

破解

「生物可分解塑膠」：

生產，使用與 環境衝擊



著作權聲明

本報告由綠色和平發佈，綠色和平是本報告的唯一合法著作權所有人。

免責聲明

本報告由綠色和平東亞分部出版。作者對報告的內容和結論負全部責任。過程中諮詢過的專家對本報告提供了相關意見，但他們的參與並不代表對報告內容或結論的認可。本報告中提及的企業及引用的商標僅作為研究案例，並不代表綠色和平對相關企業進行批評或推薦。

本報告作環保公益和資訊分享目的使用，不作為公眾及任何協力廠商的投資或決策的參考，綠色和平亦不承擔因此而引發的相關責任。

本報告為綠色和平於研究期間內基於各種公開訊息獨立調查研究產出的成果。綠色和平不對報告中所涉及資訊的及時性、準確性和完整性作擔保。

GREENPEACE 綠色和平

綠色和平是一個獨立的全球性環保組織，致力於以實際行動推動積極的改變，保護地球環境與世界和平。

作者：Dr. Molly Zhongnan Jia

設計：Ye Zhang

特別感謝：Kathryn Miller, Erin Newport, Qianru Ma, Zizhu Chen, Enzo Favoino.

綠色和平東亞分部 2020年12月出版

如您有任何問題或建議，請聯繫 inquiry.tw@greenpeace.org



OXO-degradable

biodegradable

bio-based

compostable

目錄

一、可分解塑膠究竟是什麼	4
二、生物可分解塑膠產業	6
2.1 生物可分解塑膠有多少	6
2.2 生物可分解塑膠的來源	7
2.3 生物可分解塑膠用在哪裡	8
2.4 供不應求的現狀和未來發展	9
三、被忽視的產業鏈前端	11
四、生產的無毒和安全性	13
五、生物可分解塑膠垃圾都去了哪裡	14
5.1 可分解標準和認證系統不完善	14
5.2 消費者不認識	15
5.3 堆肥處理缺口大	15
5.4 其他垃圾處理方式可以有效處理生物可分解塑膠嗎?	17
六、政策制定者如何處理生物可分解塑膠	19
6.1 歐洲	19
6.2 美國	21
6.3 中國大陸	22
七、國際企業用的「綠色包裝」是否都可分解	26
7.1 消費品公司	26
7.2 零售商	27
7.3 電商公司	28
八、建議	30
APPENDIX	31

一、可分解塑膠究竟是什麼

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。除此之外，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¹。每年全球使用量超過3億噸的塑膠，其中近一半²為一次性塑膠³。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、63個國家或地區針對一次性塑膠製品制定了生產者延伸責任（EPR）措施⁴。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。

2020年中國大陸推出充滿雄心的新限塑政策⁵⁶，限制多種一次性（不可分解）塑膠的生產和使用的同時，「可分解塑膠」被視為傳統塑膠的替代品，再次引發熱議。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。

首先，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。塑膠的分解主要包括兩種方式：一種是光、氧分解，一種是生物分解⁷。所謂的光分解和氧分解，一般是在傳統石化塑膠中混入添加劑，使塑膠在光照或較高溫度下加速碎裂⁸，並非真正的分解。業界曾經認為光、氧裂解後的塑膠可以再被微生物分解，最終分解成二氧化碳和水。然而，近年的研究認為經由光和氧裂解後的破碎塑膠無法在可控時間內完全被微生物分解，仍會殘留在環境中⁹。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（附表1）。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」。

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¹⁰。

在不少政策和企業的支持推廣下，可分解塑膠（尤其是生物可分解塑膠）的應用範圍如預期的持續增加，產能與產量也不斷攀升，因此我們須正視生物可分解塑膠的應用所潛藏的問題。在本報告中，綠色和平檢視當前仍在發展的生物可分解塑膠產業，在現有垃圾清運處理系統下，生物可分解塑膠的最終命運，

並比較主要國家和地區對生物可分解塑膠的管理，以及在商品包裝中生物可分解塑膠的應用，以便更全面地瞭解生物可分解塑膠在全球和各區域對塑膠污染是否有積極的貢獻，以及它的製造與應用可能帶來哪些環境壓力。

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¹¹，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%。

澱粉基塑膠的全球產能約45萬噸。澱粉因為便宜、量大、製造容易、且生物可分解，被看作是發展生物可分解塑膠的重要材料。但是澱粉不防水、缺少韌性等特性，使得純澱粉材料無法適用於工業生產，因此時常與其他塑膠材質混合以改變材料性狀¹²。澱粉基塑膠的發展經過了幾個階段，早期的澱粉基塑膠主要是在不可分解的塑膠（如聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP））中添加澱粉，從而達到降低成本、增加分解性等目的。這類材料只有澱粉可以在特定條件下分解，因此這類材料只是部分可分解的澱粉填充型聚合物。隨著市場對分解性的要求提升，現階段的澱粉基塑膠主要是熱塑性澱粉¹³與其他生物可分解材料混合形成的聚合物。雖然隨著技術發展，生物分解性更好的澱粉基塑膠已經普遍存在，但部分可分解的澱粉填充型聚合物仍然廣泛存在於一些市場上。

PLA是另外一種主要發展的生物可分解塑膠種類¹⁴，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¹⁵。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¹⁶），或以廢氣（二氧化碳、甲烷）¹⁷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¹⁸。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¹⁹。

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²⁰。PHA尚未大規模商品化的主要瓶頸是居高不下的生產成本²¹，但歐洲生物塑膠協會對其發展寄予厚望，預測PHA將是未來發展最快的生物可分解材料²²。

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²³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²⁴。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²⁵，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²⁶，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²⁷。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²⁸。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²⁹。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³⁰。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³¹，其他大多數企業生產線產能則在1萬噸左右。最近，中國安徽的豐原集團有限公司宣佈了「2025年達到PLA年產1500萬噸，2030年達到3500萬噸」的計畫³²。該公司規劃的產能若達成目標，將是現有全球PLA總產量的100倍。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：德國化工企業巴斯夫（BASF）現有PBAT年產能為7.4萬噸³³，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³⁴。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³⁵。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PBS³⁶。

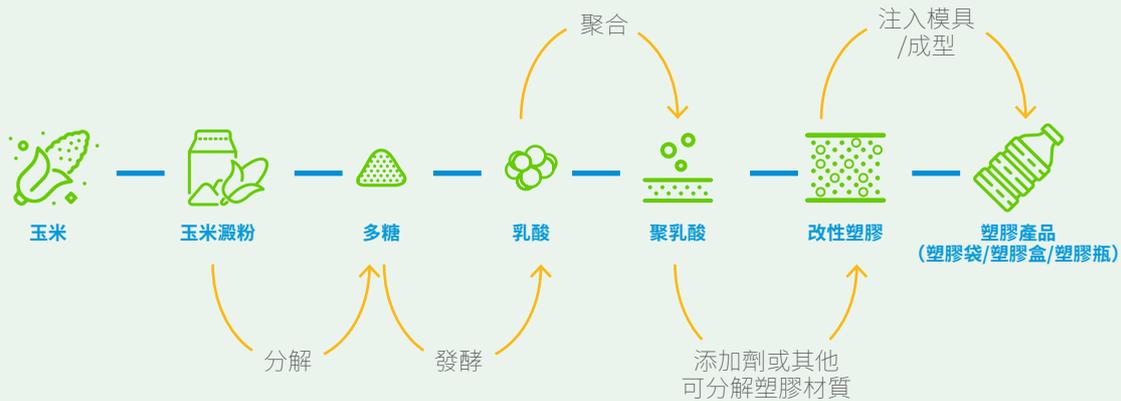
PHA：PHA的產能曾經遠大於現有規模，但由於市場推廣沒有達到預期，產能利用率低於10%，多家企業相繼停止生產。美國的MetaboliX關閉了年產5萬噸的生產線³⁷，義大利的Bio-on公司也於2019年12月宣告破產³⁸。目前美國的Danmier Scientific擁有最大的PHA生產線，以油菜籽為原料³⁹，公司稱未來幾年的目標是推動PHA生產技術達到商業量產規模，生產使用的油菜籽有可能將來自美國東南部。在中國大陸，天津國韻生物材料有限公司擁有全國最大的PHA生產線，年產1萬噸。

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。這也意味著，我們透過網路購買的生物可分解塑膠袋和從超市買到的生物可分解塑膠袋在成分比例上可能會有差別。

生物可分解塑膠的產業鏈

生物可分解塑膠是化工產品，其產業鏈跨足農業和化學品合成領域。以玉米澱粉為原料的聚乳酸（PLA）為例，整個產業鏈包括植物原料獲取、原料製備、化學單體和中間體製備、生物可分解塑膠顆粒合成、改性塑膠配製及最終塑膠製品生產幾個環節，整個產業鏈通常是全球跨地區、多個上下游企業所構成。

- 植物原料獲取：玉米種植或購買
- 植物原料製備：玉米製成玉米澱粉
- 單體製備：澱粉分解成多糖
- 中間體製備：多糖發酵成為乳酸
- 塑膠顆粒合成：乳酸聚合成為聚乳酸，製備成聚乳酸顆粒
- 改性塑膠生產：根據每一種塑膠產品的需求，原料供應商會按比例混合不同種類的生物可分解塑膠，按需求使用不同添加劑，生產出不同性能改性塑膠
- 塑膠產品生產：塑膠廠商使用改性塑膠原料最終製成塑膠產品



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⁴⁰。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⁴¹。多家國際消費品企業、全球連鎖餐飲龍頭和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⁴²。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⁴³，因此食品類的生物可分解塑膠使用量預計會增加地更

快。可堆肥分解袋是生物可分解包裝的第二大應用領域，在2017年用量達7.2萬噸，預計到2022年將接近8萬噸⁴⁴。不少國際知名電商公司也在政策和環保的雙重壓力下，開始使用生物可分解塑膠包裝。以中國大陸為例，快遞和外送兩個產業若能在政策推動下達到20%外送包裝可分解，以及政策所期待的「50%快遞包裝可分解」⁴⁵，將產生超過74萬噸的生物可分解塑膠需求。

2019年生產的生物可分解塑膠中，約14%用於農業和園藝領域，包括生物可分解農膜、育苗杯等產品。雖然生物可分解農膜的效果和分解性目前仍然在測試階段，但由於傳統的聚乙烯農膜無法在土壤中分解，破碎後會造成嚴重的土壤污染，多個國家已嘗試推廣使用在土壤中生物可分解的塑膠農膜，以代替傳統聚乙烯農膜。目前用於發展生物可分解農膜的主要材料是非生物基的PBAT。BASF預估全球的生物可分解農膜需求可達到每年200萬噸，歐洲市場的需求可達到每年10萬噸⁴⁶。中國大陸的覆膜種植量為全球之最，每一年使用的農用地膜約250萬噸，若以10%的替換率計算，中國大陸對生物可分解農用地膜的年需求將超過20萬噸⁴⁷。

2.4 供不應求的現狀和未來發展

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⁴⁸。相比之下，中國大陸的預測更為大膽，有研究估計中國大陸的可分解塑膠需求量將在2025年達到238萬噸⁴⁹，僅PBAT類產品一年的替代需求將達到64萬噸⁵⁰。根據中國清華大學溫宗國教授的估算，若消費成長趨勢不變，並使用生物可分解塑膠替代限塑法規的禁限品項，中國大陸在未來五年內的累計需求量將達到2200萬噸⁵¹，是目前全球全部產能的10倍。

政策利多和預期需求暴增都牽動著產業佈局。僅在中國大陸，已有36家公司正在建立或預計建立可分解塑膠專案，新增產能合計440.5萬噸⁵²。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。生物可分解產業的實際產量資訊並不完善，真實數量應該遠低於211萬噸的全球產能。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⁵³，實際產能利用率僅為30%。

生物可分解塑膠的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：

- 1. 成本和生物原料：**生物可分解塑膠的成本比傳統石化塑膠至少高一倍，價格相較於傳統石化塑膠卻沒有優勢，尤其近年原油價格持續走低，帶動著石化塑膠價格一路下跌，也拉大了生物塑膠和石化塑膠的價差⁵⁴。降低成本的技術壁壘仍然存在，因此生物可分解塑膠無法被下游市場廣泛接受。生物製品的一大成本是原料，目前近三分之一的生物可分解塑膠使用石油副產品為原料，三分之二使用生物質原料，且整體產業往再生的生物質原料發展。而現在，生物質原料仍以玉米、木薯和蔗糖等糧食作物為主。在大規模使用糧食作物作為工業原料之下，如何保證原料供給不與糧食供給發生衝突，如何保證企業在追求低成本的同时確保供應鏈的永續性，都是一直存在的問題。
- 2. 性能和化學添加劑：**現階段的生物可分解塑膠產品機械性能（例如強度低、彈性差）仍然無法滿足後端產品多樣化的需求。為達到所需的性能，除了混合使用不同種類的生物可分解塑膠，使用多種化學添加劑是常見做法。添加的化學品為何、這些化學品會不會有負面的健康和環境影響、含有化學品的生物可分解塑膠是否還能稱之「綠色環保」——這些問題是生物可分解塑膠產業的第二個挑戰。

3. 分解性和垃圾處理設施：雖然稱為「生物可分解」，但生物可分解塑膠的完全分解沒有那麼簡單。市場上的生物可分解塑膠定義不清楚、標識不統一、消費者不認識、產品宣傳不實。這些因素致使生物可分解塑膠的品質參差不齊，市場監管困難，更不用談大規模推廣。且生物可分解塑膠的實際分解需要確實的垃圾清運和垃圾處理系統，這在多數國家或地區並不完善。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。

目前這幾個問題均仍未解決，因此對生物可分解塑膠的短期發展並不應該過於樂觀。

三、被忽視的產業鏈前端

生物可分解塑膠作為主要使用生物質原料的化工產品，具有產業鏈長、原料大多由發展中國家供應的特點。從綠色和平過去對棕櫚油和電子產品的產業調查中可知，產業鏈長意味著監管困難、種植原料很容易在當地帶來諸如毀林、破壞自然物種棲息地、佔用農業⁵⁵用地等問題。因此，在原料產地經常出現嚴重環境污染和勞工權益等諸多問題⁵⁶。目前生物可分解塑膠產業仍在成長，在原料使用方面依然存在資訊缺乏、資訊披露機制不健全，及缺乏國際間合作監管體系等問題，這些都會對原料的管理帶來風險。

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，原料的永續性需要從環境、社會和經濟幾個方面進行評估。目前除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⁵⁷，多數生產公司缺乏明確的原料資訊。雖然多個利益關係方逐步建立了幾個生物質原料的永續性認證體系，例如International Sustainability and Carbon Certifications (ISCC) 體系⁵⁸、The Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB) 和The Bioplastic Feedstock Alliance (BFA)⁶⁰，但認證體系並不具備國際標準的權威性，也缺乏國際間認可的標準作業依據，且目前的認證體系是自願參與，並無強制性。

國際標準的缺失也與塑膠的原料監管缺乏國際共識有關。儘管現有的一些國際公約與生物原料的永續開發有關，現有公約卻不足以處理塑膠產業鏈發展下，生物原料利用所帶來的所有風險。塑膠的原料開發涉及糧食和農業、環境、貿易等幾個重要政策領域，且發展中國家比已開發國家面臨更大的機會和更高的風險，但發展中國家普遍缺少對生物原料永續性的嚴格規定。即使是在永續性方面政策相對完善的歐盟，也只針對生物能源的原料來源提供永續性原則建議，且該建議無強制性，也沒有延伸至塑膠產業⁶¹。

原料的永續性⁶²

環境方面：主要關注原料種植的土地使用所帶來的一系列環境影響，包括原料產地是否存在區域性的耕地緊缺，與是否因大面積推廣可用於生物塑膠的農作物造成耕地佔用、土地挪用，是否會導致森林砍伐，是否造成當地的其他物種棲息地被破壞而導致生物多樣性流失；種植活動是否加重了水資源匱乏、是否因施用農藥造成了當地水土和環境污染的問題。原料種植若佔用森林等碳含量很高的土地，會大大增加生物塑膠製品的碳足跡。

社會方面：討論圍繞著糧食安全和土地使用。擔憂原料的工業使用會與糧食供給競爭，推動糧食價格上漲，對糧食安全，尤其是貧困人群的糧食獲取帶來負面影響。在土地使用方面，雖然生物資源的開發可能為小型生產者創造收入，但大規模工業化種植更具經濟性；企業是否會為了降低成本採用大規模種植，而忽略了大規模種植帶來的勞工權益、土地污染，以及伴隨大規模土地開發而來的許多社會不平等問題。

經濟方面：生物質原料的生產加工若想達到經濟永續性，仍需投資研發以推動生產效率，降低成

本。在塑膠生產中，目前生物質原料的價格與石化原料相較並沒有優勢，現階段若沒有政策干預和政府補貼，生物原料的使用很難實現經濟永續性。

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%，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。隨著越來越多的國家推行生物塑膠產業發展，甚至強制使用生物可分解塑膠，比如一次性塑膠使用量巨大的中國大陸宣佈了更嚴格的限塑政策，各界預測生物可分解塑膠的生產在短期內會有跳躍式的成長，這也對原料管理提出了更迫切的要求。

假設全球的塑膠包裝都使用生物可分解塑膠，需要多少耕地與糧食？

全球每年使用的塑膠包裝高達1.46億噸。假設這些塑膠全部以生物可分解塑膠替代，以最為人熟知、轉化率和成本相對低廉的PLA為例，生產1.46億噸的PLA需要使用348,940,000噸的玉米，這相當於全球一年玉米產量的32%，是中國大陸玉米總產量的1.34倍。生產這些玉米需要用地54,020,000公頃，占現在全球耕地面積的1%：這些玉米若全部在中國大陸生產，需佔用中國大陸糧食播種面積的一半。

據中國清華大學溫宗國教授的估算，未來五年中國大陸的生物可分解塑膠累計需求量達2200萬噸，若全部使用玉米澱粉生產的PLA，意味著製造塑膠的玉米需求量將達到52,580,000噸，相當於中國大陸2019年玉米總產量的20%。這些玉米若全部在中國大陸生產，需要佔用中國大陸糧食播種面積的7%。

四、生產的無毒和安全性

很多人會認為生物可分解的塑膠製品就是安全無毒的，但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以及生物可分解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⁶⁴。

以全氟烷基物質（per/poly fluoro alkyl substances, PFAS）為例，PFAS是廣泛使用於塑膠品製造加工的一大類化學品，會增加塑膠製品耐熱、防油防水的性能，也被用做脫模劑⁶⁵。目前有超過4000種PFAS。現今科學家還不完全瞭解這一類化學品的健康風險，但是越來越多的研究發現這組物質對人體健康和環境安全造成威脅。其中，全氟辛酸（PFOA）是可能使人類致癌的物質，而全氟辛烷磺酸（PFOS）也是有諸多健康風險的持久性有機污染物，在人體和環境中不會分解，並會隨著時間持續積累⁶⁶。其他PFAS的安全性也從未被明確的長期研究證實。在風險尚不明確的情況下，PFAS廣泛用於各種食品包裝，僅在少數國家被禁用⁶⁷。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⁶⁸。美國加州也在2019年制定了工作計畫，要求對食品包裝中的含氟化合物做更全面的調查⁶⁹。這些化學品是否會直接從包裝上釋出並影響其接觸的食物還有待研究，但這些生物可分解塑膠若進入堆肥設施，其中包含的有毒有害化合物也會污染肥料⁷⁰。在美國多家堆肥廠的測試中，都發現了肥料含有高濃度的PFAS^{71 72 73}。為了確保人的健康安全，美國環保署建議聯邦政府建立科學的評估方法，儘早將這些危險化學品從生產源頭去除⁷⁴。

目前針對可堆肥或生物可分解塑膠的化學品檢測包括食品安全檢測（食品接觸類）和生態毒性檢測⁷⁵，但這些檢測關注的化學品名單有限，且大部分已知或未知的有毒有害化學品並不包含在檢測名單上，並無法對產品進行全面的化學品檢測。因此，對生物可分解塑膠產品的安全管控需要生產商和製造商更積極的揭露完整資訊，並且也要求政府制定更有效的化學品管理和檢驗策略，從源頭上防治生物可分解塑膠產品的健康和環境風險⁷⁶。

五、生物可分解塑膠垃圾都去了哪裡

生物可分解塑膠還面臨一個更緊迫的現實問題：其推廣時所稱的「生物可分解」究竟是事實，還是誇大宣傳？首先，在任意環境下都能快速分解的生物可分解塑膠並不存在，現有的各類生物可分解塑膠都需要相應的處理方法進行分解。為了確保材料分解，不僅需要足夠的後端處理設施，還需要產品設計、使用、丟棄和處理的每一個環節攜手合作。分解的最基本要求是生物可分解塑膠能夠被清楚分辨，但現有的生物可分解塑膠外觀與傳統塑膠相近，加大了消費者辨識的難度。因此，對生物可分解塑膠的有效區分有賴於權威認證系統對可分解性的區別、生產者對生物可分解塑膠產品的明確標識，並需要對消費者進行更多的科普教育。

5.1 可分解標準和認證系統不完善

塑膠的分解性很難由普通消費者自行判斷，因此制定標準以明確分解的定義、分解性能檢測方法和標識要求，對生物可分解塑膠的市場規範非常重要。在有產品標準的前提下，發展產品認證系統可以促進企業和國家監督和管理產品品質，產品的統一認證標識也可以為消費者提供相關訊息，從而引導消費。歐美市場因為生物可分解塑膠推廣較早，標準和認證系統也發展得相對完善。歐盟委員會的EN標準、美國材料實驗協會制定的ASTM標準，以及國際標準化組織的ISO標準是目前最廣泛使用的國際和區域型標準⁷⁷。被普遍認可的國際認證主要包括國際生物分解產品協會（BPI）和美國堆肥協會（USCC）的堆肥產品認證計畫⁷⁸，德國萊茵TÜV和歐洲生物塑膠協會共同開發的可工業堆肥塑膠的認證系統，旗下包括了德國標準協會認證公司（DinCertco）⁷⁹和奧地利認證機構TÜV AUSTRIA⁸⁰。這些認證機構基於EN標準、ASTM標準或是ISO標準檢測塑膠產品的分解性，給予認證標識。此外，非英語體系的認證則有日本生物塑膠協會（JBPA）發展的日本國內的GreenPLA認證⁸¹。

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苛的分解要素和條件。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。

堆肥處理

堆肥處理包括兩種主要形式：工業堆肥和家庭（社區）堆肥。兩者的主要區別是堆肥規模、堆肥條件可控性和堆肥溫度，其決定工業堆肥和家庭堆肥中活躍菌群的差異⁸²，因而決定兩種方式可以消化的垃圾種類。工業堆肥的溫度維持在50-65°C，家庭堆肥的溫度一般低於45°C⁸³。工業堆肥分解塑膠在家庭堆肥中不能保證分解。

雖然透過國際的標準與認證系統較能理解產品的可分解性，但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⁸⁴。例如有多處堆肥廠反映，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^{85 86}。「土壤可分解」、「淡水可分解」和「海水可分解」材料也面臨同樣的名不副實的問題。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。例如，「海水可分解」塑膠的認證實驗要求材料在20°C-30°C的溫度下進行分解，但只有少數地區的海水溫度能夠達到20°C⁸⁷-30°C⁸⁸。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⁸⁹。生物可分解產品的認證，只能證明塑膠能夠在可控實驗條件下生物分解，卻無法回答人們真正關心的問題：這種生物可分解產品使用後，在我居住的地區是不是能被分解？

5.2 消費者不認識

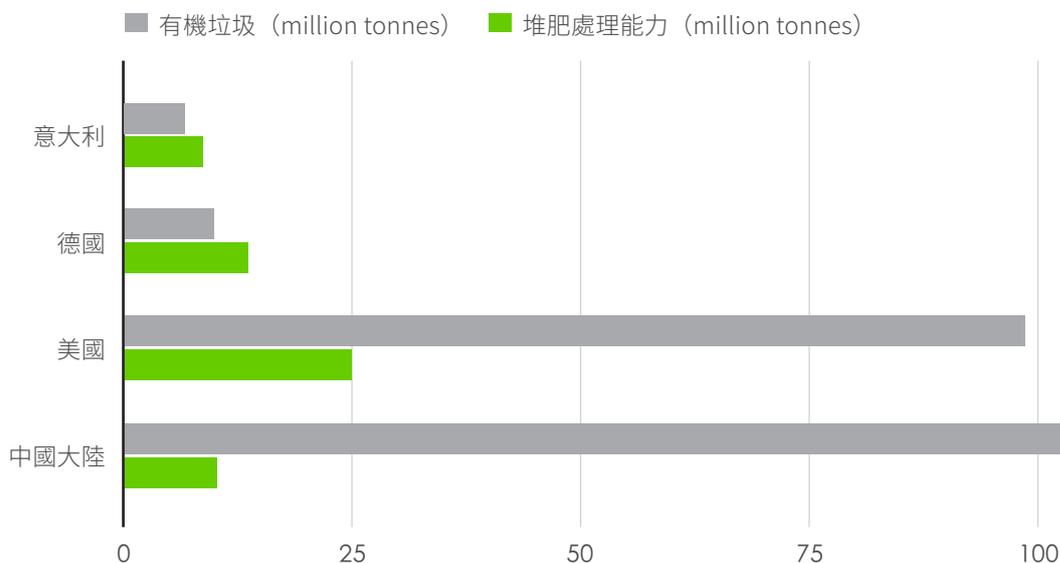
生物可分解塑膠不僅產品術語多、種類複雜、標識不統一，產品宣傳也經常誇大效果，誤導消費者。除此之外，由於多國市場監管不力，消費者還要區分可分解塑膠產品的真偽⁹⁰。消費者普遍無法區分「生物基」、「生物可分解」、「可堆肥分解」等概念。多個研究表示，消費者誤以為「生物可分解」產品丟棄後可以在環境中迅速分解，導致任意丟棄垃圾的現象更容易發生⁹¹。使用生物可分解塑膠的企業通常打著「環保天然」、「在自然環境中分解」的旗號，誇大宣傳產品的分解性，卻與產品實際的分解性能不符，無法清楚告訴消費者產品是否可以完全分解，在何種條件下可以分解，分解需要多長時間，以及使用後應該如何正確處理。因為「生物可分解」無法明確定義，又有誤導性，一些地區已經立法禁止公司宣傳出售的產品為「生物可分解」，但較為嚴格的管理僅適用在少數地區，廣泛的全球市場仍然缺乏嚴格的名稱規範。

現有知名認證機構的可分解塑膠認證標識也沒有發揮應有的指導作用。2019年國際消費者協會對這些標識進行評估，發現很多可分解塑膠的認證標識既無法說明產品在真實環境是否能分解，也沒有指導消費者用後如何處理產品⁹²。在越來越多消費者重視環保與永續的今天，生物可分解塑膠市場需要更嚴格的管理、更有效的規範，以保證消費者獲取足夠的資訊以選擇對環境友善的產品。

5.3 堆肥處理缺口大

認為一次性生物可分解塑膠更環保的想法，是建立在這些替代品可以完全被生物分解的假設上，但是目前市售的一次性生物可分解塑膠產品中，有83%是可堆肥分解塑膠⁹³，需要在工業堆肥條件下進行分解。

全球每年製造約20億噸垃圾，其中近半為有機質垃圾⁹⁴。堆肥處理有機質垃圾可以有效減少垃圾掩埋量，把垃圾分解成有機肥，促進有機質的循環利用⁹⁵。然而，堆肥處理僅佔全球垃圾處理能力的5.5%⁹⁶。堆肥處理能力不僅嚴重不足，在各地區的發展也極不平均。歐盟在1999年推出垃圾掩埋指令（Landfill Directive 1999/31/EC）⁹⁷，為了減少垃圾掩埋量，在各國開始發展堆肥處理設施。到2016年，歐洲即使身為堆肥能力領先的地區，堆肥處理也僅佔垃圾處理能力的10%⁹⁸。2019年，歐盟21國中，只有7個國家有能力堆肥處理國內產生的全部有機質垃圾⁹⁹，大部分歐洲國家的堆肥處理能力和垃圾製造量之間仍有巨大的差距。美國的主要垃圾處理方式仍然是掩埋，堆肥處理僅佔全美垃圾處理能力的3%¹⁰⁰。根據中國統計年鑒，2018年中國大陸垃圾處理能力的比例為49%衛生掩埋，48%焚燒，堆肥處理能力同樣低於3%¹⁰¹。



不同地區有機垃圾量和堆肥處理能力之間的差距

中國大陸現有的主要垃圾處理方式為垃圾掩埋和焚燒，除此之外，其他垃圾處理能力約佔全部方式的3%，即使3%全部都是堆肥設施，相當於每一天可以處理28,102噸有機質垃圾，與每天產生的29萬噸廚餘垃圾相比¹⁰²，有機質垃圾堆肥處理的缺口高達26萬噸/天。若以一座堆肥廠的堆肥處理能力20,000噸/年計算，仍然需要新建4887座堆肥廠才可以處理全部的可堆肥有機質垃圾，遑論隨著生物可分解塑膠的應用而產生的更多塑膠垃圾。

資料來源：

意大利 (2016) : https://www.compost.it/wp-content/uploads/2019/08/CIC-Key-Data-2018-ENG_web-version_protetto.pdf

德國 (2015) : https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/abfallwirtschaft_2018_en_bf.pdf

中國大陸 (2018) : www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexch.htm。中國大陸的有機質垃圾量僅包含廚餘垃圾

美國 (2018) : <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials>

在堆肥處理能力如此緊缺的情況下，不是所有的堆肥機構都願意處理可堆肥分解塑膠。美國在2018年針對全國堆肥機構的問卷調查中發現，回答問卷的企業中，僅有一半能夠承接可堆肥塑膠垃圾¹⁰³。雖然在德國、義大利、荷蘭等國家，政府鼓勵使用經過認證的可堆肥分解塑膠袋作為廚餘垃圾袋，從而大大提高了廚餘垃圾的收集量。但是在經年的實際操作之後，一些堆肥機構對可堆肥分解塑膠產生疑慮。各國不少堆肥設施營運商開始拒收可堆肥塑膠袋^{104 105}，主要原因包括：

1. 堆肥機構處理蔬果廚餘的普遍時間長度是一個半月左右，但可堆肥塑膠的分解需要三個月或更久，在堆肥運行時間內無法有效分解¹⁰⁶。
2. 消費者和回收者都無法輕易區分可堆肥分解塑膠和傳統塑膠，不少堆肥機構擔心開放接收可堆肥塑膠會引入更多的不可分解塑膠污染物¹⁰⁷。
3. 接收和處理可堆肥塑膠不會為堆肥機構帶來任何附加價值¹⁰⁸，反而會因消費者無法區分可堆肥塑膠和傳統塑膠，引入不可分解塑膠，污染有機肥，降低出廠肥料的品質¹⁰⁹。

目前美國的堆肥協會建議，堆肥機構應該對經過認證的「可堆肥塑膠」產品再進行實地測試，以確保該產品可以在自己的設施運營條件下正常分解¹¹⁰。

目前仍極度缺乏有關生物可分解塑膠的使用和後端處理數據，因此無法估算究竟有多少生物可分解塑膠最終可以順利進入正確的處理設施，並被妥善處理。另外，全球垃圾清運率仍有待提高，目前僅有少數城市區域可以達到100%的垃圾清運率，在低收入國家垃圾清運率更僅有39%¹¹¹。

低效的垃圾清運和處理系統也是塑膠成為環境污染物的主要原因¹¹²。因為生物可分解塑膠是新興材料，即使在收運率高的地區，也很少被明確包含在現有的垃圾處理體系中。針對「生物可分解塑膠應該如何丟棄」的問題，美國環保署建議「請消費者自行聯繫當地垃圾處理機構確認」¹¹³。被譽為垃圾分類系統最完善的日本，在分類手冊中也還沒有納入生物可分解塑膠¹¹⁴。中國大陸也沒有明確在正推行的垃圾分類政策中提出生物可分解塑膠該歸入哪一類。由於資訊紛雜混亂，且產品缺少統一標識和後端處理資訊，消費者作為垃圾分類重要的第一線執行者，缺乏明確區分生物可分解塑膠和使用後該如何處理的依據與資訊。

5.4 其他垃圾處理方式可以有效處理生物可分解塑膠嗎？

生物可分解塑膠在推廣過程中，最常遇到的問題就是「能不能和其他塑膠垃圾一起放進回收箱裡」。簡單的答案是「不能」：雖然一些生物可分解塑膠理論上具有回收價值，但現有產品普遍不是為了回收而設計的，也沒有明確的回收管道，這與許多可回收的石化塑膠所面臨的困境是一樣的。2015年，全球塑膠廢棄總量達63億噸，僅9%被回收處理¹¹⁵。雖然塑膠製造商聲稱所有塑膠都是可回收的，但由於產品設計不利於回收、使用新材料成本遠低於回收成本，與塑膠廢棄物無法被有效收運等問題，廢棄塑膠的實際回收率很低。生物可分解塑膠的引入會令問題已頗多的塑膠回收系統變得更加脆弱。以目前回收率最高的PET塑膠瓶為例，若回收的PET中摻雜了生物可分解塑膠，會導致回收料純度降低以及回收機器堵塞等問題。PET中若混入0.1%的PLA，回收料透明度會明顯降低；¹¹⁶混入0.3%的PLA會導致回收料顏色發黃；混入2%-5%的PLA則會因為兩種塑膠熔點不同而堵塞回收機器¹¹⁷。因此，生物可分解塑膠在現階段仍無法被回收。

在北美、歐洲和澳洲等高收入國家，焚燒是佔比很大的垃圾處理方式。將生物可分解塑膠作為垃圾焚燒，發電效率並不高。生物可分解塑膠的熱值為19.6MJ/kg，普通塑膠的熱值為40MJ/kg，計算燃燒一公斤所產生的能量分別是4.51MJ和9.2MJ¹¹⁸。雖然焚燒生物可分解塑膠的碳排放會稍低，但焚燒同等重量的生物可分解塑膠產生的熱量遠低於普通塑膠，從發電效率來看，生物可分解塑膠並不是理想的焚燒發電物質。此外，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，會不會造成空氣污染，是否增加垃圾處理設施周圍社區的健康問題，一直都備受爭議¹¹⁹。

全世界仍有40%的垃圾被掩埋處理，低收入國家仍然以傾棄式處理為主。在缺乏其他垃圾處理設施的情況下，生物可分解塑膠在使用後最有可能進入掩埋場。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完全分解，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，而無氧狀態會大幅減緩天然的生物分解過程¹²⁰。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¹²¹。即使生物分解真的發生，若大量塑膠在掩埋場中無控制地分解，會產生甲烷和二氧化碳等溫室氣體。由於甲烷帶來的溫室效應很強，對全球暖化的貢獻非常顯著¹²²。根據美國環保署的統計，全美甲烷第三大排放源是掩埋場，一年排放量高達總量的15%¹²³。因此，無論是否能夠在掩埋過程中分解，垃圾掩埋場都不應是生物可分解塑膠的歸宿。

最後，若現有的垃圾清運系統不能大幅改善，只要是一次性的塑膠製品，無論是否為生物可分解，都極易流入環境，成為失控垃圾。自然環境中的光照、溫度、濕度與菌群的多變性使生物可分解塑膠的分解速率

難以估計，甚至無法確保是否分解。有的生物可分解產品在海水中兩年內可以完全消失，有的幾乎沒有變化¹²⁴，有的在土壤中超過三年仍然可以使用¹²⁵。一次性的塑膠包裝和塑膠製品成為塑膠污染的主力軍，主要歸咎於用量巨大、多混合材質難以回收且回收價值低、消費者分散，且垃圾難以有效清運。這些問題並無法在使用生物可分解替代品之後得到緩解，且在許多疑慮下大規模推行生物可分解塑膠，還會帶來上述的原料供給、清潔和安全生產等一系列環境、社會、經濟問題。因此，生物可分解塑膠從原料獲取到最終垃圾處理，都需要更明確的政策指引和更嚴格的法律管理。下一章我們將比較生物可分解塑膠主要使用地區的相關法律法規，希望可以借各地的經驗教訓，找到共同問題，也找出對生物可分解塑膠更全面的管理辦法。

六、政策制定者

如何處理生物可分解塑膠

生物可分解塑膠的產業發展，主要得益於各國禁用一次性塑膠袋或一次性塑膠包裝和製品的法規。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隨之改變。歐洲和美國作為生物可分解塑膠的先行地區，也是目前主要的應用地區，在生物可分解的相關立法和市場管理方面有許多可以借鑒的法規。很多亞洲國家是生物可分解塑膠的新興市場，卻少有針對垃圾清運和處理設施以及可分解塑膠生命週期的全面監管策略。

整體而言，生物可分解塑膠的產業和市場目前仍處於無序生長狀態，各地政府監管皆存在一些政策法規的缺失。例如，生物可分解塑膠的供應鏈缺乏受廣泛認可的評價和認證標準，尚未實現原料的永續性；生產中的化學品管理尚不具備實施全面監管的條件，對產品安全性的保障提出了挑戰；相關法規和技術標準更新速度趕不上市場發展速度，比如生物可分解塑膠沒有統一標識和名稱規範，導致市場產品混雜；此外，消費者缺少相應知識，缺乏辨識「可分解」的依據，也使後端處理更為艱難。目前市場成長的狀態下，廣用生物可分解塑膠不僅增加社會成本，且收效甚微，最終可能造成推廣容易、但處理困難的情況，無法達到減塑或禁塑的根本目標。

6.1 歐洲

為了遏制塑膠污染，除了禁止一系列一次性塑膠產品的使用，歐盟鼓勵重複使用塑膠製品，提高塑膠回收率和再生材料使用率。2015年歐盟發佈《循環經濟行動計畫》¹²⁶，促進歐洲經濟從線性成長轉向循環型成長，提高資源利用效率以降低固體廢棄物對環境的影響。歐盟在循環經濟的框架下於2018年發佈《歐洲塑膠戰略》¹²⁷，強調從設計上增加塑膠製品的持久性和重複使用性，並且預期到2030年歐洲市場上全部塑膠包裝達到可重複使用或可回收利用。2019年歐盟議會通過《一次性塑膠指令》¹²⁸，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，針對塑膠瓶規定回收率和再生成分含量，將塑膠污染責任擴展至生產者。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可能造成更大的塑膠污染，也會為現有的塑膠回收系統帶來問題¹²⁹。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¹³⁰，涉及其原料來源、名稱和標識、材料分解性認證系統，以及使用後的收集處理等多個方面。目前歐洲標準EN 13432是歐洲各國判斷可堆肥分解塑膠包裝廣泛使用的主要依據。

此外，歐盟聯合研究中心（European commission's Joint Research Centre）提出，以生物質為原料的生物經濟發展迅速，這個新興行業需要清楚實施全面的數據監測¹³¹，以保證其發展可以嚴格控制在生態安全的範圍內¹³²。化工業使用的生物質原料流向複雜，因此即使歐洲有多個資料庫收集原料資訊，產業鏈中間環節的資訊仍嚴重不足¹³³。

歐洲各國的減塑路徑不同，針對生物可分解塑膠的政策態度也大不相同。英國政府對生物可分解塑膠的態度與歐盟類似，強調生物可分解塑膠應用的一大難題是確保廢棄物收集和處理。由於英國的垃圾系統還無

法處理生物可分解塑膠，因此現階段不提倡大規模使用¹³⁴。為了減少塑膠垃圾的產生，英國的主要措施包括對塑膠產品徵稅，以及針對飲料容器設立押金回收體系，以減少一次性塑膠的使用，並提高塑膠包裝的回收率。例如2015年開始實施的超市塑膠袋收費規定（每個塑膠袋收費5便士，約2元臺幣），已經成功在英格蘭減少了80%的塑膠袋使用¹³⁵，英國政府已宣布收費將於2021年提高至10便士（約4元臺幣）¹³⁶。此外，為了提高再生材料的使用率，英國政府擬對再生成分低於30%的塑膠包裝徵稅¹³⁷，並且針對飲料瓶全面實施押金回收制¹³⁸。

相較之下，義大利政府對生物可分解塑膠的支持度較高，並在過去十年間針對可堆肥塑膠袋制定了較完善的法律框架。義大利生產的可堆肥塑膠在過去5年間成長了近60%，擁有目前世界上產能最大的澱粉基生產商。義大利自2012年頒布了一次性塑膠袋禁令¹³⁹，禁止超市使用和販售塑膠購物袋，鼓勵使用可堆肥分解塑膠袋、紙袋和布袋作為替代品。2017年禁令再次升級，延伸至生鮮食品包裝袋¹⁴⁰。2020年推出了可堆肥分解生產責任延伸制度Biorepak¹⁴¹，專門針對可堆肥塑膠包裝的後端回收處理。在允許使用可堆肥分解垃圾袋的國家中，義大利因為在大城市顯著提高了有機質垃圾的分類收集率，被認為是可堆肥塑膠應用的成功案例。

案例說明

零廢棄浪潮在義大利推動多種垃圾分類工作，其中一項重要的工作是提高有機質垃圾的循環利用率¹⁴²。米蘭作為義大利第一個大規模施行垃圾分類的大城市，成功提升了有機質垃圾的分類收集率，為有效的後端處理邁出了重要的第一步¹⁴³。一些意見認為，可堆肥垃圾袋的使用對有機質分類收集率的提升功不可沒，但其實這樣的成功是基於義大利的一系列政策法規措施，以及發展多年的垃圾堆肥系統。

- 1. 地方政府逐步推出針對性的垃圾分類改善方法：**米蘭政府在2012年首先將黑色垃圾袋改為透明袋，增加內含物識別度；又根據堆肥時長、產生時間不同，把有機垃圾分成園藝垃圾和廚餘垃圾。改變廚餘垃圾收集桶的大小、構造和收集週期，使廚餘垃圾不易在垃圾桶中發酵產生異味。接著又鼓勵使用可堆肥垃圾袋專門收集廚餘垃圾，增加廚餘分類的便利性。
- 2. 依循法規標準使用可堆肥分解袋：**義大利政府允許使用的可堆肥分解袋需要符合歐洲標準EN 13432，並且經過認證。義大利政府在2012年頒布的塑膠袋禁令大幅度減少市場上的不可分解塑膠袋，也在一定程度上從源頭保證進入堆肥設施的塑膠袋種類。
- 3. 確保充足後端處理設施¹⁴⁴：**義大利擁有超過300座堆肥處理機構（堆肥處理能力達850萬噸/年），有能力處理全國80%的有機質垃圾。義大利的堆肥處理設施主要分有氧堆肥和厭氧消化兩種技術，厭氧消化設施仍會透過有氧處理減少無法分解的物質。兩種技術都會經過前期處理最大程度分離可堆肥塑膠和其他不易腐爛的物質，而最終產品也同樣會經過篩選，將沒有分解的物質剔除，從而保證出品品質。另外，政府對有機肥的推廣也促進了堆肥產品市場發展，有助於堆肥設施的良性運轉。

4. 民眾教育和宣傳：身為垃圾分類執行者，普通民眾是整個系統得以成功運作的重要一環。歐洲零廢棄組織也強調，在新的垃圾分類開始實施之前的兩個月，就需要開始對民眾進行持續的宣傳教育工作¹⁴⁵。對民眾的宣傳教育由政府部門和民間組織共同推進，也充分展現了民間組織在社會治理中發揮的積極作用。

綜上所述，義大利垃圾分類案例的成功，並不是簡單地透過使用可堆肥垃圾袋實現的，而是依靠政府強而有力的決心，因地制宜逐步改善垃圾清運方式，確保後端處理設施運轉，再加上成功的民眾教育宣傳的綜合性成果。

6.2 美國

美國目前沒有全國性的一次性塑膠禁令，對塑膠的限制主要是各州或城市層級機關的自訂規範，以加州為首的八個州針對一次性塑膠使用頒布了禁止規定¹⁴⁶。在各地的規定中都特別強調，一次性的生物可分解塑膠也包含在一次性塑膠禁止範圍。例如，洛杉磯市¹⁴⁷和波特蘭市¹⁴⁸禁止餐飲業主動提供一次性塑膠吸管，包括「可分解塑膠」，「可堆肥塑膠」（包括PLA）的吸管，原因是當地沒有配套的末端處理設施，現階段不建議使用。

美國對生物可分解塑膠的管理，最為突出的是針對「可分解」概念的使用和產品名稱提出了法規要求。針對生物可分解塑膠的產品宣傳和命名，加州¹⁴⁹和馬里蘭州¹⁵⁰分別於2011年和2018年立法，禁止使用誤導消費者的詞彙，並要求「可堆肥」標籤只能用於經過認證的產品。

案例說明

美國加州對於「綠色環保產品宣傳」非常嚴格，2011年實施《加州公共資源法》明確禁止¹⁵¹塑膠製品使用「可分解」、「生物可分解」等標識誤導消費者，並規定在塑膠製品上使用「可堆肥分解」和「海洋可分解」的特定名詞標識時，需要符合國家相應標準，並通過政府認可的第三方認證機構認證。「家庭可堆肥分解」暫無相應國家標準，但是政府承認由第三方Vincotte OK Compost HOME認證的產品可以使用。而家庭可堆肥分解塑膠袋的標識需要明確有別於普通塑膠袋，且不能標有塑膠回收三角標誌。

因為宣稱自己生產的塑膠材質「生物可分解」，美國的塑膠生產公司ENSO塑膠於2011年被加州政府告上法庭，使用ENSO塑膠做包裝材料的瓶裝水公司也列席被告¹⁵²。ENSO塑膠公司最終因違反加州《加州公共資源法》於2013年敗訴，並被法院判處罰金18000美元¹⁵³。其敗訴主要原因是該公司無法證明其宣稱的「生物可分解」所需時長，其產品宣傳的「生物可分解」並不是短期內可以使塑膠完全分解的。沃爾瑪超市也由於上架商品包裝可分解的宣傳，在2017年被判罰款100萬美元¹⁵⁴。這次判決也促使沃爾瑪超市制定公司政策，禁止上架商品以任何形式的宣傳誤導消費者，讓消費者以為塑膠產品或包裝可以在掩埋場或自然環境中迅速分解。沃爾瑪超市自此也禁止使用任何未經認

證的「可堆肥分解」塑膠產品上架。除此之外，連鎖超市Cosco和美國的咖啡零售公司JBR在2018年因為販售的膠囊咖啡在包裝上標註了「97%生物可分解」和「生物可分解」字樣，被判罰了50萬美元¹⁵⁵。亞馬遜公司也在同年由於上架商品塑膠包裝印有「生物可分解」字樣遭罰150萬美元¹⁵⁶。亞馬遜自此也發佈了更嚴格的上架商品宣傳手冊，規定商品的綠色宣傳要符合事實，不可再使用類似「生物可分解」等字樣，「可堆肥分解」的商品要通過國家標準相關認證。這些案例也說明了市場的規範離不開明確且嚴格的法律作為驅動力。

6.3 中國大陸

中國大陸早在2007年開始限制超薄塑膠袋，要求零售場所的塑膠袋需付費使用，並在2020年發佈了新政¹⁵⁷，限制生產、銷售和使用多種一次性塑膠，包括近年成長迅速的快遞和外賣包裝。中國大陸的新版限塑規定涵蓋了近年熱議的各種一次性塑膠品項和新興使用場所，雖然提倡以「可循環、易回收、可分解」為原則推廣替代品，但「可分解」塑膠袋、餐具和塑膠包裝成為新政中最突出的替代品方案。在新政之後已經有28個省份發佈了省級塑膠污染治理方案，可分解塑膠的推廣也已經在多地開始。中國大陸政府近年來推出的一系列政策已經顯示出高度的塑膠污染治理決心，但是在具體行動的細節規劃方面，還有許多進步空間，而在生物可分解塑膠的管理方面，歐美的一些經驗教訓也提供了很好的借鑒作用。另外，中國大陸的吉林省和河南省南樂縣是兩個較中央政府更早發佈限塑令，並推行可分解塑膠使用的地區，這兩個地區過去幾年的實踐經驗也可為全國性的減塑工作提供參考。總結來看，塑膠污染治理的目標需要多種減塑措施的配合，大範圍推廣可分解塑膠並無法有效說明減塑目標的達成，而可分解塑膠的使用仍然需要從名稱、標準、市場規範、後端處理、原料供給、產業鏈永續性、安全無毒等幾個方面謹慎管理。

首先，在法律法規和國家標準層面明確的定義，是可分解塑膠的推廣使用和市場規範的基礎。雖然在中國大陸2006年發佈的可分解塑膠定義（GB/T 20197-2006）中¹⁵⁸，可分解塑膠包括了熱氧分解、光分解、生物分解和可堆肥分解。但在2020年9月中國輕工業聯合會發布的《可分解塑膠製品的分類與標識規範指南》¹⁵⁹中，「可分解塑膠」包括六種分解方式（可土壤分解、可堆肥化分解、海洋環境分解、淡水環境分解、污泥厭氧消化、高固態厭氧消化）。後者並非具有強制性的國家標準，「可分解塑膠」在政策脈絡中究竟所指為何，仍然沒有清晰的定義，造成生產運作和消費者使用的障礙和混亂。

第二，產品名稱需要規範，產品分解性需要國家標準和認證系統的背書。雖然中國國家標準化管理委員會近期陸續發佈了《全生物分解塑膠購物袋》¹⁶⁰、《全生物分解農用地面覆蓋薄膜》¹⁶¹，與《全生物分解物流快遞運輸與投遞用包裝塑膠膜、袋》¹⁶²，在標準制定上已經邁出了重要的一步。但要如何依據標準確保市場上出現的產品符合標準，仍然有賴於更多針對產品命名和宣傳的立法舉措，以及發展受廣泛認可的第三方認證系統，以確保產品品質。現在中國大陸市場上各種可分解塑膠並存，許多誤導消費者的環保宣傳大行其道，也增加了消費者辨識真正生物可分解產品的難度。

第三，「生物可分解」實為「有條件的生物可分解」，後端處理問題不能避而不談。中國大陸推廣生物可分解塑膠的最大漏洞，是缺乏垃圾末端處理的相關討論。現在市場上主流的「真」生物可分解塑膠仍然需要工業堆肥環境才有望達到完全分解，但目前中國大陸內部堆肥處理能力不足，也沒有針對可堆肥塑膠

的分類收集，並無法保證塑膠垃圾的收集率和分解率。這些問題如何解決，尚未在十四五規劃詳細體現，「十三五」相關計畫當中主要仍是以垃圾焚燒來作為垃圾末端處理的主要方式¹⁶³。

第四，生物可分解塑膠產業的發展離不開生物原料的供應。原料的來源、追溯性及其生產過程帶來的環境和社會影響也需要納入考慮的範圍。生物可分解塑膠的原料以玉米、蔗糖等生物質原料為主，目前國內企業對原料來源、產業鏈可追溯性的公開資訊不足，中國大陸的法規尚未對原料管理制定相關的規範。為了確保生物可分解塑膠產業健康的永續發展，加強原料管理也是至關重要的。

第五，安全生產、乾淨生產是產品安全無毒的先決條件。生物可分解塑膠的生產涉及多種化學品的使用，其中不乏對健康和環境有潛在風險的危險化學品，而全面有效的化學品管理一直是中國大陸，甚至是世界各國普遍忽視的問題。如何加強化學品管理，預防生物可分解塑膠使用所帶來的環境和健康風險隱憂，都是各國政府需面對的課題。

案例說明

背景：

2014年吉林省發佈了中國大陸首個省級禁塑令《吉林省禁止銷售和使用一次性不可分解塑膠袋、塑膠餐具規定》（吉林省人民政府第244號令）¹⁶⁴，成為了中國大陸首個禁塑的省份，禁止銷售一次性不可分解塑膠袋和餐具，推廣可分解塑膠替代品。其後河南省南樂縣於2018年發佈了《中共南樂縣委、南樂縣人民政府關於治理白色污染推廣使用一次性可分解塑膠製品的實施意見（試行）》¹⁶⁵，提出禁止石油基、不可分解的一次性塑膠製品，分階段在縣政府機關和企事業單位，超市等零售和服務場所，以及農業生產領域開始使用一次性可分解塑膠製品，政府實行資金補貼。

兩地政府皆提供了政策補貼推動區域內可分解塑膠產業發展。長春開發區在2015年創建了全國首個聚乳酸產業聚集區——生物（材料）製造產業創新基地，吸引了12家聚乳酸及製品生產企業進駐¹⁶⁶，以推動區域內聚乳酸的生產供給。南樂縣生物基材料產業集群以聚乳酸產業為主，2016年投資建成11個生物基材料專案，形成完整產業鏈，包括從玉米、玉米秸稈等原料加工，到單體L-乳酸生產、再到聚乳酸合成，至最終的塑膠產品生產的企業¹⁶⁷。

實施效果：

民間環保組織零廢棄聯盟於2019年對兩地的實地走訪，一定程度反映了可分解塑膠的推廣情況和禁塑環保成效。

吉林省長春市¹⁶⁸：2018年8月30日啟用了吉林省地方標準《DB22/T 2016-2018 聚乳酸製品通用技術要求》¹⁶⁹以及《吉林省地方標準 DB22/T 2645-2017 生物分解塑膠零售包裝袋通用技術要求》。雖然可分解塑膠袋有地方標準可依，且執法力度不低，但由於塑膠袋可以從省外進貨，因此塑膠袋批發市場仍混雜著傳統塑膠袋和或真假難辨的可分解塑膠袋，行政執法效果並不好。提供可分解塑膠袋的店鋪不及半數，居民和商家無法清晰辨別普通塑膠袋和可分解塑膠袋。在垃圾清運處理環節，居民多將可分解塑膠當成垃圾袋直接扔進混合垃圾桶，而吉林省到2018年為止，仍然依

賴垃圾掩埋（65% 的處理量）為主要垃圾處理方式，並沒有也不計劃建設更多的堆肥設施¹⁷⁰。除此之外，生產企業的狀況也不樂觀。長春市的長春生物（材料）製造產業創新基地內曾有9家生物可分解公司，至2019年5月，3家倒閉、3家長期停產，還在運轉的3家企業依靠出口，或持續虧損。

河南省南樂縣¹⁷¹：走訪市場，約2/3 的店鋪仍提供傳統塑膠袋。由於南樂縣的生物可分解塑膠袋是來自同一公司的綠色可分解袋，因此多數消費者和商家容易識別區分。但由於價格貴、品質不及傳統塑膠袋，可分解袋並不受歡迎。與吉林省類似，南樂縣在推廣可分解塑膠的時候並未制訂如何回收和處理可分解塑膠製品方面的規定，未考慮構建本地分解系統以處理使用後的塑膠袋。2019年南樂縣生物基材料產業聚落共有13家企業入駐，其中可分解塑膠袋的生產企業只有龍都天仁生物材料有限公司一家，由於園區內生產的PLA粒子技術尚不成熟，園區內下游企業使用的PLA粒子全部為進口，95%產品都用於出口。

兩地的禁塑策略同樣是使用可分解塑膠取代一次性塑膠，卻沒有嘗試改變「一次性」的消費模式。而一次性的消費模式所面臨的垃圾清運和處理問題，並不會因為材料替換得到解決。無法被有效清運、正確處理的垃圾仍然有成為污染的可能性。此外，可分解塑膠的推廣陷入僵局，還因為塑膠生產端無法滿足消費端的價格和性能需求，市場中的可分解產品真實性無法清楚區分，消費者和商家的認知程度不足等問題，這些經驗都為中國大陸的禁塑工作提供了參考。

案例說明

海南省

海南省委辦公廳和政府辦公廳於2019年印發《海南省全面禁止生產銷售使用一次性不可分解塑膠製品實施方案》¹⁷²，開啟了全省禁塑工作。目前海南省在法律法規方面做出的幾項措施，為市場監管提供了制度保障：

- 推出《海南經濟特區禁止一次性不可分解塑膠製品規定》¹⁷³，立法2020年12月1日起海南全面禁止一次性不可分解塑膠袋、塑膠餐具等一次性不可分解塑膠製品，作為禁塑工作的法律依據。
- 制定禁塑目錄《海南省全面禁止生產銷售使用一次性不可分解塑膠製品名錄（第一批）》¹⁷⁴以劃出明確禁塑範圍。
- 推出地方性標準《全生物分解塑膠製品通用技術要求》（DB 46/ T 505—2020）¹⁷⁵作為市場規範的基礎。
- 規定全海南生產的生物可分解產品需要統一被納入溯源平臺。

海南省同時推動全生物分解材料產業發展，針對生物分解產業發展制定了《海南省全生物分解塑膠產業發展規劃（2020-2025）》，鼓勵本地全生物可分解塑膠全產業鏈的發展。

雖然在生產和市場監管方面實施了一些有力的規範，但是針對垃圾清運和後端處理、原料以及生產的化學品管理方面，還未見到海南省的具體規劃。海南目前的垃圾處理以焚燒和掩埋為主，堆肥能力只佔垃圾處理能力不到4%¹⁷⁶，若全面推廣全生物分解塑膠製品，目前仍無法保證其有效的清運和處理。海南作為一個海島，在生產源頭管控方面有天然優勢，目前海南仍在禁塑試點階段，讓人對試點的成效拭目以待，也期待未來可以看到海南省針對垃圾處理、生產鏈的安全和永續推出更多可實施的規劃方案，並投入資金增加末端處理能力。此外，在海南省最新訂定的禁塑工作方案中，還引入了第三方機構評估的考核方式¹⁷⁷，這也是值得鼓勵的。

七、國際企業用的 「綠色包裝」是否都可分解

企業是塑膠包裝的重要消費者，大品牌公司也可以透過採購、供應商合作等方式改變和控制生產鏈上包裝的設計、使用材料、塑膠使用量等，從而在塑膠污染的防控中扮演至關重要的角色。隨著塑膠污染成為企業社會責任關注的重點之一，也由於各國政府實施越來越嚴格的限塑政策，多家跨國公司先後承諾針對塑膠包裝作出調整，主要包括減少使用量、提高回收率、尋找替代材料，以及發展新的重複使用配送系統等四個方向。在尋找替代材料的方向上，生物塑膠（包括生物基不可分解塑膠和生物可分解塑膠）和紙製品最常見，每個公司使用的生物塑膠極為不同，但各個品牌通常都稱新型包裝為「植物塑膠」、「綠色環保包裝」。本章梳理了不同行業中的主要跨國品牌所推出的「綠色環保塑膠包裝」使用何種材質，並比較不同公司在減塑承諾上方向性的差異。

7.1 快速消費品公司

雖然多家消費品企業在公司政策中提出原生塑膠的使用減量目標，在減量方式上卻趨於多元化，例如可口可樂公司著重於提高回收率和使用回收材料替代原生塑膠；百事可樂選擇使用生物塑膠和回收材料替代；而達能強調生產者延伸責任以及包裝押金制對於包裝回收的重要性。生物塑膠的應用在消費品公司中主要仍體現於不可分解的生物基飲料瓶，可分解塑膠的應用較少，主要用於難以回收的軟性包裝，例如零食袋、茶包、食品的小包裝。

公司	生物塑膠的應用	是否可分解
可口可樂	可口可樂公司2011年推出「PlantBottle™」(植物瓶)·使用30%的植物質bio-PET和石化PET混合的飲料瓶 ¹⁷⁸	部分生物質·不可分解的塑膠
百事可樂	與美國的生物塑膠製造商Danimer Scientific合作，使用Danimer's Nodax™ PHA 製造可生物分解的軟性包裝，應用在零食袋 ¹⁷⁹	生物可分解·但分解條件不詳
達能	與雀巢、百事可樂合作，預計在2021年可以規模化製造75%生物質塑膠的塑膠瓶；目標提供100%使用生物質塑膠製造的飲料瓶	生物質不可分解的塑膠
雀巢	雀巢2019年一月與美國的生物塑膠製造商Danimer Scientific合作，開發生物可分解塑膠瓶 ¹⁸⁰	生物可分解·但分解條件不詳
瑪氏	英國上市的GALAXY巧克力使用可堆肥包裝 ¹⁸¹	在當地有商業堆肥機構接收的條件下可以分解
聯合利華	旗下品牌生產的茶包有三分之一使用生物質可堆肥分解的材質； 旗下品牌生產的小包裝醬包使用以海藻為原料的食品小包裝，用於英國的外賣服務（小範圍測試） ¹⁸²	茶包在當地有商業堆肥機構接收的條件下可以分解 該公司聲稱海藻醬包可在家庭堆肥條件或垃圾桶中六周內分解
寶潔	寶潔在旗下護膚品產品包裝中使用以巴西蔗糖為原料的可回收生物質聚乙烯 ¹⁸³ （原料製造商為Braskem SA）	生物質不可分解的塑膠

7.2 零售商

零售商身為塑膠購物袋的使用和提供者，在各國減塑政策的實施上都是重要關係方，但零售商能做的遠超過限制和禁止一次性塑膠袋。作為「守門人」，零售商可以決定上架產品的包裝是否符合減塑原則。比如英國Tesco在2020年新發佈的自有品牌供應商包裝材料指南¹⁸⁴中明確提出，包裝將作為產品上架的重要參考指標，供應商需要確保產品不過度包裝、不使用英國難以回收的材料，否則將無法在Tesco上架。作為與消費者接觸的最前線，超市是宣傳減塑知識的重要媒介，也是最適合嘗試和推廣重複使用專案的平台。多家公司已經開始探索如何在供應鏈中實施重複使用包裝，比如法國家樂福¹⁸⁵與英國Tesco¹⁸⁶均分別與美國公司Loop合作嘗試可重複使用包裝配送。零售商也是生產者責任中重要的一環，可以在店內設置包裝押金回收機制協助城市回收系統的有效運作。

雖然多家零售商的減塑承諾都是「在2025年達到所有包裝可回收、可分解、或可重複使用」，不同公司在「可回收」和「可分解」兩個方向上卻有明顯不同的偏重。比如英國超市品牌Tesco明確指出在英國現有垃圾處理系統中，生物可分解及可堆肥（包括PLA）塑膠都屬於難以回收處理的材料，不建議旗下供應商使用。相對地，美國超市品牌Costco正在全球多個地區的門市推廣使用生物可分解/可堆肥塑膠。生物可分解塑膠的應用主要是軟包裝，由於軟包裝通常難以回收，多家超市試圖用生物可分解塑膠作為替代品，但使用替代材料不是難以回收的塑膠包裝唯一的出路。例如，美國超市品牌Kroger與美國回收公司TerryCycle合作開發軟包裝回收系統，提高了回收率。相較之下，可重複使用的包裝在一些超市小規模試行，但是範圍和規模仍遠小於對可回收可分解的投入。

公司	一次性生物塑膠產品案例	是否可分解
Tesco	由於當地沒有對應的末端處理設施，在英國不建議供應商使用可分解/可堆肥塑膠	
家樂福	在世界各地門市使用可堆肥分解購物袋，例如羅馬尼亞 ¹⁸⁷ 、馬來西亞和新加坡 ¹⁸⁸	在當地有商業堆肥機構接收的條件下可以分解
Costco	在多國門市推行可堆肥分解塑膠，例如在全美門市使用可堆肥塑膠吸管或紙吸管；在日本門市使用可堆肥分解的食品包裝；在韓國使用可堆肥分解的杯子和吸管；在北美市場使用可堆肥分解的肉類包裝 ¹⁸⁹	在當地有商業堆肥機構接收的條件下可以分解
7-11	在日本販售的飯糰新包裝將使用部分以蔗糖為原料的生物質塑膠	生物質不可分解的塑膠
FamilyMart	在日本使用PLA容器盛裝沙拉 ¹⁹¹	在當地有商業堆肥機構接收的條件下可以分解

7.3 電商公司

電商作為網路經濟下崛起的新興產業，包括快遞、外賣等多種商業形式，也帶來了新的包裝廢棄物問題。電商在多元化的商品運送過程中，使用多種一次性包裝，例如塑膠快遞包裝、快遞紙箱、外賣餐具和外賣餐盒等等。中國大陸是全球最大的電商市場之一，擁有10億電商使用者，2017年中國大陸外賣產業製造了160萬噸的塑膠廢棄物¹⁹²，2018年快遞業產生837萬噸紙類包裝廢棄物、85萬噸塑膠類包裝廢棄物¹⁹³。在2020年疫情爆發之後，線上購物和線上點餐迅速在全球成為更主流的消費方式，隨之而來的一次性塑膠問題也尤為嚴重。

在中國大陸，因電商發展迅速，政府自2016年開始推出相關政策以應對電商包裝廢棄物問題，加速推動快遞產業的廢棄物減量，減少二次包裝、使用電子單據減少紙質單據、重複使用中轉運輸袋等減量方法已經成為中國大陸的業內共識。全球的電商快遞公司則紛紛推動快遞廢棄物減量，主要做法包括改善裝箱方法、減少包裝和填充物使用、開發窄膠帶或無膠帶紙箱、減少膠帶用量，及推行回收計畫以增加紙箱的回收率。更積極的電商平臺會與供應商和商家合作，制定供應商包裝指南或包裝規範。針對需求量仍大的塑膠包裝，最常見的嘗試是使用生物可分解和紙製品包裝替代。

外賣產業的一次性塑膠主要包括食物包裝盒、塑膠袋和一次性餐具。不少外賣公司針對一次性餐具在應用程式上取消了「自動提供餐具」選項，消費者得按需求付費使用一次性餐具，但是由於一些商家仍然會在顧客未選擇餐具的時候附贈餐具，這樣的措施效果如何仍然有待考證。對於塑膠包裝減量，最常見的做法仍然是嘗試使用生物可分解和紙製品包裝替代。

行業	公司	生物塑膠產品案例	是否可分解
網路購物+快遞	阿里巴巴	菜鳥網路的「綠動計畫」承諾2020年取代50%的包裝材料，填充物為100%可分解綠色包材 ¹⁹⁴	在當地有商業堆肥機構接收的條件下可以分解
網路購物+快遞	京東	2016年京東在自營生鮮業務中使用全生物分解包裝 京東的「清流計畫」中宣布京東物流50%以上的塑膠包裝將使用生物分解材料 ¹⁹⁵	在當地有商業堆肥機構接收的條件下可以分解
網路購物+快遞	亞馬遜	亞馬遜在環保宣傳手冊中強調，所有在亞馬遜網站售出的物品，環保宣傳都需要符合美國法律規定。比如，不可以使用「生物可分解」字樣，「可堆肥分解」需要經過政府認可的第三方認證並符合國家標準 ¹⁹⁶	
外賣	Uber Eats	各地區的包裝和一次性餐具的材質不同。例如，在南美洲鼓勵餐廳使用生物可分解包裝，並推薦包裝供應商，使用推薦包裝有購買折扣，在點餐應用上可以得到「環保包裝」的標識	在當地有商業堆肥機構接收的條件下可以分解
外賣	Delivery hero/Food panda	投資生物可分解塑膠製造商Bio-Lutions ¹⁹⁷ ，為餐廳製造生物可分解塑膠包裝和餐具	在當地有商業堆肥機構接收的條件下可以分解
外賣	Just Eat	與英國的包裝公司Notpla合作，製造海藻基覆膜紙盒，並嘗試使用海藻為原料製成的醬料包 ¹⁹⁸	據Notpla公司稱，Notpla材料可以在家庭堆肥中分解 ¹⁹⁹
外賣	美團	「青山計畫首批綠色包裝推薦名錄」共納入來自31家企業的46種分解塑膠類外賣包裝產品，以及來自30家企業的41種紙質類外賣包裝產品。 「青山計畫」在全國試點投放全生物分解包裝袋超過2000萬個，紙質餐盒100萬個 ²⁰⁰	在當地有商業堆肥機構接收的條件下可以分解

綜上所述，雖然不同產業的公司都聲稱朝向「更環保」、「更綠色」的方向發展包裝，但是一部分「環保塑膠包裝」其實是使用生物質原料的不可分解塑膠，還有絕大部分聲稱可以分解的塑膠包裝其實需要當地有配合的商業堆肥機構，而這樣的商業堆肥機構並不普遍存在。只有極少數公司在選擇包裝材料的時候有考慮當地垃圾處理體系的能力。

無論是不可分解的生物質塑膠還是一次性的生物可分解/可堆肥塑膠，簡單的材料替換並無法幫助減緩塑膠污染。為了達到緩和塑膠污染的目標，全球塑膠使用量到2040年要減少50%，目前企業所做出的改變還遠遠不夠，全球企業必須更積極減少不必要的包裝，開發並更大規模採用可重複使用和可重複填裝的配送系統。

目前全球至少有超過250家企業承諾減塑並開始做出改變，其中不乏國際知名的消費品企業和連鎖超市品牌，鮮少有中國大陸品牌企業的身影²⁰¹。國家政策和法規是推動企業承諾減塑並付諸行動的重要力量，除了限制和禁止一次性塑膠製品，對一次性塑膠製品徵稅，對公共採購做出規定，以及建立生產者相關責任機制，規定一次性塑膠的生產商和使用商為產品的後端處理付費，這些政策在很多國家已被證明行之有效。無論是重複使用系統的開發和推廣，還是生產者延伸責任機制的建立，比起材料替換，都需要更多的前期投入和各方協調，更離不開政府的支援。目前政府和企業對可分解塑膠的青睞，意味著將把更多資金吸引到錯誤的方向上，導致更有效的解決方案不能得到足夠的關注和投入。

八、建議

全球的減塑呼聲高漲，在減少塑膠使用的同時，政策制定者、企業和消費者都希望找到一種替代品。但是塑膠污染並沒有容易又單一的解方，僅僅用一種材料替換塑膠並不是真的解決方案。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。

可分解塑膠目前的推廣和使用面臨諸多問題，包括

1. 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
2. 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，執法者難以辨認
3. 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
4. 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
5. 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

因此，綠色和平呼籲各國政府制定明確管理規範：

針對一次性塑膠包裝和產品

- 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

- 儘快建立標識系統，規範生物可分解塑膠的名稱和宣傳用語，禁止使用定義不明、有誤導性的用詞
- 儘快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對應不同環境下塑膠的分解性和分解速度，從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，訂名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，在當地沒有適當的處理機構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
- 在當地建立回收管道，應當確保生產銷售的生物可分解塑膠在當地被有效回收處理，不會成為流浪的塑膠廢棄物

APPENDIX

表1 生物可分解的塑膠的主要類型

材料	主要應用領域 ^{202 203 204}	原料	不同實驗中的分解條件和時間 ²⁰⁵
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% 厭氧堆肥條件 (58°C, 60%濕度) : 30天分解率60%
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)。	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	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	PHB在工業堆肥條件 (58°C) : 110天分解率79.9% PHA在土壤環境中 (35°C) : 60天分解率35% PHB在真實土壤環境中 (溫度、濕度變化) : 300天分解率98%
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)	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	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 ²⁰⁶	PBS在厭氧堆肥條件 (58°C -65°C, 50-55%濕度) : 160天分解率90% PBS/澱粉混合材料在土壤環境中 (25°C, 60%濕度) : 28天分解率7%
澱粉基塑膠	食品包裝、一次性餐具、超市購物袋、垃圾袋、地膜等	主要原料為植物澱粉	厭氧堆肥條件 (58°C) : 90天分解率85% 厭氧堆肥條件 (23°C, 55%濕度) : 72天分解率26.9% 土壤環境中 (20°C, 60%濕度) : 110天分解率14.2%
PVA或PVOH (聚乙烯醇)	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 ²⁰⁷	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 ²⁰⁸	PVA具有水溶性, 在一定溫度的水中可以溶解
PPC (二氧化碳共聚物)	高成本和技術瓶頸尚待解決, 還沒有大規模商業量產	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	
PCL (聚己內酯)	主要用於臨床醫學研究	原料為石油副產物	

參考資料

- Center for International Environmental Law. "Plastic & Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet.", 2019, www.ciel.org/plasticandclimate/.
- 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.
- 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。
- United Nations Environment Programme, "Legal Limits on Single-Use Plastics and Microplastics: A Global Review of National Laws and Regulations." 5 Dec. 2015, www.unenvironment.org/resources/publication/legal-limits-single-use-plastics-and-microplastics-global-review-national.
- 國家發展改革委. 國家發展改革委 生態環境部關於進一步加強塑料污染治理的意見（改發環資〔2020〕80號）[Z]. 2020-01-19.
- 國家發展改革委. 關於扎實推進塑料污染治理工作的通知（改發環資〔2020〕1146號）[Z]. 2020-07-10.
- Klemchuk, P. P. "Degradable Plastics: A Critical Review." *Polymer Degradation and Stability*, vol. 27, no. 2, 1990, pp. 183-202.
- Vroman, I. and Tighzert, L. "Biodegradable Polymers." *Materials*, vol. 2, no. 2, 2009, pp. 307-344, doi.org/10.3390/ma2020307.
- European Commission. "Report From the Commission to the European Parliament and the Council on the Impact of the Use of Oxo-Degradable Plastic, Including Oxo-Degradable Plastic Carrier Bags, on the Environment." 16 Jan. 2018, ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/oxo-plastics.pdf.
- 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.
- "Bioplastics Market Data." *European Bioplastics*, www.european-bioplastics.org/market/. Accessed 20 Aug. 2020.
- Wang, X., Yang, K. and Wang, Y. "Properties of Starch Blends with Biodegradable Polymers." *Journal of Macromolecular Science, Part C*, vol. 43, no. 3, 2003, pp. 385-409. doi: 10.1081/MC-120023911.
- 熱塑性澱粉是在澱粉中添加助劑，透過化學反應改變澱粉的結構，使澱粉塑膠化
- "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.
- 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.
- ibid.
- 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.
- 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.

19. "FAQs." PTT MCC Biochem, www.pttmcc.com/new/faq.php. Accessed 20 Oct. 2020.
20. 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>.
21. 邱石正, 李佳益, 楊景辰, 劉長莉. 低成本合成聚羧脂肪酸酯 (PHAs) 的研究進展[J]. *生物技術通報*, 2019, 35(9): 45-52.
22. "Bioplastics Market Data." European Bioplastics, www.european-bioplastics.org/market/. Accessed 20 Aug. 2020.
23. "Bioplastics." Thailand Board of Investment, www.boi.go.th/upload/content/BioplasticsBrochure.pdf. Accessed 20 Oct. 2020.
24. "Novamont Sustainability Report 2018." Novamont, 2018, www.novamont.com/public/BdS/Novamont_BdS18_Leaflet%20EN.pdf.
25. "Our Pillars." Novamont, www.novamont.it/eng/our-pillars-20. Accessed 20 Oct. 2020.
26. "About NatureWorks." NaturalWorks, www.natureworkslc.com/About-NatureWorks. Accessed 1 Nov. 2020
27. NaturalWorks, "The Ingeo™ Journey", 2009, www.natureworkslc.com/~media/News_and_Events/NatureWorks_TheIngeoJourney_pdf.pdf.
28. "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.
29. 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.
30. 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/.
31. 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.tianyancha.com/ResearchReport/eastmoney/ef546deebbaed4f1a753b04d922367b6.pdf.
32. 生物分解材料研究院. 安徽豐原PLA大風狂吹: 10. 年後超過中石化, 覆蓋全國20%塑膠市場[Z], 2020-10-23. mp.weixin.qq.com/s/oeyDdy6G_koYpeOn5rBo5w.
33. "BASF Announces Major Bioplastics Production Expansion." *Plasticker*, 21 April 2008, plasticker.de/Plastics_News_5309_BASF_announces_major_bioplastics_production_expansion.
34. 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.
35. "Showa Denko." *Plasteurope.com*, 22 Nov. 2016, www.plasteurope.com/news/SHOWA_DENKO_t235564/. Accessed 20 Oct. 2020.
36. "Nature to Nature." PTT MCC Biochem, 2017. www.pttmcc.com/new/download/PTTMCC_Brochure_2017.pdf.
37. 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. Accessed 15 Jun. 2020.
38. "Bio-on Press Note." Bio-On, 20 Dec. 2019, www.bio-on.it/news.php. Accessed 20 Oct. 2020
39. 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/.
40. *PlasticsToday Staff*. "Biodegradable Plastics Market Rising 9.4% Yearly." *Plastics Today*, 8 April 2020, www.plasticstoday.com/packaging/biodegradable-plastics-market-rising-94-yearly.
41. "Applications for Bioplastics." European Bioplastics, www.european-bioplastics.org/market/applications-sectors/. Accessed 20 Oct. 2020.
42. 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.

43. 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.
44. *ibid.*
45. 國家郵政局. 十部門聯合發文協同推進快遞綠色包裝工作[EB/OL]. 2017-11-02. www.gov.cn/xinwen/2017-11/02/content_5236573.htm.
46. "Segment Profile." BASF, report.basf.com/2019/en/managements-report/segments/materials/segment-profile.html. Accessed 20 Oct. 2020.
47. 劉萬鵬. 標準升級系列之一：替代市場空間巨大，可分解塑膠大有可為[R]. 華安證券. 2020：6-47. pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202006301388397876_1.pdf.
48. Hackett, M. "Biodegradable Polymers Market Value." IHS Market, 22 Aug. 2018, ihsmarkit.com/research-analysis/biodegradable-polymers-market-value.html.
49. *ibid.*
50. 王喆, 袁健聰, 陳渤陽. 中信證券-化工行業可分解塑膠行業點評：白色污染治理提上日程，可分解時代來臨-200120[EB/OL]. 2020-1-21. m.hibor.com.cn/wap_detail.aspx?id=8c3ed2f8e8f2a5f25c28abad7464db4a.
51. 溫宗國. "新限塑令"：《關於進一步加強塑膠污染治理的意見》解讀及政策分析[Z]. 清華大學環境學院. 2020.
52. 劉萬鵬. 標準升級系列之一：替代市場空間巨大，可分解塑膠大有可為[R]. 華安證券. 2020：6-47. pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202006301388397876_1.pdf.
53. 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.
54. Barrett, A. "Bioplastic Production Growth Pale Compared To Fossil Plastic Production Growth." Bioplastics News, 6 Dec. 2019, bioplasticsnews.com/2019/12/06/bioplastic-production-growth-fossil-plastic-production-growth/.
55. Greenpeace International. "The Final Countdown: Now or Never to Reform the Palm Oil Industry." Greenpeace, 19 Sep. 2018, www.greenpeace.org/international/publication/18455/the-final-countdown-forests-indonesia-palm-oil/.
56. Cook, G. and Jardim, E. "Guide to Greener Electronics 2017." Greenpeace, 17 Oct. 2017, www.greenpeace.org/usa/reports/greener-electronics-2017/.
57. "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.
58. International Sustainability and Carbon Certification, www.iscc-system.org/. Accessed 20 Oct. 2020.
59. "The RSB Principles." The RSB, rsb.org/about/what-we-do/the-rsb-principles/. Accessed 20 Oct. 2020.
60. "The Bioeconomy." Bioplastic Feedstock Alliance, bioplasticfeedstockalliance.org/bioplastics/. Accessed 20 Oct. 2020.
61. "Voluntary Schemes." European Commission, ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/biofuels/voluntary-schemes_en?redir=1. Accessed 20 Oct. 2020.
62. 聯合國糧食及農業組織. 生物能源、糧食安全及可持續性-促進形成一個國際框架[R]. 2008：2-17. <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/meeting/013/k2498c.pdf>.
63. "Bioplastics Market Data." European Bioplastics, www.european-bioplastics.org/market/. Accessed 20 Aug. 2020.
64. 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.
65. "Composting and PFAS." Minnesota Pollution Control Agency, www.pca.state.mn.us/waste/composting-and-pfas. Accessed 30 Nov. 2020.

66. "Technical Fact Sheet – Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA) ." United States Environmental Protection Agency, Nov. 2017, www.epa.gov/sites/production/files/2017-12/documents/ffrrofactsheet_contaminants_pfos_pfoa_11-20-17_508_0.pdf.
67. 黃嫻. 不等歐盟了, 丹麥率先宣佈食品包裝禁用 PFAS[EB/OL]. 2019-09-04. technews.tw/2019/09/04/danish-government-about-to-ban-pfas-in-food-package/.
68. "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.
69. "Food Packaging with Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) ." California Environmental Protection Agency, 24 Oct. 2019, dtsc.ca.gov/wp-content/uploads/sites/31/2019/10/Food-Packaging_Perfluoroalkyl-and-Polyfluoroalkyl-Substances-PFASs.pdf.
70. Choi, Y. J. et al. "Perfluoroalkyl Acid Characterization in U.S. Municipal Organic Solid Waste Composts." *Environ. Sci. Technol. Lett.* vol. 6., no. 6, 2019, pp: 372–377. doi.org/10.1021/acs.estlett.9b00280
71. "Managing PFAS Chemicals In Composting And Anaerobic Digestion." BioCycle, 21 Jan. 2020, www.biocycle.net/managing-pfas-chemicals-composting-anaerobic-digestion/.
72. "Cite Investigation Report." Wood, Sep. 2019, cdn.ymaws.com/www.compostingcouncil.org/resource/resmgr/documents/advocacy/pfas/pfas_report_minnesota.pdf.
73. Schreder, E. and Dickman, J. "Take Out Toxics." Safe Chemicals Healthy Families and Toxic-Free Future, 2018, saferchemicals.org/wp-content/uploads/2019/08/saferchemicals.org_take_out_toxics_pfas_chemicals_in_food_packaging_8.19.pdf.
74. "PFAS Factsheet." US Composting Council, 1 Nov. 2019, https://cdn.ymaws.com/www.compostingcouncil.org/resource/resmgr/documents/advocacy/pfas/pfas_fact_sheet_from_wef_sw.pdf.
75. Kapanen, A. "Ecotoxicity Assessment of Biodegradable Plastics and Sewage Sludge in Compost and in Soil." VTT Technical Research Centre of Finland, 2012, helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37273/ecotoxic.pdf?sequence=1.
76. "Assessing Potential Risks From Exposure to Chemical Mixtures - Case Study Review." EU Science Hub, 8 July 2016, ec.europa.eu/jrc/en/science-update/assessing-potential-risks-exposure-chemical-mixtures-case-study-review.
77. 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-IBiolC.pdf.
78. Biodegradable Products Institute, www.bpiworld.org/. Accessed 20 Nov. 2020.
79. "Industrial Compostable Products." DIN CERTCO, www.dincertco.de/din-certco/en/main-navigation/products-and-services/certification-of-products/environmental-field/industrial-compostable-products/. Accessed 20 Oct. 2020.
80. *ibid.*
81. "Green plastic (GP) identification display system." Japan BioPlastics Association, www.jbpaweb.net/identification/. Accessed 20 Oct. 2020.
82. "Home Composting Fact Sheet." European Bioplastics, Apr. 2015, docs.european-bioplastics.org/publications/bp/EUBP_BP_Home_composting.pdf.
83. *ibid.*
84. 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-IBiolC.pdf.
85. "Fate Of Compostable Bags In Digester Field Trials." BioCycle, 11 Sep. 2018, www.biocycle.net/fate-compostable-bags-digester-field-trials/.
86. 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/.

87. Greene, J. P. "Appendix E: Marine Biodegradable Testing." *Sustainable Plastics: Environmental Assessments of Biobased, Biodegradable, and Recycled Plastics*, Wiley, 2014, pp. 303-307, onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118899595.app5.
88. "Bio Products – Degradation in Seawater." TÜV AUSTRIA, 1 Apr. 2019, www.tuv-at.be/fileadmin/user_upload/docs/download-documents/english/OK-compost-OK-compost-HOME-OK-biodegradable-SOIL-WATER-MARINE/20190403_Program_OK_12e_b_OK_biodegradable_MARINE_corrigendum.pdf.
89. 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.
90. Goldsberry, C. "Fake Biodegradable Products Flood Market After India Bans Single-Use Plastics." *Plastics Today*, 2 Feb. 2020, www.plasticstoday.com/packaging/fake-biodegradable-products-flood-market-after-india-bans-single-use-plastics.
91. "Out of All Eco-Friendly Products, Biodegradable Ones May Be the Most Misunderstood." *Versopub*, 30 Sep. 2020, www.versopub.com/out-of-all-eco-friendly-products-biodegradable-ones-may-be-the-most-misunderstood/.
92. Moss, E. and Harris, R. "Can I Recycle This? A Global Mapping and Assessment of Standards, Labels and Claims on Plastic Packaging." *United Nations Environment Programme*, 2020, www.oneplanetnetwork.org/resource/can-i-recycle-global-mapping-and-assessment-standards-labels-and-claims-plastic-packaging.
93. Meereboer, K. W., et al. "Review of Recent Advances in the Biodegradability of Polyhydroxyalkanoate (PHA) Bioplastics and Their Composites." *Green Chem*, vol. 22, 2020, pp. 5519-5558. doi: 10.1039/D0GC01647K.
94. Kaza, S., et al. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, World Bank, 2018. openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317 License: CC BY 3.0 IGO.
95. Ayilara, M. S., et al. "Waste Management Through Composting: Challenges and Potentials." *Sustainability*, vol. 12, no. 11, 2020, doi.org/10.3390/su12114456.
96. *ibid.*
97. "Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the Landfill of Waste." *Official Journal of the European Union*, 16 July 1999, eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31999L0031.
98. Kaza, S., et al. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, World Bank, 2018. openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317 License: CC BY 3.0 IGO.
99. Linder, Ann van der and Almut Reichel. "Bio-Waste in Europe — Turning Challenges Into Opportunities." *European Environment Agency*, 4 Nov. 2020, [97d84c15341345928bd78463c5169dda](https://www.eea.europa.eu/en/press-releases/2020/11/bio-waste-in-europe).
100. "National Overview: Facts and Figures on Materials, Wastes and Recycling." *United States Environmental Protection Agency*, www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials#Recycling/Composting. Accessed 20 Oct. 2020.
101. 國家統計局. 2019. 中國統計年鑒[M]. 北京: 中國統計出版社. 2019. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexch.htm>.
102. 中國產業資訊網. 2019. 年年中國餐廚垃圾處理理行行行業分析報告-市場規模現狀與未來動向研究 [EB/OL]. 2019-09-02. www.chyxx.com/industry/201909/778203.html.
103. Goldstein, N. "Quantifying Existing Food Waste Composting Infrastructure in The U.S." *BioCycle*, Nov. 2019, www.compostingcollaborative.org/wp-content/uploads/2018/11/Task3_rev181129.pdf.
104. 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/.
105. "Fate Of Compostable Bags In Digester Field Trials." *BioCycle*, 11 Sep. 2018, www.biocycle.net/fate-compostable-bags-digester-field-trials/.
106. "Field Study: Foodservice Packaging as Compost Facility Feedstock." *Compost Manufacturing Alliance*, 2 Oct. 2018, docs.wixstatic.com/ugd/1f2d68_c6e81abf2b7c4e8ba4bc015e9152224a.pdf.

107. Hann, S., et al. "Relevance of Biodegradable and Compostable Consumer Plastic Products and Packaging in a Circular Economy." Eunomia Research & Consulting, 23 Mar. 2020, bioplasticsnews.com/wp-content/uploads/2020/06/kh0420187enn.en_.pdf.
108. "Position Statement on the Disposal of Biodegradable Plastics Through Bio-Waste Treatment (Composting and Anaerobic Digestion)." WtERT, 17 June 2019, [www.wtert.net/news/217/Position-Statement-on-the-disposal-of-biodegradable-plastics-through-bio-waste-treatment-\(composting-and-anaerobic-digestion\).html](http://www.wtert.net/news/217/Position-Statement-on-the-disposal-of-biodegradable-plastics-through-bio-waste-treatment-(composting-and-anaerobic-digestion).html).
109. *ibid.*
110. "Compostable Products." US Composting Council, www.compostingcouncil.org/page/CompostableProducts. Accessed 20 Oct. 2020.
111. *ibid.*
112. Jambeck, J. R., et al. "Plastic Waste Inputs From Land Into the Ocean." *Science*, vol. 347, no. 6223, 2015, pp. 760–771, doi: 10.1126/science.1260352.
113. "Frequently Asked Questions about Plastic Recycling and Composting." United States Environmental Protection Agency, www.epa.gov/trash-free-waters/frequently-asked-questions-about-plastic-recycling-and-composting. Accessed 20 Oct. 2020.
114. "Guidelines for Disposal of Household Recyclables/Garbage." Nagano City, www.city.nagano.nagano.jp/uploaded/attachment/328145.pdf. Accessed 20 Oct. 2020.
115. Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law, K.L. "Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made." *Science Advances*, vol. 3. E1700782, 2017, pp: 1–6.
116. "Fact Sheet: Impact of Packaging on Curbside Recycling Collection and Recycling System." Éco Entreprises Québec, www.eeq.ca/wp-content/uploads/PLA-bottles.pdf. Accessed 20 Oct. 2020.
117. Alaerts, L. et al. "Impact of Bio-Based Plastics on Current Recycling of Plastics." *Sustainability*, vol. 10, no. 5, 2018, doi.org/10.3390/su10051487.
118. Chaffee, C. and Yaros, B.R. "Life Cycle Assessment for Three Types of Grocery Bags - Recyclable Plastic; Compostable, Biodegradable Plastic; and Recycled, Recyclable Paper." Boustead Consulting & Associates Ltd, monterey.org/Portals/0/Policies-Procedures/EnvironPrograms/Bags/BousteadLCA.pdf.
119. Donahue, M. "Waste Incineration: A Dirty Secret in How States Define Renewable Energy." Institute of Local Self-Reliance, Dec. 2018, ilsr.org/waste-incineration-renewable-energy/.
120. "The Myths of Biodegradation." Biodegradable Products Institute, bpiworld.org/page-190439. Accessed 20 Oct. 2020.
121. Vaverková, M. D. and Adamcová, D. "Degradation of Biodegradable/Degradable Plastics in Municipal Solid-Waste Landfill." *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 23, no. 4, 2014, pp. 1071–1078.
122. 全球甲烷行動. 全球甲烷排放及減排機會[EB/OL]. www.globalmethane.org/documents/GMI_Mitigation-Factsheet_Chinese.pdf.
123. "Basic Information about Landfill Gas." United States Environmental Protection Agency, www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas. Accessed 20 Oct. 2020.
124. Allen, K. et al. "Better Alternatives Now (BAN) List 2.0." 5 Gyres Institute, 2018, static1.squarespace.com/static/5522e85be4b0b65a7c78ac96/t/5a99d29d41920278291296a4/1520030386318/5Gyres+BAN+List+2018.pdf?_ga=2.96180060.1517479492.1576696218-904504388.1455000410.
125. Williams, A. "Biodegradable Bags Can Hold a Full Load of Shopping Three Years After Being Discarded in the Environment." University of Plymouth, 29 Apr. 2019, www.plymouth.ac.uk/news/biodegradable-bags-can-hold-a-full-load-of-shopping-three-years-after-being-discarded-in-the-environment.
126. "Final Circular Economy Package." European Commission, ec.europa.eu/environment/circular-economy/first_circular_economy_action_plan.html. Accessed 20 Oct. 2020.
127. 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.

128. "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.
129. *ibid.*
130. "Circular Economy Action Plan." European Commission, ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf. Accessed 20 Oct. 2020 .
131. "Bio-Based Industry in the EU," European Commission, 2018, ec.europa.eu/knowledge4policy/visualisation/bio-based-industry-eu_en. Accessed 20 Oct. 2020.
132. "Environment," European Commission, ec.europa.eu/knowledge4policy/bioeconomy/topic/environment_en. Accessed 20 Oct. 2020.
133. Parisi, C. and Tévécia R. "A Global View of Bio-Based Industries: Benchmarking and Monitoring Their Economic Importance and Future Development." European Commission, 2016, publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC103038/lb-na-28376-en-n.pdf.
134. "Plastic Food and Drink Packaging." House of Commons, 9 Sep. 2019, publications.parliament.uk/pa/cm201719/cmselect/cmenvfru/2080/2080.pdf.
135. "Carrier Bags: Why There's a Charge." Department for Environment Food, and Rural Affairs, 19 Mar. 2020, www.gov.uk/government/publications/single-use-plastic-carrier-bags-why-were-introducing-the-charge/carrier-bags-why-theres-a-5p-charge. Accessed 20 Oct. 2020.
136. Department for Environment, Food & Rural Affairs and The Rt Hon George Eustice MP. "Start of Ban on Plastic Straws, Stirrers and Cotton Buds." 1 Oct. 2020, www.gov.uk/government/news/start-of-ban-on-plastic-straws-stirrers-and-cotton-buds.
137. "Plastic packaging tax." HM Treasury and Department for Environment, Food & Rural Affairs, 3 Mar, 2020, www.gov.uk/government/consultations/plastic-packaging-tax. Accessed 20 Oct. 2020.
138. "Introducing a Deposit Return Scheme (DRS) in England, Wales and Northern Ireland: Executive Summary and Next Steps." Department for Environment Food & Rural Affairs, Department of Agriculture, Environment and Rural Affairs (Northern Ireland, and Welsh Government. 22 Aug. 2019, www.gov.uk/government/consultations/introducing-a-deposit-return-scheme-drs-for-drinks-containers-bottles-and-cans/outcome/introducing-a-deposit-return-scheme-drs-in-england-wales-and-northern-ireland-executive-summary-and-next-steps.
139. "Italy to Begin Ban on Plastic Bags in Shops." BBC News, 31 Dec. 2010, www.bbc.com/news/world-europe-12097605.
140. Povoledo, E. "Biodegradable Bags Cause Outrage in Italy. (It's Not Really About Bags.)" New York Times, 8 Jan. 2018, www.nytimes.com/2018/01/08/world/europe/italy-plastic-bags.html?_r=0.
141. "È nato Biorepack, il consorzio italiano per il recupero delle bioplastiche." Greenreport, 15 May 2020, www.greenreport.it/news/economia-ecologica/e-nato-biorepack-il-consorzio-italiano-per-il-recupero-delle-bioplastiche/.
142. Favoino, E. "Zero Waste Italy and Milan: Case Study." The Organic Stream, 2014, www.organicstream.org/2014/02/10/zero-waste-italy-and-milan-case-study/. Accessed 12 Oct. 2020.
143. Favoino, E. "On the Road to Zero Waste: Viability of Schemes for Organics in a City with Pop. Above 1 million." Zero Waste Europe, www.circulareconomy.lt/wp-content/uploads/2017/09/OK_FAVOINO_-_biowaste_in_Milan.pdf.
144. "Annual Report on Biowaste Recycling." Italian Composting and Biogas Association, Nov. 2017, www.compost.it/wp-content/uploads/2019/08/Rapporto-CIC-2017-Eng-v-2.6-web-version.pdf.
145. *ibid.*
146. 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/.
147. Plastic Straws-On-Request Ordinance. City of Los Angeles, www.lacitysan.org/san/faces/home/portal/s-lsh-

- wwd/s-lsh-wwd-s/s-lsh-wwd-s-r/s-lsh-wwd-s-r-psro;jsessionid=elGPZUMLJnvJA9O2v4kYcVi81OCXtlIcj2lflOVw9xliMjpgnB8k!1595384780!-1364262218?_adf.ctrl-state=rngvj0obg_1&_afrLoop=6558972932365740&_afrWindowMode=0&_afrWindowId=null#!%40%40%3F_afrWindowId%3Dnull%26_afrLoop%3D6558972932365740%26_afrWindowMode%3D0%26_adf.ctrl-state%3Drngvj0obg_5. Accessed Oct. 20, 2020.
148. Straw Ordinance. Portland, www.portlandmaine.gov/2558/Straw-Ordinance. Accessed Oct. 20, 2020.
149. "Quick Reference Guide to 'Biodegradable,' 'Compostable,' and Related Claims on Plastic Products in California." California Department of Justice, oag.ca.gov/sites/all/files/agweb/pdfs/environment/ag_website_environmental_claims.pdf. Accessed Sep. 22, 2020.
150. "Environment - Compostable, Degradable, and Biodegradable Plastic Products - Labeling." Maryland General Assembly, mgaleg.maryland.gov/mgawebsite/legislation/details/hb1349?ys=2017rs. Accessed Sep. 22, 2020.
151. "Plastic Products." California Public Resources Code, sec. 42355 - 42358.5, California Legislative Information, 2011. leginfo.ca.gov/faces/codes_displayText.xhtml?lawCode=PRC&division=30.&title=&part=3.&chapter=5.7.&article=
152. Goldsberry, C. "California Sues to Stop Greenwashing; Biodegradable vs. Compostable Battle Rages on." *Plastics Today*, 2 Nov. 2011, www.plasticstoday.com/california-sues-stop-greenwashing-biodegradable-vs-compostable-battle-rages.
153. Millar, S. and Walker, J.C. "23 California DAs Obtain \$1.5 Million Settlement for Deceptive Biodegradable Claims." Keller and Heckman LLP, 9 Aug. 2018, www.consumerprotectioncnx.com/2018/08/23-california-das-obtain-1-5-million-settlement-for-deceptive-biodegradable-claims/#:~:text=The%20California%20law%20prohibits%20businesses,set%20forth%20in%20the%20law.
154. "DA Announces Settlement with Walmart Over 'Greenwashing' Claims." Office of Alameda County District Attorney, 1 Feb. 2017, www.alcoda.org/newsroom/2017/feb/walmart_settlement. Accessed 22 Oct. 2020.
155. "DA Nancy O'Malley Announces Settlement with Costco & SF Gourmet Coffee." Office of Alameda County District Attorney, 19 Mar. 2018, www.alcoda.org/newsroom/2018/mar/costco_and_sf_gourmet_coffee_settlement#more. Accessed 30 Nov. 2020.
156. "District Attorney Announces Settlement With Amazon.com, Inc. for Sales of "Biodegradable" Plastic Items." County of Monterey, 1 Aug. 2018, www.co.monterey.ca.us/home/showdocument?id=67593.
157. 國家發展改革委. 國家發展改革委 生態環境部關於進一步加強塑膠污染治理的意見 (發改環資〔2020〕80. 號) [Z]. 2020-01-19.
158. GB/T 20197-2006, 分解塑膠的定義、分類、標識和分解性能要求[S], 中華人民共和國國家品質監督檢驗檢疫總局、中國國家標準化管理委員會, 2006. openstd.samr.gov.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=97FCB8AB9135BC8B636253071C1AA6C2.
159. 趙春曉. 可分解塑料製品分類和標識指南發佈[N]. 人民網. 2020-09-16. www.thepaper.cn/newsDetail_forward_9198024.
160. GB/T 38082-2019. 生物分解塑膠購物袋[S], 國家市場監督管理總局、中國國家標準化管理委員會, 2019. www.gb688.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=A7873D2AE022DE73193AD1A1A1DFCA28.
161. GB/T 35795-2017. 全生物分解農用地面覆蓋薄膜[S], 中華人民共和國國家品質監督檢驗檢疫總局、中國國家標準化管理委員會, 2017. www.gb688.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=99C227FBAB9F3474F3386834E9063D67.
162. GB/T 38727-2020. 全生物分解物流快遞運輸與投遞用包裝塑膠膜、袋[S], 國家市場監督管理總局、中國國家標準化管理委員會, 2020. www.gb688.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=D7BEAD62A60515E7EA7DF64B3AADA861.
163. 國家發展改革委, "十三五"全國城鎮生活垃圾無害化處理設施建設規劃[Z], 2016. www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201701/W020190905497906455466.pdf.
164. 吉林省成為全國首個“禁塑”省份[N]. 吉林日報. 2015-01-05. www.gov.cn/xinwen/2015-01/05/content_2800263.htm.
165. 南樂縣林業局召開治理白色污染推廣使用一次性可分解塑膠製品動員會[EB/OL]. 2020-11-30. www.hotbak.net/key/%E5%8D%97%E4%B9%90%E5%8E%BF%E5%8F%AC%E5%BC%80%E6%B2%BB%E7%90%86%E7%99%BD%

E8%89%B2%E6%B1%A1%E6%9F%93%E6%8E%A8%E5%B9%BF%E4%BD%BF%E7%94%A8%E5%8F%AF%E9%99%8D%E8%A7%A3%E5%A1%91%E6%B2%B3.html.

166. 長春開發區： 打造國內生物製造產業的核心區[N]. 吉林日報. 2015-11-26. ezone.mofcom.gov.cn/article/ab/201511/20151101194592.shtml.
167. 河南生南樂縣招商局. 國家級生物基材料產業集群—河南南樂歡迎您[EB/OL]. 2016-04-21. www.nanle.gov.cn/2016/0421/5120.html.
168. 岳彩絢. 高成本、低成效、未分解——長春市“禁塑”5. 年可分解塑膠推廣成效[EB/OL]. 零廢棄聯盟. 2020-03-25. mp.weixin.qq.com/s/z2R-d-tR0OoqSdMYlai6TA.
169. DB22/T 2106-2014. 聚乳酸製品通用技術要求, 吉林省品質技術監督局, 2014. std.samr.gov.cn/db/search/stdDBDetailedCNF?id=91D99E4D352D2E24E05397BE0A0A3A10.
170. 國家統計局. 2019. 中國統計年鑒[M]. 北京: 中國統計出版社. 2019. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexch.htm>.
171. 岳彩絢. 執行度低、袋子品質差——南樂縣以可分解塑膠袋推“禁塑”的情況報告[EB/OL]. 零廢棄聯盟. 2020-05-12. https://mp.weixin.qq.com/s/FmB_SUA8SCL_I55BQMISeA.
172. 海南省全面禁止生產、銷售和使用一次性不可分解塑膠製品實施方案[N]. 海南省人民政府網. 2019-02-17. http://www.hnft.gov.cn/zcfg/zcwj/hnzc/202002/t20200224_3260378.html.
173. 海南出臺禁止一次性不可分解塑料製品規定[N]. 新華社. 2019-02-10. http://www.gov.cn/xinwen/2020-02/10/content_5476880.htm.
174. 海南省生態環境廳. 關於發佈《海南省禁止生產銷售使用一次性不可分解塑膠製品名錄（第一批）》的公告[Z]. 2020-03-19. hnsthb.hainan.gov.cn/xxgk/0200/0202/hjywgl/trhjgl/202003/t20200320_2764481.html.
175. DB46/ T 505—2020. 全生物分解塑膠製品通用技術要求, 海南省市場監督管理局, 2014. iitb.hainan.gov.cn/iitb/xfpgy/202005/e6705dd97f094bdb89be0b7a007cf931/files/1206b05b4db047e3af0db31124ec97a8.pdf.
176. 國家統計局. 2019. 中國統計年鑒[M]. 中國統計出版社. 2019. www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexch.htm.
177. 海南省生態環境廳. 關於印發《海南省禁止生產銷售和使用一次性不可分解塑膠製品工作實施情況評估考核工作方案（試行）》的通知[Z]. 2020-10-19. hnsthb.hainan.gov.cn/xxgk/0200/0202/hjywgl/trhjgl/202010/t20201019_2867277.html.
178. "Coca-Cola Company Introduces Bioplastic Bottle." Packaging Digest, 23 Jan. 2014, www.packagingdigest.com/smart-packaging/coca-cola-company-introducesbioplastic-bottle.
179. "ESG Topics A-Z." Pepsico, <https://www.pepsico.com/sustainability/esg-topics-a-z#packaging>. Accessed 20 Oct. 2020.
180. *ibid.*
181. "Plans To Rethink Our Packaging, Today." Mars, www.mars.com/sustainability-plan/healthy-planet/sustainable-packaging. Accessed 20 Oct. 2020.
182. "Rethinking Plastic Packaging – Towards a Circular Economy." Unilever, www.unilever.com/sustainable-living/reducing-environmental-impact/waste-and-packaging/rethinking-plastic-packaging/. Accessed 20 Oct. 2020.
183. GreenerDesign Staff. "P&G Brings Sugarcane Packaging to Pantene, Covergirl." GreenBiz, 12 Aug. 2010, www.greenbiz.com/article/pg-brings-sugarcane-packaging-pantene-covergirl.
184. "Packaging Preferred Materials & Formats Guidelines 2020." TESCO, tescoplc.com/media/755625/preferred-materials-formats-listing-april-2020.pdf. Accessed 20 Oct. 2020.
185. Sykes, T. "Carrefour: the Retail Giant Acting like a Start-Up on Sustainability." Packaging Europe, 22 Feb. 2019, packagingeurope.com/carrefour-retail-giant-start-up-on-sustainability-loop/.
186. "Tesco and Loop: A Reuse Laboratory." Packaging Europe, 9 Nov. 2020, packagingeurope.com/tesco-and-loop-a-reuse-laboratory/.
187. "Carrefour Replaces Plastic Bags With Biodegradable Ones Made in Romania." Business Review, June 6 2018, business-review.eu/business/retail/carrefour-replaces-plastic-bags-with-biodegradable-ones-made-in

romania-172340.

188. "Carrefour Introduces Biodegradable Bags." Bakery and Snacks, 9 June 2002, www.bakeryandsnacks.com/Article/2002/06/10/Carrefour-introduces-biodegradable-bags.
189. "Packaging." Costco Wholesale, www.costco.com/sustainability-packaging.html. Accessed 20 Oct. 2020.
190. Du, L. "7-Eleven to Wrap 2 Billion Rice Balls in Plant-Based Plastic." Bloomberg, 27 June 2019, www.bloomberg.com/news/articles/2019-06-26/7-eleven-to-wrap-2-billion-rice-balls-in-plant-based-plastic.
191. "Climate Change Mitigation and Adaptation." FamilyMart, www.family.co.jp/english/sustainability/material_issues/environment/carbon.html. Accessed 20 Oct. 2020.
192. Zhong, R. and Zhang, C. "Food Delivery Apps Are Drowning China in Plastic." New York Times, 28 May 2019, www.nytimes.com/2019/05/28/technology/china-food-delivery-trash.html.
193. 中國快遞包裝廢棄產生特徵與管理現狀研究報告[R]. 擺脫塑縛、綠色和平. 2019. <https://www.greenpeace.org.cn/wp-content/uploads/2019/11/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E5%BF%AB%E9%80%92%E5%8C%85%E8%A3%85%E5%BA%9F%E5%BC%83%E7%89%A9%E4%BA%A7%E7%94%9F%E7%89%B9%E5%BE%81%E4%B8%8E%E7%AE%A1%E7%90%86%E7%8E%B0%E7%8A%B6%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%8A%A5%E5%91%8A-.pdf>.
194. 全球智慧物流峰會 菜鳥網路啟動“綠動計劃”[N]. 遞四方物流. 2016-06-14. express.4px.com/article/detail/id/500901/cid/2.
195. 清流計畫再發力 京東物流發起綠色包裝聯盟[N]. DoNews. 2018-08-16. www.donews.com/news/detail/4/3016603.html.
196. "Environmental Marketing Guidelines." Amazon, sellercentral.amazon.com/gp/help/external/G201893650?language=en_US. Accessed 29 Nov. 2020.
197. "Delivery Hero Strengthens Its Global Commitment to a Sustainable Future With Strategic Investment in Biodegradable Packaging Manufacturer BIO-LUTIONS." Delivery Hero, 16 May 2019, www.deliveryhero.com/delivery-hero-strengthens-its-global-commitment-to-a-sustainable-future-with-strategic-investment-in-biodegradable-packaging-manufacturer-bio-lutions/.
198. Mehmet, S. "Just Eat Develops "World's First" Biodegradable Seaweed Takeaway Box." New Food Magazine, 27 Feb. 2020, www.newfoodmagazine.com/news/106226/just-eat-develops-worlds-first-biodegradable-seaweed-takeaway-box/.
199. Notpla, www.notpla.com/.
200. 美團外賣青山計畫公佈新目標：促進1億使用者實踐可持續消費[N]. 華商網. 2020-08-31. finance.hsw.cn/system/2020/0831/310870.shtml.
201. "The New Plastics Economy Global Commitment 2019 Progress Report." Ellen MacArthur Foundation, 2020, www.newplasticseconomy.org/assets/doc/Global-Commitment-2019-Progress-Report-Summary.pdf
202. 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.
203. 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.
204. 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.
205. 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-IBiolC.pdf.
206. 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.
207. 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.
208. 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.