

## 附件三 《破解「生物可分解塑膠」 - 生產，使用與環境衝擊》報告摘要

近年來，嚴峻的海洋塑膠污染問題已不再是新聞，社會各界也已經意識到塑膠不當使用所帶來的環境和健康危機。快速成長的塑膠用量也製造大量碳排放，嚴重威脅「把全球平均溫升控制在 1.5°C 以內」的氣候目標<sup>1</sup>。每年全球使用量超過 3 億噸的塑膠，其中近一半<sup>2</sup>為一次性塑膠<sup>3</sup>。這些一次性產品從設計上僅為短期使用，因而成為塑膠污染的主要來源。為了積極對抗塑膠污染，有 127 個國家或地區針對一次性塑膠袋立法，禁止或限制一次性塑膠袋的使用，其中 27 個國家或地區針對特定的一次性塑膠產品與塑膠原料頒布禁令，另有 35 個國家或地區限制使用不可分解的一次性塑膠的作法上，則是鼓勵生產與使用可分解塑膠作為替代品，等於為「可分解塑膠」開了許可的大門。各種類型的可分解塑膠因此開始進入大家的生活中，並經常以「解決塑膠污染的新材料」之姿出現在媒體報導中。

然而可分解塑膠究竟是什麼？使用可分解塑膠會帶來什麼環境影響？垃圾處理系統面對可分解塑膠廢棄物需具備什麼條件？一次性的可分解塑膠到底是否適合作為一次性塑膠的替代品，以上問題仍需要更多研究和多方面探討。

## 一、可分解塑膠究竟是什麼

生物分解是指材料可以在特定環境中，在微生物作用下逐漸分解，完全轉化成二氧化碳和水。目前號稱生物可分解的塑膠超過 20 種，每一種的來源、化學結構和物理特性都不盡相同，每一種材料做到完全生物可分解所需要的環境和時間也不一樣。從原料來源和合成方法來看，生物可分解塑膠包括了以動植物為原料的塑膠、細菌合成的塑膠、以澱粉或糖為原料化學合成的塑膠，也有以石油副產品為原料化學合成的塑膠（見附表）。雖然種類繁多，這些可分解塑膠通常都被冠以「綠色產品」、「更環保」、「天然材料」等宣傳用語。即使分解所需要的條件不一樣，這些材料通常還是容易被認為「可在自然環境中分解」。

大眾對於可分解塑膠這種材料的理解，存在一定程度的混淆，其中很多專有名詞不僅容易讓一般消費者誤解，也經常在商家的商品宣傳中被誤用。除此之外，與可分解塑膠相關的許多概念也讓人困惑。例如「生物塑膠」一詞用於統稱生物基塑膠和生物可分解塑膠。生物基塑膠指全部或部分以可再生資源（植物或植物衍生物）為原料的塑膠。以生物基為原料並不代表這種塑膠在末端可以生物分解，事實上，全球生產的生物基塑膠中近半是不可生物分解的。然而，這些概念已經存在超過 10 年，但對於大部分消費者來說，一聽到「以植物為原料」，會直覺認為這種材料是可以生物分解的<sup>4</sup>。

<sup>1</sup> Center for International Environmental Law. "Plastic & Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet." 2019, [www.ciel.org/plasticandclimate/](http://www.ciel.org/plasticandclimate/).

<sup>2</sup> Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. "Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made." *Science Advances*, vol. 3, no. 7, 2017, e1700782. doi: 10.1126/sciadv.1700782.

<sup>3</sup> 一次性塑膠包括多種用後即棄的產品，例如塑膠袋、食品和飲料包裝、吸管、餐盒、飲料杯和一次性餐具。

<sup>4</sup> Goldsberry, C. "Consumers Confused by Distinction Between Biobased and Biodegradable Plastics." *Plastics Today*, 8 Feb. 2020, [www.plasticstoday.com/sustainability/consumers-confused-distinction-between-biobased-and-biodegradable-plastics](http://www.plasticstoday.com/sustainability/consumers-confused-distinction-between-biobased-and-biodegradable-plastics).

## 二、生物可分解塑膠產業

### 2.1 生物可分解塑膠有多少

2019年生物塑膠的全球總產能達到211萬噸<sup>5</sup>，佔目前全球塑膠年產（3.59億噸）的0.6%。生物塑膠中55.5%是生物可分解塑膠，產能約為117萬噸。生物可分解塑膠超過20種，但目前只有三種類型達到商業大規模製造，包括主要以植物澱粉為原料的澱粉基塑膠、聚乳酸（PLA），以及主要以石油副產品為原料的二元酸二元醇共聚物（PBS，PBSA，PBAT，下稱PBS類塑膠）。這三類材料的產能總和達到全部生物可分解塑膠的95%。

PLA是另外一種主要發展的生物可分解塑膠種類<sup>6</sup>，價格相對低廉且具有比較良好的物理特性，2019年全球產能約為29萬噸。澱粉基塑膠和PLA的生產依賴糧食作物，包括馬鈴薯、玉米、甘蔗或木薯等<sup>7</sup>。雖然塑膠產業正在研究以非糧作物進行生產，如以農業廢棄物（玉米秸稈、甘蔗渣等木質纖維素<sup>8</sup>），或以廢氣（二氧化碳、甲烷）<sup>9</sup>作為原料，但在短期內糧食作物仍然會是主要原料。

PBS類塑膠是以石油副產品為原料聚合而成的生物可分解塑膠，全球產能約37萬噸。從技術層面來看，PBS可以100%使用生物基原料製造，PBAT可以達到50%生物基<sup>10</sup>。但由於目前生物基原料的產業化還不成熟，石化來源的PBS類塑膠仍然是市場主流<sup>11</sup>。

聚羧基脂肪酸酯（PHA）是另外一類重要的生物可分解塑膠，目前產能尚少，全球僅25,000噸。PHA是微生物以糖類或油脂為原料在發酵過程中自身代謝合成的物質。現在的PHA合成主要使用多糖，但科學家正在研究是否可以將各種農業副產品、廚餘、生活廢水、沼氣等廢棄物用做高效的PHA生產原料<sup>12</sup>。

除這四大類商業主流種類之外，還有多種生物可分解塑膠，比如可以在水中溶解的PVOH、用二氧化碳製造的PPC，及能夠與多種材料共混的PCL等等。雖然近年來關於新的生

<sup>5</sup> "Bioplastics Market Data." *European Bioplastics*, www.european-bioplastics.org/market/. Accessed 20 Aug. 2020.

<sup>6</sup> "Biodegradable Plastic Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Starch-based, PLA, PHA, PBAT, PBS), By End-Use (Packaging, Consumer Goods, Agriculture), By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027." *Grand View Research*, 2020, www.grandviewresearch.com/industry-analysis/biodegradable-plastics-market.

<sup>7</sup> Pérez-Pacheco, E. et al. "Thermoplastic Starch (TPS)-Cellulosic Fibers Composites: Mechanical Properties and Water Vapor Barrier: A Review." *Composites from Renewable and Sustainable Materials*, Ed. Matheus Poletto, IntechOpen, 2016, www.intechopen.com/books/composites-from-renewable-and-sustainable-materials/thermoplastic-starch-tps-cellulosic-fibers-composites-mechanical-properties-and-water-vapor-barrier.

<sup>8</sup> *ibid.*

<sup>9</sup> Lovett, Julia, et al. "Sustainable Sourcing of Feedstocks for Bioplastics: Clarifying Sustainability Aspects Around Feedstock Use for the Production of Bioplastics." *Corbion Group*, 2016, www.corbion.com/media/550170/corbion\_whitepaper\_feedstock\_sourcing\_11.pdf. Accessed 20 Aug. 2020.

<sup>10</sup> Aeschelmann, F. et al. "Bio-based Building Blocks and Polymers in the World." *Nova-Institute*, 2015, www.bio-based.eu/market\_study/media/files/15-04-02MSBio-basedBuildingBlocksandPolymersLeaflet.pdf.

<sup>11</sup> "FAQs." *PTT MCC Biochem*, www.pttmcc.com/new/faq.php. Accessed 20 Oct. 2020.

<sup>12</sup> Amaro, T.M.M.M., et al. "Prospects for the Use of Whey for Polyhydroxyalkanoate (PHA) Production." *Frontiers in Microbiology*, 2019, https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00992.

物可分解塑膠研究成果報導層出不窮，但由於技術和成本的限制，這些材料仍然無法滿足商業需求，短期內也不太可能大規模生產。

## 2.2 生物可分解塑膠的來源

在歐洲、美國及日本有多家公司規模化生產生物可分解塑膠。由於原料供應的便利和生產成本優勢，近年來生產逐步向亞洲集中。亞洲新增很多由在地製造商以及歐美公司投資的產能，其中中國大陸和泰國<sup>13</sup>的成長尤為突出。

澱粉基塑膠：

義大利的 Novamont 公司是全球最大的全澱粉基塑膠生產企業，一年產能達到 15 萬噸。Novamont 公司在義大利境內設有 4 個生產基地，使用的植物原料主要包括穀物澱粉和菜籽油<sup>14</sup>。Novamont 宣稱自己生產所使用的原料為具永續性的農作物，不會在種植過程中破壞當地生物多樣性、造成土壤碳流失<sup>15</sup>，但是並沒有詳細公開資訊以評估其原料的永續性。

PLA：

全球有過半 PLA 產能集中在美國的 NatureWorks 公司，其年產 15 萬噸的生產線均在美國境內<sup>16</sup>，公司宣稱主要原料來自生產基地周圍 96 公里之內種植的玉米<sup>17</sup>。NatureWorks 在 2019 年初宣佈，為了確保其原料的獲取永續且可信賴，在 2020 年將所有原料都送交 International Sustainability & Carbon Certification System (ISCC) 第三方單位來認證<sup>18</sup>。全球第二大的 PLA 生產線由荷蘭的 Total Corbion PLA 公司於 2019 年設置在泰國，年產 7.5 萬噸，使用泰國本地甘蔗為原料<sup>19</sup>。2020 年初，Total Corbion PLA 宣佈將在法國再建一座年產 10 萬噸 PLA 的製造廠<sup>20</sup>。其餘的主要 PLA 生產商都集中在中國大陸。江蘇允友成生物環保材料有限公司擁有年產 5 萬噸的 PLA 生產線，是中國大陸目前產能規模最大的 PLA 企業<sup>21</sup>，其他大多數企業生產線產能則在 1 萬噸左右。安徽豐原集團稱 PLA 生產的原料將以巴西進口的玉米為主。目前並沒有公開資訊可以評估中國大陸其他 PLA 廠商的原料來源。

PBS 類別塑膠：

<sup>13</sup> "Bioplastics." *Thailand Board of Investment*, [www.boi.go.th/upload/content/BioplasticsBrochure.pdf](http://www.boi.go.th/upload/content/BioplasticsBrochure.pdf). Accessed 20 Oct. 2020.

<sup>14</sup> "Novamont Sustainability Report 2018." *Novamont*, 2018, [www.novamont.com/public/BdS/Novamont\\_BdS18\\_Leaflet%20EN.pdf](http://www.novamont.com/public/BdS/Novamont_BdS18_Leaflet%20EN.pdf).

<sup>15</sup> "Our Pillars." *Novamont*, [www.novamont.it/eng/our-pillars-20](http://www.novamont.it/eng/our-pillars-20). Accessed 20 Oct. 2020.

<sup>16</sup> "About NatureWorks." *NaturalWorks*, [www.natureworkslc.com/About-NatureWorks](http://www.natureworkslc.com/About-NatureWorks). Accessed 1 Nov. 2020.

<sup>17</sup> *NaturalWorks*, "The Ingeo™ Journey", 2009, [www.natureworkslc.com/~media/News\\_and\\_Events/NatureWorks\\_TheIngeoJourney\\_pdf.pdf](http://www.natureworkslc.com/~media/News_and_Events/NatureWorks_TheIngeoJourney_pdf.pdf).

<sup>18</sup> "NatureWorks Announces 100 Percent Third-Party Certified Sustainable Feedstock by 2020." *NaturalWorks*, 14 Feb. 2019, [www.natureworkslc.com/News-and-Events/Press-Releases/2019/2019-02-14-100-Percent-Sustainable-Feedstock-by-2020](http://www.natureworkslc.com/News-and-Events/Press-Releases/2019/2019-02-14-100-Percent-Sustainable-Feedstock-by-2020).

<sup>19</sup> Total Carbon PLA. "Total Corbion PLA Celebrates Opening of Bioplastics Plant." *Biomass Magazine*, 13 Sep. 2019, [biomassmagazine.com/articles/16463/total-corbion-pla-celebrates-opening-of-bioplastics-plant](http://biomassmagazine.com/articles/16463/total-corbion-pla-celebrates-opening-of-bioplastics-plant).

<sup>20</sup> Total Carbon PLA. "Total Corbion PLA Announces the First World-Scale PLA Plant in Europe." 24 Sep. 2020, [www.total-corbion.com/news/total-corbion-pla-announces-the-first-world-scale-pla-plant-in-europe/](http://www.total-corbion.com/news/total-corbion-pla-announces-the-first-world-scale-pla-plant-in-europe/).

<sup>21</sup> 楊林, 黃景文, 周峰春, 薛聰. 生物分解塑膠有望爆發增長, 金髮科技充分受益[R]. 西南證券. 2019. [stock.tianyanca.com/ResearchReport/eastmoney/ef546deebbaed4f1a753b04d922367b6.pdf](http://stock.tianyanca.com/ResearchReport/eastmoney/ef546deebbaed4f1a753b04d922367b6.pdf).

德國化工企業巴斯夫（BASF）現有 PBAT 年產能為 7.4 萬噸<sup>22</sup>，並且在 2020 年宣佈計畫在中國大陸新增每年 6 萬噸的 PBAT 產量<sup>23</sup>。中國大陸 PBAT 材料產業的企業集中度高，以廣州金髮科技股份有限公司為首的多家企業年總產能高達 20 萬噸，占全球 50% 以上。這些公司的 PBS 類塑膠都使用石油副產品作為原料。日本昭和雖為 PBS 材料最早的開發商之一，但由於可分解塑膠的價格未達到預期，昭和公司在 2017 年關閉了年產 2 萬噸的 PBS 生產線<sup>24</sup>。目前日本 PBS 產能最大的公司為三菱公司，其在泰國新建了年產量 3 萬噸的工廠，主要生產玉米基和石油基混合的 PBS<sup>25</sup>。

#### PHA：

PHA 的產能曾經遠大於現有規模，但由於市場推廣沒有達到預期，產能利用率低於 10%，多家企業相繼停止生產。美國的 Metabolix 關閉了年產 5 萬噸的生產線<sup>26</sup>，義大利的 Bio-on 公司也於 2019 年 12 月宣告破產<sup>27</sup>。目前美國的 Danmier Scientific 擁有最大的 PHA 生產線，以油菜籽為原料<sup>28</sup>，公司稱未來幾年的目標是推動 PHA 生產技術達到商業量產規模，生產使用的油菜籽有可能將來自美國東南部。

上述企業生產多種生物可分解塑膠，提供原料給不同的國際品牌，製成各種生物可分解塑膠包裝。大部分生產商提供的是「上架產品方案」，即根據下游企業的產品需求調整不同種類的生物可分解塑膠混合比例，根據品牌商的包裝性能需求決定生產的原料。

## 2.3 生物可分解塑膠用在哪裡

歐洲和北美是目前生物可分解塑膠的最大市場，在亞洲，尤其是中國大陸和印度，減塑政策也促成生物可分解塑膠的需求迅速成長<sup>29</sup>。

一次性包裝是生物可分解塑膠最廣泛使用的領域，2019 年生產的生物可分解塑膠中，有 59% 被做成了可分解塑膠袋、食品袋、食品盒、飲料和化妝品塑膠包裝等等，其中各種軟性包裝用量最大，使用了近 50 萬噸生物可分解塑膠<sup>30</sup>。多家國際消費品企業、全球連鎖餐飲龍頭和

<sup>22</sup> "BASF Announces Major Bioplastics Production Expansion." *Plasticker*, 21 April 2008, [plasticker.de/Plastics\\_News\\_5309\\_BASF\\_announces\\_major\\_bioplastics\\_production\\_expansion](http://plasticker.de/Plastics_News_5309_BASF_announces_major_bioplastics_production_expansion).

<sup>23</sup> 彤程新材. 巴斯夫攜手彤程新材料集團在中國大陸合作生產經認證可堆肥共聚酯（PBAT）[EB/OL]. 2020-05-28. [www.rachem.com/news/xwmta/2020/0528/548.html](http://www.rachem.com/news/xwmta/2020/0528/548.html).

<sup>24</sup> "Showa Denko." *Plasteurope.com*, 22 Nov. 2016, [www.plasteurope.com/news/SHOWA\\_DENKO\\_t235564/](http://www.plasteurope.com/news/SHOWA_DENKO_t235564/). Accessed 20 Oct. 2020.

<sup>25</sup> "Nature to Nature." *PTT MCC Biochem*, 2017. [www.pttmcc.com/new/download/PTTMCC\\_Brochure\\_2017.pdf](http://www.pttmcc.com/new/download/PTTMCC_Brochure_2017.pdf).

<sup>26</sup> Tullo, A. H. "PHA: A Biopolymer Whose Time Has Finally Come." *Chemical & Engineering News*, 8 Sep. 2019, [cen.acs.org/business/biobased-chemicals/PHA-biopolymer-whose-time-finally/97/i35](http://cen.acs.org/business/biobased-chemicals/PHA-biopolymer-whose-time-finally/97/i35). Accessed 15 Jun. 2020.

<sup>27</sup> "Bio-on Press Note." *Bio-On*, 20 Dec. 2019, [www.bio-on.it/news.php](http://www.bio-on.it/news.php). Accessed 20 Oct. 2020.

<sup>28</sup> Arnason, R. "Canola-Based Plastic May Hit Market Soon." *The Western Producer*, 4 April 2019, [www.producer.com/2019/04/canola-based-plastic-may-hit-market-soon/](http://www.producer.com/2019/04/canola-based-plastic-may-hit-market-soon/).

<sup>29</sup> PlasticsToday Staff. "Biodegradable Plastics Market Rising 9.4% Yearly." *Plastics Today*, 8 April 2020, [www.plasticstoday.com/packaging/biodegradable-plastics-market-rising-94-yearly](http://www.plasticstoday.com/packaging/biodegradable-plastics-market-rising-94-yearly).

<sup>30</sup> "Applications for Bioplastics." *European Bioplastics*, [www.european-bioplastics.org/market/applications-sectors/](http://www.european-bioplastics.org/market/applications-sectors/). Accessed 20 Oct. 2020.

連鎖超市都在推廣和使用生物可分解塑膠，其中生鮮和食品包裝、一次性餐具，以及可堆肥分解塑膠袋的需求量最大。生物可分解食品包裝和一次性餐具的需求在 2017 年達到 16.4 萬噸，預計到 2022 年將超過 18 萬噸<sup>31</sup>。受到新冠肺炎疫情影響，一次性的食品包裝又一次大量出現，外帶需求也增加了一次性餐具的使用量，其中有不少公司試圖使用生物可分解的包裝和餐具以減少環境影響<sup>32</sup>，因此食品類的生物可分解塑膠使用量預計會增加地更快。

## 2.4 現狀和未來發展

針對全球市場的研究估計，到 2023 年全球生物可分解塑膠的需求將達到 55 萬噸<sup>33</sup>。雖然發展前景看似可期，但生物可分解材料的生產和使用仍面臨很多未解決的挑戰。以中國大陸為例，2018 年中國大陸的生物可分解塑膠產能約為 48.5 萬噸，實際年產量 13.8 萬噸<sup>34</sup>，實際產能利用率僅為 30%。產能利用率低是有原因的，作為新興材料，無論是產業發展、應用或是相對應的後端處理，生物可分解塑膠都面臨幾個懸而未決的問題，因此對生物可分解塑膠的短期發展並不應該過於樂觀。

## 三、生物可分解塑膠在推行與使用面臨的問題

(一) 可分解產品沒有明確、統一的認證標識供消費者辨別，命名也沒有法律規範

- 號稱生物可分解的塑膠種類繁多，這些可分解塑膠通常都被冠以「綠色產品」、「更環保」、「天然材料」等宣傳用語。即使分解所需要的條件不一樣，這些材料通常都被簡單地認為「可在自然環境中分解」。
- 多個研究表示，消費者誤以為「生物可分解」產品丟棄後可以在環境中迅速分解，導致任意丟棄垃圾的現象更容易發生<sup>35</sup>。
- 生物塑膠、生物可分解塑膠等詞被濫用，民眾普遍無法分辨「生物基質塑膠」、「生物可分解塑膠」的概念，對於大部分消費者來說，一聽到「以植物為原料」，會直覺認為這種材料是可以生物分解的<sup>36</sup>。

(二) 可分解性的測試標準仍須完善，可分解的認證體系無法反映真實環境中可分解產品的分解情況

<sup>31</sup> 謝楠, 張波. 可分解塑膠專題彙報：巨大市場臨近爆發，行業龍頭現行佈局[R]. 中泰證券. 2020. [pg.jrj.com.cn/acc/Res/CN\\_RES/INDUS/2020/6/23/3799970f-677d-4365-bfb7-44d7f277a67d.pdf](http://pg.jrj.com.cn/acc/Res/CN_RES/INDUS/2020/6/23/3799970f-677d-4365-bfb7-44d7f277a67d.pdf).

<sup>32</sup> Accesswire. "Pandemic Leads to More Single-Use Plastic; Company on a Mission to Reduce Waste with Smart Food Packaging that Won't Harm the Environment." *AP News*, 4 Aug. 2020, [apnews.com/press-release/accesswire/8c87be3a403f334f993df5d9f9956be7](https://apnews.com/press-release/accesswire/8c87be3a403f334f993df5d9f9956be7).

<sup>33</sup> Hackett, M. "Biodegradable Polymers Market Value." *IHS Market*, 22 Aug. 2018, [ihsmarkit.com/research-analysis/biodegradable-polymers-market-value.html](https://ihsmarkit.com/research-analysis/biodegradable-polymers-market-value.html).

<sup>34</sup> 立鼎產業研究網. 2020。年我國生物分解塑膠行業產能產量及主要廠商產品品類、產能匯總分析[EB/OL]. 2020-01-19. [www.leadingir.com/datacenter/view/4580.html](http://www.leadingir.com/datacenter/view/4580.html).

<sup>35</sup> "Out of All Eco-Friendly Products, Biodegradable Ones May Be the Most Misunderstood." *Versopub*, 3. Sep. 2020, [www.versopub.com/out-of-all-eco-friendly-products-biodegradable-ones-may-be-the-most-misunderstood/](http://www.versopub.com/out-of-all-eco-friendly-products-biodegradable-ones-may-be-the-most-misunderstood/).

<sup>36</sup> Goldsberry, C. "Consumers Confused by Distinction Between Biobased and Biodegradable Plastics." *Plastics Today*, 8 Feb. 2020, [www.plasticstoday.com/sustainability/consumers-confused-distinction-between-biobased-and-biodegradable-plastics](http://www.plasticstoday.com/sustainability/consumers-confused-distinction-between-biobased-and-biodegradable-plastics).

- 沒有一種塑膠可以在任意的環境迅速分解，因此每一種可分解塑膠產品都有嚴格的分解條件要求。根據認證機構的分類，生物可分解塑膠目前包括「工業堆肥分解」塑膠、「家庭堆肥分解」塑膠、「土壤可分解」塑膠，「海水可分解」塑膠，以及「淡水可分解」塑膠。
- 雖然國際間已有一些正在運行中的生物可分解塑膠標準和認證系統，然而近年來多個研究卻指出可分解標準和認證無法反映真實情況<sup>37</sup>。因為認證所依據的標準分解性能測試均在實驗室類比條件下進行，與真實環境的條件有落差，而這些落差會影響材料是否能分解。因此，實驗室結論無法說明可分解塑膠在不同地區的自然環境中真實的分解速率和所需時間<sup>38</sup>。
- 例如美國有多處堆肥廠反映，由於處理方式和時間的差異，即使通過認證的工業堆肥分解塑膠也無法保證可以在自己的設施中充分分解<sup>39 40</sup>。

(三) 可分解產品主要依賴生物原料，原料的供應鏈缺乏規範，將會限制其更大規模的生產

- 全球超過三分之二的生物可分解塑膠生產依賴糧食作物作為原料，且糧食作物會是未來幾年或更長時間內的主要原料，如：玉米、木薯和蔗糖等糧食作物。
- 原料的永續性需要從環境、社會和經濟幾個方面進行評估。目前僅有少數龍頭企業已主動公佈其原料來源，或承諾監督自身產業鏈中的原料永續性<sup>41</sup>，多數生產公司缺乏明確的原料資訊。目前國際間也缺乏具強制性的永續認證體系，也缺乏國際間認可的標準作業依據。
- 相較於石化塑膠，生物基塑膠目前的產量仍然不大，原料生產用地僅佔全球耕地 0.02%<sup>42</sup>，但不容忽視的是，近五年原料的獲取向發展中國家轉移，集中在泰國、中國大陸和巴西。雖然全球耕地面積的 0.02% 並不大，但需要關注這 0.02% 的土地是否集中分佈，若生產集中在少數國家的特定區域，原料種植對少數原料產地會造成什麼影響，在現有的資訊下很難量化評估。資訊披露機制不健全、缺乏國際間合作監管體系，都會對原料的管理帶來風險。

(四) 可分解產品的廢棄物缺乏對應的處理系統，廢棄物無法處理，很難達到塑膠污染治理的目標

<sup>37</sup> Kjeldsen, A. et al. "A Review of Standards for Biodegradable Plastics." *Industrial Biotechnology Innovation Centre*, 2018,

<sup>38</sup> Harrison, J. P. "Biodegradability Standards for Carrier Bags and Plastic Films in Aquatic Environments: A Critical Review." *Royal Society Open Science*, vol. 5, no. 5, 2018, doi.org/10.1098/rsos.171792.

<sup>39</sup> "Fate Of Compostable Bags In Digester Field Trials." *BioCycle*, 11 Sep. 2018, www.biocycle.net/fate-compostable-bags-digester-field-trials/.

<sup>40</sup> Rosengren, C. "Some Facilities Stop Accepting Compostable Packaging as Contamination Debate Persists." *Waste Dive*, 8 Mar. 2019, www.wastedive.com/news/compostable-packaging-rexius-US-Composting-Council-Conference/550012/.

<sup>41</sup> "Ingeo Feedstocks & Certifications." *NatureWorks*, 2018, www.natureworkslc.com/~media/Files/NatureWorks/What-is-Ingeo/Where-Ingeo-Comes-From/NatureWorks\_Ingeo-feedstock-certification-options\_pdf.pdf?la=en. Accessed 17 Nov. 2020.

<sup>42</sup> "Bioplastics Market Data." *European Bioplastics*, www.european-bioplastics.org/market/. Accessed 20 Aug. 2020.

- 全球每年產生約 20 億噸垃圾，其中近半為有機質垃圾，然而，堆肥處理僅佔全球垃圾處理能力的 5.5%。堆肥處理能力不僅嚴重不足，在各地區的發展也極不平均。在原本處理有機質垃圾就已經有巨大缺口的情形之下，認為「一次性生物可分解塑膠塑膠可以完全被生物分解因此更環保」，是一個不切實際的假設。
- 那如果無法用堆肥處理，進到焚化爐或是掩埋場，會比傳統塑膠還要好嗎？答案也是否定的。
- 若以焚化處理，社會各界對垃圾焚燒技術仍然有諸多環境擔憂，垃圾焚燒在技術上是否可以做到完全乾淨生產，會不會為周遭帶來空氣污染，是否會給垃圾處理設施周圍的社區帶來健康隱患等問題，一直都備受爭議。若是做熱能回收，將生物可分解塑膠作為垃圾焚燒，由於熱能較低，發電效率並不高。
- 掩埋方面，由於掩埋場內部的環境複雜，生物可分解塑膠在掩埋場中是否能分解，一直沒有定論。但現代掩埋場為了盡量壓縮垃圾體積，內部壓縮緊實，沒有氧氣存在，而無氧狀態會大大減緩天然的生物分解過程。有實驗證明，可堆肥塑膠在掩埋場中 12 個月後的外表幾乎無變化。

(五) 可分解塑膠作為新興材料，生產過程以及分解過程如何保證綠色無毒，仍需要更多研究和監督管理

- 有越來越多的相關研究揭露了生物可分解塑膠的安全隱憂。雖然原料來自植物，但為了讓塑膠產品達到性能要求，也為了使脫模、塑形等生產過程順利進行，生物可分解塑膠在製造中仍然會使用各種輔助製劑、添加劑和塑化劑。一項針對歐洲市場的生物基塑膠產品的研究發現，有八成的受測產品含有超過 1000 種化學品，67% 的被測產品更含有多種有毒化學物質<sup>43</sup>。
- 美國公益機構環境健康中心（The Center for Environmental Health）在 2018 年針對美國市場的一次性碗盤等餐具中的含氟化合物進行性調查，發現包括植物纖維產品、甘蔗製 PLA 覆膜產品在內的生物可分解一次性餐具中，都有可能檢出含氟化合物<sup>44</sup>。

#### 四、各國政策如何因應

不同地區的塑膠政策起點不一樣，在不同發展階段對待生物可分解塑膠的態度也在變化。沒有垃圾系統的支援，「生物可分解」塑膠並無法解決日益嚴峻的塑膠污染問題。少數國家或地區已經意識到了這一點，在政策上暫緩推廣生物可分解塑膠，建議市場謹慎使用，這也是生物可分解塑膠近年來產業發展緩慢的一大原因。

<sup>43</sup> Zimmermann, L, et al. "Are Bioplastics and Plant-Based Materials Safer Than Conventional Plastics? In Vitro Toxicity and Chemical Composition." *Environment International*, vol. 145, 2020. doi: 10.1016/j.envint.2020.106066.

<sup>44</sup> "Avoiding Hidden Hazards." *Center for Environmental Health*, April 2018, [www.ceh.org/wp-content/uploads/2019/05/CEH-Disposable-Foodware-Report-final-1.31.pdf](http://www.ceh.org/wp-content/uploads/2019/05/CEH-Disposable-Foodware-Report-final-1.31.pdf).

**歐盟** - 2015 年發佈《循環經濟行動計畫》<sup>45</sup>，在此循環經濟的框架下於 2018 年發佈《歐洲塑膠戰略》<sup>46</sup>，2019 年歐盟議會通過《一次性塑膠指令》<sup>47</sup>，立法在歐盟境內禁止使用十種海洋污染最常見的一次性塑膠製品，雖然歐盟認可生物可分解塑膠在一些應用上可以作為傳統塑膠的替代材料，但同時也認識到生物可分解塑膠的市場管理缺少依據，消費者認知不足，缺乏相應的廢棄物管理方案，在這樣的前提下推廣使用有可能造成更大的塑膠污染，也會為已有的塑膠回收系統帶來問題<sup>48</sup>。因此歐盟對生物可分解塑膠頗為謹慎，提出仍然需要更多的實驗和評估去確定生物可分解塑膠的應用環景以及應用條件，並計劃在 2021 年以前針對生物可分解塑膠的管理建立法規框架<sup>49</sup>，涉及其原料來源、命名和標識、材料分解性認證系統，以及使用後的收集處理等多個方面。

**美國** - 美國是以各州去發佈針對塑膠的禁令，目前有八個州針對一次性塑膠使用頒布了禁止規定<sup>50</sup>。多地的規定中特別強調，一次性的生物可分解塑膠也包含在一次性塑膠禁止規定中。例如，洛杉磯市<sup>51</sup>和波特蘭市<sup>52</sup>在禁止餐飲業主動提供一次性塑膠吸管時強調，規定中的一次性塑膠吸管包括「可分解塑膠」，「可堆肥塑膠」（包括 PLA）吸管，由於當地沒有配套的末端處理設施，現階段不建議使用。

## 五、綠色和平建議

在既有的垃圾清運系統沒有大幅改善的情況下，只要是設計為一次性使用的塑膠，都極易流入環境，成為失控垃圾。我們面臨的塑膠污染是系統性問題，對「一次性」的過度依賴、不永續的消費觀念，和前端生產設計不考慮後端的資源利用的線性經濟模式，都是造成塑膠污染的問題。塑膠成為嚴重的污染源，究其根本是由於過度使用和後端處理不當，若不減少使用、不考慮使用後如何處理，替換成可分解塑膠並不會緩解塑膠污染。

### 綠色和平呼籲政府：

#### 針對一次性塑膠包裝和產品

<sup>45</sup> "Final Circular Economy Package." *European Commission*, ec.europa.eu/environment/circular-economy/first\_circular\_economy\_action\_plan.html. Accessed 20 Oct. 2020.

<sup>46</sup> European Commission. "A European Strategy for Plastics in a Circular Economy." 16 Jan. 2018, eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018DC0028&from=EN.

<sup>47</sup> "On the Reduction of the Impact of Certain Plastic Products on the Environment." *Official Journal of the European Union*, 6 Dec. 2019, eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019L0904&from=EN.

<sup>48</sup> *ibid.*

<sup>49</sup> "Circular Economy Action Plan." *European Commission*, ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new\_circular\_economy\_action\_plan.pdf. Accessed 20 Oct. 2020.

<sup>50</sup> Gibbens, S. "See the Complicated Landscape of Plastic Bans in the U.S." *National Geographic*, 15 Aug. 2019, www.nationalgeographic.com/environment/2019/08/map-shows-the-complicated-landscape-of-plastic-bans/.

<sup>51</sup> Plastic Straws-On-Request Ordinance. City of Los Angeles, www.lacitysan.org/san/faces/home/portal/s-lsh-wwd/s-lsh-wwd-s-r/s-lsh-wwd-s-r-psro;jsessionid=eIGPZUMLJnvJA9O2v4kYcVi81OCXtlIcj2lfLOVw9xIiMjppgnB8k!1595384780!-1364262218?\_adf.ctrl-state=rngvj0obg\_1&\_afLoop=6558972932365740&\_afWindowMode=0&\_afWindowId=null#!%40%40%3F\_afWindowId%3Dnull%26\_afLoop%3D6558972932365740%26\_afWindowMode%3D0%26\_adf.ctrl-state%3Drngvj0obg\_5. Accessed Oct. 20, 2020.

<sup>52</sup> Straw Ordinance. Portland, www.portlandmaine.gov/2558/Straw-Ordinance. Accessed Oct. 20, 2020.



- 優先採用源頭減量方案，優先發展可循環、可重複使用的替代方案，擴大企業生產者責任制度在塑膠包裝領域的應用

針對可分解塑膠

- 建立標識系統，規範生物可分解塑膠的命名和宣傳用語，禁止使用定義不明、有誤導性的用詞
- 完善生物可分解塑膠相關的標準和認證體系，確保標準測試能夠更準確地反應不同環境下塑膠的分解性和分解速度，進而保證可分解塑膠的市場管理有據可依
- 在推行生物可分解塑膠的區域，明定生物可分解塑膠的應用場域，評估垃圾處理機構的處理能力，並建立完整有針對性的後端垃圾清運系統，督促和規範企業的資訊揭露

綠色和平呼籲企業：

- 統計並公開塑膠使用方式，優先採用源頭減量方案，投資並開發重複使用方案，在沒有可確實處置的設施時不鼓勵使用生物可分解塑膠
- 針對生物可分解塑膠的製造和原料來源，積極主動公開相關訊息
- 保證製造或銷售的生物可分解塑膠具有明確標識，不使用有誤導性的宣傳語
- 指導消費者正確瞭解生物可分解塑膠的使用和處理方式
- 建立回收管道，確保生產銷售的生物可分解塑膠可被有效回收處理，不成為失控的塑膠廢棄物

附表 生物可分解的塑膠的主要類型

| 材料        | 主要應用領域 <sup>53 54 55</sup>                                     | 原料                            | 不同實驗中的分解條件和時間 <sup>56</sup>   |
|-----------|--|-------------------------------|---|
| PLA (聚乳酸) | 透明和不透明的硬質塑膠包裝、一次性用品如地膜、包裝膜 (袋)、食品袋、超市購物袋、垃圾袋、速食餐具、也用於耐用品的製造和纖維 | 現階段主要原料包括植物澱粉 (玉米澱粉、木薯澱粉) 和蔗糖 | 工業堆肥條件 (58°C 以上, 有氧菌群) : 58 天分解率 84%<br>厭氧堆肥條件 (58°C, 60% 濕度) : 30 天分解率 60% |

<sup>53</sup> 陳國強, 王穎. 中國“生物基材料”研究和產業化進展. 生物工程學報, 2015, 31(6): 955-967.

<sup>54</sup> 楊林, 黃景文, 周峰春, 薛聰. 生物分解塑膠有望爆發增長, 金髮科技充分受益 [R]. 西南證券. 2019 : 1-18. [stock.tianyancha.com/ResearchReport/eastmoney/ef546deebbaed4f1a753b04d922367b6.pdf](http://stock.tianyancha.com/ResearchReport/eastmoney/ef546deebbaed4f1a753b04d922367b6.pdf).

<sup>55</sup> 刁曉倩, 翁雲宣, 黃志剛, 等. 國內生物基材料產業發展現狀 [J]. 生物工程學報, 2016(6):715-725.

<sup>56</sup> Kjeldsen, A. et al. "A Review of Standards for Biodegradable Plastics." *Industrial Biotechnology Innovation Centre*, 2018, [assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/817684/review-standards-for-biodegradable-plastics-IBioIC.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/817684/review-standards-for-biodegradable-plastics-IBioIC.pdf).

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| <p>PHA (聚羥基脂肪酸酯), PHB (聚 3-羥基丁酸酯)、PHBV (3-羥基丁酸酯和 3-羥基戊酸酯的共聚物)、以及 PHBH (3-羥基丁酸酯和 3-羥基己酸酯的共聚物)。</p> | <p>目前 PHA 價格偏高, 主要用於較高價位的包裝、藥物釋放、傳輸載體及醫用植入器械領域</p>  | <p>細菌透過各種碳源發酵而合成的不同結構的細胞內聚酯, 新技術也開始探索用轉基因植物根莖內合成</p>            | <p>PHB 在工業堆肥條件 (58°C) : 110 天分解率 79.9%</p> <p>PHA 在土壤環境中 (35°C) : 60 天分解率 35%</p> <p>PHB 在真實土壤環境中 (溫度、濕度變化) : 300 天分解率 98%</p> |
| <p>二元酸二元醇共聚酯, PBS (包括聚丁二酸丁二醇酯), PBAT (聚對苯二甲酸-己二酸丁二醇酯), PBSA (聚丁二酸-己二酸丁二醇酯)</p>                    | <p>用於和澱粉、聚乳酸等進行共混, 已用於一次性餐具、超市購物袋和地膜等用途</p>         | <p>目前主要原料仍為石油副產物, 部分原料可以生物法制備, 但是生物製備的商業生產仍在開發<sup>57</sup></p> | <p>PBS 在厭氧堆肥條件 (58°C - 65°C, 50-55% 濕度) : 160 天分解率 90%</p> <p>PBS/澱粉混合材料在土壤環境中 (25°C, 60% 濕度) : 28 天分解率 7%</p>                 |
| <p>澱粉基塑膠</p>  | <p>食品包裝、一次性餐具、超市購物袋、垃圾袋、地膜等</p>                     | <p>主要原料為植物澱粉</p>  | <p>厭氧堆肥條件 (58°C) : 90 天分解率 85%</p> <p>厭氧堆肥條件 (23°C, 55% 濕度) : 72 天分解率 26.9%</p> <p>土壤環境中 (20°C, 60% 濕度) : 110 天分解率 14.2%</p>   |
| <p>PVA 或 PVOH (聚乙烯醇)</p>  | <p>PVA 目前主要應用於紡織漿料、塗料和纖維, 少量用於造紙塗層<sup>58</sup></p> | <p>主要技術是以天然氣或石油副產品為原料生產。逐漸開始有生物質工藝製備, 但是占比很小<sup>59</sup></p>   | <p>PVA 具有水溶性, 在一定溫度的水中可以溶解</p>   |
| <p>PPC (二氧化碳共聚物)</p>  | <p>高成本和技術瓶頸尚待解決, 還沒有大規模商業量產</p>                     | <p>以二氧化碳為單體與環氧化物通過共聚反應製備的一種高分子材料</p>                            |  |
| <p>PCL (聚己內酯)</p>   | <p>主要用於臨床醫學研究</p>                                   | <p>原料為石油副產物</p>   |  |

<sup>57</sup> 陸海旭. 生物可分解塑膠的發展現狀與趨勢[J]. 化學工業, 2016, 34(03): 7-14.

<sup>58</sup> 京明. 我國聚乙烯醇生產技術進展及市場分析[J]. 乙醛醋酸化工, 2014.

<sup>59</sup> 曉銘. 國內外聚乙烯醇的供需現狀及未來發展趨勢[J]. 乙醛醋酸化工, 2018, No.211 (03) : 8-11.