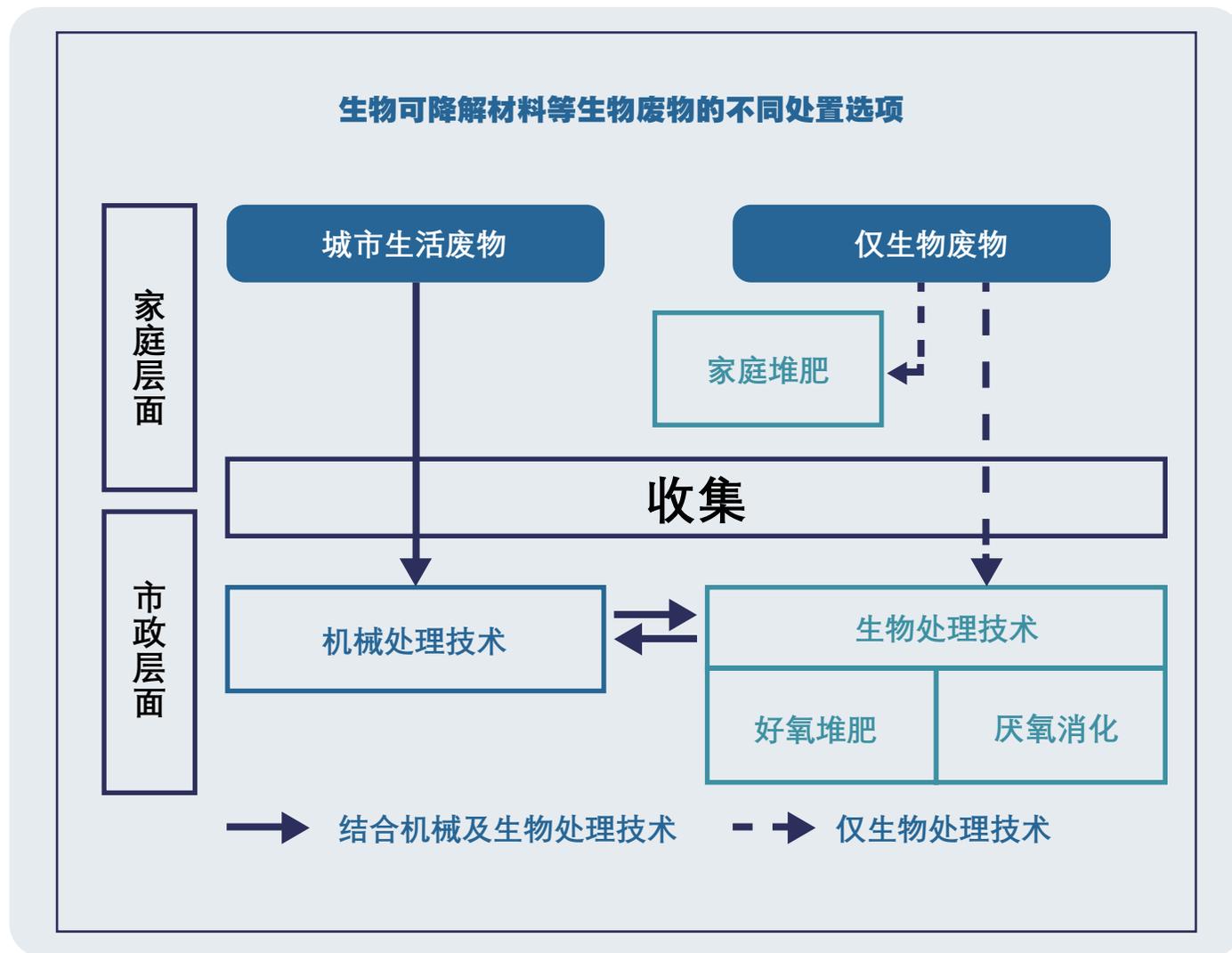
# 07 为使生物可降解塑料得到妥善处置，目前我国的垃圾分类管理系统还需补足哪些短板？

## ⑥生物可降解塑料等生物废物的处置方式。

根据海南省生态环境厅官方公众号消息（发于2020年6月16日），生物可降解塑料被丢到自然环境中并不会魔术般凭空消失。它需要先进行配套的分类回收，然后在恒温恒湿严格控制的工业堆肥条件下进行后端处理。

那么，生物可降解塑料究竟是什么垃圾，该怎么分类回收呢？

笔者在北京市城管委推出的垃圾分类小程序“北京市垃圾分类宝典”查询到，生物可降解塑料属于“可回收物”。笔者随即就生物可降解塑料袋是什么垃圾，联系北京市城管委，其答复如下：“居民投放厨余垃圾时用一般的塑料袋，能确保液体不泄漏不遗洒即可。目前我们正在开展可降解塑料袋相关技术的研究，使用可降解塑料袋时可随厨余垃圾一起投放，无需分开。”



\* 资源来源：欧盟第七框架计划（FP7）的 OPEN-BIO 项目

显然，这与北京市垃圾分类小程序的说法并不一致。

而在上海，市民对于投放湿垃圾的“破袋”之举一直颇有微词，不明白为什么不推广生物可降解塑料袋。用了生物可降解塑料袋果真就不需要“破袋”了吗？中国环保学会绿色包装委员会副主任杨福馨指出，居民的想法有误，“首先，要确认居民买到的是否真的是可降解的环保塑料袋，即便是，它们也没有如居民想得那样容易降解”。

上海昶法新材料有限公司生物质材料事业部副总监郑璐表示，理想状态下，生物降解垃圾袋应当和其他湿垃圾一起进入末端处置环节，变成可以改良土壤的有机介质。但实际和末端处置环节对接后，发现生物降解垃圾袋和湿垃圾的降解速度不在一个“档次”：湿垃圾快则半天，慢则 15 天到 20 天左右，就能转变成有机介质；生物降解垃圾袋慢了至少十几天，会导致最终产品里掺杂着尚未降解的塑料和木质纤维，进而影响到产品的质量。

上海市绿化和市容管理局推出的小程序“生活垃圾怎么分”，按照《上海市生活垃圾管理条例》提供各种生活垃圾的分类查询功能。根据其建议，生物可降解塑料袋应投放至“干垃圾”桶中。

综上所述种种，可知目前我国尚未完全明确生物可降解塑料的分类投放方法。

从上海开始，我国越来越多的城市已经或正在出台生活垃圾管理条例。预计到 2020 年年底，46 个重点城市将基本建成垃圾分类处理系统。但目前，各地的垃圾分类质量仍不高，废弃的生物可降解塑料应该归到哪类垃圾，又未

有明确规定。在这样的背景下，引入生物可降解塑料难以保证其能够得到妥善的分类回收。

另外，在末端处置设施方面，我国的有机垃圾末端处置设施建设尚且薄弱，当前仅有部分大中城市存在少量堆肥处理企业。数据显示十几年来，我国的无害化堆肥处理厂数目不增反减，这可能与城市垃圾混合堆放情况普遍，有机垃圾分离成本高，堆肥企业利润低有关。<sup>[17]</sup>



北京市城管委推出的垃圾分类小程序“北京市垃圾分类宝典”，将生物可降解塑料袋归入“可回收物”中。



上海市绿化和市容管理局推出的垃圾分类小程序“生活垃圾怎么分”，建议将生物可降解塑料袋投放至“干垃圾”桶中。

# 08

## 填埋或焚烧生物可降解塑料带来哪些不利影响？

研究表明，生物可降解塑料难以在垃圾填埋场完全降解。<sup>[18]</sup> 不仅如此，生物降解材料<sup>①</sup>进入垃圾填埋场，会在厌氧条件下释放甲烷并产生更多的垃圾渗滤液。甲烷是一种温室气体，温室效应比二氧化碳强 25 倍。<sup>[19]</sup> 垃圾渗滤液作为二次污染物，会加剧周围环境特别是地下水、地表水的污染。<sup>[20]</sup> 而焚烧生物可降解塑料会产生有毒气体，如呋喃和二噁英。<sup>[21]</sup>

**无论是填埋还是焚烧，都无法有效利用生物可降解塑料的生物降解性能。**

理想情况下，居民投放垃圾时应将生物可降解塑料与其他不可生物降解的垃圾分开，而将其和有机废物一起收集，并送往专门处置有机废物的处理厂，如堆肥厂，进行处理，从而降低生物可降解塑料被填埋或焚烧的可能。



<sup>①</sup>包括生物可降解塑料，花园、厨房垃圾等。

# 09

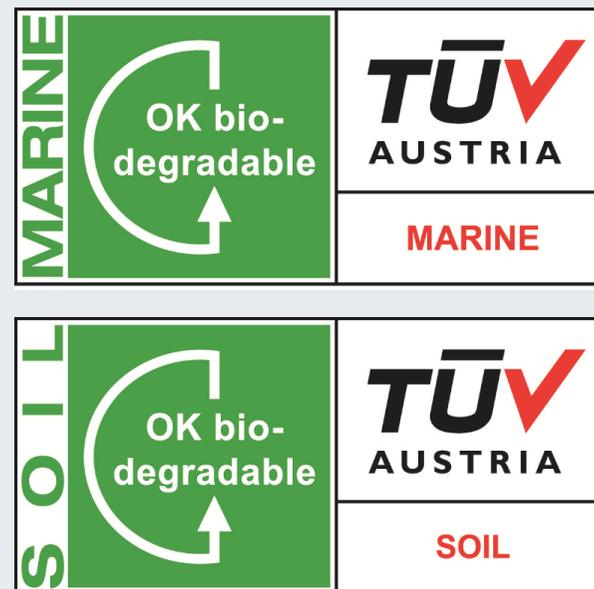
## 生物可降解塑料 应在哪些领域中 使用？

使用生物可降解塑料的驱动力主要在于部分塑料产品无法回收或难以经济可行地回收。<sup>[20]</sup>相应地，生物可降解塑料适合应用于有办法利用生物降解性能的产品。比如，一些在海洋或土壤环境中使用的产品，使用过程中会逐渐损耗（如钓鱼线），或在使用后难以回收（如农用地膜残留在农地中的碎片）。这种情况下，使用海洋或土壤生物可降解塑料比使用不可降解塑料对环境产生的有害影响要小。<sup>[21]</sup>

然而，有关是否可以测量，以及如何测量生物可降解塑料在海洋和土壤环境中的降解能力的研究远未成熟。现行的“海洋可生物降解”和“土壤可生物降解”的说法和认证被指责为时过早。<sup>[22]</sup>



⑦由 TÜV AUSTRIA 授予的“海洋可生物降解”和“土壤可生物降解”认证被指责为时过早。



# 10

## 扩大生产生物可降解塑料会造成耕地紧缺与粮食危机吗？

生物可降解塑料可以使用可再生的生物质资源进行生产。可是，生物质资源也并非源源不竭。

### 地球上的石油、天然气和煤炭资源的确有限，但可再生资源也并非永不枯竭。

一方面，它们需要时间来再生。另一方面，它们同时肩负着其他众多角色：生产生物可降解塑料的生物质资源首先是粮食作物；同时它们也被用于制造生物燃料<sup>①</sup>，用于发电和发热等。<sup>[23]</sup>

目前，全球生物基塑料原料的生长所需的土地，约占可耕地面积的 0.02%。假设当下全球生产的所有塑料都是生物基塑料，则对生物质资源的需求将占全人类每年所生产的生物质的 5%。<sup>[22]</sup>与此同时，由联合国等组织机构发布的《粮食危机报告》显示，2019 年全球共有 1.35 亿人处于粮食危机状态，是近年来的最高值。受新冠疫情影响，到 2020 年底，处于粮食危机的人口数量可能增加近一倍。因此，如何平衡生物质资源在生产一次性塑料制品方面的投入有待进一步研究，以维持人类对生物质资源的可持续生产和使用。

从全世界的经验和共识来看，应该谨慎对待生物可降解塑料。生物可降解塑料既非传统不可降解

塑料的完美替代材料，也不是塑料污染问题的解决方案。对于生物可降解塑料不可盲目推广，公众不可过于依赖可生物降解的一次性塑料制品。

其实解决塑料污染的真正方案，在《关于进一步加强塑料污染治理的意见》（发改环资〔2020〕80 号）里已经有明确的表述：鼓励重复使用非一次性制品和包装，彻底跟“生产 - 消费 - 丢弃”的一次性消费时代告别。



①由生物质制成的燃料，是化石燃料的替代品。

# 建议

进一步推广使用生物可降解塑料前，应先解决哪些问题？

## 完善生物可降解塑料的标准体系

相关主管部门应尽快出台全国统一的评价体系和产品标准，建立健全生物可降解塑料产品的检测认证制度，明确规范此类材料的处置方式，并规范限制此类材料的使用范围，防止因滥用而导致资源浪费以及处置不当等问题。

## 规范有关环保声明和标志的使用

制定相关标准和规范，指导企业如何在塑料产品上规范使用“可降解”“生物可降解”“可堆肥”等词语，防止企业的“洗绿”和虚假宣传。合格的生物可降解塑料标志至少要指出：使用后如何正确投放，最佳的处置方式是什么。同时要注意，只有容易辨认的统一标志才能让公众有效识别，不易产生混淆。<sup>[23]</sup>

## 加快建设处置设施

当务之急是相关部门应尽快明确生物可降解塑料的处置方式；各地应切实落实垃圾分类工作，加大投资堆肥设施建设，提高对有机废弃物的处理能力。

## 开展宣传教育活动

相关主管部门应加大宣传，提高公众辨识生物可降解塑料产品的能力；对于生物可降解塑料在使用后如何处置，向公众提供正确的信息指导以及有效的宣传教育。鼓励公众重复使用非一次性制品和包装，改变一次性消费模式。<sup>[7]</sup>。

# 参考文献

[1] Joel F R.Polymer Science & Technology: Introduction to polymer science[M].New Jersey:Prentice Hall PTR Inc,1995:4-9.

[2] Konigin Astridlaan.Plastics - the Facts 2019[R].Wemmel:PlasticsEurope,2019.

[3] Laura Parker.How the plastic bottle went from miracle container to hated garbage[EB/OL].  
<https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/08/plastic-bottles/#close>,2019-8-23.

[4] Worm B, Lotze H K, Jubinville I, et al. Plastic as a persistent marine pollutant[J]. Annual Review of Environment and Resources, 2017, 42: 1-26.

[5] Albertsson A C, Andersson S O, Karlsson S. The mechanism of biodegradation of polyethylene[J]. Polymer degradation and stability, 1987, 18(1): 73-87.

[6] Shah A, Hasan F, Hameed A, et al. Biological degradation of plastics: a comprehensive review[J]. Biotechnol Adv, 2008, 26(3): 246-265.

[7] Crippa M, De Wilde B, Koopmans R, et al. A circular economy for plastics: Insights from research and innovation to inform policy and funding decisions[J]. 2019.

[8] 赵明. “生物降解塑料”新认识 [J]. 玻璃纤维, 2018, (06): 44-46.

[9] ASTM D6400-19. Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities[S]. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2019.

[10] Browne M A, Dissanayake A, Galloway T S, et al. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.) [J]. Environmental science & technology, 2008, 42(13): 5026-5031.

[11] 魏晓晓, 张梅, 李琴梅, 刘伟丽, 沈上圯, 董海峰. 生物降解塑料国内外标准概况 [J]. 标准科学, 2016(11): 58-64.

[12] 焦建, 钟宇科, 焦蓓, 熊凯, 徐依斌, 麦堪成. 国内外可堆肥降解塑料评价标准及认证体系现状 [J]. 合成材料老化与应用, 2013, 42(04): 48-52.

[13] Haider T P, Volker C, Kramm J, et al. Plastics of the Future? The Impact of Biodegradable Polymers on the Environment and on Society[J]. Angew Chem Int Ed Engl, 2019, 58(1): 50-62.

**[14]** United Nations Environment Programme. Biodegradable Plastics and Marine Litter. Misconceptions, concerns and impacts on marine environments[EB/OL]:2015.

**[15]** 陆海旭. 生物可降解塑料的发展现状与趋势 [J]. 化学工业, 2016, 34(03):7-14.

**[16]** Simon Hann, Rosy Scholes. Bio-Based and Biodegradable Plastics: An Assessment of the Value Chain for Bio-Based and Biodegradable Plastics in Norway[R]. Norway: Eunomia, 2019.

**[17]** 胡新军, 张敏, 余俊锋, 张古忍. 中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策 [J]. 生态学报, 2012, 32(14):75-84.

**[18]** American Chemistry Council. Plastics-Landfilling FAQs[EB/OL]. plastics.americanchemistry.com/Landfilling-FAQs/.

**[19]** Hudgins M. Aerobic landfill studies from the USA; proceedings of the 1st Int Conf Solid Waste, F, 1999[C].

**[20]** Ren X. Biodegradable plastics: a solution or a challenge?[J]. Journal of cleaner Production, 2003, 11(1):27-40.

**[21]** Ghosh S K, Pal S, Ray S. Study of microbes having potentiality for biodegradation of plastics[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2013, 20(7):4339-4355.

**[22]** Van Den Oever M, Molenveld K, Van Der Zee M, et al. Bio-based and biodegradable plastics: facts and figures: focus on food packaging in the Netherlands[M]. Wageningen Food & Biobased Research, 2017.

**[23]** Reimer V, Künkel A, Philipp S. Bio - Sense or Nonsense[J]. Kunststoffe international, 2008.