农业生产用
传统塑料和生物降解塑料

为欧盟委员会环境总司编制的报告。

根据编号为ENV.B1/FRA/2018/0002 Lot 1

的框架合同执行的项目

2021年7月

法律声明

本报告内容仅代表作者个人观点，其中信息系由作者提供，并不代表欧盟委员会的官方立场和观点。欧盟委员会不保证本著作数据的准确无误。欧盟委员会或任何代表委员会行事的人均不对因使用本报告所载信息而产生的任何结果承担任何责任。

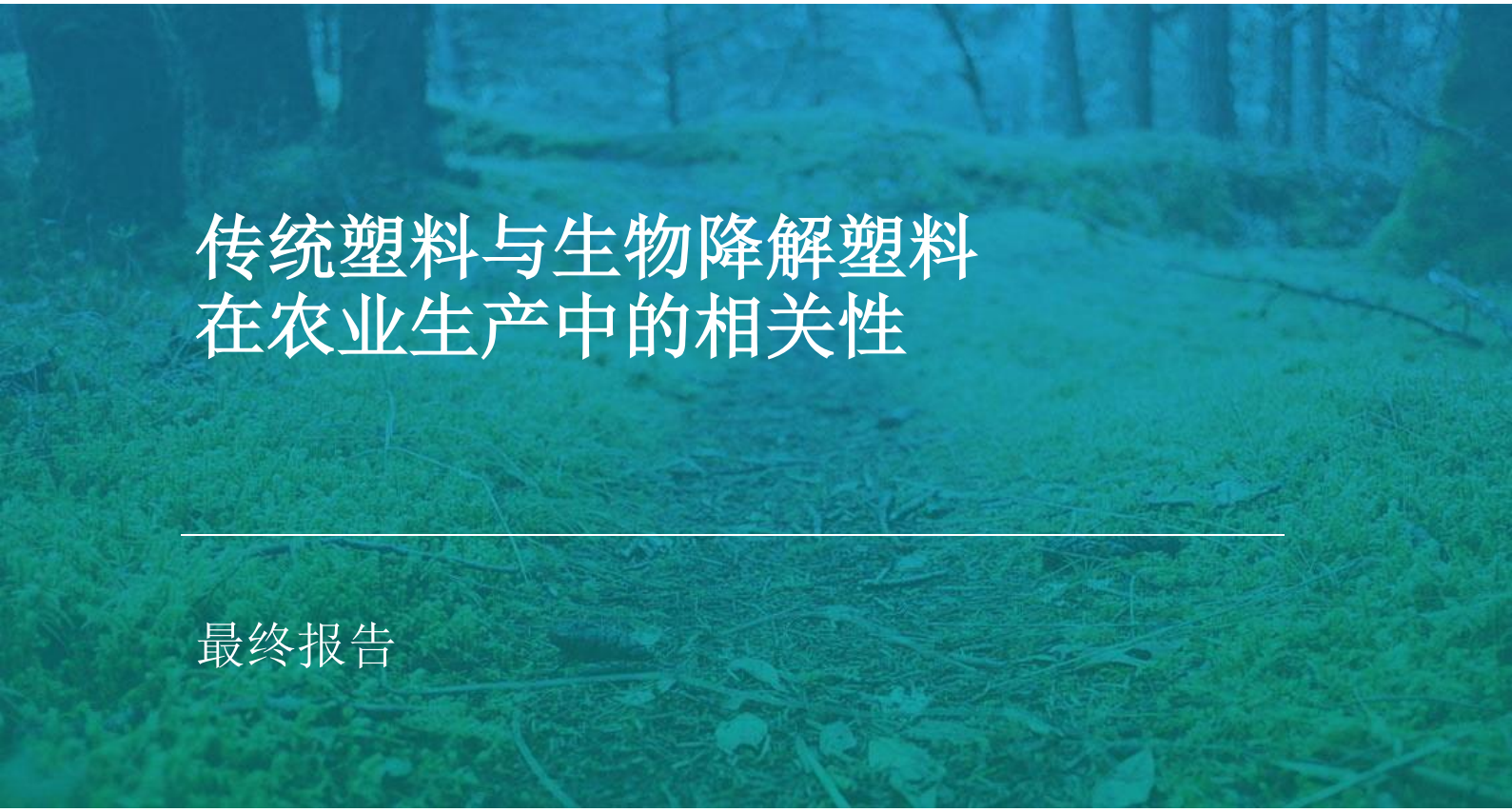
如需了解与欧盟相关的更多信息，请访问网站：http://www.europa.eu。

卢森堡：欧盟官方出版物办公室，2021；

© 欧盟，2021年

只要注明出处，重用即获授权。欧盟委员会的文件重用政策受欧盟第2011/833/EU号指令（OJ L 330，14.12.2011，第39页）的制约。

对于任何不受欧盟版权保护的照片或其他材料的使用或转载(*)，必须直接获得版权所有者的许可。



传统塑料与生物降解塑料在农业生产中的相关性

最终报告

Simon Hann
Emma Fletcher
Star Molteno
Chris Sherrington
Laurence Elliott

Mary-ann Kong（德勤）
Alima Koite（德勤）
Sergio Sastre（ENT）
Veronica Martinez（ENT）

2021年7月26日

为欧盟委员会环境总司编制的报告

审批人：

……
…….

Chris

Sherrington

（项目总监）

欧诺弥亚研究与咨询公司
（Eunomia Research & Consulting ）
37 Queen Square
Bristol
BS1
4QS

United Kingdom 英国

电话：+44 (0)117 9172250
传真：+44 (0)8717 142942

网址：www.eunomia.co.uk

免责声明

欧诺弥亚研究与咨询公司（Eunomia Research & Consulting Ltd）在编制本报告时采取了应有的谨慎态度，以确保所提供的所有事实与分析在项目范围内尽可能准确。然而，我们对所提供的信息不作任何保证，并且欧诺弥亚研究与咨询公司不对基于本报告内容而做出的决定或采取的行动负责。

版本说明

本报告的中文翻译由“中德农村塑料升级管理项目”与“塑料再思考——循环经济应对海洋垃圾项目”完成。

中德农村塑料升级管理项目受德国联邦经济合作与发展部（BMZ）委托，在 develoPPP.de 计划框架下，由德国莱芬豪舍集团、珠海金发生物材料有限公司、莱茵技术（上海）有限公司联合德国国际合作机构（GIZ），于 2020 年 9 月正式开始实施。项目旨在提高聚乙烯（PE）地膜的回收效率，推广全生物降解地膜的应用，升级中国农村塑料的管理水平。

塑料再思考——循环经济应对海洋垃圾项目受欧盟（EU）和德国联邦经济合作与发展部（BMZ）委托，由德国国际合作机构（GIZ）和法国国际技术专门知识机构（EF）共同执行。本项目旨在通过支持东亚、东南亚国家的塑料可持续生产与消费转型，为减少海洋垃圾作出重要贡献；同时致力于加强欧盟和相关地区国家在循环经济、减少塑料垃圾和海洋垃圾等领域的合作。更多信息请访问项目网站：https://rethinkingplastics.eu/。

中文版审校

德国国际合作机构：侯靖岳，徐运赟，刘晓

版面设计

德国国际合作机构

© 北京，2022 年 5 月

中德农村塑料升级管理项目：

塑料再思考—循环经济应对海洋垃圾项目：

本报告全文受版权保护。截至本研究报告发布前，德国国际合作机构和相关作者对出版物中所涉及的数据和信息进行了仔细研究与核对，但不对其中所涉及内容及评论的正确性和完整性做任何形式的保证。本出版物中涉及到的外部信息，将由其发行方将对相关内容负责，德国国际合作机构不对此类内容承担任何责任。

摘要

通过促进塑料废弃物的再利用、修复、再制造、循环利用及防治，一项全面的欧盟塑料战略为推动实现新型塑料循环经济奠定了基础，在此循环经济中，塑料材料将尽可能长时间地留在经济体系中保持循环。

新版《循环经济行动计划》（Circular Economy Action Plan）还补充指出，将根据对生物降解塑料在环境保护中应用情况的评估，针对生物降解塑料的使用制定一个政策框架。

本研究首先试图量化欧盟每一类农用塑料当前的消费水平、分类收集水平及不同管理途径中的农用塑料流量水平。此外，本研究还分析了与*传统*农用塑料的不当收集、低循环利用率等问题相关的驱动因素，以及阻碍提高回收再利用率的技术障碍和非技术障碍。在农用生物降解塑料方面，本研究也进行了类似的分析。此外，本研究还确立了截至2040年的一切如常情景基准线，并确定了目标和政策措施。

在对政策措施进行筛选之后，本研究对保留选项进行了定性和定量评估，并就拟实施的措施以及未来研究要求向欧盟委员会提出了建议。一般而言，在农业生产中是选择使用传统塑料还是生物降解塑料，将取决于当地收集情况和种植者的要求。

执行摘要

本报告系由欧诺弥亚研究与咨询公司及其合作伙伴德勤会计师事务所和ENT为欧盟委员会环境总司编制。

根据任务范围（ToR），本研究的整体目标是：

> *为欧盟委员会针对农用塑料和构建生物降解塑料框架所可能采取的各项政策行动提供支持。*

授权调查范围进一步指出：

> *特别值得一提的是，本研究的目的旨在识别并减少与传统塑料和农用生物降解塑料相关的环境影响。本研究将主要着眼于这些塑料废弃时的管理问题，特别是这些塑料的不当收集、低循环利用率以及生物降解能力的有效性。本研究涉及那些为了在农业系统（包括园艺业和林业）中实现某项功能而被有意放置在环境中的农用大分子塑料。*

E.1.0 研究方法

为更好地了解整个欧盟农用塑料的现状，我们开展了广泛的研究（包括案头研究和与利益攸关方的一些半结构化访谈）。此后，我们采用“更佳的监管工具包”法来识别问题驱动因素，并在此基础上制定了具体的政策目标，以改善废弃农用塑料的管理。然后，我们对罗列的政策措施进行建模，以了解相关成本和收益。

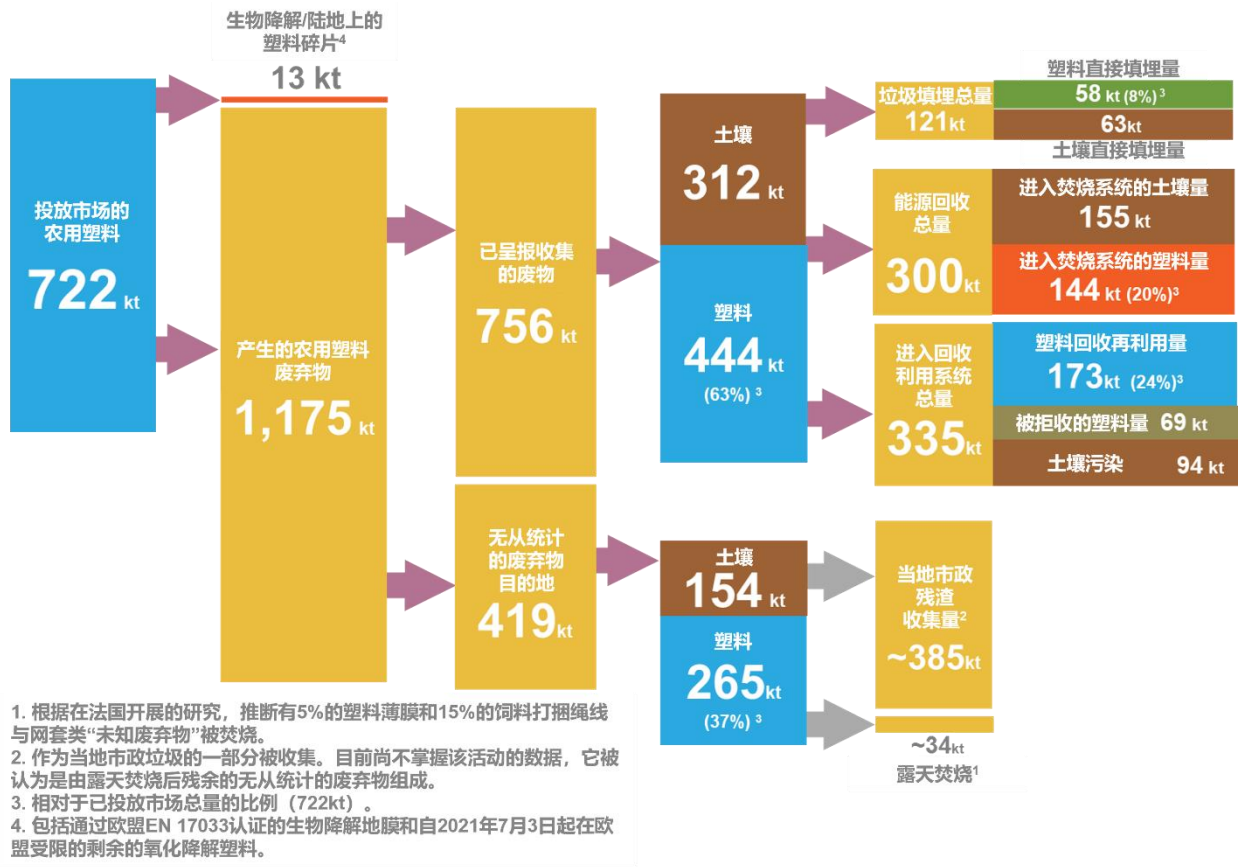
值得注意的是，欧洲农用塑料数据的统计报告制度尚且不够完善。因此需要对一些数据的输入和建模参数的选择进行谨慎预估和假设。在整个报告中，我们在必要的地方突出显示了数据说明。

E.2.0 主要研究结果

E.2.1 农用塑料消费与管理实践

据欧洲农业、塑料与环境协会（APE Europe）报告，2019年，在欧盟境内产生的非包装用农用塑料废弃物中，约有63%被回收。剩余37%农用塑料的命运不得而知——因为根据定义，对此并无记录——但农用塑料可能会被储存、燃烧、掩埋或与其他废弃物流一起被收集。据观察性研究估计，大约5%的剩余材料被焚烧，其余大部分通过当地市政废弃物处理计划加以收集，其可能的目的地是市政处理（见图E-1）。爱尔兰、冰岛、挪威、瑞典、法国及西班牙等国家已在全国范围内推行完善的收集计划，并已实现高达70%以上的收集率。此外，尽管大多数农用塑料具有很高的再生利用潜力（常为单一材质，且通常都施行分类收集），但据预计，目前欧盟境内每年进入市场的非包装用农用塑料废弃物中仅有24%实现循环利用。不同类别农用塑料的产量差异甚大，目前尚无关于地膜和饲料打捆网套循环利用的报道。相反，温室棚膜的收集和循环利用制度相对较为完善，因为此类农用塑料具有品质高和污染相对较少的特点。基础数据显示，投放市场的塑料在所产生废弃物中占比仅为60%，其余废弃物为土壤及其他有机质。这种污染程度是农用塑料所独有的，且正如后续章节所讨论的那样，这种污染程度是导致所报告的低循环利用率的主要原因。据预计，欧盟每年受此类污染影响的土壤达到约467,000吨，其中36%（166,000吨）来自地膜收集，尽管仅占市场的12%（按质量计算）。从田间挖走土壤会导致土壤有机碳（SOC）的流失，而土壤有机碳是健康土壤结构的重要组成部分。

图E-1：欧盟农用塑料废弃物质量流量



E.2.2 废弃传统农用塑料管理

我们已经探讨了在管理废弃传统农用塑料时面临的挑战。我们主要着眼于两个相互关联的问题：制约农用塑料废弃物分类收集的障碍，以及完成农用塑料废弃物的分类收集后，制约农用塑料废弃物循环利用障碍。

E.2.2.1 收集障碍

在欧盟范围内为循环利用目的而分类收集农用塑料的主要障碍是：

- **地膜的技术特征，这可能意味着很难在不撕裂地膜的情况下将地膜（以及随后留置在土壤中的碎片）从土壤中完全去除。**关于这一主题的数据非常有限。在欧洲，任何关于地膜残留在土壤中百分比的估计都是基于专家意见，而不是已收集的数据，因此应该谨慎对待。
- **分类收集农用塑料废弃物的经济性和/或监管激励机制不足。**大多数农用塑料制品（但也有少数例外）对回收者并无有益价值，因此废弃物管理者几乎没有分类收集此类制品的经济动力。此外，尽管法律要求对塑料废弃物实施分类收集，因此也要求对农用塑料实施分类收集，但在整个欧盟范围内这一要求的实施仍显不力。

此外，在已推行分类收集制度的国家和地区：

- **农民对现有计划的认识不足。**例如，ERDE（德国农用塑料收集计划）的计划运营商认为，农民意识不足是当前收集率相对较低（约40%）的原因；该计划于2013年启动。
- **鼓励农民参与农用塑料废弃物分类收集的激励机制不足。**例如，农民可以选择就地

焚烧他们的农用塑料废弃物或将饲料倒入生活垃圾流中，特别是对于小体量农用塑料，例如饲料打捆绳线与网套，它们可能相对容易离散地混入生活垃圾流中。

E.2.2.2 循环利用障碍

在欧盟范围内循环利用农用塑料的主要障碍是：

- **主要因高污染率而催生的高昂加工成本。**例如，利益相关方认为，即使已采用最佳实践，地膜污染率预计也会高达30%至40%。
- **回收物价值低且其终端市场相当有限。**由农用塑料生产的颗粒质量通常相对较差（温室棚膜例外）。

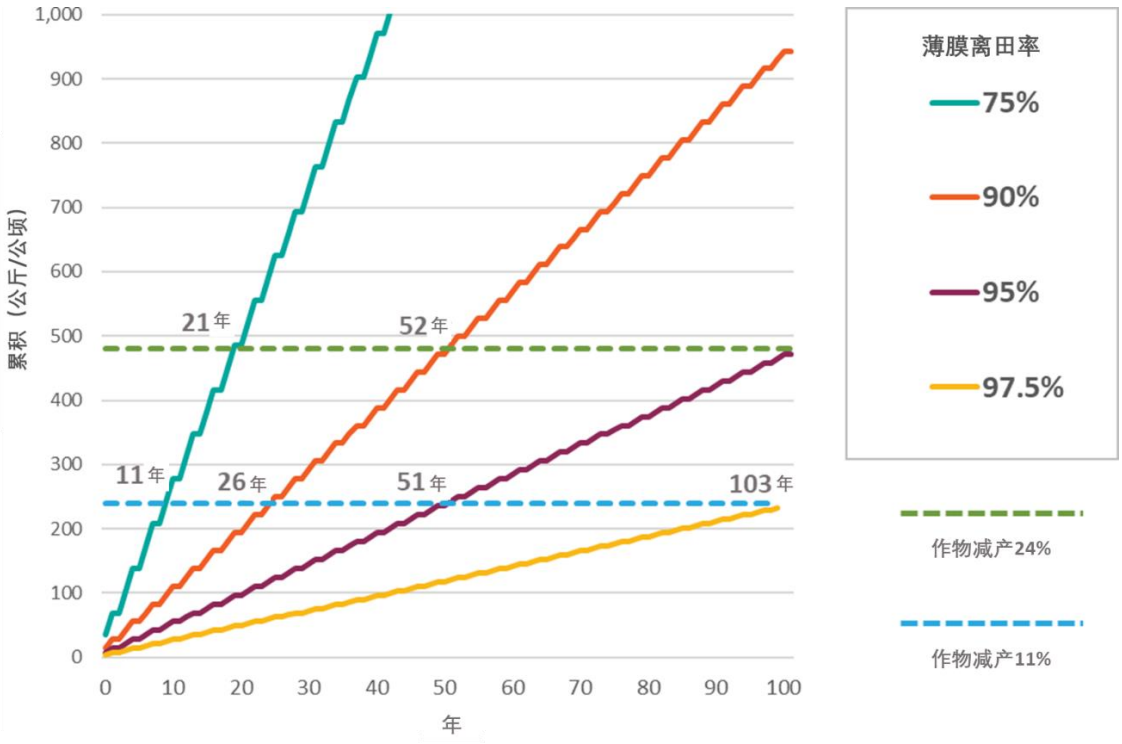
E.2.2.3 不当收集的环境影响

农用塑料的不当收集很可能会对环境造成负面影响。此外，如果不收集农用塑料，则塑料残留物进入并留置在土壤中的可能性更大；尽管这些残留物的确切归宿尚待明确，但它们也有可能被转移到其他环境中。

虽然关于土壤中农用塑料残留物对环境影响的具体研究既不广泛也很难得出最终结论，但是可以观察到以下结果：

- 现有的科学证据基础依赖于欧盟以外的例子，但结果表明，如果浓度达到一定的阈值，就可能对土壤肥力和作物产量产生负面影响。
- 作为本研究的一部分，对使用常规地膜之可能情景进行的建模表明，如果在使用完毕后5%-25%的地膜未能从土壤中去除，则可以在11至51年内达到这一阈值（见图E-2）。
  现在将此放到更具体的上下文中：**如果整个欧盟范围内的地膜残留率平均为5%-25%，则每年使用83,000吨地膜将导致每年有4,750至20,750吨的传统塑料残留物在农业用地中累积。**
- 传统塑料地膜通常被留置在土壤中的比例尚不为人知（经常被引用的数字范围为5%-25%，但这些数字的根本来源与已发表的科学研究并无直接联系）。导致田间特定比例残留物的常见做法之间并无可论证的关联。同样，我们也不清楚如果采用最佳实践可以取得何种成果，以及在田间清除机械方面的技术改进可以达到何种程度。观察性证据表明，较厚的薄膜将导致较少的残留物，但需要进一步研究以确定所需的确切厚度（以及强度规格）。
- 低收集率还增加了露天焚烧农用塑料的可能性。露天焚烧涉及焚烧副产物的释放，而这些副产物极有可能导致全球变暖加剧，并对人类健康产生负面影响。

图E-2：传统塑料地膜累积模型



资料来源：欧诺弥亚建模计算

E.2.3 废弃农用生物降解塑料管理

生物降解塑料系指可以被微生物等活体生物体的作用分解为水、二氧化碳和生物质的塑料。生物降解塑料通常由可再生原料、微生物、石油化学产品或这三者的组合制成。本报告将主要着眼于生物降解地膜（BDM）的问题，因为它们是唯一历经广泛实地研究并符合欧洲产品标准（欧盟EN 17033标准）性能认证的农用生物降解塑料。尽管现有论证基础主要集中于农用产品，但有些重要的方面可以转用于帮助我们了解其在其他产品类型上广泛应用的意义。

E.2.3.1 关于环境风险的结论

评估生物降解地膜可能对环境造成的影响对于评估其在农业生产中替代传统塑料的潜力至关重要。证据审查结果表明：

- *在使用过程中*，生物降解地膜对健康土壤结构的影响与常规覆盖物的影响相差无几，尽管为了获得最佳性能，种植者需要有个学习过程放才能完成从常规覆盖物向生物降解地膜的转换。但如果薄膜供应商能够提供适当的培训和支持（通常实际情况亦是如此），这一点将不会被视作障碍。

- 由于生物降解地膜耕种进土壤后实现完全生物降解可能需要一年以上的时间，因此在平均土壤温度低于15°C的地区，生物降解地膜会逐渐在土壤中累积，但这种累积会稳定在较低水平；
- 一旦停止使用生物降解地膜或者如果遇到休耕年，在温带气候下（土壤温度高于10°C），土壤中生物降解地膜的含量可能会迅速（1至2年内）减少至零；这与传统塑料形成鲜明对比，因为传统塑料的浓度将保持不变。
- 如果使用生命周期评价（LCA）作为比较环境影响的工具，目前的证据表明，在大多数影响类别中，相比生物降解地膜，常规地膜对环境的影响相对较小。若常规地膜中添加回收料，生物降解地膜则会在更多影响类别中表现出优于常规地膜的性能。然而，常规地膜在田间的残留及与之相关的负面影响尚无法量化比较。
- 生物降解地膜很可能会降低塑料在开放环境中残留的发生率和持久性，但这存在一个权衡利弊的问题，目前通过典型生命周期评价方法尚不可能实现，且生物降解塑料在土壤中的生物降解途径尚待进一步探索和了解。
- 目前尚无任何具体研究将常规地膜或生物降解地膜可能浸出进入水道或其他生境作为其研究主题。如果常规薄膜碎片确实发生了浸出或被风力搬运，则现有证据会表明，这将对生态系统产生若干（但尚无法量化的）负面影响。对于生物降解地膜来说，负面影响可能相对较小，但由于通常不对这些材料进行水生生物降解性检测，因此不能保证其影响为零。

表4-3总结了在常规地膜与生物降解地膜之间权衡取舍的关键。其中强调了阻碍当前得出明确结论的大量未知因素。虽然相比生物降解地膜，常规地膜一旦被循环利用，就会被认为在其整个生命周期内对环境的影响相对较小，但循环利用通常不会发生，其主要原因是常规地膜通常会被高度污染。尽管鼓励循环利用已收集的材料具有可能性，但这仍需进一步的研究来确定是否有可能在使用后始终如一地从田间清除所有常规薄膜的痕迹。如果此举不具有可能性，则在环境中塑料污染与温室气体排放（以及大多数其他的环境影响类别）之间的关键权衡取舍问题就会存在。如果能够借助技术升级来提高地膜清除率并针对循环利用系统提供更清洁的材料，这将为继续使用常规地膜提供更强有力的理由。生物基原料减少了原材料对环境的影响，这一优点也可能影响这种技术在未来的走势。**鉴于目前缺乏确定性，同时拥有这两种选择至关重要，因为这样才可以根据当地收集情况和种植者的要求选择使用哪一种。**

表E-1：地膜材料的权衡取舍（考虑环境影响）

绿色=最有利的环境情景；黄色=混合情景或不确定情景；

红色=最不利的环境情景

<table>
<tr><th>权衡取舍>>
地膜材料[5]</th><th>原材料与生产</th><th>垃圾填埋</th><th>垃圾焚烧</th><th>在土壤中残留</th><th>循环利用</th></tr>
<tr><td>生物基生物降解地膜</td><td rowspan="2">相比常规地膜，通常能够产生更大影响[1]</td><td rowspan="2">不适用</td><td rowspan="2">不适用</td><td>释放生物二氧化碳；约1/3转化为生物质[1]</td><td rowspan="2">不会发生—材料价值丢失</td></tr>
<tr><td>化石基生物降解地膜</td><td>释放化石二氧化碳；约1/3转化为生物质[1]</td></tr>
<tr><td>生物基常规地膜</td><td rowspan="2">相比生物降解地膜，通常能够产生较小影响</td><td rowspan="2">无效。但有机残留物可能生成甲烷</td><td>释放生物二氧化碳</td><td rowspan="2">持续[4]</td><td rowspan="2">材料具有可回收性[3]</td></tr>
<tr><td>化石基常规地膜</td><td>释放化石二氧化碳</td></tr>
</table>

1. 值得注意的是，随着供应链和制造过程的进步与发展，这种情况可能发生改变。
2. 目前尚不清楚转化为二氧化碳或生物质的占比究竟是多少。可堆肥塑料的1/3转化为生物质，已参考此数字作为指示性数字。
3. 在欧盟境内，地膜的循环利用通常不会发生——未来需要提高收集率并完善鼓励循环利用的政策选项。
4. 目前尚不清楚田间通常会留置多少塑料残留物（由于去除不当或厚度较薄的薄膜发生撕裂）。
5. 材料也可以是化石基和生物基的混合物。这意味着同一种产品既可以释放化石二氧化碳，又可以释放生物二氧化碳，具体视环境而异。

E.2.3.2 推荐采用的农用生物降解塑料使用标准

很明显，生物降解地膜为种植者提供了一项额外的选择，其裨益令人难以抗拒。本项研究的成果没有给出需立法阻止生物降解地膜使用的理由。
然而，目前业界正在开发用于农用生物降解塑料的新材料，并正在提出农用生物降解塑料新应用的建议，因此需要一套原则来指导这些产品的使用，以便在提供切实利益的同时避免误用和虚假宣称。

表E-2总结了理想情况下应满足的拟议标准，以在降低环境风险（主要针对相对风险）的同时，遵循废弃物层级管理制度和循环经济原则。

农用生物降解塑料使用标准可分为两个级别：一级标准由不太可能随时间变化的常量的标准组成，在处理二级标准之前应先满足这些标准。二级标准是基于证据的标准，可以对满足一级标准的产品/应用进行调查。这样做的目的是，针对某些不合适的应用，可以尽可能的节约其产品开发、生物降解测试、标准制定等环节的资源。

表E-2：生物降解塑料在农业生产中的应用标准

一级标准
使用传统塑料会对环境造成负面影响，导致塑料在土壤中累积/渗入环境
去除、收集、负责任地处置该产品，并在废弃时不留置该产品的任何残留物不具有切实可行性
二级标准
与常规替代品相比，可以实现类似或更优的产品参数和性能
为了观察在特定气候条件下预期的生物降解时间，已开展现场测试
标准检测方法和生物降解阈值已存在（例如欧盟EN 17566和EN 17033标准）*
*欧盟EN 17566标准涉及一种通用的土壤生物降解性检测方法。欧盟EN17033标准规定了该检测地膜产品时应满足的时间限制和生物降解阈值。在特定环境中使用特定类型的产品时，必须遵循这两项标准，但目前并非在所有环境中使用地膜都需要进行检测。

表E-3采用了这些标准，并将这些标准应用于本报告中确定的常见农用塑料的应用领域，以及一些特殊的和/或新的应用示例。结果表明，目前只有地膜被认为是生物降解材料的合适应用场景，这与本报告的研究结果相一致。此应用拥有极强的证据基础作为支撑，并且它是唯一可以通过使用标准来验证的应用。在天平的另一端，青贮饲料包装膜和温室棚膜都未能满足*无法实现收集*这一项一级标准的要求（因为青贮饲料包装膜和温室棚膜可以被收集）。
尽管生物降解塑料生产商并未推广温室棚膜等产品，但这为继续保持这一立场提供了合乎情理的框架。

如果没有一种方法来检测和验证开放环境中生物降解性（以及开展检测和验证的难度），那么我们的关注点应该放在实施有效的机制上（例如生产者责任延伸制，EPR），这些机制应能为农场恰当的收集和管理所有塑料废弃物提供令人信服的理由。

对于经常被留置在环境中的产品（例如树木保护罩），有观点认为，应该使用生物降解材

料来减少影响——即使在特殊条件下并不总是能够实现完全的生物降解，但它可能是永久存在的传统塑料的一个更优替代品。但是，由于缺乏对生物降解地膜以外的产品的标准化管理和认证，因此目前无法区分哪些是由具有生物降解证据依据的材料制成的产品，哪些是并不如宣称那样有效的产品。显而易见的是，标准化对于创造公平的竞争环境和避免虚假宣称至关重要。

表E-3：农业生产中使用生物降解塑料的应用标准

√符合标准，× =不符合标准，√× =证据基础不明确/或正在开发中

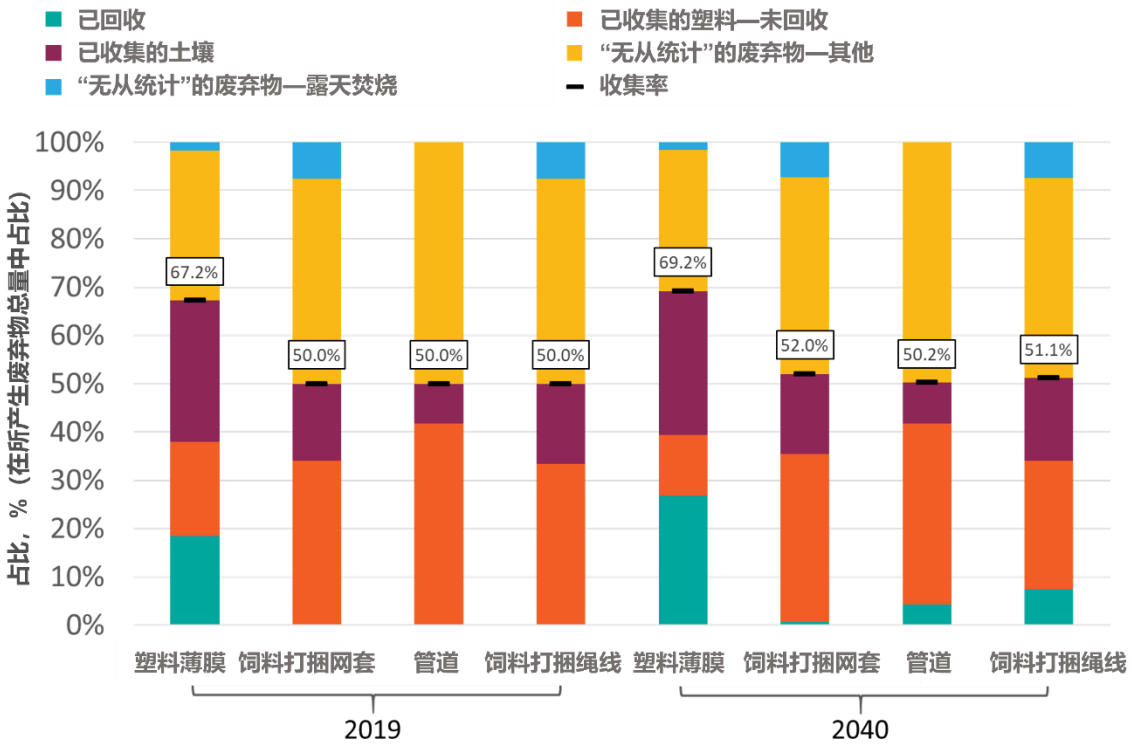
标准	地膜—短周期作物	水稻生产用地膜	灌溉用滴灌带	树木保护罩	饲料打捆绳线与网套	青贮饲料包装膜	温室棚膜
一级标准							
使用传统塑料会对环境造成负面影响，导致塑料在土壤中累积/渗入环境	√	不适用	√×	√	√	√	√
去除、收集、负责任地处置该产品并在废弃时不留置该产品的任何残留物不具有切实可行性	√	√	√×	√×	√×	×	×
二级标准							
在使用过程中可以实现类似或更优的产品参数和性能	√	不适用	×	√	√×	×	×
为了观察在特定气候条件下预期的生物降解时间，已开展现场测试	√	√×	×	×	×	×	×
标准检测方法和生物降解阈值已存在	√	√×	×	×	×	×	×

E.2.4 农用塑料消费、废弃物产生和管理基线

我们对欧盟28国的农用塑料消费、废弃物产生和废弃物管理路径的基线进行了建模，并在本报告第5.0节中作了介绍。据预计，在没有进一步干预的情况下，传统农用塑料收集量和循环利用量的增长将十分有限（见图E-3）。因此，我们建议欧盟委员会采取行动，以改善废弃传统农用塑料的管理。

图E-3显示了2019年（历史数据的最后一年）和2040年（预测数据的最后一年）产生的废弃物的最终目的地。收集率显示为黑色条块（其余废弃物显示为黄色区域，其最终目的地“无从统计”）。在这些已收集的废弃物中，紫色区域为土壤（未循环利用）。在最后被循环利用之前，塑料废弃物的进一步流失以橙色显示。最后被循环利用的废弃物以绿色显示。请注意，这是根据废弃物产生量（包括土壤）计算而得到的循环利用率，而本报告中引用的循环利用率是根据已循环利用塑料占已投入市场的塑料总量的百分比计算而得到的结果（即不包括已收集废弃物中的土壤）。

图E-3：欧盟28国中农用塑料废弃物的最终目的地，单位：千吨（2019年、2040年）



E.2.5 政策选项

根据已识别的收集和循环利用常规农用塑料的障碍，以及废弃农用生物降解塑料潜在的环境风险，我们将多个政策选项列入备选名单并对其进行评估（见本报告第6.0节）。与生产者责任延伸制（EPR）和配套措施有关的主要研究结果如下：

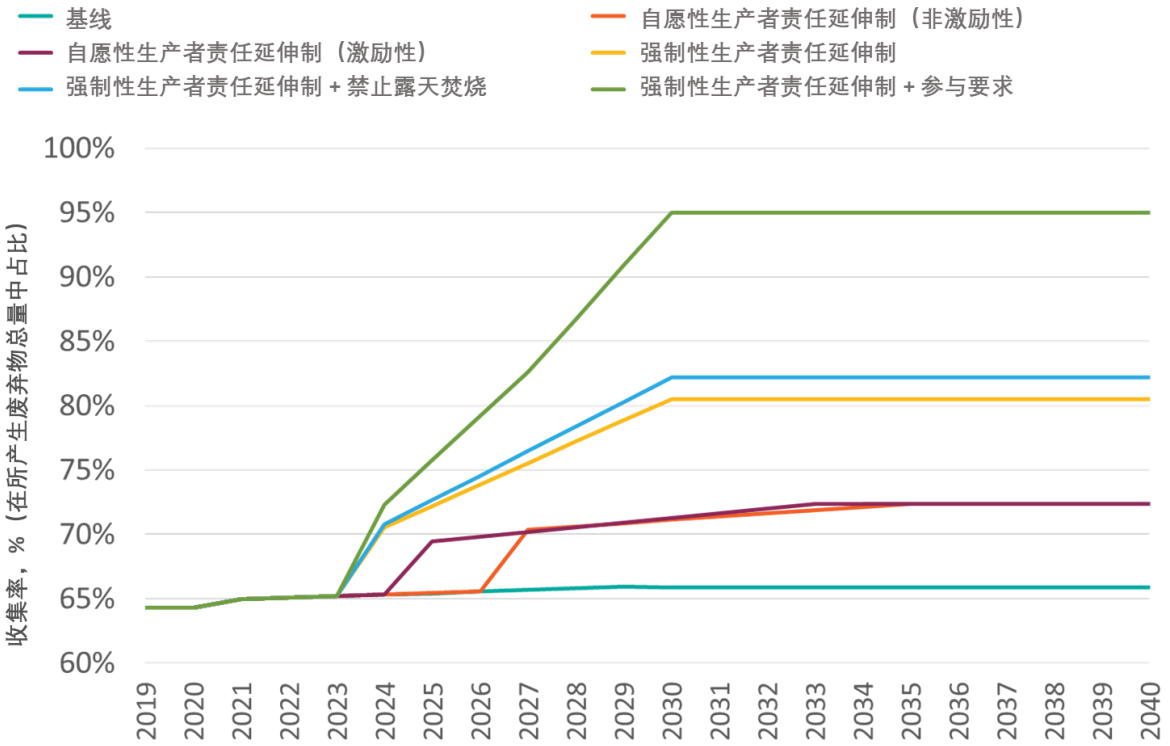
- 在农用塑料管理领域推行生产者责任延伸制，很可能会大幅提高整个欧盟范围内农用塑料的收集率和循环利用率。作为一项政策措施，它兼具适度性和针对性。它还将推促欧盟成员国实现《废弃物框架指令》（WFD）中规定的分类回收塑料废弃物的要求，这一要求的2015年截止日期已过。
- 为推行生产者责任延伸制，我们考虑了三种选项：强制性生产者责任延伸制、自愿性（激励性）生产者责任延伸制和自愿性（非激励性）生产者责任延伸制。强制性生产者责任延伸制可能最有效。有一些成功的自愿性农用塑料生产企业责任延伸制计划的例子（例如法国的ADIVALOR），但据预计，自愿性生产者责任延伸制可能难以实现最高收集率。
- 由于“无从统计”废弃物（即未报告为通过农用塑料收集计划收集的废弃物）的数量

减少，相对于所有生产者责任延伸制选项的基线，废弃物管理成本有所增加。在生产者责任延伸制框架下，更多以前“无从统计”的废弃物被收集起来，因此会产生废弃物管理成本。

- 生产者责任延伸制可以与其他措施结合使用，以进一步提高其有效性（例如，禁止露天焚烧农用塑料或要求农民参与某个分类收集计划）。

图E-4显示了在一切如常情景基准线、自愿性生产者责任延伸制（激励性和非激励）及强制性生产者责任延伸制框架下截至2040年的收集率建模计算结果。如果将强制性生产者责任延伸制与配套措施（禁止露天焚烧农用塑料废弃物以及强制要求农民参与农用塑料收集计划）两者结合使用，则建模计算得到的收集率更高。

图E-4：收集率建模计算结果（2019年-2040年），单位：%



E.3.0 建议

E.3.1 生产者责任延伸制（EPR）

有鉴于《废弃物框架指令》（WFD）第11条第(1)款对分类收集塑料废弃物的现行规定，我们建议欧盟委员会制定指导方针，以鼓励欧盟成员国实施生产者责任延伸制并履行其在《废弃物框架指令》下与农用塑料废弃物相关的义务。此外，我们进一步建议，根据当前研究的结果，此类指导方针应考虑自愿性与强制性生产者责任延伸制的相对优点、在生产者责任延伸制制定和运作领域的最佳实践以及配套措施（例如要求农民参与农用塑料收集计划和禁止露天焚烧农用塑料）的作用。

E.3.1.1 将农用生物降解塑料纳入生产者责任延伸制

农用生物降解塑料应纳入农用塑料生产企业责任延伸制计划。生产企业责任延伸制计划可被用作一种收集数据的机制，这些数据包括如何使用和在何处使用农用生物降解塑料。根

据设想，农用生物降解塑料生产企业将免于缴纳生产者责任延伸制收集和处理费用（因为这些不适用于留在环境中进行生物降解的农用生物降解塑料），而只需支付用于数据管理的管理费。

E.3.2 农用生物降解塑料标准

如果已制定农用生物降解塑料标准（例如用于地膜的欧盟EN 17033标准），则只有通过认证的农用生物降解塑料才可以免于缴纳生产者责任延伸制收集和处理费用。这将有助降低农用塑料生产企业为了规避生产者责任延伸制费用而将其传统农用塑料错误标记为“生物降解塑料”的风险。为了实现农用生物降解塑料与生产者责任延伸制的有机结合，拟议的生产者责任延伸制计划需要有生产企业的全面参与和强有力的数据收集要求——在强制性生产者责任延伸制下最容易实现的这一目标。

如果现行的欧盟EN 17033标准在生产者责任延伸制中被用作体现遵从性的证据或豁免生产者责任延伸制处置费用的证据，则应对其进行修订，以反映最佳实践和不确定性。目前，该标准建议种植者在作物生长期后将材料混入土壤中。对于某些作物（例如葡萄园）来说，此举可能不具可行性（或并非典型做法），因此这一实践并不总是被遵循。如果种植者不能提供已将材料混入土壤中的证据，则建议不给予任何作物类型豁免权。

对于留置在土壤表面的地膜和其他农用生物降解塑料，必须制定新的标准和相关检测方法，以便提供一个框架，使此类产品能够从生产者责任延伸制豁免中受益。此外，针对未经相关标准验证的或其标准未被普遍接受的农用生物降解塑料产品，如果该产品像目前的传统塑料一样被留置在环境中，则应被视为“管理不善”。

E.3.3 强制规定的传统地膜最小厚度

强制规定传统地膜的最小厚度/拉伸强度可以最大限度地降低离田过程中地膜被撕裂的风险（以及塑料碎片随后在环境中的累积量）。目前，可以将地膜特定的厚度与地膜离田后残留在环境中的塑料比例关联起来的定量证据非常有限。针对欧盟《农业/园艺用可回收热塑性地膜（EN 13655）》规定：黑色地膜的最小厚度应为20-25微米。然而，该标准并非强制性标准；符合标准的地膜产品比例尚不清楚。虽然众所周知，最薄的薄膜（~10微米）以“节省成本”为卖点进行宣称，但是从长远来看，如果这会导致土壤中塑料薄膜的累积率更高且进一步增加作物产量受到负面影响的风险，那么这可能会被证明是一个伪节约的观念。

因此，在建议使用任何强制性最小厚度（或强度）之前，为了更好地理解厚度和离田率之间的关系以及欧盟EN 13655标准是否足以描述这一点，开展进一步研究至关重要；在此之后，欧盟EN 13655标准可能成为此强制性规范的载体。在第E.3.2节中，我们推荐了这一领域以及其他一些需要开展进一步研究的领域。

E.3.4 进一步研究

本研究开展过程明显缺乏可验证数据并从中得出结论。因此，我们强调以下数据缺口和进一步研究要求：

数据缺口

- 投放市场的农用塑料数量、用途及废弃后在成员国内流向的统计数据缺失。
- 大部分关于生物降解地膜的研究和已发表的证据都是基于南欧，特别是意大利的经验。北欧的发布数据缺失。并且，为本研究开发的累积模型仅仅基于美国一项研究的观察结果。
- 截至目前，尚无人研究或量化塑料残留物从已留置在土壤中的传统地膜或生物降解

地膜迁移到其他环境（例如水体）的问题。

- 关于传统地膜在收集后仍留置在土壤中的典型数量，目前尚无可验证的数据。尽管利益攸关方引用了一些数字（离田率从60%到100%之间不等），但并未得到经验证据的证实。
- 关于地膜厚度与传统地膜收集后田间残留量之间的关联，目前尚无可验证的数据（仅有专家意见）。
- 目前尚无关于环境中农用塑料残留对人情绪消极影响程度的研究。

对进一步研究的全方位建议

- 构建一个强大而准确的农用塑料监测数据系统。在生产者责任延伸制框架下的数据收集工作可以提供此类数据，并且在强制性生产者责任延伸制的情况下数据的覆盖范围最佳。
- 构建一个（农用塑料残留）从农业用地到水体的潜在流向的空间模型，该模型应考虑农场位置与水体、土壤侵蚀和降雨之间的关联。

对进一步研究传统农用塑料的建议

- 委托开展一项基于实地的研究，其研究重点应放在识别收集传统地膜的典型做法和最佳实践上。应考虑作物类型、材料厚度和收集设备等变量。
- 确定欧盟《农业/园艺用可回收热塑性地膜（EN 13655）》标准的现行要求是否足够有效，即，如果强制执行，这些要求是否足以提升传统地膜的离田率。
- 在获得收集传统地膜的典型做法和最佳实践的数据之后，进一步制定相关政策以强化/鼓励良好实践，包括：
    - 对特定收集设备的要求
    - 最佳实践指南
    - 地膜设计要求，例如最小厚度
    - 针对特定应用情景，限制传统地膜的使用（例如，针对有证据表明不可能将传统地膜完全收集起来的作物类型作出限制性规定）
- 评估地膜机械化收集技术（例如在法国试点的RAFU技术）在减少环境污染方面的有效性，以及是否应该实施支持使用该类技术的政策。

对进一步研究农用生物降解塑料的建议

- 针对生物降解地膜使用开展进一步研究，在不同气候条件的区域、历经多个作物生长周期对土壤进行采样。此类研究结果都可能需要在欧盟EN 17033标准修订版中反映出来。
- 针对留置在土壤上的特定产品（而不是现有土壤中特定含量的测试）制定生物降解性的标准检测方法和相关极限阈值要求，例如针对树木保护产品制定检测方法和要求。
- 除了确定可能妨碍传统地膜离田的应用情景外，在这些应用场景使用生物降解地膜可能会有相应的激励措施，因而受益。

目录

版本说明 ..... **i**
摘要 ..... **ii**
执行摘要 ..... **iii**
术语表 ..... **xix**
缩略语 ..... **xx**
1.0 导言 **1**
1.1 背景 1
1.2 报告布局 2
2.0 农用塑料消费与管理定量分析 **3**
2.1 研究范围和地域范围 3
2.2 农用塑料的分类 4
2.2.1 塑料在农业生产中的应用 *4*
2.2.2 用于农用塑料的聚合物和添加剂 *7*
2.3 主要利益相关者 10
2.4 欧盟层面和国家层面的现行政策措施 11
2.5 农用塑料市场和欧盟层面的管理实践 14
2.5.1 农用塑料消耗量 *14*
2.5.2 重要市场趋势 *18*
2.5.3 农用塑料废弃物的产生 *19*
2.5.4 处理处置情况 *20*
2.6 农用塑料市场和国家层面的处理处置概览 27
2.7 农用塑料消费量和管理实践综述 30
3.0 废弃传统农用塑料管理 **31**
3.1 传统农用塑料的收集 32
3.1.1 清除田间地头农用塑料废弃物 *32*
3.1.2 建立废弃物收集服务 *33*

3.1.3 参与收集服务.....*36*
3.2 传统农用塑料的回收.....41
3.2.1 农用塑料回收工艺.....*41*
3.2.2 传统农用塑料的设计.....*41*
3.2.3 回收农用塑料的经济效益.....*42*
3.2.4 农用塑料回收综述.....*49*
3.3 收集/回收障碍综述（按产品类型归类）.....50
3.4 不当收集和低回收再利用率对环境的影响.....54
3.4.1 不当收集的影响.....*54*
3.4.2 土壤有机碳（SOC）的流失.....*61*
3.4.3 露天焚烧农用塑料.....*61*
3.4.4 不当收集和低回收/再利用率对环境的影响综述.....*62*
4.0 废弃农用生物降解塑料管理.....**63**
4.1 农用生物降解塑料的应用.....64
4.1.1 地膜..... .....*64*
4.1.2 农用生物降解塑料的其他应用领域.....*65*
4.2 生物降解地膜与传统塑料地膜农艺效益的比较.....67
4.2.1 生物降解地膜农艺性能的影响因素.....*67*
4.2.2 生物降解地膜在不同作物栽培中的适宜性.....*70*
4.2.3 生物降解地膜的农艺效益结论.....*73*
4.3 评估生物降解地膜应用的环境风险.....74
4.3.1 生物降解地膜在废弃时的生物降解.....*75*
4.3.2 生物降解塑料与传统塑料的田间累积残留量对比.....*82*
4.3.3 农用生物降解塑料和传统塑料的环境影响.....*87*
4.3.4 环境风险结论.....*91*
4.4 经济性比较.....93
4.5 根据标准验证地膜安全性和产品性能.....95
4.5.1 三个标准对生物降解性测试的规定.....*95*
4.5.2 三个标准对生态毒性测试的规定.....*98*

4.6 应用风险综述 100
4.7 提出和检验农用生物降解塑料使用标准 102
5.0 农用塑料消费、废弃物产生和管理基线 107
5.1 塑料消费与废弃物产生 107
5.2 废弃物收集 109
5.3 最终目的地 110
6.0 确定目标和政策措施 114
6.1 确定问题 114
6.1.1 问题驱动因素 114
6.2 目标 115
6.2.1 总体目标 115
6.2.2 具体目标 116
6.3 政策选项 117
6.3.1 确定政策措施 117
6.3.2 筛选政策措施 119
7.0 政策措施选摘探讨 122
7.1 生产者责任延伸制 122
7.1.1 强制性生产者责任延伸制 123
7.1.2 自愿性生产者责任延伸制（激励型） 125
7.1.3 自愿性生产者责任延伸制（非激励型） 125
7.1.4 自愿性生产者责任延伸制与强制性生产者责任延伸制的比较 126
7.2 增强生产者责任延伸制效果的配套措施 129
7.2.1 农民参与农用塑料收集计划的义务 129
7.2.2 农用塑料露天焚烧禁令 + 执行相关规定 130
7.3 农用生物降解塑料政策措施 131
7.3.1 将农用生物降解塑料纳入生产者责任延伸制计划 131
7.3.2 确保仅使用经过认证的生物降解地膜产品 132
7.4 传统地膜的最小厚度/拉伸强度 132
7.5 建模所选政策措施 133
8.0 不同政策措施的建模计算结果 134
8.1 对废弃物管理的影响 135

8.2 经济影响 138
8.3 环境影响 142
9.0 政策选择比较 146
10.0 进一步研究需求和相关建议 151
附录 153
A.1.0 数据收集方法 154
A.2.0 辅助性技术资料——市场评估 159
A.3.0 辅助性技术资料——传统塑料 222
A.4.0 辅助性技术资料——生物降解塑料 226
A.5.0 影响力建模方法总结 235
A.6.0 设置基线 236
A.7.0 政策情景影响力建模 242
A.8.0 被否决的政策措施 249
A.9.0 农用塑料生产者责任延伸制计划 250

术语表

以下是本报告中使用的部分关键术语。

农用塑料	欧洲农业、塑料与环境协会（APE Europe ）将农用塑料定义为：对作物或对作物保护具有直接农业影响的非包装用塑料制品，例如灌溉用管道、排水管、薄膜与覆盖物、饲料打捆绳线与网套、遮阳网与保护网等。[1] 值得一提的是，“塑料栽培”一词也经常与农用塑料互换使用，该词系指在农业应用中使用塑料材料的实践与做法。
生物基塑料	生物基塑料系指部分或全部以植物原料为基材制造的塑料，通常也被称作生物塑料。
生物降解塑料	生物降解塑料系指可以被微生物等活体生物体的作用分解为水、二氧化碳和生物质的塑料。生物降解塑料通常由可再生原料、微生物、石油化学产品或这三者的组合制成。
生物降解[2]	生物降解是材料分解并被微生物降解变成二氧化碳、水和生物质等大自然中已经存在的元素的过程。生物降解既可以发生在富氧环境（好氧生物降解）中，又可以发生在厌氧环境（厌氧生物降解）中。
传统塑料	由化石原料制成的塑料，其在任何合理的时间范围内均不被认为具有可生物降解性或可堆肥性。
堆肥[2]	堆肥是指在受控条件下的强化生物降解过程，其主要特征是强制曝气和由于堆肥内部发生的微生物活动所产生的热量。堆肥后的产物也被称之为堆肥，其富含有价值的营养物质，可用作土壤改良剂。
氧化降解塑料[2]	含有添加剂的传统塑料，经紫外线辐射或热暴露触发后，可被加速分解为细小碎片。在这些添加剂的作用下，随着时间的推移，塑料碎片会逐渐变成塑料颗粒，并最终变成微塑料，这些微塑料的性质与常规塑料碎裂后形成的微塑料性质相似。

[1] 欧洲农业、塑料与环境协会（APE Europe ）网站：“统计学：欧洲的塑料栽培”。如需了解详情，请访问以下网站：http://apeeurope.eu/statistics

[2] 欧盟委员会（2018 年）。欧盟委员会向欧洲议会和理事会提交的关于氧化降解塑料（包括氧化降解塑料购物袋）的使用对环境影响的报告。检索地址：https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/oxo-plastics.pdf

缩略语

下表罗列了本报告中使用的首字母缩写词和缩略语。

APW	农用塑料废弃物
BDAP	农用生物降解塑料
BDM	生物降解地膜
EPR	生产者责任延伸制
EC	欧盟委员会
EOL	生命周期终止/废弃
GRP	玻璃纤维增强聚酯
HDPE/LDPE	高密度/低密度聚乙烯
MS	成员国
PA	聚酰胺
PBAT	聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯
PBS	聚丁二酸丁二醇酯
PCL	聚己内酯
PE	聚乙烯
PEF	聚乙烯呋喃酸酯
PET	聚对苯二甲酸乙二醇酯
PHA	聚羟基脂肪酸酯
PHB	聚羟基丁酸酯
PLA	聚乳酸
PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯
PP	聚丙烯

1.0 导言

本报告系由欧诺弥亚研究与咨询公司及其合作伙伴德勤会计师事务所和ENT为欧盟委员会环境总司编制。本报告代表了合同号为ENV.B1/FRA/2018/0002 Lot 1的框架合同下第10号服务请求的最终可交付成果，具体涉及以下议题：

农业生产中的传统塑料与生物降解塑料

根据对任务范围（ToR）的研究，本研究的总体目标是为欧盟委员会针对农用塑料和构建生物降解塑料框架可能采取的各项政策行动提供支持。特别值得一提的是，本研究的目的旨在识别并减少与传统塑料和农用生物降解塑料相关的环境影响。本研究将主要着眼于这些塑料的废弃问题，特别是这些塑料的不当收集、低再利用率、低回收率以及生物降解能力的有效性。

1.1 背景

1948年，美国首次在农业生产中使用塑料材料（以下简称“农用塑料”），用玻璃纸覆盖小型温室大棚。不久之后，日本开始使用聚氯乙烯（PVC）作为温室大棚覆盖材料。多年来，塑料已逐渐成为诸多国家普遍使用的一种材料，取代了许多传统材料，例如用于温室大棚覆盖的玻璃和用于土壤覆盖的纸质材料或稻草。

在不断增长的需求和不断提高的生产力的驱动下，现如今，塑料材料已广泛用于欧洲农业生产领域。使用农用塑料能够带来诸多裨益，其中包括提高产量、提早采收、减少对除草剂和杀虫剂的依赖、霜冻保护和水资源保护等。除了提高农业生产的质量、效率及产量之外，使用农用塑料还有助于提升农田利用效率。因此，近年来，农用塑料的使用量呈稳步增长势头，特别是在特定应用领域，譬如，在意大利、西班牙和法国等国家，塑料薄膜大量用于覆盖温室大棚和拱棚。同样，用于土壤改良的地膜的使用量也呈不断增长势头。

2018年，据欧洲塑料制造商协会（PlasticsEurope）估计，在欧洲塑料需求结构中，农业部门约占欧洲塑料总需求量的3.4%（170万吨）。据欧洲农业、塑料与环境协会（APE Europe）估计，2019年约有72.2万吨的农用塑料制品（不包括包装）被投放至欧洲市场。[3]

[3]基于欧洲农业、塑料与环境协会（APE Europe）提供的数据。

应该指出的是，由于涉及范围更广（包括特定的农用塑料包装制品），因此欧洲塑料制造商协会报告的市场数据相对较高；而欧洲农业、塑料与环境协会的数据则仅包括在欧洲范围内使用的主要**非包装用**农用塑料制品，例如农用塑料薄膜与覆盖物、塑料灌溉管、以及饲料打捆绳线与网套等。

尽管农用塑料可提供显著优势，但是它在整个生命周期中也会对环境和人类健康产生重大不利影响。这包括与制造过程（例如使用塑料材料、能源和水资源）相关的负面影响以及废弃时产品被不当处置而产生的负面影响。从地域性分布角度看，欧洲境内农用塑料的使用通常集中在农业劳动生产率水平较高的特定地区。尽管这可能导致严重的塑料污染，但也为改善和提升农用塑料废弃物（agricultural plastic waste, APW）的收集率和回收率提供了重要契机。此外，某些农用塑料废弃物（例如组分均匀；脏污程度并不很高的废弃物）也可用作再生材料。此举不仅有助提高回收率，而且对回收商而言，塑料废弃物的回收再利用价值也会更高。在短时间内在土壤中可以生物降解的塑料也为最大限度地减少传统塑料在废弃时对环境的负面影响提供了一种潜在可能。

因此，需要在欧盟层面进一步努力，以便在挖掘扩大回收市场的潜在契机和加速向循环经济转型的同时，致力于解决大多数欧盟成员国缺失农用塑料废弃物管理计划以及现有计划（技术和/或经济）效率低下的问题。

1.2 报告布局

本报告采用如下结构：

- 第2.0章阐释了有关农用塑料消费和管理的量化细节；
- 第3.0章重点讨论了传统农用塑料管理相关的问题；
- 第4.0章重点讨论了农用生物降解塑料的管理管理相关的问题；
- 第5.0章介绍了当下与未来农用塑料消费、废弃物产生和管理的基线；
- 第6.0章确立了目标和潜在的政策措施；
- 第7.0章对精选的政策措施进行了更深入讨论；
- 第8.0章介绍了不同政策措施的建模计算结果；以及
- 第9.0章提供了不同政策选项之间的比较。此外还在

技术附录中提供了更多详尽信息。

2.0 农用塑料消费与管理定量分析

本章旨在提供欧盟农用塑料行业的概述，议题覆盖以下几个方面：

- 农用塑料（包括传统塑料与生物降解塑料）的主要用途、所用聚合物及其分类。
- 现行的政策措施
- 塑料消费市场发展趋势：数量、地域性分布、传统塑料与生物降解塑料的占比、再生材料的使用等
- 管理实践：收集、再利用、回收、填埋、能量回收、燃烧/就地掩埋
- 欧盟、欧盟成员国（Member State, MS）及国际层面农用塑料的现行政策

附录第A.1.0节详细综述了适用于农用塑料发展状况的方法论和方法。

2.1 研究范围和地域范围

此项研究的范围覆盖投放市场并在农业生产中被应用的传统塑料和生物降解塑料，并重点关注园艺业和畜牧业。例如，在种子包衣、缓释和控释化肥等应用场景中蓄意使用的微塑料并不在本研究的范围内。本研究的概述部分阐述了在国际、欧洲、国家和特定部门层面（如果相关）的重要发展趋势，并重点关注具有代表性的欧盟成员国（表2-1）和第三国。此外，本研究还甄选了一些欧盟会员国并对以下要素进行详细分析：

- 相关数据和信息的可用性
- 地域代表性
- 是否存在全国推行的收集和/或回收计划[4]
- 国家层面的农用塑料消费量

除了关注具有代表性的欧盟成员国之外，本研究还提供了国际管理和重要发展趋势的概述，并重点关注加拿大、冰岛、挪威和英国，以及已启动收集计划和/或回收计划和/或相关国家政策和举措的国家。

[4] 循环塑料联盟（CPA）网站：《欧洲法规：国家收集计划》（European regulation – National Collecting Schemes）。访问地址：www.plastiques- agricoles.com/ape-europe-missions/agricultural-plastics-european-regulation

表2-1：选择具有代表性的欧盟成员国

欧盟成员国		
• 保加利亚 • 希腊 • 法国* • 芬兰	• 德国* • 爱尔兰* • 意大利* • 荷兰	• 波兰 • 西班牙* • 瑞典*

**已启动国家/地区收集计划的国家*

2.2 农用塑料的分类

为了编制欧盟农用塑料清单和分类表，第一步是确定在整个农业生产行业中观察到的农用塑料的主要应用领域。然后，针对每个已识别的主要应用领域，编制一份列表，列出聚合物的主要类别。如果相关，聚合物也被归类为传统聚合物或生物降解聚合物。

2.2.1 塑料在农业生产中的应用

在欧盟范围内，塑料在农业生产中的应用由来已久且行之有效。据报道，在农田中使用农用塑料能够带来诸多裨益，其中包括提高产量、提早采收、减少农用化学品（例如除草剂和杀虫剂）的使用量和水资源保护等。使用农用塑料还有助于提高耕地资源利用率和提升作物品质。此外，基于塑料的农业系统还为干旱地区的作物栽种提供了有效的解决方案，可以在帮助农户减少三分之一到三分之二灌溉成本的同时实现作物产量翻番。

根据相关文献的研究结果，[5,6] 农用塑料的主要应用领域概述如表2-2所示。应该指出的是，总体而言，在开拓农用塑料全新应用领域方面的创新非常有限。主要创新涉及开发有效的添加剂以提高塑料耐用性、提高作物的产量和质量，以及优化此类产品对环境的影响。日前，针对生物降解塑料全新应用领域的研究也正在进行中。
尽管表2-2中引用的报告为2012年报告，但所描述的应用范围也同样适用于2020年的情况。

农用塑料的应用领域可根据其预期功能/目的进行分类：应用领域

- **作物保护用塑料薄膜（不与土壤直接接触）：**该产品类别是目前农业生产中用量最大的塑料类别。使用作物保护膜的主要目的是保护

[5] 欧洲塑料制造商协会（PlasticsEurope）有关塑料在农业生产中应用的网站。访问地址：www.plasticseurope.org/en/about-lastics/agriculture

[6] 等人（2012年）《塑料材料在欧洲农业生产中的应用：实际用途和前景》（Plastic materials in European agriculture: Actual use and perspectives），《农业工程期刊》（Journal of Agricultural Engineering）
，第42卷，第3期

植物不受大气因素的影响，以增加产量、延长作物的生长期，并保持作物生长所需的理想温度和湿度水平。作物保护膜的最重要用途是温室大棚膜、大拱棚膜、小拱棚膜和直接覆盖物，主要用于蔬菜保护地栽培，但也用于水果、花卉、蘑菇及苗木。温室大棚可广泛用于栽培甜瓜、西瓜、草莓、西红柿、黄瓜、生菜、茄子、辣椒、花卉及观赏性植物苗圃等；小拱棚可广泛用于栽培草莓、甜瓜、西瓜、蔬菜及胡萝卜等。直接覆盖物用于栽培叶类和根茎类蔬菜作物、鲜食葡萄园、烟草、西红柿、马铃薯、甜瓜、西瓜及草莓等。

- **土壤改良用塑料薄膜（与土壤直接接触）：**该产品类别系指地膜覆盖技术，包

括使用塑料薄膜覆盖土壤，以抑制杂草生长，减缓水分流失和保持地面温度。用于地面覆盖的塑料薄膜类型可通过颜色进行区分：透明材料可以快速提高地温、保持土壤水分和保持土壤良好的结构，而黑色材料则可有效抑制杂草生长。特别值得一提的是，反光膜（不透明白色反光膜或金属化反光膜）也可在低光照条件下使用，用以将阳光汇聚到植物上以提高植物的光合作用效率。地膜主要用于栽培西红柿、生菜、西葫芦、洋葱、茄子、豆类、草莓、西瓜、甜瓜及芦笋等作物，也可以与塑料大棚结合使用。

- **青贮饲料膜和青贮饲料保护膜（包括青贮饲料拉伸膜）：**该产品类别被用于储存和保存用作动物饲料的青贮饲料、干草和玉米草。青贮饲料膜的最重要特性是可阻隔空气和水气进入青贮原料，为青贮饲料发酵创造厌氧环境，从而延长牧草的储存时间。

通常有两种形式使用此类薄膜：
其一是将青贮饲料单个打包和缠绕，另外一种是将青贮料堆藏起来，在这种使用形式中，青贮饲料在一个开放式混凝土结构中被逐层填装并平整压实，然后用塑料膜封盖。

资料来源：MMike Faherty（根据创作共用许可证发布）

- **网套与绳线：**根据材料类别，网套可分为两类：无纺布网套和梭织网套。梭织网套被广泛用于保护作物免受冰雹、风、雪或强降雨等灾害的影响，但也可用于在温暖季节为温室大棚遮阳，以便在温室大棚内部营造凉爽的微气候条件。无纺布网套则被用于收割和收割后的操作，例如牧草捆草网。在作物类别方面，梭织网套通常用于保护水果（特别是浆果类作物）免受鸟类的侵害，并用于防止阳光直射蘑菇菌床；而无纺布网套则可用于橄榄农场的采收。绳线主要用于蔬菜包装、水果包装和饲料圆草捆的捆扎。

资料来源：（左）Flominator，（右）Rhian de Kerhiec（根据创作共用许可证发布）

- **水资源管理用塑料：**该产品类别系指用于集水、储水、水运输、蓄水/排水和灌溉系统的塑料。塑料灌溉管是该类别中使用最多的产品，在作物生产中使用尤为广泛。

表2-2：农用塑料的主要应用领域

产品类别	预期用途	具体应用领域
膜与薄膜	作物保护用塑料薄膜（不与土壤直接接触）	• 温室大棚和大拱棚膜 • 小拱棚膜 • 植物苗圃用塑料薄膜 • 直接覆盖物 • 葡萄园、果园用塑料膜
	土壤改良用塑料薄膜（与土壤直接接触）	• 地膜
	动物饲料（例如饲料、青贮、干草及玉米）的保护与储存	• 青贮饲料膜 • 打包缠绕膜 • 青贮饲料袋 • 拉伸膜
网套与绳线	作物保护、作物采收与储存	• 牧草捆草绳 • 无纺布网套（例如橄榄和坚果收集） • 牧草捆草网 • 防护网套（防风/防冰雹/防鸟/遮阳）
灌溉系统	水资源管理	• 塑料灌溉管与滴灌带 • 排水带与管道内衬
容器、袋子及器皿	作物和植物保护产品的采收、包装、运输及储存	• 农药容器 • 肥料袋 • 储液罐 • 存储箱

资料来源：Scarascia（2012年）；欧洲塑料制造商协会

2.2.2 用于农用塑料的聚合物和添加剂

2.2.2.1 聚合物

在现有的农用塑料应用中，被使用的塑料聚合物大约有20种。它们可以被分为两类：传统塑料聚合物或生物降解塑料聚合物，每类塑料聚合物都具有对应于特定应用及其预期用途的不同配方。

传统塑料系指由化石原料制成的塑料，其在任何合理的时间范围内均不被认为具有可生物降解性或可堆肥性。

根据欧盟发布的《关于减少某些塑料产品对环境的影响的欧盟第2019/904号指令》（通常称为《一次性塑料（SUP）指令》）第3条第16款，**生物降解塑料**，

> “……系指能够通过物理分解和生物降解作用，最终降解变成二氧化碳（CO_2）、生物质和水的塑料，并且根据欧洲包装标准，其在堆肥化条件或厌氧消化条件下具有可回收性”

第十五条（评估与审查）补充指出，应就此开展评估，包括：

> *“对适用于本指令范围内的一次性塑料产品及其一次性替代品，在海洋环境中的生物降解性进行科学与技术进展评估或确定标准，审核其是否能够确保在足够短的时间内完全降解变成二氧化碳（CO2）、生物质和水，从而使塑料不会对海洋生物造成危害，也不会导致塑料在环境中积累。”*

应该指出的是，尽管《一次性塑料指令》（SUPD）中阐释的生物降解塑料的定义从广义上描述了生物降解过程，但却并没有进一步厘定生物降解性检测的时间框架和方法，而是引用了《欧洲包装标准：对于在堆肥化条件或厌氧消化条件下具有可回收性的包装的要求》，供相关人员参考（即欧盟EN 13432标准，特别适用于在工业堆肥化条件下的生物降解性标准与检测）。

关于包装用塑料与非包装用塑料的可堆肥性的现行欧洲标准（分别为欧盟EN 13432标准和欧盟EN 14995标准）以及农业与园艺业用地膜的可堆肥性的现行欧洲标准（欧盟EN 17033标准）将（最终）生物降解定义为：

> *“在有氧条件下，有机化合物最终被微生物降解变成二氧化碳、水及其所含元素的（矿化）无机盐以及新的生物质；或者在厌氧条件下，有机化合物最终被微生物降解变成二氧化碳、甲烷及其所含元素的矿化无机盐和新的生物质。”*

重要的是，生物基和化石基这两个术语与用于塑料生产的原材料有关。这与材料在环境中的行为方式完全不同：**并非所有的生物基塑料都具备可堆肥性或可生物降解性；同时，也并非所有的可堆肥塑料或生物降解塑料都是生物基塑料。**因此，“生物基”和“生物降解”这两个术语并不是同义词。此外，人们还经常使用“生物塑料”一词，但是“生物基”、“生物降解”或“可堆肥”等术语有助于消除一些句子中的歧义。（至少部分地）由生物基原料制成传统塑料（例如聚乙烯PE）不仅是可能的，而且变得越来越普遍。这对最终产品并无明显影响。此外，此种生物基塑料制品在化学性质上化石基的同类产品相同，因此可以以相同的方式加以回收，并均不具备生物降解性。

市面上有许多种类的材料宣称具有生物降解性，甚至仅宣称具有可降解性。但这种说法的真实性令人存疑。“氧化降解（oxo-degradable）”或“氧化生物降解”塑料是典型示例，不应将它们与本报告中讨论的生物降解塑料相混淆。它们是含有帮助其碎片化添加剂的传统塑料（例如聚乙烯PE）。

制造商宣称，这些材料在有氧条件下会发生碎裂和降解。这会导致碎片化，从而使材料对微生物而言具有更高的生物利用率，并有助于材料降解。

在实践中，几乎没有证据表明这些材料在一个有意义的时间范围内具有完全生物降解性。[7]

有鉴于此，《一次性塑料指令》明令禁止使用任何由氧化降解塑料制成的产品，并且欧盟成员国必须自2021年7月3日起遵守此指令的规定。然而，本报告中所用的农用塑料消费数据依然表明，此种材料仍被少量用于地膜生产中。

附录中图A2.1列示了在农用塑料生产中使用的主要聚合物。如该表所示，农用塑料制品中所用的主要传统聚合物是**聚乙烯**（PE），它是一种热塑性聚合物，属于聚烯烃家族。乙烯主要以两种形式存在：高密度聚乙烯（HDPE，其密度为0.94-0.96 g/cm3）和低密度聚乙烯（LDPE，其密度为0.92-0.93 g/cm3）。线性低密度聚乙烯（LLDPE）也被用于生产对高柔韧性和额外强度有要求的塑料薄膜。聚乙烯因具有成本低廉、通用性强及优越的耐化学腐蚀性等特点，而被广泛用于的农业生产。特别值得一提的是，低密度聚乙烯通常用于生产**农用薄膜**（用于温室大棚、小拱棚、地膜及青贮加工）和滴灌带，而高密度聚乙烯则通常用于生产网套，有时也被用于生产塑料灌溉管。

聚丙烯（PP）是农业生产用聚烯烃家族中排名第二的常见线性热塑性聚合物。与低密度聚乙烯和高密度聚乙烯相比，聚丙烯的抗冲击强度相对较低，但它的工作温度更高，且其热变形温度、断裂应力和抗拉强度均高于低密度聚乙烯和高密度聚乙烯。聚丙烯最常见的用途是原料熔融后经挤压纺丝制成纤维和长丝，主要用于制造农业生产中的绳线，但有时也被用于制造管道、片材和网套等产品。

生物降解聚合物正愈来愈广泛地在农业生产中被用作传统塑料的替代品，特别是用于地膜生产。这些产品已被引入农业部门，以帮助减少传统塑料带来的负面影响。在农业生产中，用于替代传统塑料的最常见的生物降解聚合物是淀粉混合物、聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯（PBAT）、聚丁二酸丁二醇酯（PBS）、聚乳酸（PLA）及聚羟基脂肪酸酯（PHA）。

2.2.2.2 添加剂

在许多农用塑料制品生产领域，各种化学物质（亦称“添加剂”）被用来提高塑料制品的功能特性和技术特性，并延长制品的使用寿命。在不同类别的塑料产品中最常用的添加剂包括：增塑剂、阻燃剂、抗氧化剂、光稳定剂、

[7] 欧诺弥亚研究与咨询公司（2016年），《氧化降解塑料的使用对环境的影响：最终报告》（The impact of the use of ‘oxo-degradable’ plastic on the environment : final report）。2016年9月。访问地址：https://publications.europa.eu/en/publication- detail/-/publication/bb3ec82e-9a9f-11e6-9bca-01aa75ed71a1

热稳定剂、润滑剂、染色剂、抗静电剂、光滑助剂及热稳定剂。[8]特别值得一提的是，在农用薄膜生产中经常使用光稳定剂和紫外线吸收剂来提高塑料材料的耐光性和耐热性，从而延缓农用塑料的早期老化速度，并在某些情况下确保在作物处理过程中不会因大量使用农用化学品而产生耐药性。[9]应该指出的是，添加剂有时会同时被用于传统塑料和生物降解塑料，具体因应用类别和产品特性的不同而异。例如，炭黑被用于生产传统塑料和生物降解塑料制成的地膜，以提供抗紫外线性能和着色性能。附录中图A2.1提供了有关在农业生产中使用特定添加剂的更多详情。

尽管添加剂可以改善农用塑料在具体应用中的性能，但添加剂可能对土壤、空气、水及食品造成的污染在许多书籍文献中都有相关记载。例如，添加剂在与食品接触过程中可能迁移到食品中（例如通过包括食品包装在内的食品接触材料），并随着食品进入人体，从而对人的身体健康构成一定的危害。[10]此外，农用塑料制品中所用的添加剂也可能在各种回收再利用过程中释放到生态环境中，也可能从回收料制造的产品中释放出来。这可能会给健全的回收过程带来一系列额外挑战，因此需要人们在回收过程中采取有效措施，防止高度关注物质的排放和被回收产品的污染。

在欧盟层面，某些添加剂的使用和排放受欧盟REACH法规的规范。符合欧盟EN 17033标准的生物降解地膜也不得包含任何高度关注物质（SVHC），因为此类产品中使用的任何化学物质在生物降解过程中都会直接释放到土壤中。目前，在欧盟层面还没有关于农用塑料制品中所用添加剂数量的官方报告数据。

2.3 主要利益相关者

在欧盟层面进一步提升收集量与回收量的潜在方案过程中，了解欧洲农用塑料行业发展动态尤为重要。在欧洲，农用塑料制品广泛涉及农业供应链上产品不同的生命周期阶段。在欧洲农用塑料生命周期中涉及的主要参与者包括：

- **塑料加工商**：负责在欧洲市场上生产和投放农用塑料，并在此过程中考虑相关监管规定，特别是针对某些添加剂使用的规定。
- **农民和种植户**：在农业生产中他们是农用塑料的最终用户，负责在农用塑料废弃时对农用塑料进行最终处置。

---

[8] Hahladakisa, John等人（2018年）《塑料中的化学添加剂概述：在其使用、处置及回收过程中的迁移、释放、归宿和环境影响》（An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling）。《危险材料期刊》（Journal of Hazardous Materials）。第344卷，2018年2月15日，第179-199页

[9] 巴斯夫关于塑料添加剂在农业生产中的应用的网站。访问地址：www.plasticadditives.basf.com/ev/internet/plastic-additives/en_GB/content/plastic- additives/Industries/Agriculture/index

[10] Hahladakisa（2018年）《塑料中的化学添加剂概述：在其使用、处置及回收过程中的迁移、释放、归宿和环境影响》（An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling）。

- **国家和地区公共事业主管部门**：负责将欧盟立法反映在各自国家与地区的立法之中，以及欧盟立法的监督和执行、知识交流和信息提供。
- **废弃物管理运营商，包括塑料回收商**：负责确保农膜处理处置、数据报告、遵守相关的处置要求等。

本报告第A.1.1.2节描述了利益相关者的参与过程，以及欧诺弥亚及其合作伙伴鼓励其参与的主要利益相关者。

2.4 欧盟层面和国家层面的现行政策措施

目前，在欧盟层面尚缺失专门用于规范农用塑料废弃物管理的总括性立法；但是以下现行欧盟立法中的一些条款在一定程度上涉及农用塑料：

- **《废弃物框架指令》（WFD）**（由欧盟第2018/851号指令修订的欧盟第2008/98/EC号废弃物指令）：确立了欧盟废弃物管理的主要条款。《废弃物框架指令》的总体目标是通过再利用、回收和再生来减少废弃物对环境的影响，并提高资源效率。《废弃物框架指令》进一步订明了通用指导性原则，例如废弃物处理层级金字塔、污染者付费原则、生产者责任延伸制等，并禁止无节制地弃置废弃物。

  《废弃物框架指令》并未进一步详细说明具体的农用塑料废弃物管理要求，但该指令第11条第1款条规定：

  > *"欧盟成员国应采取措施，促进高质量的回收利用，并应为此目的，在技术、环境和经济上切实可行且恰当的领域设立废弃物分类收集制度，以满足相关回收部门所必须遵循的质量标准。*
  > *在满足本指令第10条第2款的条件下，到2015年，至少应针对以下物质设立分类收集制度：纸张、金属、塑料和玻璃。"*

  此外，废弃物框架指令第10条第4款规定，此类被分类收集的废弃物不得做焚烧处置：

  > *"欧盟成员国应采取措施，确保根据本指令第11条第1款和第22条被分类收集用于再生利用和循环利用的废弃物不被焚烧，但这不包括按照本指令第4条规定针对被分类收集的废弃物进行焚烧可带来最佳环境结果的后续处置操作后产生的废弃物。"*

  然而，上述义务似乎影响有限，因为多个欧盟成员国尚未建立农用塑料分类收集制度。
  同样，尽管《废弃物框架指令》序言（29）规定"*欧盟成员国应根据固废处理金字塔法则和构建循环社会的目标，支持回收料（例如再生纸）的使用，并且不应在可能的情况下支持此类回收料的填埋或焚烧*"，但对塑料废弃物的填埋，并无具体规定。

- **《欧盟塑料战略》**：订立了旨在提升塑料回收率和再利用率的措施，包括协调欧盟各地推行生产者责任延伸制计划的规则。
- **《一次性塑料指令》**（第2019/904号指令）：指令第5条禁止欧盟成员国将氧化降解塑料制成的产品投放市场。
- **《欧盟REACH法规》**（《关于化学品注册、评估、授权和限制的法规》，即欧盟第1907/2006号法规）：订定了与回收作业相关的要求，包括机械加工[11]、再生材料的使用以及镉稳定剂、铅稳定剂等遗留添加剂的使用。[12]
- **《焚烧指令》**（第2000/76/EC号指令）：禁止无节制地燃烧废弃物，包括生物废弃物。
- **《垃圾填埋指令》**（第99/31/EC号指令）：禁止无节制地掩埋废弃物。

表2-3概述了专门针对在田间露天焚烧农用塑料废弃物的国家措施。关于国家层面其他相关措施的更多详细信息，请参阅本报告第2.6节和附录A.2.2。

虽然欧盟的具体立法目前尚未直接解决农用塑料废弃物的管理（包装除外）问题，但一些欧盟成员国已经制定了本国关于农用塑料回收的国家法规，规定制造商与经销商应承担收集和处置农用塑料废弃物的物质责任和经济责任，并禁止露天焚烧农用塑料废弃物。

[11]欧洲塑料回收协会（Plastics Recyclers Europe）关于欧盟REACH法规的网站。访问地址：www.plasticsrecyclers.eu/reach-plastics- recyclers

[12]欧洲纸业包装联盟（EPPA）关于欧盟REACH法规的网站。访问地址：https://eppa-profiles.eu/activities/regulatory-affairs/reach

表2-3：禁止露天焚烧农用塑料废弃物的国家倡议

国家	法令
奥地利	• 在奥地利，根据《废弃物管理法》（Abfallwirtschaftsgesetz，简称AWG）和《空气污染防治法》（Bundesluftreinhaltegesetz，简称BLRG），废弃物管理在联邦层面受到监管。也可以在地区层面颁布相关地方条例，以修改国家层面对废弃物管理的某些要求。特别值得一提的是，根据2010年颁布的《空气污染防治法》的规定，奥地利禁止在指定设施外进行物料的一次性焚烧和大面积焚烧。
比利时	• 1996年6月27日颁布的《废弃物指令》（MB 02.08.1996）在第7条中明令禁止露天和户外焚烧废弃物。该指令将废弃物定义为持有人丢弃或打算丢弃或被要求丢弃的任何物质或物品，因此该指令适用于农用塑料废弃物。[13] • 在弗拉芒大区（Vlarem）的法兰德斯（Flanders），佛兰德（Flemish）环境立法禁止露天焚烧任何废弃物。但是，弗拉芒规定了一些例外情况，特别是如果无法就地清除或处理农业活动所产生的废弃物时，可以对此类废弃物做焚烧处理。[14]
芬兰	• 在芬兰，根据《环境保护法》（527/2014），自2016年15日以来，已经制定了多项旨在限制和禁止在农地上焚烧农用塑料废弃物的规定。[15]
法国	• 在法国，根据《区域卫生条例》（Règlement Sanitaire Départemental）第84条的规定，禁止露天焚烧任何废弃物。此外，根据《环境法典》第R543-67条的规定，禁止在农地上焚烧或掩埋塑料包装废弃物，禁止将特殊废弃物混入家庭废弃物中，并且如有危险，则要求在授权设施中处置专业废弃物。[16,17]
德国	• 在德国，废弃物立法在联邦层面通过《循环经济法》（Kreislaufwirtschaftsgesetz，简称KrWG）进行规管，该法案禁止焚烧农业废弃物，但并未明令禁止焚烧生物废弃物。
爱尔兰	• 在爱尔兰，根据《空气污染法》（1987年）和《废弃物管理法（禁止以焚烧方式处置废弃物）》（2009年），焚烧农用塑料废弃物是一种非法行为，因此构成违法犯罪。
瑞典	• 在瑞典，废弃物焚烧受《环境法典》（1998:808）、《废弃物条例》（2011:927）及部分地区的城市废弃物管理计划的规管。未经许可，禁止焚烧废弃物。该规定对家庭和经营者均适用。 • 自2002年以来，填埋已分类的可燃废弃物也属于非法行为（SFS 2001:512）。该禁令的目的是加强资源保护和减少对环境的影响。为进一步推进废弃物的回收再利用，当局还于2002年提出了对可燃废弃物进行源头分类的要求。[18]

[13] 清洁空气行动小组（2018年）《欧洲国家农业与园艺业废弃物焚烧法》（Agricultural and Garden Waste Burning Legislation in European Countries）。访问地址：www.levego.hu/site/assets/files/4883/agricultural_waste_burning_legislation_final.pdf

[14] 访问地址：https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?woId=62334

[15] 基于调查问卷和对图尔库大学Brahea中心的采访，2020年4月

[16] 联合国粮食及农业组织（2008年）《国际农药销售与使用行为准则：农药空包装容器管理方案指南》（International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides: Guidelines on Management Options for Empty Pesticide Containers）。访问地址：www.fao.org/3/a-bt563e.pdf

[17] Ademe（2017年）《露天焚烧废弃物》（Le brûlage des déchets à l'air libre）。访问地址：www.loiret-nature-environnement.org/images/D%C3%A9chets/brochureBrulage.pdf

[18] 访问地址：www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-1249-5.pdf

国家	倡议
英国	• 在英国，根据《2006年废弃物管理规例》，禁止就地焚烧或掩埋农用塑料废弃物。 • 在苏格兰，自2019年1月起禁止焚烧和掩埋农用塑料。[19]特别是青贮缠绕膜、作物覆盖物、肥料袋和容器受到了该禁令的影响。此前，根据2013年更新的环境法规的豁免，农民被允许焚烧农用塑料。

2.5 农用塑料市场和欧盟层面的管理实践

本节旨在概述欧盟层面农用塑料行业的发展情况，议题包括重要的消费趋势和市场趋势以及废弃物处理处置管理实践。

2.5.1 农用塑料消耗量

根据欧洲农业、塑料与环境协会的数据，2019年，投放欧洲市场的农用塑料制品总量（不包括包装）约为72.2万吨。其中，畜牧业占市场上农用塑料制品总量的55%，其余45%用于作物生产。在欧盟非包装用农用塑料制品市场中，十个国家的总和占市场总量的80%：意大利、西班牙、法国、德国、英国、波兰、荷兰、爱尔兰、瑞典和比利时。

在2015年至2019年间，欧洲农用塑料消费量的增长率约为7%。[20]在过去十年间，农用塑料消费量增长的驱动因素可归因为创新产品与“环保”产品的引入，包括在市场供过于求的情况下改进的产品的技术特性和功能。其他因素（例如农业可用耕地的减少和对优质作物的需求）也是继续使用农用塑料的重要驱动因素。尽管如此，值得注意的是，农业部门在欧盟塑料需求总量中所占份额相对较小，据报道约占1.4%[21]。

从**地域性分布**来看，欧洲各地使用的不同类型的农用塑料制品可以直接与欧盟成员国生产的相关作物和文化关联起来，而后者又取决于气候和农业可用耕地的特征等地形因素。在南欧，农用塑料的主要应用领域是**作物保护用塑料薄膜**，而在以大面积草地为特征的北欧，**青贮饲料膜和拉伸膜**则主要用于畜牧业，

[19] SEPA网站：《焚烧农场废弃物》（Burning on-farm waste）。访问地址：www.sepa.org.uk/regulations/waste/agricultural- waste/burning-on-farm-waste/#transition

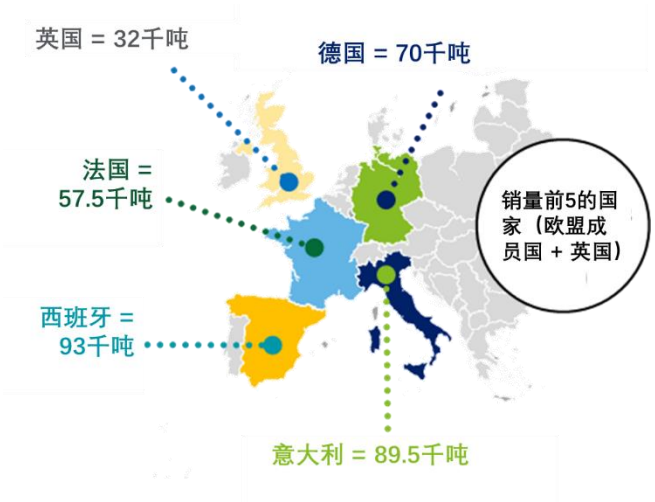
[20] 欧洲农业、塑料与环境协网站：《统计数据：欧洲的塑料文化》（Statistics: Plasticulture in Europe）。访问地址：http://apeeurope.eu/statistics

[21] 欧洲农业、塑料与环境协会（2020年草案）《欧洲塑料文化战略：对欧洲农用塑料废弃物管理的贡献》（The European Plasticulture Strategy: A contribution to an European agri-plastics waste management）

例如动物饲料的生产。[22]

图2-1显示了2018年**农用薄膜销售量最大的五个国家**（法国、西班牙、德国、意大利和英国）。这五个国家的农用薄膜销售量合计约为34.2万吨，占2018年欧盟农用薄膜销售总量的64%（另见附录中图A2.7）。西班牙和意大利在**农用薄膜市场**中占有特别重要的份额。这一成果的主要驱动因素时集约化园艺生产活动。在集约化园艺生产活动中，大量的温室大棚膜、中/小拱棚膜和地膜用于保护栽培的农作物。

图2-1：农用薄膜销售总量排名前5的国家，2018年（单位：千吨）

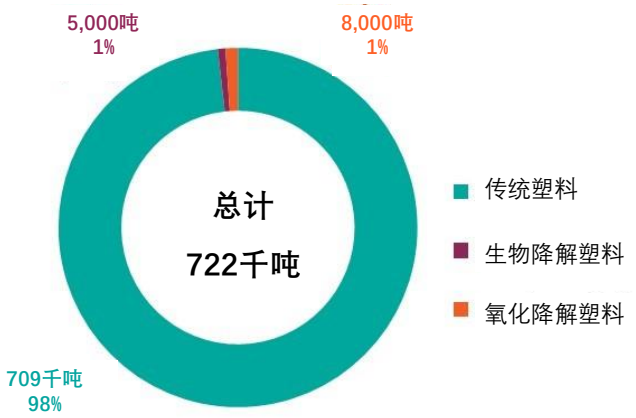


资料来源：欧洲农业、塑料与环境协会

在传统塑料与生物降解塑料的使用方面，欧洲市场上大多数的农用塑料制品均由传统塑料制成（98%）（图2-2）；但欧洲市场也使用了很少一部分全生物降解塑料（5,000吨）和氧化降解塑料（8,000吨），随着《一次性塑料指令》的实施，氧化降解塑料预计将在2021年7月3日前从欧洲市场上消失殆尽。有鉴于此，这类产品的预计消费量可能比公布的数字小得多。此外，在已报告的生物降解塑料消费量方面，应该指出的是，其使用仅在**地膜**中。据报道，很少一部分的生物降解材料也被用于制作绳线，但由于它还处于起步阶段，因此市场规模尚不确定。

[22] Scarascia（2012年）《欧洲农业生产中使用的塑料材料：实际应用和前景展望》（Plastic materials in European agriculture: Actual use and perspectives）

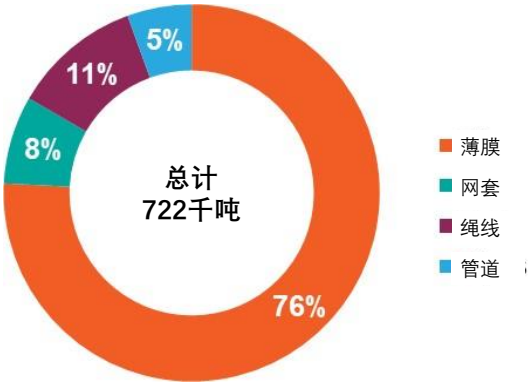
图2-2：2019年欧盟农业应用中不同类型塑料的数量和所占比例（单位：吨）



资料来源：欧洲农业、塑料与环境协会的数据

在农用塑料制品方面，2019年，薄膜在欧洲占最大份额，约占投放市场的农用塑料总量的76%，其余细分市场包括绳线（11%）、网套（8%）和管道（5%）（图2-3）。

图2-3：2019年欧盟市场中主要农用塑料制品所占份额

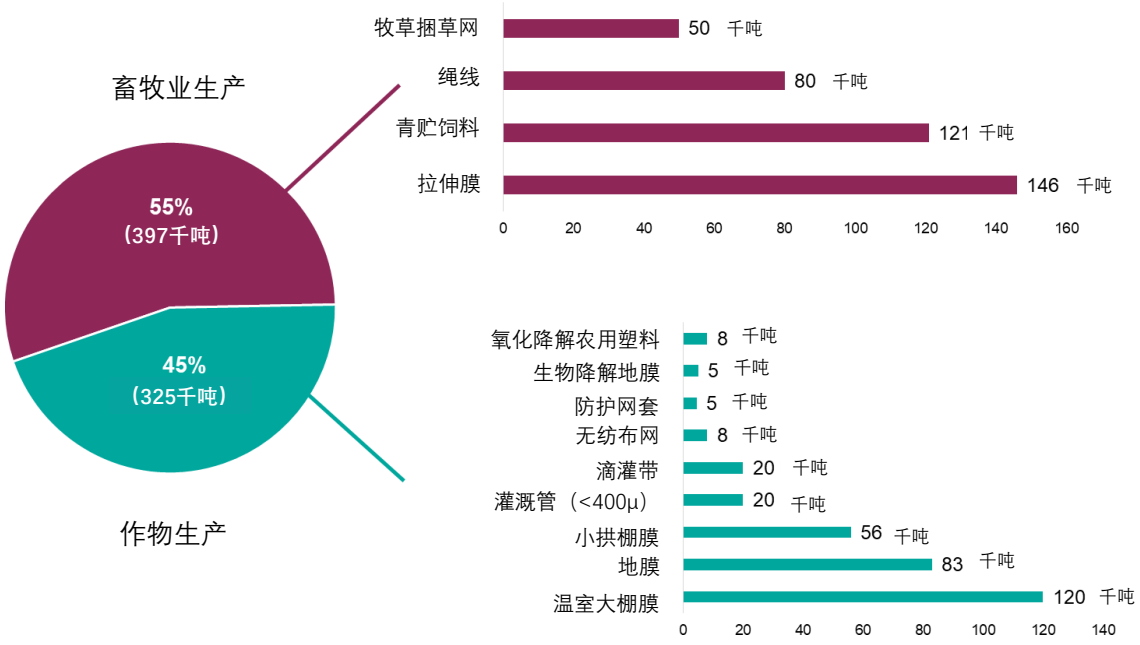


资料来源：欧洲农业、塑料与环境协会的数据

进一步的细分数据表明，农用塑料的主要应用领域是用于保存和储存牲畜饲料的拉伸膜和青贮饲料膜以及用于蔬菜生产的温室大棚膜和地膜。这四种应用占欧洲市场农用塑料总量的65%以上（图2-4）。

在过去数年间，青贮饲料与小拱棚用农用塑料的市场投放量在四年内均增长了17%，其他农用塑料制品的市场投放量均呈低水平增长态势。在2015年至2019年间，在欧洲市场上，作为应用最广泛的农用塑料制品之一的地膜的市场投放量略有增长，增幅为4%。

图2-4：2019年欧盟各细分市场中农用塑料制品的消费量



资料来源：欧洲农业、塑料与环境协会的数据

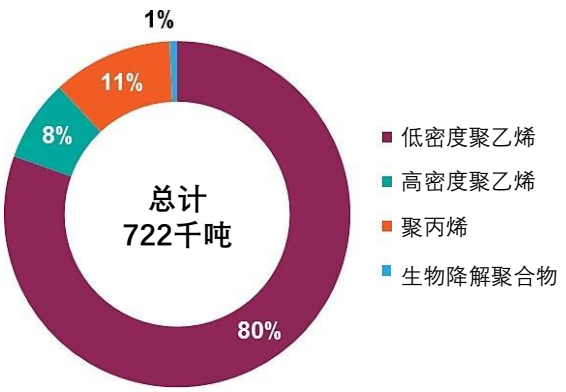
2.5.1.1 农用塑料聚合物消耗量

欧洲市场的特点是在各类传统农用塑料中使用的聚合物具有高度同质性，几乎仅使用高、低密度聚乙烯（HDPE、LDPE）和聚丙烯（PP），这种同质性有利于农用塑料废弃物的单独收集和回收利用。

图2-5提供了2019年欧盟市场上农用塑料制品中所使用的主要聚合物的市场投放量概况。低密度聚乙烯主要用于生产农用薄膜和管道[23]，同时也是使用最广泛的材料，占2019年农用塑料制品市场投放总量的80%（574,000吨）。用于生产网套的高密度聚乙烯约占8%的市场份额，而用于生产绳线的聚丙烯则占11%的市场份额。

此外，生物降解

图2-5：2019年欧盟境内农用塑料制品中使用的各类聚合物的所占比例



资料来源：欧洲农业、塑料与环境协会的数据

[23] 部分管道由线性低密度聚乙烯（LLDPE）制成，但被归类为低密度聚乙烯产品。

聚合物占农用塑料制品市场投放总量的1%。用于该产品类别的聚合物类型未在欧盟层面进行呈报，但据欧洲生物塑料协会（European Bioplastics）称，大多数用于农业目的的生物降解制品均由淀粉混合物、聚乳酸（PLA）和聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯（PBAT）制成。[24] 生物降解材料在农用薄膜领域的市场份额呈逐渐增大态势，因为它们通常被认为是传统塑料的替代方案，可解决传统塑料不能被收集并迁移至/累积在土壤及其他环境当中的一系列问题。近年来，这些材料的产能和消费量呈不断增长势头（2015年至2019年间增长67%），增长的主要驱动力是聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯（PBAT）在欧洲的推广使用。

2.5.2 重要市场趋势

总体而言，欧洲农用塑料市场预计将以年均5%的速度增长（具体因塑料制品种类和地区的不同而异）。[25] 在过去十年间，呈极其稳定增长态势的主要细分市场是**农用薄膜**。助推这些产品使用量提升的主要驱动力，是旨在抑制杂草生长和减少水分蒸发的土壤保护意识的增强、成本效率的提升以及全球农业标准的不断提高。随着粮食需求的持续增长以及农业劳动生产率的提高，农用薄膜市场预计将在未来几年继续呈增长势头。据预计，欧洲人口增长率将持续低迷，但欧洲农业将继续在全球粮食生产中发挥其应有的作用。

采用线性低密度聚乙烯（LLDPE）为原料生产的塑料薄膜在机械强度、防潮性能、光学特性及耐光性等领域表现卓越，因此预计将引领全球**农用薄膜市场**。此外，该行业在新型塑料添加剂开发领域的各项创新之举（即阻隔荧光、紫外线和近红外、遮蔽和超热遮蔽）也将推动农用薄膜细分市场的发展。通过减少紫外线累计辐射损伤及其他外部因素和环境因素的影响，这些化学品在薄膜整个使用寿命期间都将有助提升其完整性。越来越多的公司也开始着手开发由不同聚合物组成的厚度更薄的高性能多层薄膜材料。然而，有鉴于不同层薄膜之间的化学不相容性，此类产品目前无法采用传统的塑料回收技术（例如机械回收方式）进行回收。[26] 它们的回收料将由异质材料组成，这使得它们更难用于新产品的制造。因此，尽管此类产品的优势屈指可数（例如用于温室大棚膜），但我们建议在缺乏足够

---

[24] 欧洲生物塑料协会（未注明日期），生物塑料市场数据。检索自：www.european- bioplastics.org/market/

[25] 巴斯夫（未注明日期）。用于农用塑料的塑料添加剂。访问地址：https://agriculture.basf.com/global/en/business-areas/crop-protection-and-seeds/use-areas/agricultural- films.htm

[26] Walker, T. W.，Frelka, N.，Shen, Z.，Chew, A. K.，Banick, J.，Grey, S., ... 及Huber, G. W.（2020年）。《采用溶剂定向回收和沉淀法回收多层塑料包装材料》（Recycling of multilayer plastic packaging materials by solvent-targeted recovery and precipitation）。《科学进展期刊》（Science advances），6(47)，eaba7599。

回收基础设施的情况下，应避免开发和使用此类产品。

在应用方面，据应用市场信息咨询公司（Applied Market Information Consulting）的一份报告预计，青贮饲料膜的消费量将以每年1%的速度增长，这主要得益于生物质生产的蓬勃发展、对更高品质草料和青贮饲料（正越来越多地被用于喂马）的需求量的增加，以及干草捆缠绕膜食用量的增加。[27] 据新闻提供商Plasteurope称，预计未来几年内，市场对温室大棚薄膜的需求将有所下降。温室大棚薄膜市场是一个成熟的市场，一季薄膜逐渐被耐久性更好的薄膜所取代，例如使用寿命长达五年的薄膜。应该指出的是，尽管这些市场预测系由AMI咨询公司于五年前做出，但是据欧洲农业、塑料与环境协会称，该市场预测现如今依然具有相关性和有效性。

在传统地膜方面，Plasteurope报告称，有鉴于市场相对成熟，加之可用于作物栽培的农业用地数量减少以及为了实现降低塑料废弃物产生量的目标（通过减薄[即减少塑料薄膜厚度]或使用生物降解薄膜来实现），预计未来几年内传统地膜的消费量将呈小幅下降趋势。然而，一般来说，准确的增长预测对于生物基产品和生物降解产品来说通常难度较大，而且由于这些产品的受欢迎程度会越来越高，因此增长预测通常会被夸大。低于预期的产能投资以及与传统化石燃料企业相比较高的成本，最终抑制了这一预期增长。一份市场研究报告表明，在2017年至2023年间，全球生物降解地膜市场的复合年增长率（CAGR）将达到9.3%。[28] 然而，这比整个生物基行业预测的3%的复合年增长率[29] 要高得多，表明各界对该行业的市场增长预期缺乏共识。
据欧洲农业、塑料与环境协会称，生物降解地膜不太可能完全取代传统地膜，据估计，传统地膜的市场份额将达到10-15%。在不久的将来，似乎没有什么特别的市场驱动力能促使生物降解地膜实现这一飞跃。

2.5.3 农用塑料废弃物的产生

近年来，欧洲农业部门塑料消费量的增加导致大量农用塑料废弃物的产生。根据欧洲农业、塑料与环境协会的数据，2019年，欧盟农业部门产生了约118万吨消费后的非包装用塑料废弃物。应该指出的是，该数字包括脏污物（例如土壤、矿物质、水及有机物），因此这一数字

---

[27] 应用市场信息咨询公司（Applied Market Information Consulting）（未注明日期）。《农用薄膜》（Agricultural films）。访问地址：www.plasteurope.com/news/AGRICULTURAL_FILMS_t228787

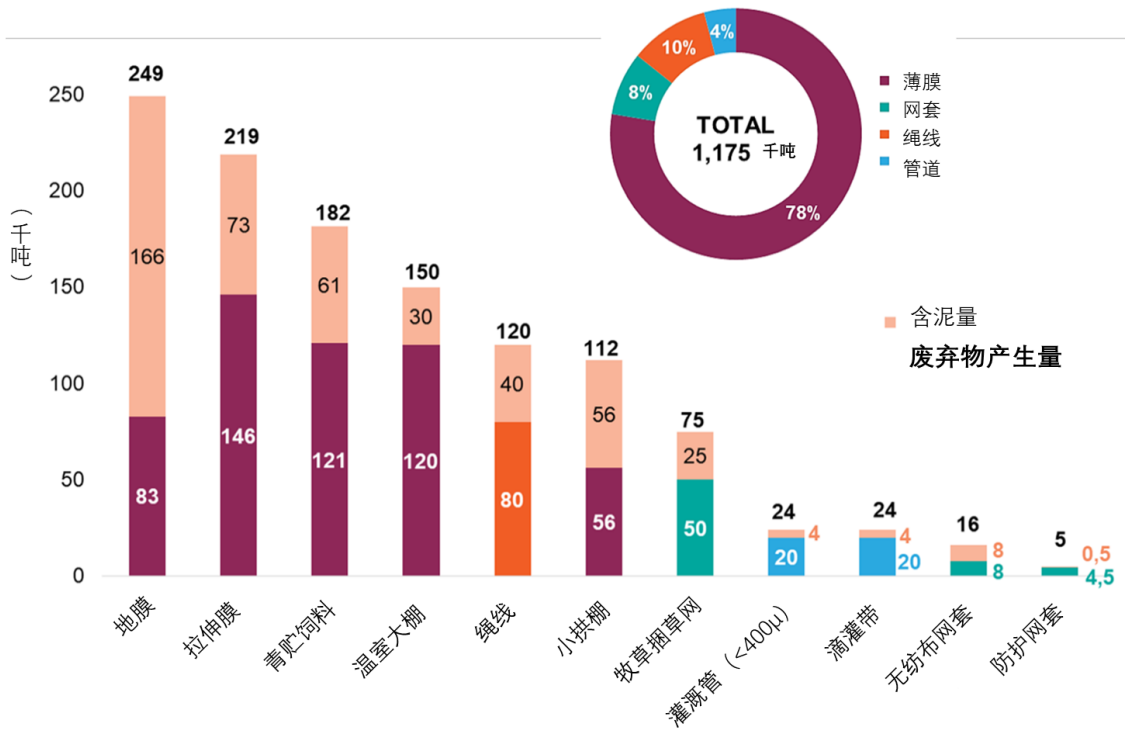
[28] 联合市场研究公司（Allied Market Research）（2017年）。全球生物降解地膜市场：2017至2023年全球机遇分析和产业预测》（Global biodegradable Mulch Film Market - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast）访问地址：https://www.alliedmarketresearch.com/biodegradable- mulch-film-market

[29] Michael Carus，诺瓦研究所（nova-Institute）（2019年）。《生物基嵌段和聚合物——2019至2024年全球产能、产量和发展趋势》（Bio-based Building Blocks and Polymers – Global Capacities, Production and Trends 2019 – 2024）。

远大于农用塑料的年消费量。该行业仅占欧洲境内塑料废弃物产生总量的一小部分，仅占欧盟28国以及挪威和瑞士境内塑料废弃物产生总量的5%。[30]

如图2-6所示，欧洲境内产生的主要农用塑料废弃物是农用薄膜（特别是拉伸膜、青贮饲料膜和温室大棚膜），它们也是欧洲境内使用的农用塑料制品的主要类型。此外，废旧地膜的脏污程度最高。

图2-6：2019年欧盟境内农用塑料废弃物产生量（千吨）和所占比例（%）（包含土壤杂质）



资料来源：欧洲农业、塑料与环境协会的数据

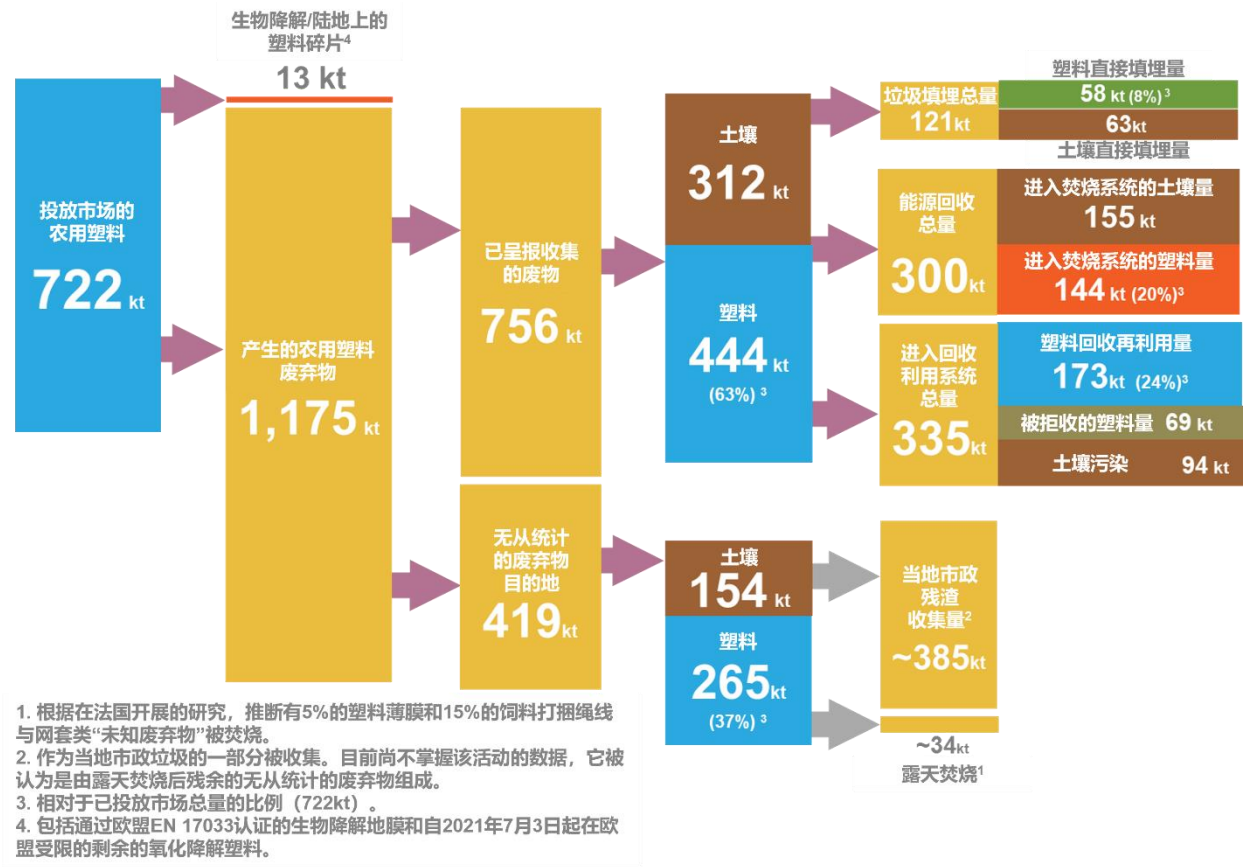
2.5.4 处理处置情况

欧洲通过不同的处理或处置方法对农用塑料废弃物进行管理，具体方法取决于废弃物的质量和特性以及本国具体情况，例如具体的国家立法、废弃物管理基础设施、是否已设立专项收集计划等。在已启动收集计划的国家，脏污程度相对较低的废弃物（例如温室大棚膜、青贮饲料膜或拉伸膜）会被收集起来并送去回收再利用，而脏污程度较高的废弃物（例如地膜）则极有可能会被填埋或焚烧，以实现能量回收。在尚未启动有效收集计划的国家，农民可能更倾向于在就地焚烧或掩埋废弃物。我们将在下一节中，逐一对这些管理实践中的每一步做详细阐释。

[30] 欧洲塑料制造商协会（2019年）。《塑料循环经济：欧洲概览》（The Circular Economy for Plastics – A European Overview）。访问地址：www.plasticseurope.org/en/resources/publications/1899-circular-economy-plastics-european-overview

图2-7总结了欧盟层面与农用塑料废弃物管理实践相关的最新数据。图中所提供的数据是根据循环塑料联盟（CPA）和欧洲农业、塑料与环境协会内部农业工作组提供的数据得出的。为了确保欧洲农业、塑料与环境协会所提供数据的整体一致性和稳健性，我们已经将已呈报数据与欧洲塑料制造商协会报告的数据进行了交叉核对。应该指出的是，欧洲没有与农用塑料废弃物再利用相关的指标。据ADIVALOR估计，大约5%的未收集废弃物被就地焚烧（见本报告第2.5.4.5节），但其余95%的“未知”废弃物也可能主要由当地市政服务部门负责收集，但这一推断并无相关未记录，且具有不确定性。虽然缺失2019年的塑料残留物处理数据，但是欧洲农业、塑料与环境协会提供的2020年后期数据显示，29%的塑料残留被填埋，71%被焚烧（见本报告第2.5.4.4节）。最后，尽管回收数据不尽相同，但欧洲塑料回收协会呈报的数据似乎包含了最现实的损失估算，因此，我们可进一步推算得出总体回收率为24%（见本报告第2.5.4.3节）。

图2-7：2019年农用塑料废弃物产生量和管理

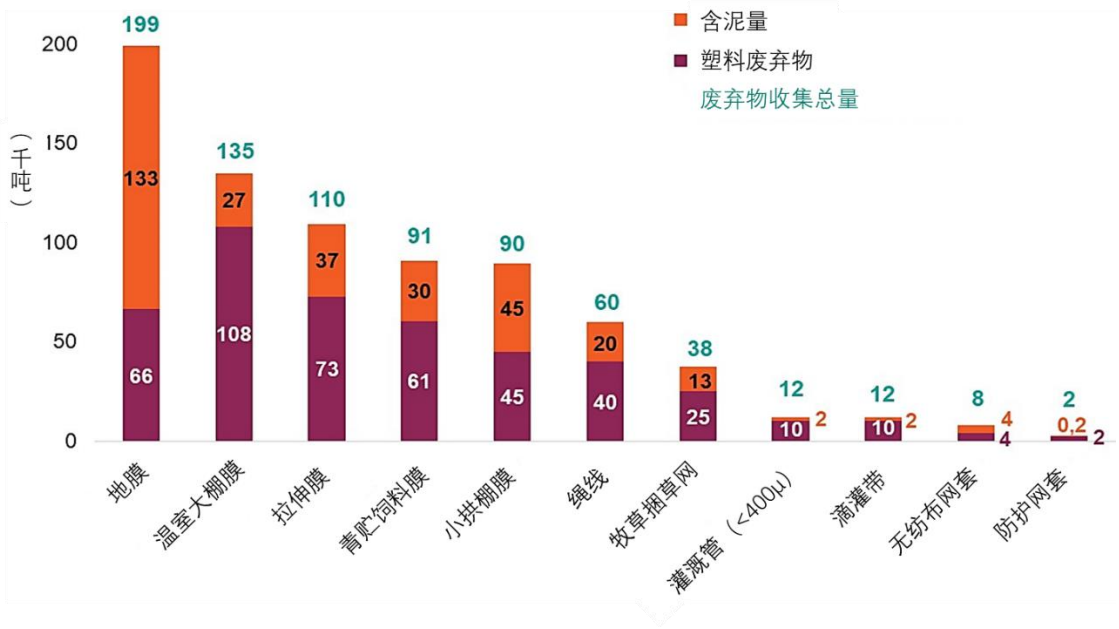


2.5.4.1 收集

目前尚无专门针对非包装用农用塑料废弃物推行的覆盖整个欧盟地区的收集计划。但是，某些欧盟成员国已启动若干收集计划，我们将在第2.6节中就此展开进一步讨论。

据欧洲农业、塑料与环境协会称，2019年在欧洲境内产生的非包装用农用塑料制品中约有64%被收集，总量达75.6万吨。[31] 这一数字包含了脏污物数量（平均占废弃收集总量的41%）。脏污程度取决于如图2-8所示的农用塑料制品类别，并且某些产品的污损程度可能非常严重——例如地膜中的污染物含量超过67%。脏污程度还取决于在产品使用过程中的审慎程度、塑料废弃物的清除方法和田间的储存条件。因此，我们估计，不包含脏污物的非包装用农用塑料的平均收集率为38%。被大量收集的主要塑料制品包括温室大棚膜、青贮饲料膜和拉伸膜，因为它们的脏污程度相对较低。

图2-8：2019年欧盟境内各类农用塑料的废弃物收集量（不包括包装）和含泥量（千吨）



资料来源：欧洲农业、塑料与环境协会的数据

此外，收集率也因国家的不同而异。在已建立完善国家收集计划的国家（例如爱尔兰、冰岛、挪威、瑞典、法国、西班牙），农用塑料废弃物收集率高达70%以上。其他欧洲国家尚无明确的国家收集计划，但废弃物收集可能在当地或区域内进行，并通过与农民和种植户签立个人合同对废弃物进行收集或由公共事业主管部门负责组织。在这些国家，废弃物收集率要低得多，而且不适当的做法或垃圾填埋被广泛采用（欧洲农业、塑料与环境协会，2019年）。

[31] 农药袋、化肥袋和容器废弃物被视为包装废弃物，并受《关于包装和包装废弃物的指令》（94/62/EC）的规管

2.5.4.2 再利用

目前尚无可用来监控欧洲境内农用塑料再利用情况的官方指标。
同样，在欧盟层面也没有专门针对农用塑料的“再利用”定义。由于需要应对确保完全可追溯性的重大挑战，目前尚不清楚农用塑料在多大程度上被重新用于相同的原定用途的和/或完全不同的用途。农用塑料的可再利用性在很大程度上取决于当地的农场情况（例如：在产品的实际使用过程中的审慎程度）和区位条件（例如地理条件和气候条件）。因此，很难量化在欧洲境内农用塑料再利用的确切数量。尽管如此，据估计，总体而言，欧洲境内农用塑料的再利用数量相对较低。[32] 许多农用塑料制品的特点是使用寿命极短（塑料薄膜尤其如此）。目前使用的大多数农用塑料薄膜都受到其机械特性和抗光辐射特性渐进性恶化的影响，这些特性因塑料薄膜厚度、在太阳辐射和杀虫剂中的暴露程度、温度变化幅度、湿度水平、风力、降雨量以及安装使用类型的不同而异（Picuno，2014年）。[33]

回收再利用的产品通常具有厚度大、脏污程度低和较少暴露于环境变化的特点。然而，如上所述，目前尚不清楚这些产品是如何被再利用以及在多大程度上被再利用，即它们是为了相同的原定用途而在多个周期中被原地存留，还是通过再利用而用于完全不同的用途。例如，在西班牙和意大利，传统农用塑料的再利用主要涉及温室大棚，在极少数情况下还涉及地膜。根据使用条件、地形和气候等因素的不同，温室大棚可以在多个周期中使用；使用寿命可长达3至4年（与1至2年只可用于一个周期的塑料制品相比）。如果在同一年中涉及作物轮作（即年内换茬），则传统地膜在一些罕见情况下可以被再利用，用于2至3种不同类型作物的轮换种植，例如用于生菜栽培的薄膜也可以被再利用以用于南瓜栽培。此外，在某些情况下，由于厚度得当，芦笋栽培用地膜也可以在1个以上的周期中被再利用。据估计，在法国，目前有10-15%的青贮饲料膜和绳线被再利用。[34]

可以多次使用而不影响其整体性能和功能的其他农用塑料制品包括拉伸膜、管材和片材。这些产品可以通过再利用而用于一系列不同目的，例如覆盖成堆的木材和干草、机械以及用作青贮窑的防护性衬垫。

2.5.4.3 回收

据欧洲农业、塑料与环境协会称，2019年欧盟境内农用塑料废弃物的回收总量接近33.5万吨，相当于47%的回收率。温室大棚膜、拉伸膜和青贮饲料膜由于脏污程度相对较低，因此是回收利用的主要产品。

---

[32]欧洲农业、塑料与环境协会（2020年）提供的数据
[33] Picuno, P.（2014年）。《为可持续利用农用塑料薄膜而设计的创新材料和优化技术》（Innovative material and improved technical design for a sustainable exploitation of agricultural plastic film）。《高分子材料科学与工程期刊》（Polymer-Plastics Technology and Engineering），53(10)，1000-1011。
[34] 对ADIVALOR的采访

然而，这一数据系基于一揽子假设，即在去除泥土后，塑料在回收过程中损失率仅为5%（但是损失率高达100%的地膜和牧草捆草网除外），而包括泥土在内的平均产率则为64%。

为了验证这些数据，欧洲塑料回收协会（PRE）还提供了回收数据。这些数据表明，目前欧洲对温室大棚膜、青贮饲料膜和拉伸膜进行回收（即，并未回收其他网套、绳线或地膜）。欧洲塑料回收协会报告的回收率为30-70%，平均回收率为56%，低于欧洲农业、塑料与环境协会报告的数字。此外，欧洲塑料回收协会报告的回收率也与本研究第3.2.3节中回收商报告的数字相符，从而可推算出塑料损失为13-55%，这比5%的数字更贴近现实，对于脏污严重的材料尤其如此。出于这一原因，这些损失率被应用于欧洲农业、塑料与环境协会的废弃物收集数据，以便针对**17.3万吨的塑料实际回收总量**提出一个相对保守的估算值（33.5万吨被送去回收，其中包括9.4万吨的土壤杂质和6.9万吨的被拒收塑料）。这是本报告第5.0节基线中推算得出的数字，意味着投放市场的农用塑料回收率为24%。该数字被认为比欧洲农业、塑料与环境协会给出的47%数字更贴近现实。这些数字的差异进一步凸显出，在整个欧盟境内迫切需要设立更统一的报告制度，减少对数字的假设。

每一种农用塑料制品在其废弃时都会表现出不同的特性，因此它们都必须遵循特定的路线，才具备可以被回收的资格。判断特定的农用塑料制品是否可以被回收，主要取决于将脏污程度纳入考量后，回收过程的总体成本效益。脏污程度高的废弃物会在回收操作和处理过程中催生大量额外成本，反之亦然：

- 厚度大、透明度高、通常含泥量少的**温室大棚膜**易于清洁，因此大部分都被送去回收再利用。它们受到回收商的青睐，因此在市场上仍具有正面价值。因此，温室大棚膜的收集率和回收率都相对较高。这也适用于青贮饲料膜、拉伸膜，但是绳线和灌溉管的回收比例却大相径庭，例如，温室大棚的回收率超过68%，而灌溉管的回收率则为40%；[35]
- **小拱棚膜**厚度较薄，呈半透明状，含泥量中等。如果收集得当，这些膜也会被送去回收利用，但最终可能会被填埋，在某些情况下可能会被就地掩埋。小拱棚膜废弃物的回收利用率为38%；
- **地膜**主要呈黑色，与其他制品相比，厚度更薄，且含泥量极高（是塑料重量的3到5倍）。
- 据欧洲农业、塑料与环境协会称，从管理角度看，**牧草捆草网**也是当今最具挑战性的废弃物之一。由于不可能被再利用或被

[35]欧洲农业、塑料与环境协会（2020年）的塑料数据

回收（欧洲境内并无相关设施），被收集的牧草捆草网将100%被送去填埋或焚烧/掩埋。

2.5.4.4 能量回收和市政垃圾填埋

能量回收和城市垃圾填埋通常被用于处置不具有可持续回收实操性的农用塑料废弃物。这些废弃物主要包括已经暴露在高温、杀虫剂、污物、油脂和啮齿动物下的农用薄膜，此等暴露会导致废弃物因过于污脏而无法被再利用或回收。此外，此类废弃物还包括牧草捆草网，此类废弃物脏污程度过高，导致回收设施缺失（详见本报告第3.2节）。

据欧洲农业、塑料与环境协会称，在已收集但未被送去回收再利用的材料中，71%被送去焚烧，29%被送去填埋。废弃物产生量中的"未知"部分也可能部分由市政当局负责收集，并且尽管确切目的地尚无从统计，但很可能会被送去进行焚烧处理。

大多数农用塑料废弃物管理运营商正致力于减少市政垃圾填埋的比例，因为垃圾填埋可能对人畜健康构成潜在风险，并且可能引发地下水污染（垃圾填埋会产生可引发土壤污染和地下水污染的渗滤液）等环境问题和卫生相关问题。[36]

2.5.4.5 非法焚烧（就地焚烧）/土壤中掩埋

由于缺失一个覆盖整个欧盟地区的、具体的监管框架，因此，目前欧盟层面尚缺失农用塑料废弃物就地焚烧或掩埋的官方数据。尽管国家已经颁布禁止露天焚烧农业废弃物的措施（见表2-3），但某些欧盟成员国仍采用这类做法。例如，在西班牙，西班牙青年农民农业协会（ASAJA）指出，一些废弃物正在田间被焚烧和掩埋，或留置在周边环境中。[37]例如，据西班牙青年农民农业协会估计，在西班牙，"*大约有95万公顷的农业用地和农村环境受到农用塑料废弃物污染的影响，其中近一半需要立即采取干预措施。*"[38]据ADIVALOR称，2016年，法国虽然有大约95%的**农用薄膜**通过收集计划（>65%）、私营企业（5%）或城市垃圾处理中心（25%）被收集，但是据估计，剩余**5%未被收集的**

---

[36] Hidayah, N.（2018年）。《利用塑料废弃物作为替代燃料的垃圾填埋场管理综述》（A Review on Landfill Management in the Utilization of Plastic Waste as an Alternative Fuel）。《E3S会议网络期刊》（E3S Web of Conferences）（第31卷，第05013页）。《EDP科学出版社》（EDP Sciences）。

[37] Marí等人。（2019年）《在辣椒（指尖椒）作物露天栽培中使用的生物降解塑料薄膜和纸质覆盖物的经济评价》（Economic Evaluation of Biodegradable Plastic Films and Paper Mulches Used in Open- Air Grown Pepper (Capsicum annum L.) Crop）。《农艺学》（Agronomy），2019年, 9(1), 36; https://doi.org/10.3390/agronomy9010036。

[38] http://www.innovationatiris.com/2020/02/21/iris-invites-you-to-the-ap-waste-project-presentation-on-18th-march/

农用薄膜被就地焚烧。[39]对于**网套和绳线**，据估计，废弃物产生量中约有85%通过收集计划（62%）、私营运营商（5%）被收集或被送往市政废弃物处置中心（18%），而剩余**15%未被收集的网套和绳线则被就地焚烧。我们将这些数据外推至欧盟层面，可推算出3.4万吨的露天焚烧量**。鉴于法国拥有相对完善的收集体系，因此该数字可能颇为保守的被低估——其他国家焚烧量的估算值可能都不尽相同，这将与收集体系的可用性直接相关。

驱使农民焚烧废弃物的主要原因包括：被认为复杂耗时的收集准备工作（每公顷约耗时16小时），再加之居高不下的回收成本（每公顷高达300欧元）——对于地膜尤其如此。[40]法国收集计划ADIVALOR也认为这些因素是2019年废弃物收集量缩减6000多吨的主要原因。[41]

一般来说，传统地膜预计会采用掩埋方式，对于厚度特别薄的地膜尤其如此，因为它们很难从田间清除，且含土量极高。没有证据表明这是人为结果，相反，它是因为薄膜撕裂导致的。这个问题以及与之相关的土壤中塑料累积问题将在本报告第3.4.1.1节中做进一步讨论。

2.5.4.6 再生塑料（PCR）消费量

对颜色或其他技术有严格要求（例如：对透明度、伸展率和撕裂性能存在高要求）的农用塑料制品通常不会加入回收后的农用再生料。据欧洲农业、塑料与环境协会估计，2019年再生塑料（来自农用塑料）的消费量约为9.3万吨。[42]农业领域会使用再生塑料的制品主要有：青贮饲料膜（含40%的再生材料）、小拱棚、管道及绳线，如图2-9所示。据欧洲农业、塑料与环境协会称，没有农用塑料回收颗粒被用于生产地膜、温室大棚膜和网套的实例。**尽管如此，据欧洲塑料回收协会称，地膜和温室大棚膜可以选用来自其他领域（未指明）的高品质再生材料作为其原料之一。**据欧洲塑料回收协会称，2018年，4.3万吨回收料被用于生产地膜（即52%的再生塑料被用于生产地膜），此外还有6,000吨回收料被用于生产温室大棚膜。

---

[39] 基于调查问卷和对ADIVALOR的采访；和2016年法国农业部开展的关于未回收农用塑料废弃物处理处置的研究（由ADIVALOR和多家私营企业联合开展）

[40] 比利时OWS独立测试机构。《专家声明：（生物）降解地膜》（Expert statement: (Bio)degradable mulching films）。检索自：https://www.ows.be/wp-content/uploads/2017/08/Expert-statement-mulching-films.pdf

[41] 基于调查问卷和对ADIVALOR的采访，2020年4月。

[42] 这些估算值系由欧洲农业、塑料与环境协会内部的农业工作组提供。

图2-9：2019年各类农用塑料制品中（来自农业部门）的回收材料所占比例（%）

资料来源：欧洲农业、塑料与环境协会的数据

2.6 农用塑料市场和国家层面的处理处置概览

本章旨在总结部分欧盟成员国和国际范围内农用塑料消费量、废弃物产生量和处理处置管理的重要发展趋势。附录A.2.2提供了对每个被评估国家的全面详尽细节，并提供了与以下内容相关的数据：

- 管理实践领域重要趋势概览
- 农用塑料消费量/市场投放量
- 农用塑料废弃物产生量和管理实践
- 市场趋势和成本

表2-4整体评估了现行的收集计划。虽然有些计划早在1990年代中期就已设立，但也有些计划于今年方才首次推出。下表所统计的收集率和回收率是根据这些计划直接呈报的数字推算而得。总体而言，回收率范围从40%至90%不等。据报道，一旦农业塑料废弃物被收集起来，回收率就会很高，但这些推断很难证实。

表2-4：现行农用塑料废弃物收集计划概览

国家	计划	预计时间	类型	农用塑料废弃物收集种类	收集率[1]	回收率[2]
加拿大	清洁农场（Clean Farms）	2010年	自愿性	青贮（圆草捆缠绕膜和青贮饲料膜）	-	-
法国	ADIVALOR	2009年	自愿性	所有农业薄膜、绳线、网套、及柔性塑料灌溉管	67%（2019）	76%（2019）
德国	ERDE	2013年	自愿性	青贮饲料膜、青贮料板塑料片及牧草捆草网	37%（2019）	100%（2019）
冰岛	IRF	2005年	强制性	青贮饲料膜	90%（2020 ）	-
爱尔兰	IFFPG	2001年	强制性	青贮饲料膜、网套与绳线	79%（2019）	-
意大利	Polieco	2019年	强制性	温室大棚膜与地膜	-	56%[3]（2013）
挪威	GPN	1997年	自愿性	农用塑料包装与薄膜	83.5%（2018）	60%（2018）
西班牙（安达卢西亚）	MAPLA	2020年	自愿性	所有薄膜	-	-
瑞典	SvepRetur	2001年	自愿性	青贮饲料膜、塑料带及园艺用薄膜	92.5%（2019）	88%（2019）
英国	APE UK	2020年	自愿性	薄膜、绳线与网套	-	-
	UKFPRS	2020年	自愿性	-	-	-

备注：

1. 服务中特定农用塑料废弃物的收集率

2. 回收率是基于已收集的废弃物量，而不是整体回收率

3. 意大利数据已经过时且很可能并不完整——需持极为审慎的态度来看待这些数据

收集计划的管理方式因国家和地区的不同而异。大多数的现行收集计划都是基于自愿的原则，但冰岛的IRF计划、爱尔兰的IFFPG计划以及意大利的Polieco计划都属于强制性措施。

被收集的农用塑料废弃物种类的范围也因现行计划的不同而异。尽管有些计划可覆盖包装和非包装类农用塑料废弃物，但其他计划则仅收集特定的废弃物，例如意大利的Polieco计划仅收集废弃的聚乙烯薄膜。同样，根据被收集的废弃物种类、农场和收集/处理中心之间的距离以及农用塑料回收材料的市场价值，收集成

本也千差万别。在一些国家，例如西班牙（安达卢西亚地区），农用塑料回收材料的高价值（例如温室大棚膜，150-200欧元/吨）鼓励和激励人们提升收集率和回收率。

在意大利和英国，现行计划之间也存在竞争。这可能会影响废弃物收集总量，并影响农民清楚了解各项可用的服务。例如，英国高度分散的收集市场给四处寻找塑料回收来源的回收商带来了行政负担和物流负担。为了响应生产商设立的APE UK计划，英国的收集商也建立了UKFPRS计划，这两个计划已于2020年同时启动。收集商反对APE UK计划提议的一项征税，该征税仅适用于80%已签约，且其运营已经受到明显威胁的生产商。目前尚不清楚这两套相互竞争的计划将如何相互作用，会对未来的收集率造成哪些影响。这与以收集商为核心并允许收集商自行设定收集价格的德国计划背道而驰。法国还注重生产者、农民和收集商之间的合作——实现价值链合作似乎是促进自愿性收集计划成功的一项重要因素。事实上，即使在收集率相对较高的爱尔兰强制性收集计划中，也没有要求农民使用该计划——而只要求生产者提供经费支持。

为了进一步提升收集率和回收率，我们需要进一步改良现行的收集计划。例如，确保收集服务和基础设施的可用性很有挑战，这对于农用塑料废弃物种类繁多的国家而言尤其如此（例如西班牙）。有鉴于此，国家或地区内的垃圾收集实践情况各异。由于温室大棚膜和青贮饲料膜具有较高的回收价值和潜力，因此废弃物管理者通常对这些薄膜更感兴趣，但这些薄膜主要被用于西班牙南部地区。因此，西班牙南部地区有相应的废弃物管理企业能够收集农用塑料废弃物，而西班牙北部地区的情况却并非如此。在芬兰，由于农场与收集点及处置中心之间的距离相去甚远，因此农民并不是时时刻刻可以享受高效且可用的收集服务。为了提升收集率和回收率，我们需要在这个关键领域做出进一步的努力。

2.7 农用塑料消费量和管理实践综述

在接受评估的所有国家中，其使用的农用塑料制品的类型和数量、塑料废弃物产生量以及相应的处理方式千差万别。其中的原因包括：所应用的作物和牲畜类型，地理位置，市场，以及数据限制。

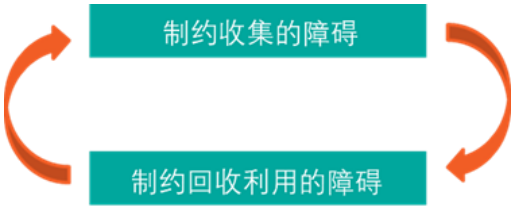
尽管农用塑料具有很高的回收潜力，但据欧洲农业、塑料与环境协会称，目前欧盟地区仅回收了28%的非包装类农用塑料废弃物，而农用塑料废弃物产生量中有42%被弃置在垃圾填埋场，其余30%则被送去焚烧。然而，这种废弃物具有很高的回收潜力，因为它的产量高，且材质单一。此外，这些产品通常在国家内特定的集约耕作区（主要是农村地区的农田）集中使用，这有助于帮助已推行收集计划的国家实现高达70%的收集率。一般而言，在某国某个特定的农村地区，农户们使用类似的农用塑料制品来辅助栽培相同品种的作物，然后这些塑料制品在一年中同一时期被农户移除。因此，在区域层面产生的大部分的农用塑料废弃物不仅材质相同，而且产生地集中，并且会在每年的特定时间段产生。

由于缺失可用并且可靠的最新数据，因此我们很难得出负责任的定量结论。已呈报的数据（如果可用）在制品范围、覆盖年份等方面缺乏一致性。尽管如此，在接受评估的11个欧盟国家中，有6个国家已在区域层面或国家层面实施了用于管理农用塑料废弃物的收集计划。[43] 就这些国家而言，我们更容易获得相关的实践数据，也能够更好的理解农用塑料废弃物的管理情况，尽管在大多数情况下很难比较、分析这些数据。对于尚未设立收集计划的国家，[44] 由于缺乏一个负责收集废弃物管理数据的组织，因此可用的数据十分有限。有鉴于此，我们只能根据假设和少量的可用数据来粗略估计农用塑料废弃物的产生量，并评估管理实践。

[43] 法国、德国、爱尔兰、意大利、西班牙及瑞典。
[44] 波兰、荷兰、保加利亚、芬兰及希腊。

3.0 废弃传统农用塑料管理

本章重点探讨在管理传统农用塑料废弃时所面临的挑战。本章将主要着眼于两个相互关联的问题：制约农用塑料废弃物分类收集的障碍和制约其回收再利用的障碍。这两个问题之间存在某些交叠之处，因为制约其回收利用的障碍也会削弱农户收集塑料废弃物的动力。



本报告采用如下结构：

- **制约农用塑料废弃物收集的障碍（第3.1节）：**
  - **清除遗留在田间地头/农家庭院中农用塑料时遇到的障碍（第3.1.1）：**在完全清除土壤中地膜时遇到的挑战。
  - **农民无法享受收集计划所提供服务（第3.1.2节）：**探索为什么自由市场不足以激励农民收集农用塑料废弃物。国家层面生产者责任延伸制度如何促进废弃物回收利用的计划，保证在欧盟成员国内覆盖广泛的地区与产品类型。
  - **制约农民参与收集计划的障碍（第3.1.3节）：**探讨农民可能不参与现行收集计划的原因。
- **制约农用塑料废弃物回收利用的障碍（第3.2节）。**
  - **塑料的设计（第3.2.2节）：**探究农用塑料的物理或化学性质是否会影响其回收。
  - **回收农用塑料的经济效益（第3.2.3节）：**探索回收农用塑料的经济效益，并将其与塑料替代材料的经济效益进行比较。脏污将是我们讨论的关键。
- **不当收集/低回收利用率对环境的影响（第3.4节）：**将与土壤中塑料残留物对环境影响相关的科学文献进行了总结。

与欧洲境内农用塑料收集、回收和生产相关的一些利益相关者的访谈中，被访谈人提供的专业知识为本研究所呈现的研究成果提供了很大程度的支撑。

3.1 传统农用塑料的收集

农用塑料的“收集”是指从农场移除农用塑料到回收商接收农用塑料的阶段。理论上，农用塑料的使用模式应有助于收集——大量单一材质的产品集中在农区，且通常会在一年中的相近时间段内从田间地头/农家庭院中移除（例如，青贮饲料膜被用于旱季/冬季）。然而，如第2.5.4节所述，欧洲境内的农用塑料收集率因国家和产品类型的不同而大相径庭。在下一节中，我们将逐一探讨制约农用塑料废弃物收集的障碍。

3.1.1 移除田间地头农用塑料废弃物

移除、收集和储存遗留在农家庭院/田间地头的农用塑料废弃物是任何收集计划（无论是针对回收还是其他目的）迈向成功的第一步。然而，对于大多数农用塑料来说，除了地膜之外，却并没有强调清除田间地头的农用塑料废弃物其实是农民的重要任务。收集地膜是一个时间密集型（高达16小时/公顷）和劳动密集型的过程，并且残膜重量的很大一部分为包含有机质的土壤，这使得地膜收集变得更加困难。[45,46] 尽管没有证据表明欧洲是将传统地膜直接犁入土中的首个国家（因为中国有时也会采取此类操作），但观察性证据表明，在尝试清除地膜后，通常仍有部分地膜被遗留在土壤之中或土壤之上（即由于破损）。例如，在西班牙，利益相关方观察到薄型地膜（~15微米）在土壤中不断累积，以至于某些类型的作物（例如通过种子播种而长成的谷物）无法生存。[47]

现有非常有限的信息表明，地膜厚度与清除后存留在土壤中或土壤上的残膜数量之间存在相关性。据欧洲农业、塑料与环境协会估计，25微米、20微米和10微米地膜在土壤中的残留率分别为10%、25%和68%（按质量计）；尽管产生这些数据的原始来源/研究尚未得到欧洲农业、塑料与环境协会的证实，而且这些数据似乎出现在利益相关方提交的材料中（例如比利时OWS独立测试机构），以及没有确凿的依据。[48] **因此，这些估算值被认为是专家意见，而不是基于已收集的数据，应谨慎对待。**

针对“用于农业和园艺业且使用后可回收的热塑性地膜”制定的欧洲EN 13655标准规定：黑色地膜的最小厚度应为20-25微米。但是，该标准并非强制性标准：

---

[45] Briassoulis, D.、Babou, E.、Hiskakis, M.和Kyrikou, I.（2015年）。《在实际耕作和土壤掩埋条件下含促氧化剂的聚乙烯地膜的长期降解行为分析》（Analysis of long-term degradation behaviour of polyethylene mulching films with pro-oxidants under real cultivation and soil burial conditions），《环境科学和污染研究》（Environmental Science and Pollution Research），第22卷，第4期，第2584-2598页

[46] 比利时OWS独立测试机构（2017年）《专家声明：（生物）降解地膜》（Expert Statement - (Bio)degradable Mulching Films），于2020年6月24日访问，https://docs.european-bioplastics.org/publications/OWS_Expert_statement_mulching_films.pdf

[47] 来自Asobiocom的通讯，2020年9月

[48] 欧洲农业、塑料与环境协会，Bernard Le Moine在2014年农用薄膜大会上关于非包装用农用塑料行业协会的介绍（Industry association for the non-packaging agri-plastics presentation by Bernard Le Moine at Agricultural Film 2014），引用自《土壤中（生物）可降解塑料的累积》（Accumulation of (bio)degradable plastics in soil），2018年CIPA大会发表的论文，阿尔卡雄，http://cipa-plasticulture.com/wp- content/uploads/2018/06/Deconinck-Arcachon-May-2018.pdf

符合标准的地膜产品比例尚不清楚，虽然众所周知，最薄的薄膜（约10微米）以“节省成本”为卖点进行营销，但是从长远来看，如果这会导致土壤中塑料薄膜的累积残留量日渐增高，并进一步增加作物产量受到负面影响的风险，那么这可能会被证明是一个伪节约的观念。

来自中国的一项研究表明，研究人员在取样过程中发现，地膜在田间土壤中的残留率为15%。[49] 然而，地膜残留率似乎因作物的不同而异，其中棉花和玉米作物的地膜残留率最高，分别为17%和13%。而蔬菜作物的地膜残留率平均为9%。有鉴于在中国使用的地膜厚度通常约为6-8微米（因此与欧洲通常使用的地膜厚度相比，更容易留下残留物），相比之下，欧洲农业、塑料与环境协会的估算值似乎略微偏高。来自中国的该项研究为地膜使用与土壤中残留物之间的关系提供了唯一可靠的数据。缺乏来自欧洲的经验数据是现有知识体系的一大缺口，特别是考虑到中国的数据点显示作物类别对土壤中地膜残留有很大影响。

上述讨论与来自欧洲的观察性证据相一致，这些观察性证据表明对于某些作物类型（例如菠萝），从土壤中清除地膜具有很高难度，多达20%的材料可能会存留在土壤中。[50] **这意味着，对于某些作物类型，目前无法实现100%的地膜清除率。**我们将在本研究第3.4节中更详细地讨论在土壤中累积和残留的塑料残留物对环境的潜在影响。

3.1.2 建立废弃物收集服务

一旦在使用结束后农民成功清除了田间地头或农场中的废旧农用塑料材料，这些材料的收集率就将取决于以下因素：

- 农民是否享有收集服务（按聚合物类型分类收集，以促进回收）；
- 农民是否参与收集计划。

自由市场驱动力

在欧洲各地，农民获得农用塑料材料收集服务的能力各不相同。在一些欧盟成员国，农用塑料的收集完全交由自由市场自行处理，而在其他欧盟成员国，则存在更正式的国家收集计划。在尚未制定国家收集计划的成员国中，只有在有足够经济驱动力的情况下，才会有私营部门主动收集农用塑料。在许多地区，这种经济驱动因素并不存在（特别是对于再生回收服务而言），因为回收商

---

[49] Zhang, D.，Liu, H.，Hu, W.，Qin, X.，Ma, X.，Yan, C.及Wang, H.（2016年）《中国新疆地膜残留现状及分布特征》（The status and distribution characteristics of residual mulching film in Xinjiang, China），《农业科学学报》（Journal of Integrative Agriculture），第15卷，第11期，第2639–2646页

[50] 对欧洲农业、塑料与环境协会的采访

要么会对大多数类型的农用塑料废弃物收取高额垃圾处理费，要么会拒绝接收农用塑料废弃物。我们将在下文中解析这一现象背后的驱动因素，并在第3.2.3节中进行更详细的讨论。

许多类型的农用塑料在回收领域都无利可图，其主要原因可归咎于它们通常脏污程度高且回收料的终端市场十分有限。[51] 与回收此类塑料废弃物相关的成本往往超过所出品回收料本身的价值（尽管厚度高且透明的温室大棚膜是一个例外）。[52] 更清洁的消费后薄膜和工业用后薄膜对回收商而言更具吸引力。因此，回收商对回收农用塑料废弃物的意愿极低，而那些确实接收农用塑料废弃物的回收商则被迫收取高额的垃圾处理费，以确保其在经济上的可行性。
近年来，随着中国全面禁止废旧塑料进口，这一情况更加恶化：过去出口到中国的更高质量的包装用塑料现在正涌入欧洲市场。其结果是，过去接收脏污农用塑料的回收商已经转向了利润更高的替代品。[53]

高脏污程度也会增加农用塑料废弃物的运输成本。地膜在使用后，其重量可以翻两番（即变为其原始重量的三倍），这使得每吨废塑料的运输成本居高不下。[54] 不仅如此，收集商也可能被迫长途运输农用塑料，来保证将废弃物交付给愿意接收农用塑料废弃物并将其用作原料的回收商。[55] 例如，法国的ADIVALOR再生回收计划将收集到的30%的农用薄膜出口到西班牙、波兰和荷兰，因为法国的农用薄膜回收能力不足。[56]

为了收回成本（运输费和垃圾处理费）并计入利润，收集商可能被迫收取与其他处理方案（即垃圾填埋或焚烧）相比不具竞争力的费用。在这种情况下，收集商仅凭一己之力很可能会很难持续。停止提供服务的英国桦木农场塑料有限公司（Birch Farm Plastics）等收集商就从一个侧面印证了这一点（见文本框3-1中的案例研究）。

文本框3-1：案例研究：桦木农场塑料有限公司（英国收集商）

桦木农场塑料公司是威尔士地区唯一一家农用塑料废弃物收集商。但在2019年，由于英国和国外的农用塑料回收经济形势发生巨变，以至于运营一项切实可行的回收服务变得举步维艰，该公司被迫暂停了服务。

在中国全面禁止废旧塑料进口之后，塑料材料大量涌入欧洲市场。过去接收农用

[51] 对荷兰CEDO回收公司、欧洲农业、塑料与环境协会及英国贝里聚乙烯工业公司的采访
[52] 对荷兰CEDO回收公司的采访
[53] 对荷兰CEDO回收公司和英国贝里聚乙烯工业公司的采访
[54] 欧洲农业、塑料与环境协会提供的数据
[55] 对ADIVALOR的采访
[56] ADIVALOR提供的数据

薄膜的回收商转而选择其他更受欢迎、且脏污程度更低的替代材料（包括塑料包装），以弥补其生产能力不足的缺陷。

得益于包装废弃物回收票据（PRN）系统，在英国，塑料包装废弃物特别受回收商的青睐。根据《2007年生产者责任义务（包装废弃物）条例》（Producer Responsibility Obligations (Packaging Waste) Regulations 2007），在英国运营的企业有义务为其包装废弃物支付一定比例的回收利用费用。一经认可的回收商每回收一吨包装，便可签发一份包装废弃物回收票据，然后将该票据出售给有义务使用包装废弃物回收票据系统的公司或合规计划，以证明其符合规例的要求。包装废弃物回收票据系统为英国回收商提供了一项额外的收入来源。

随着替代材料（例如包装）可用度的增加，英国回收商不再像过去那样向废弃物收集商支付运送农用塑料的费用，转而收取高额的垃圾处理费（每吨70英镑以上）。作为回应，同时也为了收回成本，桦木农场塑料公司等农用塑料废弃物收集商被迫提高收集费用，以至于与垃圾填埋相比，它们不再具有竞争力。[57]

在农用塑料废弃物的收集完全由自由市场自行完成的国家，某些地区可能会提供再生回收服务（例如，在需要原料的回收厂的周边地区），但是其他地区则不提供再生回收服务。此外，对于一些更受欢迎的材料（例如透明的温室大棚膜），可能提供相应的再生回收服务，但对于其他材料（例如地膜）则不提供此类服务。这是意大利许多种植户的经验（见文本框3-2）。这种“拼凑式”回收服务模式制约了高收集率的达成。

文本框3-2：案例研究——意大利的农用塑料废弃物收集[58]

在意大利，种植户的经验是，废弃物管理者会以低成本或零成本收集温室大棚膜，但往往拒绝收集地膜（尤其是地膜在废弃物中占很大比例的情况下）。如果由收集者收集地膜，则收取每公斤10–26美分的费用。

此外，同一国家不同地区的农用塑料废弃物收集组织管理水平也迥然相异。在一些地区（例如在意大利的艾米利亚-罗马涅区），废弃物收集的组织管理水平较高（小种植户将他们的农用塑料废弃物带到农业联盟旗下的收集中心，然后废弃物管理者以预约方式，从这些中心取走农用塑料废弃物。废弃物管理者也可以直接从大型农场收集农用塑料废弃物）；但是其他地区（例如意大利中南部地区）的情况则有所不同，某些地区甚至并未设立收集中心。

[57] 《新闻稿：暂停聚乙烯废弃物收集》（Press Release - Polythene Collections Suspended），于2019年3月18日访问，http://www.birchfarmplastics.co.uk/press-november-14.php

[58] 由ENT举办的意大利种植户网络研讨会 – 2020年4月23日

国家生产者责任延伸制计划

通过制定国家生产者责任延伸制计划（摘要见本报告第2.6节），一些欧盟成员国已扫清了制约再生回收服务的经济障碍。这些计划背后的意图是，生产者为其投放到市场上的农用塑料产品提供支持，保证其废弃时得到妥善管理。通常情况下，生产者为他们投放市场的每一吨产品支付"环保费"。该费用由一家中间机构负责收集，用于资助材料使用废弃后的收集和回收（或处置）活动。此类计划通常基于以下某项因素：

- **法律义务：**例如，爱尔兰的《农用塑料条例》规定，生产商为农用塑料薄膜产品的回收利用提供支持是他们的法律责任，可以通过提供抵押返还方案，或者参与政府批准的农用塑料回收计划（IFFPG）。
- **生产商之间的自愿协议：**法国AVIDALOR计划、德国ERDE计划和瑞典SvepRetur计划都是基于此类协议。在该自愿模式下，如果未能达成收集率和/或回收率目标，生产商通常会面临政府采取规管行动的风险。德国ERDE计划的目标是到2021年，将青贮塑料膜与拉伸膜的收集率和回收率均提高至50%，到2022年提高至65%。[59] 而法国ADIVALOR计划的目标是：废旧农用薄膜的收集率达到75%，薄膜材料的回收率达到99%。[60]

确保向所有农民提供服务通常是国家收集计划的首要任务。这也是法国农民联合会（French Farmers' Association）在设立ADIVALOR计划时提出的一个条件。[61]

不同的生产者责任延伸制计划所收集的农用塑料产品类型范围也各不相同，但通常包括所在国家/地区主要使用的农用塑料制品（例如，爱尔兰生产者责任延伸制计划致力于收集青贮饲料缠绕膜和青贮料板塑料片，但不收集地膜，因为在爱尔兰，以畜牧业为主的农业部门很少使用地膜）。与倚赖自由市场驱动的收集服务不同的是，生产者责任延伸制计划的资助方式是，针对回收商几乎没有甚至完全没有需求的产品类型，仍然可以提供收集服务。

3.1.3 参与收集服务

收集服务的存在并不是高收集率唯一的先决条件；农民参与此类服务也至关重要。我们将在下一节中探讨可能影响收集服务参与率的各项因素。

---

[59] 《农用薄膜回收：德国Erde倡议自愿承诺到2022年回收率将达65%》（AGRICULTURAL FILMS RECYCLING: Germany's Erde initiative presents voluntary commitment to 65% recycling rate by 2022）| Plasteurope.com网站，于2020年5月3日访问，https://www.plasteurope.com/news/AGRICULTURAL_FILMS_RECYCLING_t242812/

[60] ADIVALOR - 《ADIVALOR展望》（ADIVALOR - Outlook），于2020年5月4日访问，https://www.ADIVALOR.fr/ADIVALOR/objectifs_2004.html

[61] 对ADIVALOR的采访

服务成本

农民在管理农业废弃物时可能会选择成本最低的选项（在存在选择的情况下）。如本研究第3.1.2节所述，这可能会威胁到某些地区、或针对某些产品的再生回收服务（特别是在收集服务的成本未能获得生产者的补贴的情况下）。

生产者责任延伸制的好处是，生产者通过在将产品投放市场时支付环保费，进而补贴了很大一部分的收集成本和处理成本。尽管部分（或全部）环保费可能会通过产品成本转嫁给农民，但在农民最终决定产品废弃时的处理方式时，会支付这部分费用。法国、德国和爱尔兰的生产者责任延伸制计划都要求农民在收集点也要付费。例如：

- **IFFPG（爱尔兰）：**针对青贮饲料缠绕膜/青贮料板塑料片，废品回收站会向农民收取每半吨20欧元的费用，如果前往农家庭院收集，则会向农民收取每半吨45欧元的费用。[62] 通过这类经济措施，农民直接资助了该计划约30%的费用。[63]
- **ADIVALOR（法国）：**针对地膜和料板塑料片，农民最高需负担每吨155欧元的费用，具体收费因脏污程度的不同而异。对于清洁、厚实且透明的温室大棚膜/大拱棚膜，农民可以获得每吨50欧元的*补贴*。收集其他农用塑料产品时，农民不需要支付费用。[64]
- **ERDE（德国）：**向农民收取青贮饲料缠绕膜/青贮料板塑料片的收集费。这些费用由经过认可的收集点自行设定，因此可能会有所不同。该计划根据已收集的塑料吨数，向收集点发放补贴，并通过这一机制激励收集点采用有竞争力的收集费。[65]

生产者责任延伸制运营商并不认为征收收集费用是导致收集率低的主要因素，因为收集费用比其他（合法）的处理方案更便宜。例如，在爱尔兰，填埋场的塑料垃圾处理费为每半吨70至80欧元，远高于废品回收站每半吨20欧元的收费。
然而在德国，采用焚烧方式处置塑料是一种可选方案，但是相对昂贵。从农民的角度来看，加上生产者的补贴，ERDE收集点应该始终是最便宜的选项。[66] 然而，收集点征收任何费用都可能阻碍农民参与收集计划。

计划便捷性

对农民来说，对农用塑料材料进行怎样的预处理，以及将其运送到收集点所需花费的时间和精力决定了收集服务的便捷性。大多数再生回收计划都要求农民以某种方式对废旧农用塑料进行预处理，例如，要求去除脏污，然后将不同类别的农用塑料分别卷成团/装袋（见附录A.3.1中法国ADIVALOR计划对废旧农用塑料进行预处理的说明）。为支持这一要求，收集

---

[62] 《常见问题与解答》（FAQ），于2020年5月4日访问，/www.farmplastics.ie/faq/
[63] 对IFFFG的采访
[64] ADIVALOR提供的数据
[65] 对RIGK的采访
[66] 对RIGK的采访

费用的设置中通常激励农民清除脏污（例如按重量计费）。受访的利益相关方并不认为预处理要求特别繁琐。不过有人指出，农民在清除脏污上所花费的时间可能取决于后续的经济效益——当按重量收取收集费时，管理多种材料的农民可能会花费更多的精力去清洁废旧农用塑料。[67]

回收点的基础设施也是评判计划便捷性的关键因素。大多数生产者责任延伸制计划每年都会在农民经常光顾的地点（例如零售点、贸易点、合作社及农贸市场）开设持续运营一定天数的“废品回收点”或“废品回收站”；法国农民共同合作讨论决定，农民离最近的废品回收点的平均距离应为15至20公里；[68]类似的是，爱尔兰农民离最近废品回收站的平均距离为10公里；[69]能够积攒大量的废旧塑料、并且至少能装满一个集装箱的话，农民也可以选择就地收集；该选项可能收费更贵也可能基本持平，具体取决于农民的材料积攒量和农场与回收工厂之间的距离。

一般而言，对废旧农用塑料进行预处理，并将其运送到收集点这项要求并不是制约农民参与收集计划的主要原因，但它可能会令少数农民望而却步——尤其是对于那些只积攒了少量农用塑料废弃物，且这些废弃物可以通过其他途径进行处理（例如混入家庭废弃物或就地焚烧）的农民。

农民意识

在某些情况下，尽管某项收集计划已经构建了密集的收集网络，并且比其他处理方式更具有价格优势，但收集率仍可能相对较低。德国的ERDE计划正是如此。尽管该计划的地理覆盖范围甚广（2019年，该计划运营着450个收集点和1,200个移动收集站），并且是农民可享有的最便宜的处理方案，但青贮饲料缠绕膜和青贮料板塑料片的收集率仅约40%。[70]该计划的运营商认为，造成这一现象的主要原因是农民对该计划缺乏了解——德国的一些农民仍然会选择收取额外费用的私营废弃物处置公司。[71]

随着时间的推移，加上精心策划的系统全面的沟通计划，ERDE有望打破这一障碍。ERDE计划利用分销供应链向农民传递信息，包括收集日期和接收条件。该计划还在多个大型农产品展会上进行宣传。此外，在运营的第一年，ERDE计划的代表会值守在所有收集点，并以此为契机向农民宣传回收流程和提供清洁塑料的重要性。[72]

---

[67] 对ADIVALOR的采访
[68] 对欧洲农业、塑料与环境协会的采访
[69] *《常见问题与解答》（FAQ）*，于2020年5月4日访问，https://www.farmplastics.ie/faq/
[70] 对RIGK的采访
[71] 对RIGK的采访

文化因素

文化和农民对废弃物管理的态度可能是制约农民参与收集计划的障碍。例如，尽管ADIVALOR计划在整个法国范围内都推行相同的举措，但法国北部的收集率要高于法国南部地区。据报道，法国南部地区的农民对废弃物管理的态度与法国北部地区有所不同。[73]

材料数量

国家收集计划提供的数据表明，即使农民可以使用相同的系统将塑料废弃物送去回收，但不同的农用塑料产品的收集率各异。例如，在法国ADIVALOR计划下，网套和绳线的收集率在30%至40%之间不等，而农用薄膜和塑料灌溉管的收集率则超过70%。该计划的运营商认为，造成这一差异的主要原因是各个农场的废旧材料产生量不尽相同。

法国的一个农场每年可能会积攒小于100公斤（这将占用一个小型轮式垃圾桶大小的空间）的网套和绳线，而且如果农民愿意的话，面对产生量如此之低的废弃物，使用其他处理方案更为可行（例如混入家庭垃圾收集或进入城市垃圾收集中心）。[74]但是对于大量的、沉重的废旧农用薄膜而言，其他方案并不可行。

农用塑料废弃物管理不善

有证据表明，即使在已推行生产者责任延伸制计划的国家，农用塑料废弃物管理不善的情况也时有发生。例如，法国农业部在2016年开展了一项关于未回收农用塑料废弃物处理的研究。据该研究估计，有5%的农用薄膜和15%的网套与绳线在农场被焚烧。[75] 导致这一现象的确切原因尚不清楚，但可能是为了规避针对地膜收取的按重量计费的收集费，或者是因为网套/绳线的体量太少使得这种材料更容易被就地焚烧，并且不被发现。由于这些数据出自一个国家收集计划推行颇为成功的国家，因此在无法享有此类计划的地方，上述百分比数据可能会大得多。

传统农用塑料收集情况总结

概言之，在欧洲境内，制约农民收集农用塑料进行回收利用的主要障碍是：

- **地膜的技术特性，这可能意味着很难在不破损的情况下完全移除土壤中的地膜；**

---

[72] 对RIGK的采访
[73] 对ADIVALOR的采访
[74] 对欧洲农业、塑料与环境协会的采访
[75] 基于调查问卷和对ADIVALOR的采访；和2016年法国农业部开展的关于未回收农用塑料废弃物处理处置的研究（由ADIVALOR和多家私营企业联合开展）

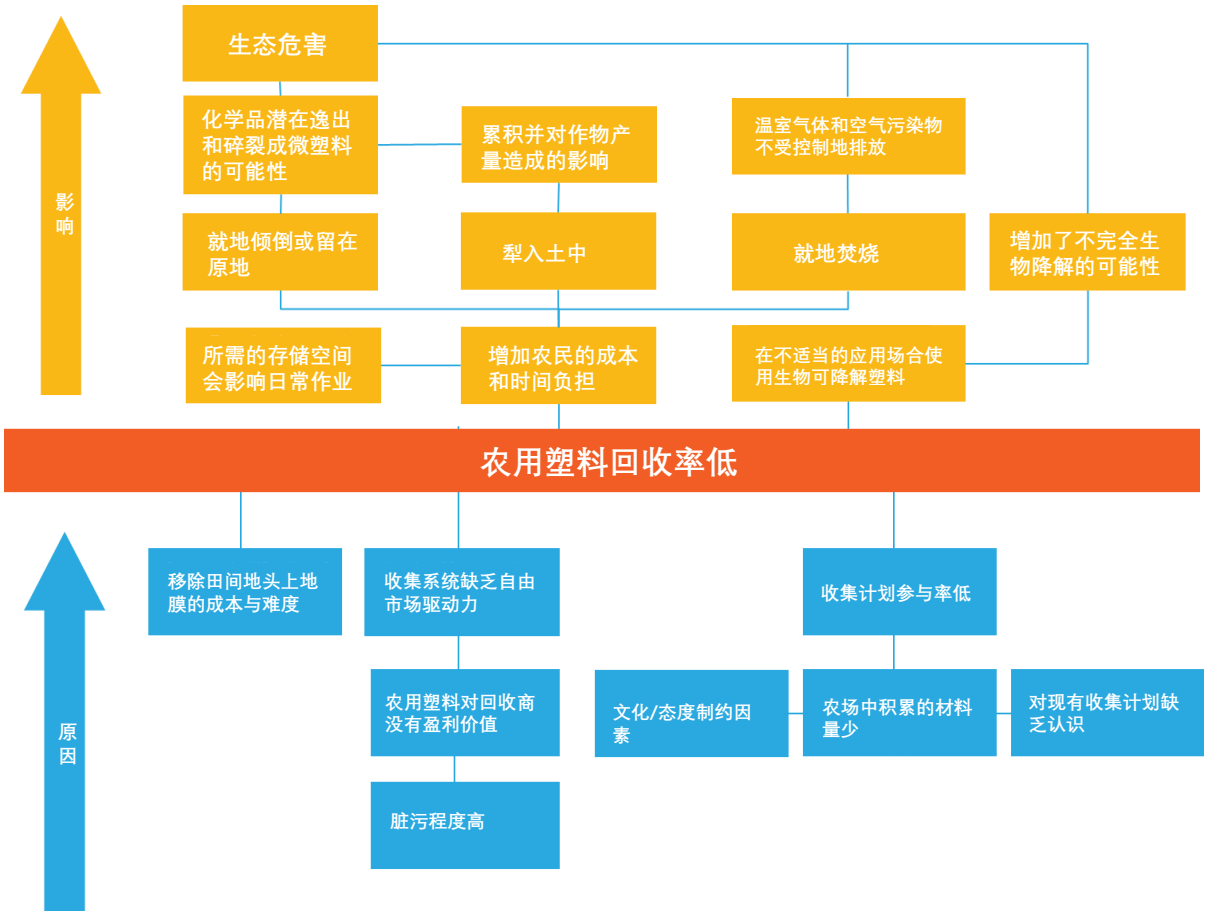
- **针对农用塑料废弃物的分类收集，缺乏有效的经济激励机制和/或监管激励机制**（例如，除了少数特例之外，大多数农用塑料产品对回收商没有盈利价值，因此相关方几乎没有动力去收集废旧农用塑料。这一现象背后的原因将在本研究第3.2.3节中进行更详细的探讨）；

在已设立收集计划的地区也存在以下问题：

- **农民对现有计划的认识不足**；且
- **缺乏能够有效激励所有农民参与农用塑料废弃物收集的机制**（例如，农民可能会选择就地焚烧废弃物或将其混入家庭垃圾，对于网套和绳线等体量极小且更容易四处分散和管理不善的农用塑料而言尤其如此）。

与农用塑料收集相关的问题树如图3-1所示。该图显示了制约废旧农用塑料收集的一些重要因素之间的相互关联，以及这些障碍可能会导致的负面影响。我们将在第3.4节中对这些负面影响展开更详细的讨论。

图3-1：农用塑料收集问题树



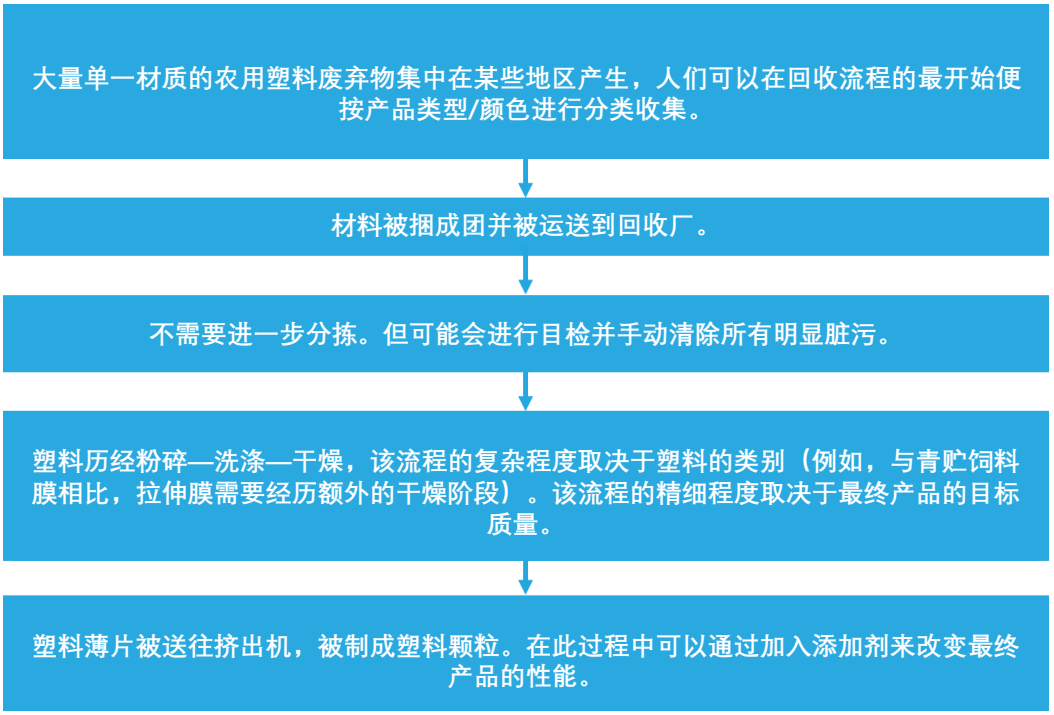
3.2 传统农用塑料的回收

正如第2.0节中强调的那样，在欧盟境内，非包装用农用塑料废弃物目前的收集率仅为28%（基于欧洲农业、塑料与环境协会提供的信息）。本节将重点探讨制约实现高回收率的障碍。

3.2.1 农用塑料回收工艺

机械回收是欧洲农用塑料回收的主要工艺（农用塑料薄膜的化学回收已在实验室层面进行了试点，但尚未投入商业运作）。[76] 典型的农用塑料机械回收工艺如图3-2所示：[77]

图3-2：农塑料机械回收工艺



3.2.2 传统农用塑料的设计

至关重要的是，首先要确定农用塑料的设计（即物理/化学性质）是否有利于其废弃时的回收。Briassoulis等人（2013）测试了一系列农用塑料在使用、储存及运输过程中的内在特性（例如拉伸强度、含水量、异物含量），以确定这些理化性质可能随时间推移的变化程度，以及这些理化特性在多大程度上会影响

---

[76] 对塑料能源公司（Plastic Energy）的采访

[77] Briassoulis, D.，Hiskakis, M.和Babou, E.（2013年）《农用塑料废弃物机械回收技术规范》（Technical specifications for mechanical recycling of agricultural plastic waste），《废弃物管理》（Waste Management），第33卷，第6期，第1516-1530页

塑料的可回收性。[78]被研究的对象包括温室大棚膜、大拱棚膜、小拱棚膜、地膜和青贮饲料膜。该项研究发现，大多数被测试的农用塑料的内在特性并没有影响其后期的可回收性。

该研究还发现，大多数塑料在暴露于紫外线辐射下后，并不会发生严重到足以影响其可回收性的分解；唯一的例外是，在田地地头存留五个月后的、未受保护的意大利地膜。[79,80] **目前尚不清楚这会对回收商造成多大程度的影响，尽管观察性证据表明，在意大利/西班牙，有大量地膜暴露在紫外线下后，变得不再具有可回收性，因为它们已经开始变脆或裂成碎片。**[81]地膜一般只能用一季，往往质量较低/厚度更薄，并且不太可能使用紫外线稳定剂，这可能是与这种产品类型有关的特殊原因。

3.2.3 回收农用塑料的经济效益

技术上，大多数的传统农用塑料可以回收。但是，回收商有权利选择接收何种材料。例如，从事农用塑料薄膜回收的回收商通常也可以回收其他类型的薄膜（家用薄膜、商用薄膜及工业用后薄膜）。回收商做出选择的一个关键因素是回收每种塑料的经济效益（即利润率）——这需要根据垃圾处理费、再加工（和处置）成本以及回收料价值进行计算。**目前，农用塑料较高的脏污程度以及对回收料的需求不足，导致大多数农用塑料的回收利用缺乏吸引力，甚至会是一场长期的商业冒险。**下一节将进一步探讨这一要点。

3.2.3.1 脏污

脏污程度高是农用塑料回收所面临的一个主要问题。从回收商的视角来看，这是将农用塑料与其他类型塑料（例如家用塑料、商用塑料及工业用后塑料）区分开来的一个主要因素。典型的脏污物包括沙子、土壤、有机物和水分，尽管观察性证据也表明：动物骨骼和金属等其他杂物也会混入其中。[82]从回收商的角度来看，秸秆、木材和其他植物是最难处理的杂质。这种物质往往会随着塑料漂浮在水面，因此难以

---

[78] Briassoulis, D.，Hiskakis, M.及Babou, E.（2013年）《农用塑料废弃物机械回收技术规范》（Technical specifications for mechanical recycling of agricultural plastic waste），《废弃物管理》（Waste Management），第33卷，第6期，第1516-1530页

[79] Briassoulis, D.，Hiskakis, M.，Babou, E.，Antiohos, SK及Papadi, C.（2012年）《关于与回收和能量回收潜力相关的农用塑料废弃物质量特性的实验研究》（Experimental investigation of the quality characteristics of agricultural plastic wastes regarding their recycling and energy recovery potential），《废弃物管理》（Waste Management），第32卷，第6期，第1075-1090页

[80] Briassoulis, D.，Hiskakis, M.及Babou, E.（2013年）《农用塑料废弃物机械回收技术规范》（Technical specifications for mechanical recycling of agricultural plastic waste），《废弃物管理》（Waste Management），第33卷，第6期，第1516–1530页

[81] 对CEDO的采访

[82] 对IFFPG的采访

分离，最终这类杂质会进入再生材料中。脏污程度受以下因素影响：

- **农用塑料的类型**（见第 2.5.4节中图2-8）：
  - 地膜由于与土壤直接接触，因此通常脏污程度极高。此外，地膜厚度也很薄，因此含泥量与聚合物量的比值也很高。温室大棚膜通常是脏污程度最低的薄膜类型，因为它与土壤/植物/青贮饲料的接触有限，而且厚度相对较高。
  - 牧草捆草网往往含有青贮饲料/稻草等脏污物，且脏污物含量通常会高到目前无法在欧洲境内被回收（尽管法国ADIVALOR已在研发领域投入资金来解决这个问题，并且希望在2023年前拥有第一家可以在全球范围内回收牧草捆草网的工厂）。[83] 市场上还有一种被称为“网套替代膜”的替代产品。据悉，有人认为它很容易回收。[84] 然而，该产品目前只占市场份额的一小部分（<5%），因为其价格比牧草捆草网更高，并且尚未被证明能够用来生产品质更高的青贮饲料膜。[85]
  - 塑料灌溉管道和管材由较厚的塑料材料制成，因此与薄膜相比，脏污程度往往相对较低。[86]
- **作物类型**（见图3-3）：例如，用于栽培芦笋和马铃薯的地膜比用于栽培甜瓜和草莓的地膜脏污程度更高——后者塑料回收量是前者的两倍。[87] 值得注意的是，目前尚无法获得将作物类型与脏污程度联系起来的详细信息。
- **气候：**相对潮湿的气候往往会产生更多的脏污农用塑料。在爱尔兰，据估计，雨水在青贮料板塑料片/青贮饲料缠绕膜的脏污物总质量中占比50%。[88]

我们可以采取一些做法和技术来帮助降低塑料废弃物的脏污程度。在收集点汇集废旧材料之前可采取的任何措施都能够带来最大裨益，因为这些措施可减少运输的脏污物：

- **储存方式：**与存放在室内的农用塑料相比，存放在室外的农用塑料的脏污程度可能更高（尤其是含水量）。[89] 这种做法可能对于位于湿润气候区（例如爱尔兰）的农户特别有益。

---

[83] 对欧洲农业、塑料与环境协会/ADIVALOR的采访
[84] 对IFFPG的采访
[85] 对Tama Europe的采访
[86] 对ADIVALOR的采访
[87] 欧洲农业、塑料与环境协会的数据
[88] 对CEDO的采访
[89] 对IFFPG的采访

然而，鉴于目前的耕作方式和相对较低的服务成本，爱尔兰IFFFG计划一直在努力引导农民接受这种做法。[90]

- **清除田间地头废旧地膜的方法：**
  - 可采取人工或机械方式清除田间地头废旧地膜。有证据表明，与人工清除方式相比，机械化地膜清除方式可以减轻废旧地膜的脏污程度。一种新型的地膜清除技术（“RAFU”或“废旧农用薄膜回收利用技术”）已在法国进行试点。这是一种拖拉机附件，可以在从田间地头移除废旧地膜后，完成地膜机械化清洁和卷膜作业（见附录A.3.2）。试点结果表明，该技术的使用可以将杂质从地膜原始重量的3至4倍减少到1.4至1.7倍。据估计，该机器的成本将为25,000至30,000欧元。对于参与法国ADIVALOR计划的大型种植户来说，地膜重量减轻，可以减少相应的收集费，因此可以在3年内收回投资。[91]
  - 目前还没有官方数据显示在欧盟境内使用人工和机械清除技术的农民的比例。但考虑到与之相关的费用，可以假定，机械清除技术的使用将仅限于大型农场。据估计，目前在法国，大约50%的胡萝卜栽培地（按面积计）正在使用RAFU技术，但该技术尚未被用于任何其他作物。[92]据一家西班牙农机经销商估计，至少90%的农用塑料清除采取人工清除的方式。[93]
  - 一些其他的做法也有助于降低废旧地膜的脏污程度，例如在揭起地膜前几天对进行灌溉，使附着在地膜上的泥土变软，以及在卷膜之前将地膜悬挂一晚。

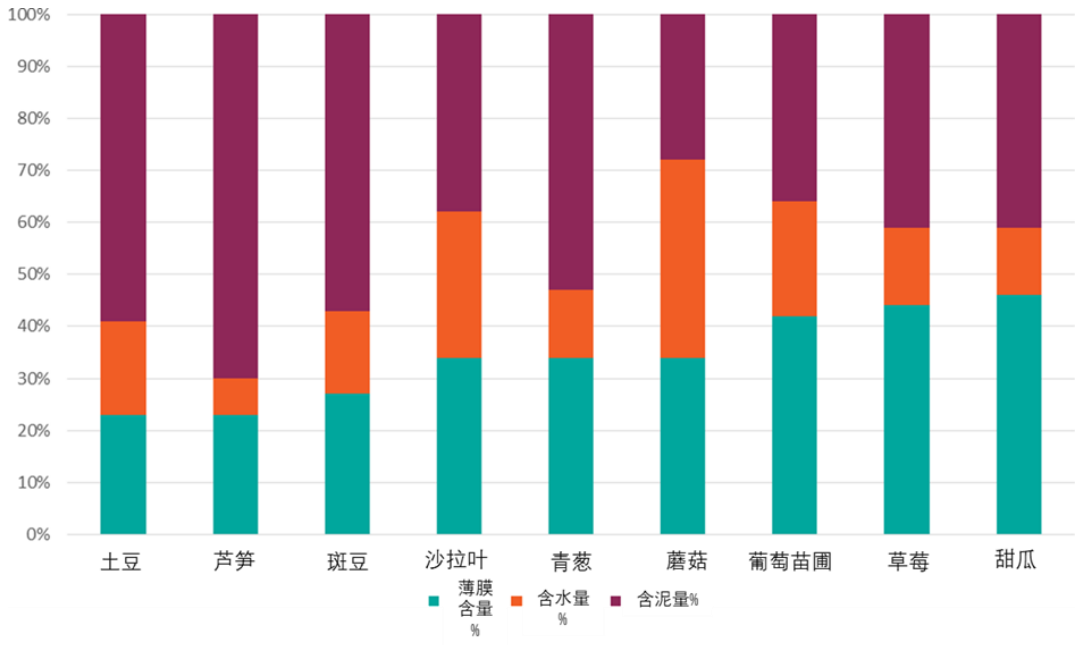
尽管可以采取上述措施，但对农民来说，有些脏污物的含量很难降低，特别是小颗粒的泥土、青贮饲料、粘土、石块和粪污，因此废旧地膜不可避免的存在一定程度的脏污。
利益相关方认为，即使采用最佳实践，地膜的脏污程度仍有望高达30%至40%（下限值取决于作物、气候和土壤类型等特定条件）。[94]

为了解决这一问题并提高地膜回收率，ADIVALOR正在投资500万欧元建设一座产能为1万吨的预处理工厂，该工厂将对地膜进行粉碎、清洗和干燥等，以生产可以出售给回收商的“清洁有弹性”的产品。[95]

---

[90] 对IFFPG的采访
[91] 对欧洲农业、塑料与环境协会的采访
[92] 对ADIVALOR的采访
[93] 对一家西班牙农机经销商的采访
[94] 对ADIVALOR、GWC及MAPLA的采访
[95] ADIVALOR（2019年）《实现100%废旧地膜回收率：这如何可能？》（Reach 100% Recycling of Mulch Films - Is It Possible?），2019年

图3-3：不同作物的地膜脏污程度



资料来源：根据欧洲农业、塑料与环境协会的数据改编

从纯粹的技术角度来看，回收商可以应对高脏污程度的塑料废弃物。例如，回收厂可以处理含泥量达60%甚至更高的原料，并且仍能生产出可以被挤压成型的再生颗粒。[96] 然而，处理加工脏污的塑料废弃物会产生大量的额外成本：

- 在付诸加工之前必须完成一个密集清洗步骤，因此会增加资金成本和运营成本。[97]
- 沙子等脏污物会损坏或侵蚀设备叶片，因此会增加维护成本。[98]
- 在将脏污物从聚合物中分离出来之后，回收商需要承担处置脏污物的费用（对于规模相对较大的回收商来说，这可能涉及每年数千吨的沙砾、石块、污泥和细粉，且每吨成本为70–130欧元）。[99]

---

96 WRAP（2012年）《薄膜再加工技术和收集计划》（Film Reprocessing Technologies and Collection Schemes）

97 Briassoulis, D.，Hiskakis, M.，Babou, E.，Antiohos, SK及Papadi, C.（2012年）《关于与回收和能量回收潜力相关的农用塑料废弃物质量特性的实验研究》（Experimental investigation of the quality characteristics of agricultural plastic wastes regarding their recycling and energy recovery potential），《废弃物管理》（Waste Management），第32卷，第6期，第1075-1090页

98 Briassoulis, D.，Hiskakis, M.，Babou, E.，Antiohos, SK及Papadi, C.（2012年）《关于与回收和能量回收潜力相关的农用塑料废弃物质量特性的实验研究》（Experimental investigation of the quality characteristics of agricultural plastic wastes regarding their recycling and energy recovery potential），《废弃物管理》（Waste Management），第32卷，第6期，第1075-1090页

99 对荷兰CEDO回收公司的采访

- 回收厂的效率也会受到影响；脏污严重的塑料的产率（即每吨投入物料所能获得的聚合物产出的产量）会明显偏低（见表3-1）。产率越低，每吨回收料的生产成本就会越高（因为必须花费时间和精力来清除非目标材料）。商用薄膜和工业薄膜的典型产率为75–85%，而农用薄膜的平均产率则为45–50%。[100]
- 产率在一定程度上受材料厚度的影响。回收商收到的农用塑料的典型厚度因产品类型的不同而异，从最薄的拉伸膜（8微米）到温室大棚膜（300微米）。[101] 这意味着表面积与质量的比率会影响脏污物的含量，即较薄的薄膜更有可能导致较低的产率。

表3-1：按薄膜类型分列的产率估算值

	薄膜类型	每吨投入物料的产率	厚度
农用薄膜	地膜	33 — 35%	15 – 20µm
	拉伸膜	45 – 50%	8 – 12µm
	青贮料板塑料片	50%	100 – 180µm
	拱棚膜	50%	20 – 50µm
	温室大棚膜	60% — 70%	80 – 300µm
	平均值	**45 – 50%**	**-**
非农用薄膜	家用薄膜	50%	-
	商用薄膜	75 – 80%	-
	工业用薄膜	80 – 85%	-
	生产过程中边角料	95%	-

资料来源：荷兰CEDO回收公司（欧盟大型塑料回收商）预计的专家意见

表3-2显示，在某些情况下，加工这些材料的成本接近或可能超过其销售价格，这揭示了为什么脏污程度往往决定着塑料废弃物是会盈利还是亏损。这一结果的得出是基于工商业用（C&I）塑料薄膜废弃物的情况，这些薄膜材质通常相似，但其脏污程度往往不尽相同。

[100] 对荷兰CEDO回收公司的采访
[101] 来自荷兰CEDO回收公司的数据

表3-2：回收塑料薄膜的成本和收益（单位：欧元/吨）

		农用薄膜	工商业用塑料薄膜
加工成本		380 - 480	280 – 300
废水处理成本		20 – 25	-
脏污物处置成本		70 – 130	50 – 60
总成本		**470 - 635**	**330 – 360**
回收料销售价格	青贮料板塑料片、拉伸膜	**550** **600 – 620**	**550 – 670**

资料来源：荷兰CEDO回收公司（欧盟大型塑料回收商）预计的专家意见

3.2.3.2 农用塑料回收料的价值

回收农用塑料的经济效益取决于所出产回收料的价值以及回收成本。对再生颗粒的需求取决于其质量、颜色以及与原生塑料相比的成本。

质量和颜色

由农用塑料制成的颗粒品质通常较差，但也会受投入物料类型影响。[102] 例如：

- 大多数类型的农用塑料（地膜、青贮料板塑料片和青贮饲料缠绕膜、拉伸膜和灌溉管）颜色都较深，这限制了回收料的应用。但是也有一些例外情况，包括温室大棚膜和拱棚膜。
- 尽管目前尚未普及，但多层青贮饲料膜已经开始现身欧洲市场。这些薄膜包含一个可以提高其性能的非聚乙烯层（例如EVOH、尼龙）。 然而，在回收过程中，由这些废旧薄膜制得的颗粒会存在薄弱点或“凝胶”。回收商很难确定此类物料的含量。一家回收商指出，这一限制意味着他们只能回收青贮料板塑料片，以用于较厚薄膜的生产（即250–300微米的建筑薄膜）。[103]

[102] 对英国贝里聚乙烯工业公司的采访
[103] 对英国贝里聚乙烯工业公司的采访

- 拉伸薄膜在所有农用薄膜中性能最佳，并且可以产出最高品质的回收料（尽管再加工过程更为复杂）。[104]

除了质量限制之外，再生塑料的购买者往往对来自农业来源的颗粒更加警惕，因为担心此类颗粒可能与农药密切接触、有异味等。[105] 因此，农用塑料颗粒的终端市场非常有限。唯一常见的应用是垃圾袋、建筑薄膜和厚塑料型材（例如，用于生产公园长椅的“塑化木”）。

价格与原生塑料

原生塑料的价格对再生塑料颗粒的需求也有很大影响。在所有条件都相同的情况下，从制造商的视角来看，使用原生塑料比使用塑料回收料更为便捷——前者供货质量高、具有良好的一致性，且批次之间并无差异。一般来说，如果原生塑料价格高于每吨1,200欧元，制造商会选择使用回收料，但当原生塑料价格低于每吨1,000欧元时，回收商则将很难找到再生颗粒的销售出路。

再生成分

鉴于农用塑料回收料的终端市场十分有限，它在制造新的农用塑料产品方面的使用程度是推动需求的关键。一家塑料回收商指出，在大多数农用塑料制品中，再生成分在原材料中可以至少占比25%，而在地膜生产中，再生成分占比则可高达70%（使用者对地膜没有高品质的要求，且地膜一般只能用于一个生长季节）（进一步的估算值请见表3-3）。[106]

表3-3：农用薄膜中再生成分的可能占比（估算值）

薄膜类型	再生成分的可能占比
拉伸膜	20%
温室大棚/拱棚膜	25%
青贮饲料膜	50%
地膜	70%

资料来源：荷兰CEDO回收公司

- 从过去的经验看，生产商一直不愿意在市场上推销含有再生材料的产品，因为他们担心这些材料会降低产品的品质。[107] 某些类型的农用塑料（例如青贮饲料

[104] 对荷兰CEDO回收公司的采访
[105] 对荷兰CEDO回收公司和塑料能源公司的采访
[106] 对荷兰CEDO回收公司的采访
[107] 对IFFPG、RIGK及Tama Europe的采访

缠绕膜、牧草捆草网、绳线）是农民在“高压之下”使用的——可以开展捆草作业的天气窗口十分狭小——农民不愿意在产品质量方面冒险。[108]

但是，这并不是说农用塑料回收料完全没有用于农用塑料的生产：一家农用塑料回收商/生产商表示，一些材料被再次投入生产厚度较高的农用薄膜（即>100微米）。[109] 同样，TAMA Europe也了解到，有一种含消费后再生成分的绳线产品（而且该产品在性能上，似乎与不含再生成分的绳线并没有任何不同）。农用塑料再生成分在原料中的典型占比并不为大众所知，这主要是因为生产商不愿意将这些信息透露给竞争对手。[110] 很少有生产商会对再生成分的投入比例做出承诺——此种做法堪称冒险之举，因为这会制约他们在油价较低时增加原生塑料的含量，因此此举也会推高与竞争对手相比的生产成本。[111]

3.2.4 农用塑料回收综述

在当前的市场条件下，利用农用塑料废料生产再生颗粒并同时实现盈利是一项颇具挑战性的任务，但是温室大棚膜除外，且在某些情况下，拉伸膜也可除外。[112] 再加工和造粒的成本往往超过其本身的价值（如表3-2所示）。相比之下，利用工商业用塑料薄膜再加工和生产颗粒的成本则要低于产出颗粒的价值，因此可被视作更具可行性的商业模式。因此，回收商要么停止接收农用塑料薄膜，转而接收其他更有利可图的材料（例如工商业用薄膜），要么利用高昂的垃圾处理费以试图实现收支平衡。最成功的农用塑料回收商正在将利用农用塑料颗粒生产垃圾袋等成品（例如，荷兰CEDO回收公司或英国贝里聚乙烯工业公司），因此不需要四处寻找回收料的卖家。[113]

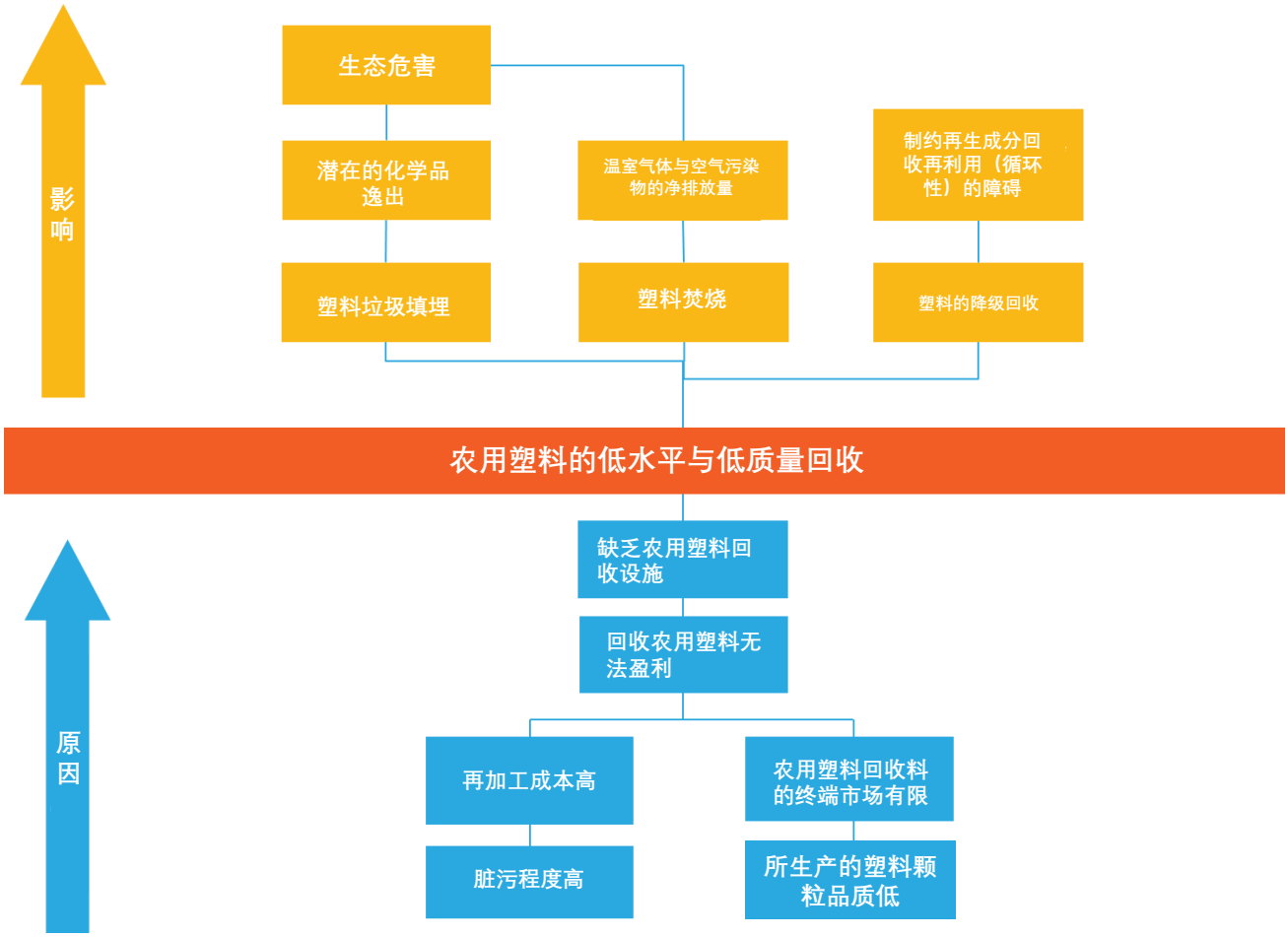
概言之，欧洲境内制约农用塑料回收的主要障碍是：

- **高居不下的加工成本，主要可归因于高脏污程度；**和
- **低价值/有限的回收料终端市场。**

图3-4概述了制约农用塑料回收的主要障碍，如本节所述。

[108] 对Tama Europe的采访
[109] 对英国贝里聚乙烯工业公司的采访
[110] 对RIGK的采访
[111] 对CEDO的采访
[112] 对CEDO的采访
[113] 对英国贝里聚乙烯工业公司的采访

图3-4：制约农用塑料回收的障碍综述



3.3 收集/回收障碍综述（按产品类型归类）

正如截至目前我们在讨论中所强调的那样，农用塑料的质量和特性因产品各异，而这又与制约农用塑料收集与回收的不同因素相联系。为此，我们在下文中对这些变量进行总结，并在在表3-4中直观显示出这些变量：

- **温室大棚膜/大拱棚膜**通常很厚，且不与土壤接触，因此脏污程度低（且回收料产率更高）。它们通常呈透明状，因此相比其他农用塑料制品，可以生产出价值更高的回收料。这些薄膜在市场上仍具有良好的价值，并且受到回收商的青睐。温室大棚膜回收具有经济效益，使得制定并推行私人收集计划也具有可行性，即使在私人收集计划必须与国家生产者责任延伸制计划进行竞争的国家（例如，法国）。在认识到这些事实后，ADIVALOR向农民支付每吨50欧元的费用来购买温室大棚膜。
- **小拱棚膜**的厚度比温室大棚膜/大拱棚膜更薄、脏污程度更高（且回收料出产率更低）。它们往往呈半透明状。

- **地膜**大多为黑色、厚度薄且品质低（因为只需要用于一个生长季节），并且脏污程度极高。它们是最难回收的农用塑料类型，且运输成本居高不下（含泥量可达塑料重量的三倍）。由于废旧地膜没有价值，因此只能通过生产者责任延伸制计划收集（这些计划框架下的收集率往往很高，因为农民可选的其他废旧地膜处理方案十分有限）。由于欧洲EN 13655标准并非强制性要求，因此经常发生无法从田间地头完全回收厚度极薄的地膜的情况。脏污程度也与薄膜的厚度直接相关，因此为了大规模、高效率地回收地膜，应该设定一个最小厚度的要求。
- **青贮料板塑料片**在材料厚度和脏污程度方面均处于中等水平。在已推行覆盖青贮料板塑料片的生产者责任延伸制计划的地区，其收集率通常很高。
- **拉伸膜**是最薄的农用塑料类型，其回收利用过程相对复杂。然而，拉伸膜的塑料特性使其能够产生最高品质的回收料。在某些情况下，回收拉伸膜是可以盈利的。
- 就回收利用而言，**牧草捆草网**是最具挑战性的农用塑料材料。捆草网会和稻草/青贮饲料/其他植物材料一同漂浮在水上，回收过程中难以清除这些杂志，导致再生料的脏污。尽管ADIVALOR在研发领域投入资金来解决这个问题，并且希望在2023年前拥有第一家可以在全球范围内回收牧草捆草网的工厂，但欧洲目前没有任何可以回收草捆网的设施。在通常情况下，一个农场每年积攒的草捆网会相对较少（在法国为<100公斤/年）。即使在已推行生产者责任延伸制计划的地区，收集率的增长也受限，因为农民可以通过其他更便捷的途径（例如混入家庭废弃物）来更实际的处理这类废弃物。
- **绳线**在材料厚度和脏污程度方面均处于中等水平。与捆草网类似的是，即使在已推行生产者责任延伸制计划的地区，农场中积攒的废旧绳线量也通常较低，并因此可能构成制约实现高收集率的障碍。
- 与塑料薄膜相比，**塑料灌溉管与滴灌带**采用相对较厚的塑料制成，且脏污程度相对较低（被欧洲农业、塑料与环境协会视作是脏污程度最低的农用塑料制品）。ADIVALOR无需费力就可以找到此类塑料制品的回收商——西班牙的很多回收商都需要这些废旧管材。

表3-4：收集/回收的障碍，按农用塑料废弃物类型分列

√ = 小障碍； √ √ = 中等障碍； √ √ √ = 大障碍（指示性）

类型	脏污程度高	颜色深	厚度	回收成本	回收料价值	农场积攒量低
温室大棚和大拱棚膜	√	透明	√	√	√	
小拱棚膜	√ √	透明	√ √	√ √	√ √	
地膜	√ √ √	√ √ √	√ √ √	√ √ √	√ √ √	
青贮料板塑料片	√ √	√ √ √	√ √	√ √	√ √ √	
拉伸膜	√ √	√ √ √	√ √ √	√ √	√ √	
牧草捆草网	稻草是主要问题	√ √	不适用	不可回收	不可回收	√ √ √
绳线	√ √	√ √	不适用	√ √	√ √	√ √ √
塑料灌溉管与滴灌带	√	√ √ √	√	√	√	

我们将在第6章中讨论潜在的政策措施，有助克服这些障碍并增加农业塑料分类收集率和回收率。

文本框3-3：欧洲境内农用塑料回收的主要挑战

废弃物品质有待提高

当今欧洲农用薄膜回收行业面临的主要挑战之一是已收集材料的品质。自从中国全面禁止废旧塑料进口的禁令生效以来，来自消费后废弃物的高品质薄膜材料在欧洲就变得越来越多。此类材料成为回收商的首选废弃物，因为农业废弃物的脏污程度要高得多，因此其回收成本也更高。**农用薄膜回收商目前正在为低品质的脏污的来料而苦苦挣扎。这反过来又会对回收过程的效率产生了负面影响，因为要拒收很大一部分来料并因此造成损失，并且还会产生极高的维护成本和处置成本。**此外，以此为来源产出的物料品质相对较低，故而其所获利润率也相对较低。因此，提高已收集材料的品质应该会降低整体回收成本、提高回收效率并吸引更多投资。

塑料垃圾收集率和品质两手抓

收集是确保材料循环再利用的第一步。欧盟成员国普遍缺乏专门面向农用塑料的收集点。
必须提高已收集废弃物的吨数，对回收商来说，实现稳定的来料保证，确保正常运作至关重要。此外，必须对已收集废弃物进行分类和预清洗，以确保回收商收到的原料具有更高的品质。

次生原料市场亟需促进

欧洲亟需推动再生农用塑料市场的发展。就成本而言，原生材料比消费后回收树脂更具吸引力。欧洲需要一些激励机制（例如对其农用塑料产品的生态设计进行规管）来推动消费后回收树脂市场的发展。因此，有必要绘制农用塑料再生材料最终应用路线图，确保再生材料的可追溯性，或以此为基础实施适当的政策措施。目前，农用塑料再生材料主要用于生产垃圾袋（占农用薄膜再生料的70%以上）和托盘用膜，也有少量用回到农用薄膜中。欧盟还需探索具有更高附加值的全新应用领域。此外，农用塑料在透明度、抗紫外线和强度等方面一般会有特殊要求。但再生材料在某些应用领域（例如温室大棚膜或网套）往往无法满足的这些需求。
因此，可以用于农业领域的再生料品种较少。

投资

必须应用最先进的收集技术和分类回收技术，并进一步投资研发新技术，进一步提高再生材料的品质，使其能够应用于高端领域。此外，还需要引入预处理（例如预清洁）步骤，以提高废弃物的品质，并最大限度地减少待回收料中的杂质。这包括在农场层面做出投资，以便在废弃塑料被运送到其他任何地方之前，可以使用相关设备来清除杂质。

价值链协作

农用塑料回收的成功与否是关系整个价值链的重要问题，包括农用塑料生产商、收集商、农民和回收商等。唯有借力于协同行动，才能提升回收率。

3.4 不当收集和低回收利用率对环境的影响

3.4.1 不当收集的影响

本研究的目的之一是审查农用塑料的不当收集对环境造成的影响（即研究农用塑料如果存留在环境中会引发什么后果）。这一领域的大多数学术研究都集中在塑料地膜残留物上，其原因可能是地膜使用范围宽广（它们在占欧洲农业用地覆盖物中占比最大），并且也比其他类型的农用塑料更容易存留在环境中（它们被直接应用于土壤之中，可能很难完全清除和回收）。[114]

3.4.1.1 土壤中地膜的累积残留

本节旨在总结农用塑料残留物（例如微塑料）对土壤健康影响的证据。本节内容基于对相关学术文献的综述。我们只考察了明确关注农用塑料残留物对土壤健康影响的论文（即该综述不包括研究范围更广的针对“塑料”或“微塑料”对土壤健康影响议题的论文）。

如果地膜没有被恰当地收集（无论是出于有意还是无意），就会有塑料残留在土壤中。大多数地膜由聚乙烯（PE）制成，聚乙烯具有耐水解性且不易被微生物降解的特点，因此这类地膜在环境中可能需要很长时间才能被降解。[114] 例如，实验室实验表明，掩埋在土壤中的低密度聚乙烯每年减少的重量仅为初始重量的0.2%。[115] 而Sundt等人（2014年）对塑料垃圾分解问题的综述表明，聚乙烯在田间土壤填埋条件下实现完全降解预计需要300年。[116]

存留在土壤中的地膜会随着时间推移而碎片化，形成大小不一的塑料残留物（从700平方微米到 2,850平方厘米）。[117] 长度小于5毫米的碎片被称为微塑料。因此，地膜多年的不当收集极有可能导致塑料残留物（包括微塑料）在土壤中累积。He等人（2018年）在考察中国西北地区六个棉田中残留地膜分布模式的基础上

---

[114] Steinmetz, Z.，Wollmann, C.，Schaefer, M.等人（2016年）《农业生产中的塑料地膜：》覆盖：用短期农艺效益换取长期土壤退化？》（Plastic mulching in agriculture. Trading short- term agronomic benefits for long-term soil degradation?），《整体环境科学》（Science of the Total Environment），第550卷，第690-705页

[115] Gao, H.，Yan, C.，Liu, Q.，Ding, W.，Chen, B.及Li, Z.（2019年）《地膜覆盖和塑料残留物对农业生产的影响：荟萃分析》（Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis），《整体环境科学》（Science of the Total Environment），第651卷，第484-492页

[116] 拉森等人。（2015年）《微塑料：2015年丹麦境内排放物排放情况及其对环境的影响和来源》（Microplastics: *Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark, 2015*），https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/118180844/Lassen_et_al._2015.pdf

[117] Steinmetz, Z.，Wollmann, C.，Schaefer, M.等人。（2016年）《农业生产中的塑料地膜覆盖：用短期农艺效益换取长期土壤退化？》（Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation?），《整体环境科学》（Science of the Total Environment），第550卷，第690-705页

，提出了一个两步式累积模型。在地膜连续覆膜栽培的15年间，较大（>25毫克）塑料碎片的累积残留量相对稳定，而较小塑料碎片（<25毫克）的累积残留量相对较低。在连续覆膜15年后，较大碎片开始分解变成较小碎片，因此较小碎片的累积残留量逐渐增加，并向更深层土壤迁移。[118]

与水生环境中的微塑料相比，识别、提取和量化土壤中的微塑料更为复杂，迄今为止，对微塑料的大部分研究都是在水生环境中进行的。[119] 尽管人们正致力于开发适当的技术，以测定土壤中是否存在微塑料，但目前还没有一套标准的方法。[120] 因此，关于农业土壤中传统塑料浓度的实地数据非常有限。

现有的数据均来自全球最大的地膜使用国——中国。[121] 研究表明，在长期使用地膜（>10年）的地区，残留塑料薄膜的平均浓度为50至260公斤/公顷。[122] 一些研究在数据引用过程中将中国“国家标准”视为75公斤/公顷。[123,124] 然而，目前尚不清楚中国的情况相较于包括欧洲在内的世界其他地区有多大的可比性。影响土壤中微塑料浓度的因素多种多样，其中包括气候特征、覆膜厚度、覆膜年限、作物类型、覆盖率和废弃时的管理办法。[125] 在中国的一些地区，地膜使用已有近30年的历史，但这些地膜的回收率一直很低（受制于劳动力需求、回收机械效率低下以及缺乏

---

[118] He, H.，Wang, Z.，Guo, L.，Zheng, X.，Zhang, J.，Li, W.及Fan, B.（2018年）《绿洲农业生态系统中长期覆膜滴灌棉田中残膜分布特征》（Distribution characteristics of residual film over a cotton field under long-term film mulching and drip irrigation in an oasis agroecosystem），《土壤与耕作研究》（Soil and Tillage Research），第180卷，第194-203页

[119] Qi, R.，Jones, DL、Li, Z.，Liu, Q.及Yan, C.（2020年）《微塑料和塑料薄膜残留物在土壤环境中的行为：批判性评论》（Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review）《整体环境科学》（Science of the Total Environment），第703卷，第134722页

[120] Zhang, S.，Yang, X.，Gertsen, H.，Peters, P.，Salánki, T. 及Geissen, V.（2018年）《一种从土壤中提取和鉴定轻密度微塑料的简便方法》（A simple method for the extraction and identification of light density microplastics from soil），《整体环境科学》（Science of the Total Environment），第616-617卷，第1056-1065页

[121] Gao, H.，Yan, C.，Liu, Q.，Ding, W.，Chen, B.及Li, Z.（2019年）《地膜覆盖和塑料残留物对农业生产的影响：荟萃分析》（Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis），《整体环境科学》（Science of the Total Environment），第651卷，第484-492页

[122] Liu, E.K.，He, W.Q. 及Yan, C.R.（2014年）《从“白色革命”到“白色污染”：中国农业地膜覆盖》（‘White revolution’ to ‘white pollution’—agricultural plastic film mulch in China），《环境研究通讯》（Environmental Research Letters），第9卷，第9期，第091001页

[123] He, H.，Wang, Z.，Guo, L.，Zheng, X.，Zhang, J.，Li, W.及Fan, B.（2018年）《绿洲农业生态系统中长期覆膜滴灌棉田中残膜分布特征》（Distribution characteristics of residual film over a cotton field under long-term film mulching and drip irrigation in an oasis agroecosystem），《土壤与耕作研究》（Soil and Tillage Research），第180卷，第194-203页

[124] Zhang, D.，Liu, H.，Hu, W.，Qin, X.，Ma, X.，Yan, C.及Wang, H.（2016年）《中国新疆地膜残留现状及分布特征》（The status and distribution characteristics of residual mulching film in Xinjiang, China），《农业科学学报》（Journal of Integrative Agriculture），第15卷，第11期，第2639–2646页

[125] Zhang, D.，Liu, H.，Hu, W.，Qin, X.，Ma, X.，Yan, C.及Wang, H.（2016年）《中国新疆地膜残留现状及分布特征》（The status and distribution characteristics of residual mulching film in Xinjiang, China），《农业科学学报》（Journal of Integrative Agriculture），第15卷，第11期，第2639–2646页

强制性回收政策）。[126,127] 此外，中国目前使用的地膜厚度为6-8微米，而欧洲境内使用的地膜往往厚度更高，一般在15-20微米左右。较厚的地膜在使用后更有可能保持其完整性，因此也更容易进行回收。基于这些知识，可以假设，中国农业土壤中的塑料浓度可能高于欧洲。然而，如本研究第3.1.1节所述，对于任何欧盟国家中地膜收集后残留地膜的比例，目前尚无任何可靠数据。

此外，值得注意的是，地膜尽管扮演着重要角色，但并不是塑料迁移进入农业土壤的唯一途径；其他途径包括城市垃圾、有机固废（污水污泥和厌氧消化物）、肥料和大气沉降。[128] 因此，即使已经对农业土壤中塑料的总浓度进行了量化，但依然很可能难以确定地膜作为来源在其中的占比。

证据基础的局限性

在塑料残留物对土壤健康的长期影响领域，知识相对稀缺且存在矛盾。孤立的田间实验或实验室实验不能作为评估塑料残留物在区域或国家范围内对土壤健康影响的证据。[129] 目前尚不清楚所测试环境的特定性对实验结果的影响程度（报告的结果可能因许多因素受到影响，包括气候、土壤类型、作物种类、地膜类型、覆膜方式等），因此，不清楚实验结果在其他条件下的适用性。此外，结果往往并没有被简单的推演到广泛的背景下——可能很难评估某些发现在现实中意味着什么（例如，作物产量将受到什么影响）。然而，这些证据确实为塑料残留物对土壤健康影响（即正面、中性或负面）提供了一个大方向。

对土壤物理性质的影响

塑料残留物影响土壤健康的方式之一是破坏土壤的物理结构，进而阻碍土壤中水分和养分的运输。只有有限数量的研究对此进行了调查。例如，Jiang等人（2017年）对中国西北部两个监测点地块中土壤的水分运动进行了跟踪研究：在一个地块中，残膜碎片在耕作过程中被清除，而在另一个地块中

---

[126] Zhang, D.，Liu, H.，Hu, W.，Qin, X.，Ma, X.，Yan, C.及Wang, H.（2016年）《中国新疆地膜残留现状及分布特征》（The status and distribution characteristics of residual mulching film in Xinjiang, China），《农业科学学报》（Journal of Integrative Agriculture），第15卷，第11期，第2639–2646页

[127] Gao, H.，Yan, C.，Liu, Q.，Ding, W.，Chen, B.及Li, Z.（2019年）《地膜覆盖和塑料残留物对农业生产的影响：荟萃分析》（Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis），《整体环境科学》（Science of the Total Environment），第651卷，第484-492页

[128] Qi, R.，Jones, DL、Li, Z.，Liu, Q.及Yan, C.（2020年）《微塑料和塑料薄膜残留物在土壤环境中的行为：批判性评论》（Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review）《整体环境科学》（Science of the Total Environment），第703卷，第134722页

[129] Gao, H.，Yan, C.，Liu, Q.，Ding, W.，Chen, B.及Li, Z.（2019年）《地膜覆盖和塑料残留物对农业生产的影响：荟萃分析》（Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis），《整体环境科学》（Science of the Total Environment），第651卷，第484-492页

它们则被保留。[130] 对比结果表明，残膜碎片的存在对土壤的物理性质有显著影响，包括土壤总孔隙度和容重。特别值得一提的是，水流路径与玉米根系的对应性降低，从而限制了水分的利用效率。该研究得出的结论是，土壤中塑料碎片的数量越多，土壤水分渗入的体量越小且速度越慢；这种现象对纤维根系作物（例如小麦和玉米）的影响可能大于对直根系作物（例如棉花）的影响，因为直根作物可以把根扎得更深，能够汲取更深层土壤的水分。然而应当指出的是，研究人员并没有测量监测点地块中存在的塑料碎片的质量和体积，因此研究结果中提及的影响不能与土壤中特定浓度的塑料联系起来。

Yuanqiao等人（2017年）进行了一项实验室实验，测试了6种不同浓度（0至720克/公顷）的残膜对土壤中水分和硝酸盐运移的影响。实验结果表明，塑料薄膜残留物可以阻碍湿润锋的运移，使润湿体积变得不规则。[131] 同样，Bai等人（2019年）发现，在给定的灌溉时间内，塑料薄膜残留物的增加会减缓土壤中水分的运动（测试了五种不同浓度的薄膜残留物，浓度范围从0至800公斤/公顷之间不等）。[132] 应当指出的是，检测到的地膜残留量（浓度）上限远高于在中国观察到的上限。[133]

综上所述，有证据表明塑料残留物可以对土壤的物理结构产生影响。

对土壤生物的影响

极小的塑料碎片（例如<1毫米）可以小到足以被土壤生物群所吸收，例如蚯蚓和螨虫。[134] 这些中型动物群对于维持土壤质量至关重要，例如通过为水流和根系生长创造通道，并将凋零的落叶和作物残茬融入土壤之中。[135] 实验室实验表明，微塑料可以影响蚯蚓的生长发育和死亡率。Cao等人（2017年）将蚯蚓放在装有不同浓度聚苯乙烯微塑料（在土壤中的浓度分别为0%、0.25%、0.5%、1%及2%）

---

[130] Jiang, XJ，Liu, W.，Wang, E.，Zhou, T.及Xin, P.（2017年）《地膜残留对民勤绿洲土壤物理性质和水流行为的影响》（Residual plastic mulch fragments effects on soil physical properties and water flow behavior in the Minqin Oasis, northwestern China），《土壤和耕作研究》（Soil and Tillage Research），第166卷，第100-107页

[131] Yuanqiao, L.，Caixia, Z.，Changrong, Y.，Lili, M.，Qi, L.，Zhen, L.及Wenqing, H.（2020年）《农用地膜残留物对土壤水分和硝态氮运移分布的影响》（Effects of agricultural plastic film residues on transportation and distribution of water and nitrate in soil），《光化层》（Chemosphere），第242卷，第125131页

[132] Bai等人（2019年）《不同农用残膜用量对轻铁钙土入渗过程的影响研究》（Study on the influence of different agricultural residue film amounts on soil infiltration process of light sierozem）

[133] Liu, E.K.，He, W.Q. 及Yan, C.R.（2014年）《从“白色革命”到“白色污染”：中国农业地膜覆盖》（‘White revolution’ to ‘white pollution’—agricultural plastic film mulch in China），《环境研究通讯》（Environmental Research Letters），第9卷，第9期，第091001页

[134] Rillig, M.C.（2012年）《陆地生态系统和土壤中的微塑料？》（Microplastic in Terrestrial Ecosystems and the Soil?），《环境科学与技术》（Environmental Science & Technology），第46卷，第12期，第6453–6454页

[135] 《蚯蚓对土壤健康的影响 | 帮助苏格兰农民 | 农场咨询服务》（Earthworms for Soil Health | Helping farmers in Scotland | Farm Advisory Service），于2020年3月12日访问，https://www.fas.scot/news/earthworms-for-soil-health/

的烧杯中。暴露于较高浓度（1%和2%）的微塑料对蚯蚓的生长发育有明显抑制作用，同时在微塑料浓度为2%的烧杯中，蚯蚓死亡率为40%。Huerta Lwanga等人（2016年）还研究了不同浓度（干重7%至60%）的微塑料对蚯蚓的影响。60天后，与对照实验相比，浓度 >28%的蚯蚓显示出更高的死亡率和更低的生长速度（不过应该指出的是，该项研究使用的微塑料浓度比受塑料污染的农业土壤中的微塑料浓度高1000倍）。[136,137] 作者提出的理论认为，微塑料会在蚯蚓的肠道中累积，对蚯蚓的免疫系统造成损害并影响蚯蚓的进食行为。

对作物产量的影响

显而易见的是，许多研究表明，塑料残留物有可能改变土壤的理化性质。然而，关键的一点是，我们需要了解塑料残留物对最终作物产量的影响方式和途径。如出一辙的是，与此相关的大多数数据也都来自在中国开展的研究。Gao等人（2019年）对中国的266项研究进行了荟萃分析，涉及3,160项观测数据，其目的是分析地膜残留对玉米、土豆和棉花等作物产量的影响。分析结果表明，当地膜残留量低于240公斤/公顷时，地膜残留不会对作物产量产生明显的影响。然而，当地膜残留量达到240公斤/公顷及以上浓度时，240–480公斤/公顷的地膜残留量可导致作物减产11.27%；大于480公斤/公顷的地膜残留量可导致作物减产24.26%。然而，还有一些研究表明，地膜残留量即使高达720公斤/公顷，也不会对产量产生明显的影响，这证明了结果可能存在显著的不同。[138] 如果将这些结果与在中国观察到的塑料残留水平（50–260公斤/公顷）进行比较，似乎只有当作物产量极高时，地膜残留量才会对其产生影响（当然，这只是概括）。

作物减产的确切原因目前尚不清楚。研究发现，高浓度微塑料的存在会降低土壤的容重；这反过来又会减缓土壤中的水流速度，而后者又可能会影响作物的产量，特别是纤维根系作物（例如小麦、水稻、玉米、草莓和某些番茄品种）的产量。塑料残留物与作物产量之间的关系不太可能是一种简单的关系，它将取决于多种因素的共同作用，并且在很大程度上具有未知性。因此需要开展更多的研究，以了解作物产量是否与土壤中塑料残留物的数量呈线性相关，如果不是，那么塑料残留物在哪个“临界”点上会开始显著降低作物的产量。这种影响的确切机制还需要我们做进一步调查。

---

[136] Huerta Lwanga, E.，Gertsen, H.，Gooren, H.等人（2016年）《陆地生态系统中的微塑料对蚯蚓（地蚓科）的影响：》（Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae)，《环境科学与技术》（Environmental Science & Technology），第50卷，第5期，第2685–2691页

[137] Qi, R.，Jones, DL、Li, Z.，Liu, Q.及Yan, C.（2020年）《微塑料和塑料薄膜残留物在土壤环境中的行为：批判性评论》（Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review）《整体环境科学》（Science of the Total Environment），第703卷，第134722页

[138] Gao, H.，Yan, C.，Liu, Q.，Ding, W.，Chen, B.及Li, Z.（2019年）《地膜覆盖和塑料残留物对农业生产的影响：荟萃分析》（Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis），《整体环境科学》（Science of the Total Environment），第651卷，第484-492页

尽管如此，目前的数据可用于对塑料累积的潜力进行建模，为这些浓度在现实中的可能性提供一些具体的背景信息。假设覆盖率为75%，那么厚度为20微米的低密度聚乙烯地膜的质量应相当于139公斤/公顷。[139] 如本研究第3.1.1节所述，由于影响地膜回收率的因素多种多样（例如作物类型、覆膜厚度/质量以及当时的地面条件），因此很难从田间获得准确的地膜回收率。根据来自中国的可用数据和来自欧洲的专家判断（第3.1.1节），目前来看，75-95%的回收率范围很可能能够涵盖所有的现实场景。在每年连续覆膜且每三年休耕一段时间的条件下，潜在累计残留量将如图3-5所示。在田间回收率为75%的条件下，连续覆膜第11年时将达到240公斤/公顷的临界值，连续覆膜第21年时将达到480公斤/公顷的临界值。90%的清除率会使上述年限延长一倍，而95%和97.5%的回收率又会使上述年限再次翻番——这表明，清除率超过90%时，清除率每提高一个百分点都很有可能导致塑料污染程度出现显著差异。

现在我们将这一结论放到一个更具体的上下文中：如果整个欧盟的地膜平均回收率（请勿与收集率相混淆）为75-95%，那么假设每年使用8.3万吨地膜，每年将会有20,750至4,750吨传统塑料残留在欧盟农业用地上。如果回收率可达99%，则每年将仅有830吨传统塑料残留在欧盟农业用地上。

这个数字与已经颁布的塑料立法（即《一次性塑料指令》）相比较，结果值得我们反思。[140] 该指令基于一项影响评估，该评估提供了一系列情景，根据这些情景，据预计，每年海洋塑料垃圾将减少2,750至12,000吨。[141]

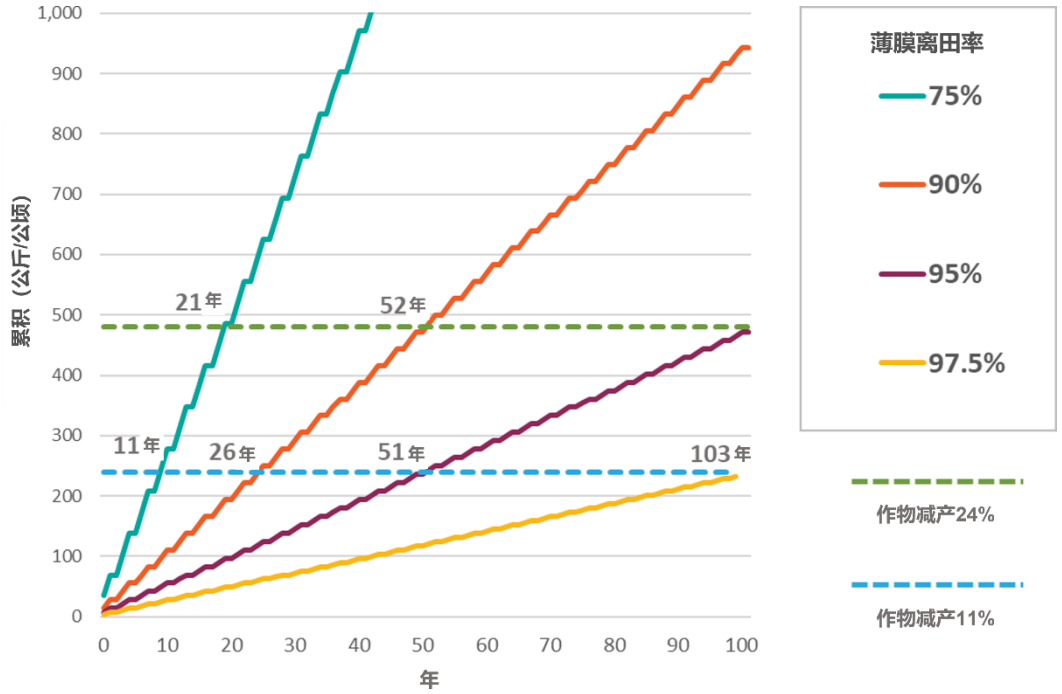
---

[139] 《根据具体应用情况，覆盖率可达40-80%》（Coverage can be in the range of 40-80% depending upon specific application），http://www.vinmarpolymerproducts.com/mulch-films.html

[140] 欧盟委员会（2019年）《关于减少某些塑料产品对环境的影响的欧盟第(EU) 2019/904号指令》（European Commission (2019) Directive (EU) 2019/904 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment）

[141] 欧诺弥亚研究与咨询公司（2018年）《塑料：再利用、回收和海洋垃圾：减少一次性塑料垃圾的措施的影响评估》（Plastics: Reuse, recycling and marine litter – Impact assessment of measures to reduce litter from single use plastics），《2018年环境总司报告》（Report for DG Environment, 2018），http://publications.europa.eu/publication/manifestation_identifier/PUB_KH0318234ENN

图3-5：传统塑料地膜堆积模型



目前尚无法确定农业用地中究竟有多少塑料最终会进入水体（包括海洋环境）。已经对其他塑料排放进行了空间建模，例如因车辆轮胎磨损而排放的颗粒。[142,143] 然而，驾驶活动数据和轮胎磨损率行为已经被研究了多年，才构成了此类分析的基础。对于农业土壤中的塑料，尚缺乏广泛深入的研究。

目前在对这一问题的理解上存在两大缺口：存留在田间的大量塑料材料及其在很长一段时间内的命运。但我们可采用以下方法来填补这些缺口：

- 根据已知的应用水平对土壤进行采样（采用与中国的Zhyang等人类似的方法[144]）和/或开展一项研究，以分析和记录每年有多少塑料被从用于不同作物、具有不同条件和采用不同种植方式的土地

[142] Cardno ChemRisk公司（2017年）《轮胎和道路磨损颗粒环境归宿的初步评估》（Preliminary Tyre and Road Wear Particle Environmental Fate Assessment）

[143] 普利茅斯大学、纽卡斯尔大学、伦敦国王学院及欧诺弥亚研究与咨询公司（2019年）。《关于合成纤维和汽车轮胎磨损污染进入海洋环境的来源和途径的调查，2019年》（Investigating the sources and pathways of synthetic fibre and vehicle tyre wear contamination into the marine environment, 2019）

[144] Zhang, D.，Liu, H.，Hu, W.，Qin, X.，Ma, X.，Yan, C.及Wang, H（2016年）《中国新疆地膜残留现状及分布特征》（The status and distribution characteristics of residual mulching film in Xinjiang, China），《农业科学学报》（Journal of Integrative Agriculture），第15卷，第11期，第2639–2646页

上清除。前者属于长期研究，但后者则可以在一个生长季节内完成。

- 建立一个从农业用地迁移到水体的空间模型，该模型应考虑农场的位置与水体、土壤侵蚀和降雨时间之间的关系。

3.4.2 土壤有机碳（SOC）的流失

如第2.5.3节所述，收集到的任何塑料种类中都会混入大量的泥土。据估计，欧盟每年这一数字约为31.2万吨，其中43%（13.3万吨）源于地膜收集。

在田间地头清除土壤会导致土壤有机碳（SOC）的流失。土壤有机碳是地球表层系统中最大最具活动性的生态系统碳库，是土壤有机质（SOM）的关键组成部分，对土壤结构的稳定、植物养分的保留和释放以及保持蓄水能力十分重要。[145]

不同土壤中的土壤有机碳含量差别很大，这取决于许多因素，但数据表明，大约77%的欧洲土壤中土壤有机碳含量为1-6%。尽管在南欧（包括西班牙和意大利的大部分地区），夏季高温导致土壤有机碳的快速矿化，因此平均有机碳含量低于2%。[146] 这意味着，农业塑料收集导致每年从欧盟土壤中去除的土壤有机碳高达6000至1.9万吨。保持土壤中的有机碳有助改善土壤健康，因此应尽可能避免将从农业土壤中去除土壤有机碳。

3.4.3 露天焚烧农用塑料

如果农用塑料没有被正规收集，它就有可能被就地焚烧。关于农用塑料露天焚烧的定量证据有限，但利益相关方的观察性评论表明，这一情况确实存在。不受控制的焚烧塑料废弃物是空气污染的一个主要来源：副产品包括煤烟、固体残灰、黑碳和有毒污染物，例如二噁英、呋喃、汞、多氯联苯和多环芳烃（PAH）等。[147] 这些物质会破坏环境并损害人类健康。例如，黑碳的全球变暖潜能值是二氧化碳的5,000倍

---

[145] 联合国粮食及农业组织/全球土壤伙伴关系（2017年）《土壤有机碳：隐藏的潜力》（Soil Organic Carbon - the hidden potential），罗马，意大利：联合国粮食及农业组织

[146] Ezio Rusco，Robert Jones及Giovanni Bidoglio（2001年）《欧洲土壤中的有机质：现状和未来趋势》（Organic matter in the soils of Europe: Present status and future trends），欧盟委员会联合研究中心报告，2001年10月，https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/organic-matter-soils-europe-present-status-and-future-trends

[147] Verma, R.，Vinoda, K.S.，Papireddy, M.及Gowda, A.N.S.（2016年）《塑料废弃物中的有毒污染物：综述》（Toxic Pollutants from Plastic Waste - A Review），《Procedia环境科学期刊》（Procedia Environmental Sciences），第35卷，第701–708页

。[148] 而多环芳烃和二噁英等污染物具有致癌性，会对健康影响造成影响，包括致癌。[149]

3.4.4 不当收集和低回收/再利用率对环境的影响综述

农用塑料的不当收集可能会对环境造成负面影响。首先，如果不加以收集，则塑料残留物迁移进入土壤并在土壤中存留的可能性很大。审查塑料残留物对土壤影响的现有证据基础表明，在某一时刻，当浓度达到某一阈值时，塑料残留物就可能会对土壤肥力和作物产量产生负面影响。在对使用地膜的可能场景进行建模后，我们发现，如果回收率（请勿与收集率相混淆）在75%至95%之间，则在11至51年内可以达到这一阈值。让我们将此放到具体的上下文中：如果整个欧盟的地膜平均回收率为75-95%，那么在每年使用8.3万吨地膜的假设下，每年将会有20,750至4,750吨传统塑料残留在欧盟农业用地上。目前尚不清楚如果采用最佳实践和典型做法，可能的回收率应该是多少。

此外，大量土壤被粘附在从田间回收的塑料上。据估计，欧盟每年有约46.7万吨的土壤粘附到此类塑料上，其中36%（16.6万吨）来自地膜收集，尽管它仅占市场份额的12%（见第2.5.3节中图2-6）。从田地中去除土壤会导致土壤有机碳（SOC）的流失，而后者又是健康土壤结构的关键组成部分。

此外，低收集率还增加了露天焚烧农用塑料的可能性。这种做法与副产品的释放有关，这些副产品极有可能加剧全球变暖，并对人类健康产生负面影响。因此，还应避免露天焚烧农用塑料。

最后，目前还没有人研究塑料残留物从土壤中迁移到其他环境（例如水体）中的可能性和确切途径，因此需要进一步研究，研究内容应包括：

- 根据已知的应用水平对土壤进行采样和/或开展一项研究，以分析和记录每年有多少塑料被从用于不同作物、具有不同条件和采用不同种植方式的土地上清除。前者属于长期研究，但后者则可以在一个生长季节内完成。
- 建立一个从农业用地迁移到水体的空间模型，该模型应考虑农场的位置与水体、土壤侵蚀和降雨时间之间的关系。

---

[148] Reyna-Bensusan, N.，Wilson, D.C.，Davy, P.M.，Fuller, G.W.，Fowler, G.D.及Smith, S.R.（2019年）《用于预估不受控制废弃物焚烧的全球影响的黑碳排放因子的实验测量》（Experimental measurements of black carbon emission factors to estimate the global impact of uncontrolled burning of waste），《大气环境》（Atmospheric Environment），第213卷，第629-639页

[149] Verma, R.，Vinoda, K.S.，Papireddy, M.及Gowda，A.N.S.（2016年）《塑料废弃物中的有毒污染物：综述》，《Procedia环境科学期刊》（Procedia Environmental Sciences），第35卷，第 701–708页

4.0 废弃农用生物降解塑料管理

第3.4节已经表明，传统塑料在农业生产中的应用十分广泛且在逐步扩大。但是如果收集率低下，废旧塑料也会引发严重的环境问题。塑料会缓慢而持续地迁移到环境中，因此存在着重大环境污染风险。相比传统塑料的废弃，生物降解塑料能够短时间内在土壤中完成降解，为最大限度地减少对环境的负面影响提供了一条潜在途径。

地膜是农用生物降解塑料（BDAP）的主要应用领域。采用农用生物降解塑料替代低密度聚乙烯地膜（传统PE地膜）不仅可以规避PE塑料碎片在土壤中不断累积的问题，还可减少移除地膜时土壤和有机质流失的问题。如果采用生物基原料生产农用生物降解塑料，那么还有助于减少生产聚乙烯时消耗的化石燃料。将塑料置于环境中并非毫无风险，同时从长远来看，农用生物降解塑料的使用量不断增加，为了确保它不会对环境造成不可预见的负面影响，监管机构在评估现行标准方面也面临着挑战。

本节旨在评估使用农用生物降解塑料与传统塑料相比的好处和风险，以便为全生物降解塑料在农业中的应用提供建议。

目前，农用生物降解塑料的消费量很低，仅占欧盟境内所有非包装类农用塑料消费量的0.7%。[150]作为生物降解塑料的主要应用类别，在地膜中，这一比例达到5%。[151]据最近估计，在欧洲境内，生物降解地膜（BDM）的总销售量（按重量计）在4000至5000吨之间。[152]生物降解地膜的主要市场在意大利、西班牙、法国、德国及比利时，这些国家（除比利时外）也是传统农用塑料市场的主要消费国；[153]但是作为世界第五大农用塑料消费国的英国是个例外：英国目前还没有大量使用农用生物降解塑料。农用生物降解塑料使用率低下的部分原因是：与传统薄膜相比，它们的成本更高。

---

[150] 欧洲农业、塑料与环境协会（2019年）《塑料：2019年记事》（Plastics - the Facts 2019），《欧洲塑料生产分析》（Analysis of European plastics production），于2020年5月9访问，https://www.plasticseurope.org/application/files/1115/7236/4388/FINAL_web_version_Plastics_the_fact s2019_14102019.pdf

[151] 意大利诺瓦蒙特公司（2020年）《生物降解地膜：最新技术文档》（Biodegradable Mulch Films: State of Art Document），供本研究用，并通过电子邮件发送。

[152] 意大利Bioplastiche生物塑料和生物降解可堆肥材料协会（Bioplastiche Italian Association for Bioplastics and Biodegradable Compostable Materials，2020年）《生物降解地膜资料》（Info on Biodegradable Mulch Films）。文件供本研究使用，并通过电子邮件发送。

[153] Cicloplast（2017年）《Situacion Actual De La Gestion De Plasticos Agricolas En España Y En Europa》，*https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/Proteccion-del-medio- marino/5plasticos-agricolas-cicloagro_tcm30-429451.pdf*

第一节将概述农用生物降解塑料的主要用途和不同类型的可用材料（第4.1节）。之后，我们将在第4.2节中探讨生物降解塑料的农艺性能，以了解它们可以在哪些应用领域替代传统薄膜，并同时将收益损失降至最低。这类材料的安全使用取决于它们的生物降解性。为此，我们在第4.3节中回顾了这方面的证据，从而为在第4.5节中讨论生物降解地膜的现行欧盟标准（EN 17033）的适用性奠定基础。上述各节都被用来为阐释第4.7节（关于制定农用生物降解塑料有益应用的评判标准）做铺垫。

4.1 农用生物降解塑料的应用

现在市售的农用生物降解塑料种类越来越多。它们是在聚合物中加入添加剂后具备了可生物降解功效的产品，其设计目的是为不同气候条件下的不同应用提供最佳性能。在其设计中，农用生物降解塑料需要平衡产品功能和生物降解能力，因此在特定应用中，功能完备的最薄材料是理想之选。这也有助于将农用生物降解塑料的成本降至最低。

随着专业化产品范畴的增加，人们正在一些先前没有使用传统塑料的领域（例如水稻栽培）探索农用生物降解塑料的新用途。关于这些应用的适当性，需要考虑农用生物降解塑料是否能够提供足够的环境效益或农艺效益，以证明在农业生产中使用额外塑料的合理性。我们将在第4.2.2节中进一步探讨这些问题。

4.1.1 地膜

在农业生产中，生物降解塑料最常见的用途是每年在蔬菜和水果栽培中应用的地膜。据估计，每年生物降解地膜的使用量为5,000吨，[154]占欧洲地膜总使用量的5%。[155]其中大部分集中在意大利（2,000吨）和西班牙（1,500吨）。[156]

可以在栽培中使用生物降解地膜的常见作物有西红柿、生菜、辣椒、茄子、西葫芦、草莓和甜瓜。生物降解材料特别适合这一领域的应用，因为产品的使用寿命很短（3-9个月），产品在使用后可以随犁翻入土壤并留在土壤中等待生物降解。生物降解地膜覆盖常用于露天栽培的作物以及温室大棚或拱棚栽培的作物。

---

[154] 意大利Bioplastiche生物塑料和生物降解可堆肥材料协会（2020年）《针对欧盟农业用传统和生物降解塑料研究提供的生物降解地膜资料》（Info on Biodegradable Mulch Films For EU Study on conventional and biodegradable plastics in agriculture）

[155] 意大利诺瓦蒙特公司（Novamont，2020年）《生物降解地膜：最新技术文档》（Biodegradable Mulch Films: State of Art Document），供本研究用，并通过电子邮件发送。

[156] 意大利Bioplastiche生物塑料和生物降解可堆肥材料协会（2020年）《针对欧盟农业用传统和生物降解塑料研究提供的生物降解地膜资料》（Info on Biodegradable Mulch Films For EU Study on conventional and biodegradable plastics in agriculture）

目前，研究人员正在探索生物降解地膜覆盖栽培技术在树莓和葡萄等多年生果树栽培中的应用。试验表明，在幼苗周围铺设地膜可提高水果产量，且生物降解地膜比传统地膜更可取，因为在植株长成后，传统地膜很难移除。[157]

4.1.2 农用生物降解塑料的其他应用领域

除了用于生产地膜之外，农用生物降解塑料还可应用于各种其他领域。与之相关的研究目前正在进行，其中许多已经通过了测试。值得一提的是，测试主要集中在农用生物降解塑料在使用过程中是否具有与传统塑料相类似的性能，而不是从废弃的角度来看此类塑料的后续生物降解性是否有益。

西班牙已经对农用生物降解塑料在矮拱棚篷布中的应用进行了一些实验，但种植户目前还没有进行类似测试。矮拱棚篷布被广泛用于西红柿、辣椒和甜瓜等作物的栽培：在此类作物的栽种中，种植户需要改变作物周围空气的微气候（而不是土壤条件），从而创造微型温室效应。为此，需要在此类应用中使用透明薄膜，但是目前还没有任何一种生物降解地膜能够达到与低密度聚乙烯透明薄膜一样的优异性能。透明薄膜在生产中需要添加紫外线稳定剂来保证其在使用时过程中的机械特性，但是目前的紫外线稳定剂如果存留在土壤中，会造成一系列的生态毒性效应和危害。[158]

在探究采用农用生物降解塑料替代传统塑料的研究中，土壤日晒技术是研究人员正在探索的另一个应用领域。该方法操作简单，即通常情况下，将塑料薄膜在地面上放置1-2个月，待阳光照射膜面，通过提高膜下土壤温度将土壤中的病原体杀死。对生物降解地膜的早期测试发现，早期降解限制了其在该应用领域中的实用性。[159]

有人建议采用生物降解材料替代农用传统塑料，用于果林覆盖物、育苗袋和水果套袋。尽管该领域仍处于实验阶段，但早期试验表明，这有望成为生物降解材料的潜力应用领域，因为与农用传统塑料相比，使用生物降解地膜可以提高果实的品质。[160]

在畜牧业生产中，研究人员正在开发可生物降解的青贮饲料缠绕膜，但尚未实现商业化。青贮饲料缠绕膜需要具有与地膜不同的性能特征，因为它们需要更加坚固，

---

[157] Touchaleaume, F.，Martin-Closas, L.，Angellier-Coussy, H.，Chevillard, A.，Cesar, G.，Gontard, N.及Gastaldi, E.（2016年）《农用地膜用生物降解聚合物的性能和环境影响》（Performance and environmental impact of biodegradable polymers as agricultural mulching films），《光化层》（Chemosphere），第144卷，第433–439页

[158] 个人通讯，Sara Guerrini，意大利诺瓦蒙特公司。电子邮件，于2020年5月6日收到

[159] Martín-Closas, L.，Costa, J.及Pelacho, A.M.（2017年）《生物降解薄膜对作物和田间环境的农艺影响》（Agronomic Effects of Biodegradable Films on Crop and Field Environment），M.，(ed.)，《用于现代化可持续发展农业的土壤用生物降解塑料》（Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture）（2017年）柏林，海德堡：Springer Berlin Heidelberg，第67–104页

[160] Martín-Closas, L.，Costa, J.及Pelacho, A.M.（2017年）《生物降解薄膜对作物和田间环境的农艺影响》（Agronomic Effects of Biodegradable Films on Crop and Field Environment），M.，(ed.)，《用于现代化可持续发展农业的土壤用生物降解塑料》（Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture）（2017年）柏林，海德堡：Springer Berlin Heidelberg，第67–104页

并且具有低水蒸气透过率和低透氧性。此外，在开始降解之前，薄膜的需要保持完整至少12个月或更长时间。这对产品设计而言是一个很大的挑战，在降雨量高的气候条件下尤其如此。2015年的一项研究表明，生物降解材料具有满足这一需求的潜力，但该项研究的结论是，现有材料尚未达到预期效果，需要开展更多研究。[161]据了解，一款可生物降解的青贮饲料膜原型即将上市。[162]

反对在青贮饲料缠绕膜中用生物降解塑料替代传统塑料的一个理由是，与地膜相比，青贮饲料膜更容易移除，并将其运离农场做最后处置。青贮饲料膜在移除后也可能比地膜更干净，因为它们没有与土壤直接接触，因此更适合回收再利用。[163]此外，青贮饲料生物降解缠绕膜的废弃路径目前尚不清楚，因为它们可能会被大量收集，然后随犁翻入土壤或就地堆肥。但这两种做法都并不直接，数量较大时也不具实用性（种植青贮牧草的草地也不会每年都进行耕作和补种）[164]。此外，这两种做法也都很难提供保证生物降解性能的具体标准。解决这一问题所涉及的额外工作也可能会抵消减少农民废弃物处置的潜在好处。

地膜目前采用挤出吹膜技术进行生产，但人们正在探索新的地膜形式，以扩大潜在的应用范围。喷雾基地膜以液体形式施用，因此更适合用于托盘中的作物，但尚未进入商业应用前的测试阶段。[165] [166]无纺布材料由随机排列的纤维组成，这种织物既轻便又强韧，但是具有高结晶性且降解速度较慢。由于人们还在产品性能和生物降解性之间寻找一个更好的平衡点，因此无纺布材料尚未实现商业可行性。[167]

在本报告的其余部分中，我们将重点讨论农用生物降解塑料在地膜中的使用，因为这是目前农用生物降解塑料主要的应用领域，同时也有相应的标准进行验证。生物降解材料的开发、测试和用作地膜的历史已有近20年之久，因此有大量证据

---

[161] Borreani, G.和Tabacco, E.（2015年）《在青贮饲料保存中使用生物基生物降解薄膜替代标准聚乙烯覆盖物》（Bio-based biodegradable film to replace the standard polyethylene cover for silage conservation），《乳品科学杂志》（Journal of Dairy Science），第98卷，第1期，第386-394页

[162] 西班牙种植户协会（Spanish Grower）于2020年4月22日为该项目举办的网络研讨会

[163] 对Sara Guerrini（意大利诺瓦蒙特公司）的采访，2020年3月13日

[164] 农业和园艺业发展委员会（Agriculture & Horticulture Development Board）（2018年）Grassland-reseeding-guide.pdf

[165] Giaccone, M等人（2018年）《在容器化观赏灌木栽培中用于杂草控制的生物降解地膜喷雾》（Biodegradable mulching spray for weed control in the cultivation of containerized ornamental shrubs）

[166] Malinconico, M.，Immirzi, B.，Santagata, G.，Schettini, E.，Vox, G.及Mugnozza, G.S.（2008年）《用于农业应用的创新型生物降解材料概述》（An Overview on Innovative Biodegradable Materials for Agricultural Applications），第47页

[167] Martín-Closas, L.，Costa, J.及Pelacho, A.M.（2017年）《生物降解薄膜对作物和田间环境的农艺影响》（Agronomic Effects of Biodegradable Films on Crop and Field Environment），M.，(ed.)，《用于现代化可持续发展农业的土壤用生物降解塑料》（Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture）（2017年）柏林，海德堡：Springer Berlin Heidelberg，第67–104页

可供参考。[168]我们也将在本研究中讨论存在实例的其他应用领域。

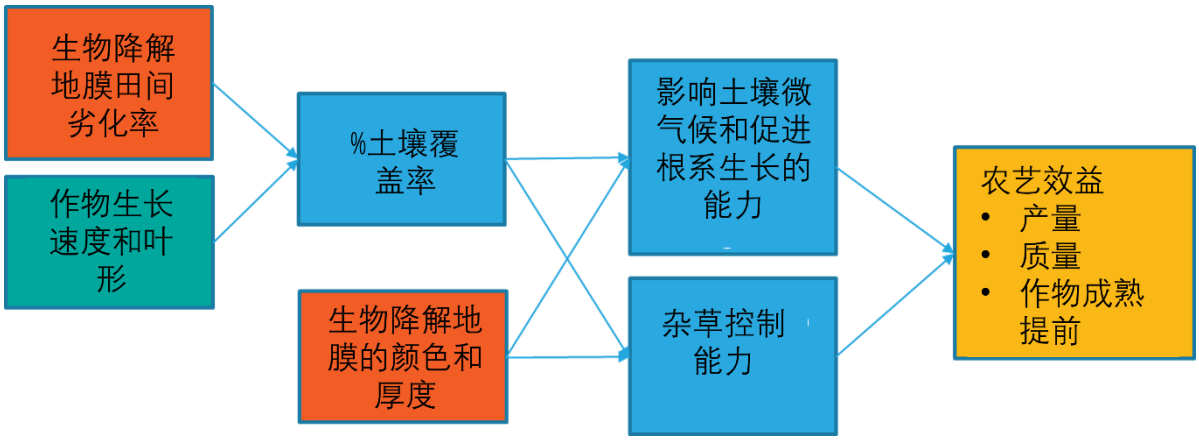
4.2 生物降解地膜与传统塑料地膜农艺效益的比较

本节旨在探讨是否可以依赖生物降解地膜来提供与低密度聚乙烯薄膜相当的农艺性能。这将是种植户感兴趣的一个主要关注点，并将为讨论生物降解地膜恰当的应用领域提供信息。目前已有大量研究对比了生物降解地膜与传统地膜在不同地点栽种不同种类作物过程中表现出来的农艺性能。本研究回顾了大量相关学术文献，并征集了西班牙和意大利种植户的观点。我们在附录A.4.1中按作物类别提供了这些研究成果的摘要。本节将讨论影响生物降解地膜性能的主要问题，并据此给出广泛结论。

4.2.1 生物降解地膜农艺性能的影响因素

农艺性能是指提升作物产量、质量或作物提早采收给种植户带来的经济效益。影响生物降解地膜性能的主要因素是地膜的颜色和厚度及其在使用过程中的劣化速度。（见图4-1）。我们将在以下章节中描述这些因素之间的相互作用。

图4-1：生物降解地膜农艺性能的影响因素



4.2.1.1 生物降解地膜在使用过程中的劣化

生物降解地膜在使用过程中会因暴露于紫外线辐射、湿气和机械应力而发生劣化，从而导致地膜变薄和破损。这种劣化会影响被覆盖土壤的比例，进而影响地膜本该起到的功效。

研究人员发现，生物降解地膜在使用前的力学性能在纵向上可与低密度聚乙烯薄膜

[168] 意大利诺瓦蒙特公司（2020年）Position_Paper_Mulch film_Novamont_Apr20.pdf

相媲美，但在横向上的力学性则相对较差。[169]这会导致地膜在铺设过程中发生破损。在为本报告组织的网络研讨会中，西班牙种植户指出，在铺设生物降解地膜时，需要将用于地膜铺设的机器设置为较低强度，以减少对地膜的张力并避免撕裂薄膜，这是一项易于实现的较小调整。

田间试验表明，生物降解地膜的机械特性在其使用过程中会发生变化，尤其是在历

经日晒雨淋后的一周内，断裂伸长率将下降，从而增加材料撕裂破损的风险。[170]因此，欧洲地膜标准EN 17033建议种植户在覆膜后尽快在地膜上种植作物。（我们将在第4.4节中讨论EN 17033的完整技术规范）。

地膜的功能和使用寿命需要与作物的生长模式相匹配。对于像南瓜这样生长快速的作物来说，它们的叶片面积很大，因此可以在种植后30天内覆盖地膜。这意味着如果生物降解地膜材料在30天后开始降解，将不会影响其性能，因为此时，地膜已经实现了通过控制杂草来保护幼苗的主要功能。在此之后，地膜仍可以确保植物和果实不与土壤直接接触，从而发挥预防疾病的作用。

据报道，由于材料的早期降解而导致的生物降解地膜劣化会增加种植户对使用生物降解地膜的抵触情绪。[171]然而，多年来一直使用生物降解地膜的西班牙种植户报告称，尽管地膜会发生早期降解，但不会过度影响其性能。[172]这一观察结果得到了多项研究的支持，这些研究报告称，早期降解不会影响地膜的功能性。[173]西班牙一项针对胡椒植物的研究得出结论称，与更客观的劣化率测量值（例如随时间的推移，对地膜失重率的测定）相比，对劣化的目测评估高估了地膜功能的损失程度。[174]这表明，种植户可能亲眼看到似乎高度风化的地膜，但他们可能错误地认为此时的地膜已经失去效力。

有证据表明，生物降解地膜在使用过程中比低密度聚乙烯薄膜更容易撕裂，尤其是

---

[169] Briassoulis, D.（2006年）《生物降解农膜在真实田间条件下的机械特性》（Mechanical behaviour of biodegradable agricultural films under real field conditions），《聚合物降解和稳定性》（Polymer Degradation and Stability），第91卷，第6期，第1256–1272页

[170] Scarascia-Mugnozza G，Schettini E，Vox G等人（2006年）《实际规模试验中农用生物降解地膜的机械特性衰变和形态行为》（Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment）。《聚合物降解和稳定性》（Polym Degrad Stab），第91:2801–2808页

[171] Yamamoto-Tamura, K.，Hiradate, S.，Watanabe, T.，Koitabashi, M.，Sameshima-Yamashita, Y.、Yarimizu, T.及Kitamoto, H.（2015年）《土壤酯酶对栽培土壤中脂肪族聚酯农用地膜的生物降解的贡献》（Contribution of soil esterase to biodegradation of aliphatic polyester agricultural mulch film in cultivated soils），《AMB快讯》（AMB Express），第5卷，第1期，第10页

[172] 与纳瓦拉农民合作社的个人沟通

[173] Andrade, C.，Palha, M.及Duarte, E.（2014年）《生物降解地膜性能与秋冬季草莓生产》（Biodegradable mulch films performance for autumn- winter strawberry production），《浆果研究杂志》（Journal of Berry Research），第4卷，第193–202页

[174] Moreno, MM，González-Mora, S.，Villena, J.，Campos, JA及Moreno, C.（2017年）《田间条件下六种具有潜在低环境影响的生物降解地膜的劣化模式》（Deterioration pattern of six biodegradable, potentially low-environmental impact mulches in field conditions），《环境管理杂志》（Journal of Environmental Management），第200卷，第490–501页

在横向上，但这种视觉上的劣化并不等同于性能上的明显下降，事实上，地膜的农艺效益仍可与低密度聚乙烯薄膜相媲美。[175]为作物选择合适厚度的生物降解地膜可以最大限度地减少早期降解的问题。地膜厚度的挑选通常由向农民推销生物降解地膜的销售人员来完成，其目的是为了确保农民获得最优产品。上述实例表明，为了确保生物降解地膜能够为作物提供最佳的性能，种植户需要一定程度的学习和调整，但这在实践中并不被视作制约生物降解地膜使用的重大障碍。

4.2.1.2 生物降解地膜的颜色和性能

传统薄膜有多种颜色可供选择（例如黑色、银色、黄色、反光效果、棕色及红色），每种颜色的薄膜都有其特定的用途，具体取决于薄膜吸收和透射太阳辐射的方式。目前，生物降解地膜只有三种颜色可供选择：黑色、乳白色和绿色。黑色生物降解地膜的性能与黑色低密度聚乙烯薄膜相似。
绿色地膜是这三种颜色地膜中价格最昂贵的一种，它可以选择性吸收红外辐射，使膜下土壤温度的提升幅度介于透明地膜和黑色地膜之间。乳白色地膜在功能上最接近透明薄膜，但在暴露在紫外线辐射下之后，它们会很快降解。[176]为避免这种情况的发生，需要在透明地膜中添加紫外线稳定剂。但事实证明，很难找到不包含金属的生物降解颜料（一旦基础材料降解，颜料就可能变得有毒）。

对于依赖彩色地膜的特殊功效的种植户，如果用颜色选择有限的生物降解地膜来替代这些彩色薄膜，那么种植户可能会面临更大的功能损失。

4.2.1.3 气候与生物降解地膜性能

气候会影响一个地区中哪些作物占主导地位，而这反过来又会影响在特定地理位置使用生物降解地膜的适宜性。比较生物降解地膜农艺性能的研究大多发生在正广泛使用生物降解地膜的国家，其中包括西班牙、意大利、葡萄牙、美国及中国。目前有两个领域的地膜研究相对缺乏，一是研究生物降解地膜在北欧气候条件下的表现，二是这些气候条件下的种植户是否有望从生物降解地膜中获得与低密度聚乙烯薄膜相同的裨益。

与气候相对干燥的南纬地区相比，在北纬地区，降雨量与地下水水位的增加可能会导致生物降解地膜提前生物降解。冰雹和强风等其他天气事件也会机械性地压迫薄膜，进而导致开裂风险增加。在为本报告举办的网络研讨会上，意大利种植户表示，当作物周期较短（从4月到10月）时，冰雹事件不会导致生物降解地膜的早期降解，尽管在发生此类天气

---

[175] Martín-Closas, L.，Costa, J.及Pelacho, A.M.（2017年）《生物降解薄膜对作物和田间环境的农艺影响》（Agronomic Effects of Biodegradable Films on Crop and Field Environment），M.，(ed.)，《用于现代化可持续发展农业的土壤用生物降解塑料》（Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture）（2017年）柏林，海德堡：Springer Berlin Heidelberg，第67–104页

[176] Vox, G.，Schettini, E.及Scarascia-Mugnozza, G.（2005年）《园艺保护栽培用生物降解薄膜的辐射特性》（RADIOMETRIC PROPERTIES OF BIODEGRADABLE FILMS FOR HORTICULTURAL PROTECTED CULTIVATION），《园艺学报》（Acta Horticulturae），第691号，第575–582页

事件的地方，仍建议使用较厚的生物降解地膜。在欧洲，山区和前阿尔卑斯山地区发生冰雹事件的次数最多。[177]

在南纬地区，各地的气候压力各不相同，但也会影响生物降解地膜的农艺性能。改变土壤温度是生物降解地膜影响作物生长的一个重要途径，欧洲不同气候区对此的需求也存在明显差异。欧洲各地的太阳辐射强度各不相同，在直接太阳辐射占主导地位的地区（例如欧洲南部），深色地膜会吸收更多热量，从而使土壤和空气的温度升得更高。如果土壤温度过高，此种升温效应可能不利于作物的生长和产量的增加。在葡萄牙的草莓种植试验中，与聚乙烯地膜相比，采用生物降解地膜覆膜技术栽培的作物产量较低，这与生物降解地膜覆膜地块记录的更高温度有关。[178]在欧洲中部，漫射辐射更为普遍，升温效应不甚明显，因此可能会降低地膜覆盖栽培的农艺效益。

总体而言，尽管受气候因子的影响，生物降解地膜的农艺性能对欧洲不同地区的种植户来说可能不尽相同，但这些制约因素可以通过选择合适的生物降解地膜材料和厚度来克服。在大多数气候条件下，生物降解地膜的性能可与传统薄膜相媲美，但目前推广生物降解地膜技术的最大制约因素是，生物降解地膜不能像传统地膜一样给种植户提供他们已经习惯的多种地膜颜色选择。在研究土壤中生物降解地膜的整体生物降解速率时，气候因子也与之相关，因此在研究材料累积的可能性时，也应考虑气候因子的影响。[179]我们将在第4.3.1.2节中讨论这一议题。

4.2.2 生物降解地膜在不同作物栽培中的适宜性

对生物降解地膜在不同作物栽培中作用的测试在很大程度上表明，如果使用合适的地膜，在产量方面，生物降解地膜有望提供与传统地膜相似的性能。[180]农作物也可分为三类：

- **短生长周期：**作物一年两到四熟
- **长生长周期：**作物一年一熟或两熟
- **多年生：**作物寿命在两年以上且持续结果

---

[177] 欧洲经济区（2017年）hail events.pdf

[178] Andrade, C.，Palha, M.及Duarte, E.（2014年）《生物降解地膜性能与秋冬季草莓生产》（Biodegradable mulch films performance for autumn- winter strawberry production），《浆果研究杂志》（Journal of Berry Research），第4卷，第193–202页

[179] Sintim, H.Y.，Bary, A.I.，Hayes, D.G.等人。（2020年）《堆肥和农业土壤中生物降解塑料地膜的原位降解》（In situ degradation of biodegradable plastic mulch films in compost and agricultural soils），《全环境科学》（Science of The Total Environment），第727卷，第138668页

[180] Martín-Closas, L.，Costa, J.及Pelacho, A.M.（2017年）《生物降解薄膜对作物和田间环境的农艺影响》（Agronomic Effects of Biodegradable Films on Crop and Field Environment），M.，(ed.)，《用于现代化可持续发展农业的土壤用生物降解塑料》（Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture）（2017年）柏林，海德堡：Springer Berlin Heidelberg，第67-104页

由于从播种和收获所需的时间长短不同，每个类别的作物需选择不同的地膜规格。我们在附录第A.4.1节中按作物类别逐一详细介绍了这一领域的研究，并将在后续章节中对关键要点进行总结。

4.2.2.1 短生长周期作物

生物降解地膜适用于短生长周期作物，因为在作物收获之前，它们只需要提供长达数月的保护，并且可以将地膜随犁翻入土壤。因此，这是目前生物降解地膜的主要应用领域。

短生长周期作物包括番茄、辣椒、茄子、生菜、甜瓜、南瓜、西葫芦及黄瓜；已对上述所有作物类型进行了测试，且从已呈报的数据来看，生物降解地膜在此类作物栽培中可获得与传统塑料地膜相类似的作物产量。

十多年来，人们已广泛使用生物降解地膜覆盖栽培技术来种植用于制作罐头的番茄。在西班牙纳瓦拉（Navarra）地区，目前2,000公顷的待加工用番茄中有80%采用生物降解地膜覆盖技术进行栽培。主要原因是为了便于此种作物的机械收割，因为有鉴于残留聚乙烯地膜碎片会污染田地，因此使用低密度聚乙烯地膜将无法实现番茄作物的机械收割。[181] 这一实例从另一个侧面说明了为何特定作物的需求会影响对于生物降解地膜的选择。

在意大利和西班牙，辣椒和茄子是使用地膜覆盖栽培技术的常见作物。然而，辣椒植物（叶片薄而直立）的生长模式增加了生物降解地膜在环境因子中的暴露，从而导致相比番茄等其他作物，生物降解地膜在辣椒和茄子覆膜栽培过程中的降解程度更高。[182]

最近，地膜被应用于一个不常见的领域，即水稻种植。在水稻种植中，杂草和水稻的种间竞争关系非常激烈。传统的水稻生产会采用给稻田漫灌的方式来作为控制杂草的一种手段（水稻泡在水里还能存活，但杂草则不能）。但现代化水稻生产中也会使用除草剂。生物降解地膜覆盖栽培技术可用于生产有机水稻，即在稻田中不施用除草剂和杀虫剂。由于无需漫灌稻田，耗水量也相应减少，并且所需的种子用量也可实现高达80%的减量。[183]在2017-2018作物年间，意大利皮埃蒙特（Piedmont）在超过500公顷的有机水稻稻田中使用了生物降解地膜。研究人员还研发出一种创新技术，使用浸有水稻种子的生物降解地膜，在促进水稻幼苗生长的同时，抑制杂草的萌发出苗和生长。

4.2.2.2 长生长周期作物

生物降解地膜在长生长周期作物栽培中的主要应用领域是温室大棚内外种植的草莓。尽管多项研究表明，覆盖生物降解地膜的草莓的产量与覆盖低密度聚乙烯地膜

---

[181] 意大利诺瓦蒙特公司（2020年）QAmulch_March_20.pdf

[182] Martín-Closas, L.，Costa, J.及Pelacho, A.M.（2017年）《生物降解薄膜对作物和田间环境的农艺影响》（Agronomic Effects of Biodegradable Films on Crop and Field Environment），M.，(ed.)，《用于现代化可持续发展农业的土壤用生物降解塑料》（Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture）（2017年）柏林，海德堡：施普林格柏林海德堡出版社（Springer Berlin Heidelberg），第67–104页

[183] 意大利诺瓦蒙特公司（2020年）QAmulch_March_20.pdf

的产量相当，但一项研究报告指出，使用生物降解地膜覆盖栽培技术的草莓产量比使用低密度聚乙烯地膜覆盖栽培技术的草莓产量低20-37%。据信，这是由于与低密度聚乙烯地膜相比，生物降解地膜在夏季会导致土壤（过度）升温。[184]

4.2.2.3 多年生作物

采用地膜覆盖栽培技术来保护多年生作物的幼苗出苗和生长的情况并不普遍，但幼龄期浆果灌木和葡萄藤已被证明在移植时可从地膜覆盖中受益。但是受植物特性的制约，一旦幼苗长得更大就很难移除地膜，因此如果使用低密度聚乙烯地膜，通常就会存在大量地膜碎片残留在土壤中的问题，或者人工捡拾费时费力的问题。因此，生物降解地膜似乎提供了一种"解决方案"，因为地膜可以存留在土壤中等待降解，不过在这种情况下，完全生物降解可能需要长达数年之久的时间，因为在此之前，地膜似乎不能完全融入土壤。[185,186]使用"藤蔓下松土除草机"定期浅翻垦复葡萄藤周围的土壤以抑制杂草生长，这一做法有助于将材料随犁翻入土壤。这被用作替代性做法，可替代定期喷施除草剂以抑制杂草生长的除草法或机械化铲除杂草方案，但不是一种普遍做法。
在采用生物降解地膜覆盖栽培技术的同时，也有必要使用藤蔓下松土除草机抑制杂草生长，有助于提供生物降解的必要条件。

生物降解地膜的生产商认为，由于生物降解地膜可以在作物采收后留置在农田土壤中，因此它们可被用于出于技术或实际原因通常不会采用低密度聚乙烯地膜覆盖的作物，例如芦笋、甜玉米和多年生水果。[187]生物降解地膜生产商开发出一种芦笋用黑色微孔地膜，目的是在覆盖苗床的同时，也能保证芦笋幼苗能够自行破膜出苗。[188]

我们需要仔细考量这种做法的农艺效益是否值得在全新应用中增加农用塑料的使用量。同样重要的是我们应认识到，如果不能将其犁入土壤中，那么欧洲现行的生物降解地膜标准（欧洲EN 17033标准）通常不适用于多年生作物（我们将在第4.4节中详细讨论）。

---

[184] Andrade, C.，Palha, M.及Duarte, E.（2014年）《生物降解地膜性能与秋冬季草莓生产》（Biodegradable mulch films performance for autumn- winter strawberry production），《浆果研究杂志》（Journal of Berry Research），第4卷，第193–202页
[185] Zhang, X.，You, S.，Tian, Y. 及Li, J.（2019年）《夏季番茄生产用塑料薄膜、生物降解纸及生物基地膜的比较：土壤特性、植物农艺性状、果实产量及果实品质》（Comparison of plastic film, biodegradable paper and bio- based film mulching for summer tomato production: Soil properties, plant growth, fruit yield and fruit quality），《园艺科学》（Scientia Horticulturae），第249卷，第38–48页
[186] Touchaleaume, F.，Martin-Closas, L.，Angellier-Coussy, H.，Chevillard, A.，Cesar, G.，Gontard, N.及Gastaldi, E.（2016年）《农用地膜用生物降解聚合物的性能和环境影响》（Performance and environmental impact of biodegradable polymers as agricultural mulching films），《光化层》（Chemosphere），第144卷，第433–439页
[187] 意大利诺瓦蒙特公司（2020年）Position_Paper_Mulch film_Novamont_Apr20.pdf
[188] 意大利诺瓦蒙特公司（2020年）QAmulch_March_20.pdf

4.2.2.4 生物降解地膜在有机农业生产中的应用

对于生物降解地膜在有机农业生产中的使用，目前美国和欧盟的做法有所不同。2017年，美国《国家有机计划》（National Organic Program）将生物基生物降解地膜列入其允许物质清单中，但前提是该产品必须100%由生物基原料制成。市售的生物降解地膜通常含有约25%的生物基原料，因此根据这一标准，生物降解地膜被有效排除在有机农场的应用外。此外，被拒绝使用的另一个理由是，转基因生物通常被用于生物聚合物的低成本生产，而这是有机农业摒弃的一种生产方式。[189]

相比之下，在意大利，由于在有机农业生产中禁止使用除草剂，因此生物降解地膜作为支持有机农业生产的一种手段而得以推广。一款由意大利研发和生产的生物降解地膜已经通过意大利有机农业协会（AIAB）《技术手段规范》的认证，因为其"薄膜材料中可再生成分的含量极高"并使用天然的可再生非转基因（Non-GMO）原料，不过其确切细节尚不清楚。[190]西班牙的一项研究在比较五种生物降解地膜之后得出结论称，"历经商业测试和实验测试的地膜具有足够的性能，可用于有机农业系统中的覆盖栽培技术"，但是，除了使用有机农场的土壤检测生物降解地膜的生物降解性这一事实之外，他们没有任何证据能支持这一说法。[191]

意大利有机农业协会（AIAB）与意大利诺瓦蒙特公司及意大利有机认证机构Bioagricert共同制定了一份旨在确保生物降解地膜符合有机农业原则的指南。指南要求，除需根据欧洲EN 17033标准进行认证之外，生物降解地膜原料中不应含有转基因材料，并且必须满足针对原料中可再生成分的特定要求。[192]但是没有任何其他国家效仿此种做法，不过如果有机农业的典型特征是避免使用合成除草剂和杀虫剂，那么生物降解地膜覆盖技术将与这一特征相一致，在所有生物基成分均来自于非转基因来源的情况下尤其如此。

4.2.3 生物降解地膜的农艺效益结论

我们对大量证据的回顾表明：

- 某些**短生长周期**作物非常适合使用生物降解地膜覆膜栽培技术，其中一些作物表现出良好的农艺性状；
  材料的颜色和厚度是影响地膜农艺性能的关键变量，因此需要选择适合具体应用场景的材料；但在实践中，地膜的挑选通常由生物降解地膜的零售商完成，他们负责指导种植户选择最适合其作物和地理位置的产品。
- 为了确保生物降解地膜能够提供最佳的作物农艺性能，种植户需要一定程度的学习和调整。

---

[189] https://bioplasticsnews.com/2020/04/09/biodegradable-plastic-mulch-berry-growers/
[190] 意大利诺瓦蒙特公司（2020年）QAmulch_March_20.pdf
[191] Barragán, D.H.，Pelacho, A.M.及Martin-Closas, Ll.（2016年）《实验室条件下土壤中农业生物降解塑料的降解》（Degradation of agricultural biodegradable plastics in the soil under laboratory conditions），《土壤研究》（Soil Research），第54卷，第2期，第216页
[192] Federbio（2020年）《关于生物降解塑料使用的农艺报告》（Agronomic report on the use of biodegradable plastic）

因此，如果能够针对特定作物类型和地理位置选择正确的生物降解地膜，则使用生物降解地膜可以实现类似的农艺效益。此外，地膜覆盖技术还需要与材料处理的实践相结合。

然而，生物降解地膜覆盖栽培技术仍存在局限性：

- 生物降解地膜的早期降解可能会让种植户认为视觉上的劣化等同于功能上的丧失。总体而言，与低密度聚乙烯地膜相比，生物降解地膜在使用过程中的劣化不会显著影响地膜的农艺效益。
- 就低密度聚乙烯地膜所提供的颜色多样性与性能多样性而言，目前的生物降解地膜尚无法企及。一些依赖于特种地膜的种植户将无法找到一种直接的生物降解地膜等价物。
- 气候可能会影响生物降解地膜的性能，但在评估生物降解地膜的农艺性能方面，北欧国家存在研究空白。
- 在被应用于通常不采用地膜覆盖技术的作物栽培领域之前，需要对生物降解地膜的此种新型应用进行审慎评估。

4.3 评估生物降解地膜应用的环境风险

虽然显而易见的是，传统塑料的残留物会造成环境危害，但在使用生物降解塑料的场景中，研究这些环境风险议题也很重要。这些议题包括：

1) 用作地膜时对土壤生态系统的影响。
2) 在生物降解阶段随犁翻入土壤后，对土壤生态系统的影响。
3) 如果未以正确方式将生物降解地膜随犁翻入土壤，未降解的地膜碎片就会留存在田间地头，且可能渗入水道中。

研究人员发现，在使用阶段，生物降解地膜对土壤健康指标的影响与传统地膜相类似，同时地膜仍能保持完好无损。[193,194,195,196]

[193] Saglam, M.，Sintim, HY，Bary, AI，Miles, CA，Ghimire，S., Inglis, DA及Flury, M.（2017年）《生物降解纸和塑料地膜对土壤水分动态的影响的建模》（Modeling the effect of biodegradable paper and plastic mulch on soil moisture dynamics），*《农业用水管理》（Agricultural Water Management）*，第193卷，第240–250页

[194] Chen, N.，Li, X.，Šimůnek, J.，Shi, H.，Ding, Z.及Zhang, Y.（2020年）《生物降解地膜和塑料地膜对滴灌沙地中氮吸收、分布和浸出的影响》（The effects of biodegradable and plastic film mulching on nitrogen uptake, distribution, and leaching in a drip-irrigated sandy field），《农业、生态系统与环境》（Agriculture, Ecosystems & Environment），第292卷，第106817页

[195] Bandopadhyay, S.，Martin-Closas, L.，Pelacho, A.M.及DeBruyn, J.M.（2018年）《生物降解塑料地膜：对土壤微生物群落和生态系统功能的影响》（Biodegradable Plastic Mulch Films: Impacts on Soil Microbial Communities and Ecosystem Functions），《微生物学前沿》（Frontiers in Microbiology），第9卷

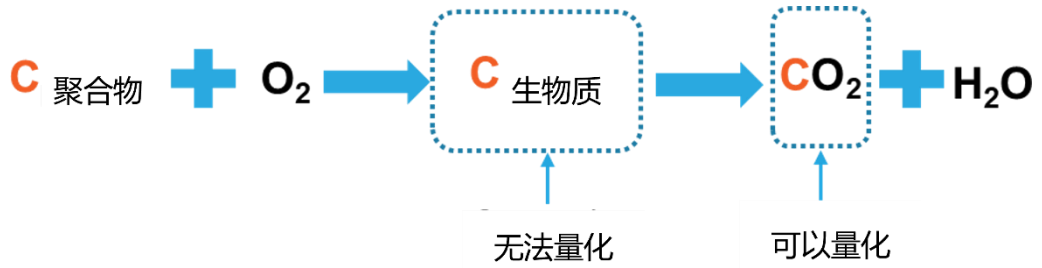
[196] Sintim, H.Y.，Bandopadhyay, S.，English, M.E.等人（2019年）《生物降解塑料地膜对土壤健康的影响》（Impacts of biodegradable plastic mulches on soil health），《农业、生态系统与环境》（Agriculture, Ecosystems & Environment），第273卷，第36-49页

没有证据表明生物降解地膜在使用过程中可能会对土壤健康造成危害。同样，没有证据表明相比低密度聚乙烯地膜，生物降解地膜能够给土壤健康带来更正面的影响。我们将在下一节中先探讨第二个问题，然后再分析现行标准是否足以将这些风险控制在可接受的水平。

4.3.1 生物降解地膜在废弃时的生物降解

生物降解是有机物在微生物（细菌和真菌）的催化作用下发生降解的过程。下面的简化方程（图 4-2）所示的好氧降解显示了微生物在有氧气存在的条件下，利用氧气代谢（生物降解）聚合物中的碳，然后再将其矿化为二氧化碳和水的过程。微生物分泌的酶可以分解（裂解）聚合物链，使其达到生物可利用的大小。此种生物降解过程发生在塑料表面，因为酶不能穿透聚合物表面，这意味着在外层塑料被代谢掉之前，位于塑料核心部位的碳不具可用性。这是较厚的地膜生物降解速度较慢的主要原因。不同的土壤条件也会影响生物降解速度，这主要取决于微生物的存在和温度，但也受土壤水分含量、氧气可用性和土壤酸碱性（pH 值）的影响。

图4-2：生物降解过程



资料来源：改编自Chinaglia等人[197]

衡量生物降解过程进展程度的方法是测量氧气的消耗量或二氧化碳的产生量。目前尚未开发出一种可靠的方法来测定碳向生物质的迁移量，不过最近通过标记聚合物中的碳并在整个生物降解过程中对其进行跟踪，研究人员已经在小范围内实现这一目标。[198]实验室研究的计算结果表明，生物质生产所用的碳量因材料的不同而异，在10%到40%之间变化。[199]

---

[197] Chinaglia, S.，Tosin, M.及Degli-Innocenti, F.（2018年）《生物降解塑料在分子水平上的生物降解速率》（Biodegradation rate of biodegradable plastics at molecular level），《聚合物降解和稳定性》（Polymer Degradation and Stability），第147卷，第237–244页

[198] Zumstein等人（2018年）《土壤中合成聚合物的生物降解：追踪碳转化为二氧化碳和微生物生物质》（Biodegradation of synthetic polymers in soils: Tracking carbon into CO2 and microbial biomass），《科学进展》（Sci. Adv.），2018;4：eaas9024

[199] 比利时OWS独立测试机构（2016年）。《专家声明：（生物）降解地膜》（Expert Statement: (Bio)degradable Mulching Films）

这意味着尽管转化为二氧化碳的可用碳的测量值可能低于100%，但仍发生了“完全”生物降解反应。[200] [201]

农田土壤中的生物降解不能像在实验室中那样直接测量演化后的碳。相反，它可以通过随时间推移的地膜失重率来衡量，也可以通过对劣化的目测评估来进行定性衡量。在农田土壤中，“完全”生物降解应该意味着土壤中没有残留的地膜碎片，但是在采样和测量技术上的差别意味着这一点很难确认。近期的一项实验室研究已清楚表明，对于已通过欧盟EN17033标准认证的生物降解地膜，物理降解的定性评估具有可靠性，可以作为衡量碳矿化转化为生物质的指标。这一点至关重要，因为市场上的一些地膜会被物理分解，且最终不会发生生物降解，因此微塑料碎片会滞留在土壤中，对土壤健康产生负面影响。[202]

许多研究在掩埋地膜前将地膜放在网袋中，以方便研究人员在后续操作中从土壤中取出地膜。但是这一做法受到批评，因为人们怀疑此类网袋会干扰正常的微生物活动，因此这些研究所报告的生物降解速率可能比留置在开阔地中的样品要慢。其他采样方法包括使用高尔夫球洞切割器，[203]或在田间地头随机抽取较大的样本，将这些样本过筛后提取残留地膜碎片[204]。在上述所有示例中，在筛分泥土以提取碎片进行称重时，微颗粒和纳米颗粒很可能会被遗漏。这表明，测量结果可能高估了地膜的失重率和生物降解速率。所用筛子的典型筛孔尺寸为2.6毫米。

生物降解地膜实现完全生物降解所需的总时间至关重要。因为如果每年使用生物降解地膜，那么这一因子将影响是否存在残留塑料地膜在农田中不断累积的问题。从图4-3中可以看出，影响土壤生物降解的主要因素包括气候、材料变量和土壤变量。我们将依次讨论这些因素。

---

[200] 比利时OWS独立测试机构（2016年）。《专家声明：（生物）降解地膜》（Expert Statement: (Bio)degradable Mulching Films）

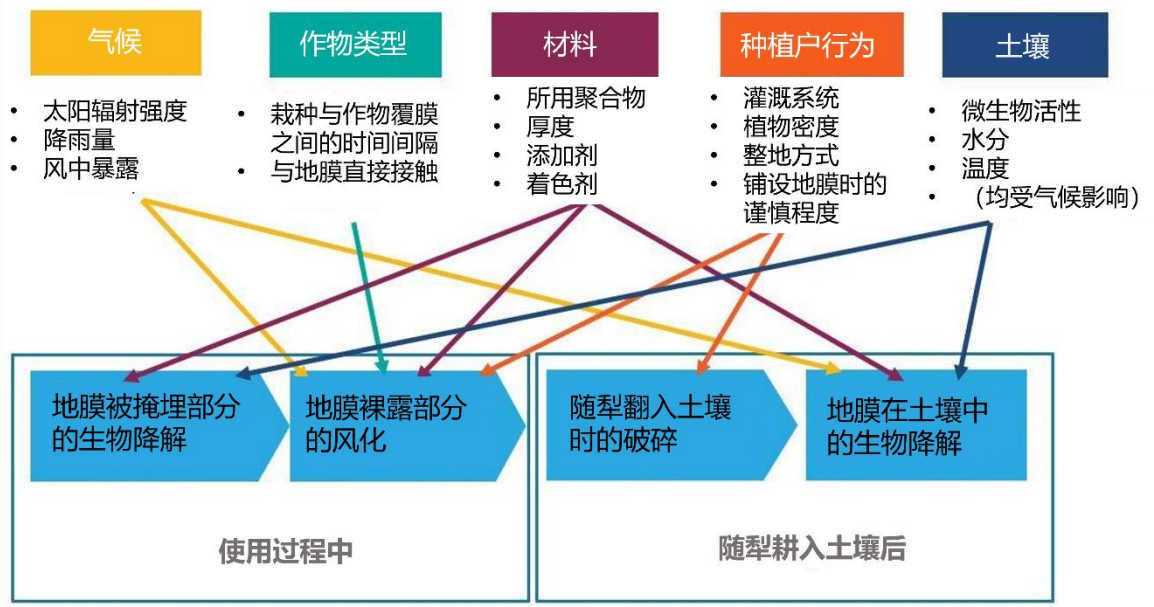
[201] Bettas Ardisson, G.，Tosin, M.，Barbale, M.及Degli-Innocenti, F.（2014年）《土壤中塑料的生物降解及其对硝化活性的影响：实验室方法》（Biodegradation of plastics in soil and effects on nitrification activity: A laboratory approach）。《微生物学前沿》（Frontiers in Microbiology），第5卷

[202] Tosin, M.，Barbale, M.，Chinaglia, S.及Degli-Innocenti, F.（2020年）《土壤中地膜和落叶的分解和矿化》（Disintegration and mineralization of mulch films and leaf litter in soil），《聚合物降解和稳定性》（Polymer Degradation and Stability），第109309页

[203] Cowan, J.S.，D.A. Inglis及C.A. Miles（2013年）《华盛顿西北部西兰花田间生产系统中混入土壤前后三种生物降解塑料地膜的劣化》（Deterioration of three potentially biodegradable plastic mulches before and after soil incorporation in a broccoli field production system）。《园艺技术》（HortTechnology），第23期，第849-858页。

[204] Ghimire, S.，Flury, M.，Scheenstra, E.J.及Miles, C.A.（2020年）《耕作后田间生物降解塑料地膜和纸地膜的采样和降解》（Sampling and degradation of biodegradable plastic and paper mulches in field after tillage incorporation），《全环境科学》（Science of The Total Environment），第703卷，第135577页

图4-3：生物降解地膜完全生物降解所需时间的影响因素



4.3.1.1 影响生物降解地膜的生物降解速率的材料因子

所有可能被生物降解的地膜均由聚酯制成，而聚酯则由单体通过酯键相连接而成。这些单体在微生物分泌的酶的作用下可以发生分解反应。表4-1显示了生物降解地膜中所用主要聚合物类型的生物降解速率预估对比，使用的是Brodhagen等人的定性估计法。[205]这些描述性标签很有必要，因为还没有不同材料之间的全方位比较。此外，比较的结果也不能说明每种材料是否都适合用作农用生物降解塑料，因为不同生物降解速率可能适用于不同应用领域，例如，为了提供相同的性能，在较温暖的气候条件下较低的速率可能更受欢迎，而在较寒冷的气候条件下较快的速率可能更能提供类似的性能。但聚乳酸属于例外情况。除非与其他更易降解的聚合物混合，否则聚乳酸在环境温度下不会发生生物降解，因此其本身不能单独用作生物降解地膜生产的原料。

[205] Brodhagen, M.，Peyron, M.，Miles, C.及Inglis, D.A.（2015年）《生物降解塑料农用地膜和微生物降解的关键特征》（Biodegradable plastic agricultural mulches and key features of microbial degradation），《应用微生物学和生物技术》（Applied Microbiology and Biotechnology），第99卷，第3期，第1039–1056页

表4-1：主要聚合物类型的生物降解速率比较

聚合物	土壤中生物降解速率预估对比	其他信息
淀粉	高[1]	
纤维素	中等偏上[1]	仅供参考——所有生物降解性测试均使用纤维素作为对照物质
聚羟基脂肪酸酯（PHA）	中等[1]	最值得注意的是，聚羟基丁酸酯（PHB）和聚羟基戊酸酯（PHV）是主要的市售类型
聚丁二酸己二酸丁二醇酯（PBSA）	中等[2]	有证据表明聚丁二酸己二酸丁二醇酯（PBSA）的生物降解性比聚丁二酸丁二醇酯略有提高（PBS）
聚丁二酸丁二醇酯（PBS）	中等偏下[1]	
聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯（PBAT）	中等偏下[1]	其自身的生物降解速率低，但与淀粉混合后会有所提高——意大利诺瓦蒙特公司在其Mater-bi生物塑料中使用聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯（PBAT）/淀粉作为原料，巴斯夫在其Ecovio生物塑料中使用聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯（PBAT）/聚乳酸（PLA）
聚乳酸（PLA）	低[1]	聚乳酸在环境温度下不会在土壤中自行生物降解，但它通常与其他聚合物（聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯（PBAT）/聚羟基脂肪酸酯（PHA））混合以实现更好的生物降解性和物理性能。

备注：

1. *Brodhagen等人于2015年给出的分类。*
2. *对聚丁二酸己二酸丁二醇酯（PBSA）类别的预计系基于所报告的比聚丁二酸丁二醇酯（PBS）更好的生物降解性*[206]

淀粉具有较高的生物降解速率，因此将其与其他不易降解的聚合物共混，可提高其整体的生物降解速率，同时淀粉也可与聚合物结合并增强聚合物的物理性能——淀粉基薄膜本身通常难以满足对地膜强度的要求。[207]

[206] Puchalski, M.，Szparaga, G.，Biela, T.，Gutowska, A.，Sztajnowski, S.及Krucińska, I.（2018年）《在不同环境条件下降解过程中聚丁二酸丁二醇酯（PBS）和聚丁二酸己二酸丁二醇酯（PBSA）共聚物的分子和超分子变化》（Molecular and Supramolecular Changes in PBS and PBSA Copolymer during Degradation in Various Environmental Conditions），《聚合物》（Polymers），第10卷，第3期

[207] Sun, T.，Li, G.，Ning, T.-Y.，Zhang, Z.-M.，Mi, Q.-H.及Lal, R.（2018年）《生物降解地膜覆盖对调节土壤温度和水分以及增加花生光合作用和产量的适宜性》（Suitability of mulching with biodegradable film to moderate soil temperature and moisture and to increase photosynthesis and yield in peanut），《农业用水管理》（Agricultural Water Management），第208卷，第214–223页

因此，聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯（PBAT）/淀粉混合物是生物降解地膜中最常见的原料形式。重要的是，无论使用何种聚合物，在相同的聚合物基团中，相比薄型地膜，较厚地膜的降解速度更慢。[208]

一项研究在比较了一系列不同的生物降解地膜后发现，随犁翻入土壤后降解速率的变化有65%系由材料的差异造成。只有10%的劣化变化可以用地理位置或作物季节性因子来解释。[209]同一地理位置生物降解地膜的生物降解速率的差异在很大程度上可以归因为聚合物成分和材料厚度的不同。

4.3.1.2 气候对生物降解地膜生物降解速率的影响

实验室生物降解性测试遵循一项规程，该规程在20°C至28°C的温度范围内对材料进行测试，选择这一温度范围是为了优化生物降解性测试（见第4.4节）。欧洲不同季节土壤温度的变化幅度不仅远大于该规程规定的温度范围，而且还会减缓生物降解地膜的生物降解速率，因为众所周知，真菌和细菌的活性会随着温度降低而下降。当温度从20°C降至10°C时，这些微生物群落的生长速度会减半。[210]这种现象被称为“10度法则”，其中温度系数（Q_{10}）是化学反应中温度每升高10°C时反应速率翻倍的因子，这一规律对生物降解活性通常也同样适用。[211]

意大利诺瓦蒙特公司在最近一项研究中测试了该公司淀粉共混聚合物在土壤中的矿化率。该研究表明，在15°C时，一年内矿化率略低于30%，而在28°C时，一年内矿化率略低于80%。[212]作为此项研究的一部分，他们开发了一个回归模型，以估算在任何土壤温度[213]下此种材料完全矿化所需的时间，并以意大利平均土壤温度14°C为例。据估计，15微米厚薄膜的矿化需要82天。

---

[208] Wang, Z.，Wu, Q.，Fan, B.等人（2019年）《生物降解薄膜替代塑料薄膜提高膜下滴灌棉花（陆地棉）产量的试验》（Testing biodegradable films as alternatives to plastic films in enhancing cotton (Gossypium hirsutum L.) yield under mulched drip irrigation），《土壤与耕作研究》（Soil and Tillage Research），第192卷，第196–205页

[209] Martín-Closas, L.，Costa, J.，Cirujeda, A.等人（2016年）《氧化降解和生物降解地膜的土壤上和土壤中降解：一种定性方法》（Above-soil and in-soil degradation of oxo- and bio-degradable mulches: a qualitative approach），《土壤研究》（Soil Research），第54卷，第2期，第225页

[210] Pietikäinen, J.，Pettersson, M.及Bååth, E.（2005年）《温度对土壤呼吸和细菌与真菌生长速率的影响比较》（Comparison of temperature effects on soil respiration and bacterial and fungal growth rates），《FEMS微生物生态学》（FEMS Microbiology Ecology），第52卷，第1期，第49-58页

[211] Nottingham, AT，Bååth, E.，Reischke, S.，Salinas, N.及Meir, P.（2019年）《土壤微生物生长对温度的适应性：使用热带海拔梯度预测未来变化》（Adaptation of soil microbial growth to temperature: Using a tropical elevation gradient to predict future changes），《全球变化生物学》（Global Change Biology），第25卷，第3期，第827–838页

[212] Pischedda, A.，Tosin, M.及Degli-Innocenti, F.（2019年）《土壤中塑料的生物降解：温度影响》（Biodegradation of plastics in soil: The effect of temperature），《聚合物降解和稳定性》（Polymer Degradation and Stability），第170卷，第109017页

[213] 作者指出，该模型对测试范围（15-28 ºC）以外温度的有效性值得怀疑，但如果超出不多则可能仍然有效。

由作者提供的公式可知，当平均温度为10°C时，相同材料的矿化需要150天。同时进一步推断结果表明，25微米厚地膜的矿化可能需要251天。地处北纬56°度以北地区的国家（斯堪的纳维亚、丹麦、英格兰北部及波罗的海）的平均土壤温度约为10°C。[214]这表明在这些地区，生物降解地膜实现完全生物降解所需的时间几乎是南部地区所需时间的两倍。表4-2显示了各种厚度和温度下，*在实验室条件下*预期的土壤生物降解速率的范围。

表4-2：土壤生物降解回归模型

土壤温度（ºC）	生物降解所需时间（天）		
	15微米	25微米	35微米
5	319	532	745
10	150	251	351
12	111	186	260
15	71	118	165

土壤水分含量也是一个重要的气候因子，因为土壤水分含量必须超过最低阈值时，才能够启动生物降解过程。水的存在是通过酯键水解断裂使材料发生化学分解的必要前提，酯键水解断裂后微生物才能渗透到材料中。据观察，在降雨量低的气候条件下，土壤会变得十分干燥，以至于生物降解会受到抑制。[215]没有证据表明北欧气候带较高的降雨量会如何影响地膜实现完全生物降解所需的总时间，但事实已证明，较高降雨量会引发田间的早期生物降解。为了规避因降雨而引发的早期降解，较厚的生物降解地膜可能更适合北欧地区，但较低的温度也将延长降解所需的总时间——因此至关重要的一点是，农膜供应商应了解当地气候条件，并指定一个在恰当时间节点开始发生降解的产品。这通常涉及在最初阶段在一个地块上开展试验，以确定薄膜选择的正确性，并帮助农民了解处理薄膜的方式和预期效果。据说巴斯夫公司在其薄膜试验中发现，早期降解通常是最棘手的问题，特别是在遇到非季节性恶劣天气时。[216]随着气候变化的加剧，此类事件发生的可能性也随之增加，导致生物降解地膜的使用变得更具挑战性。

[214] Andersson, K.，Nielsen, S.，Thørring, H.等人（2012年）《欧洲ARGOS和RODOS决策支持系统的摄入剂量模块的参数改进》（Parametric improvement for the ingestion dose module of the European ARGOS and RODOS decision support systems），《辐射防护》（Radioprotection），第46卷，第S223–S228页

[215] Costa, R.、Saraiva, A.、Carvalho, L.和Duarte, E.（2014年）《生物降解地膜在葡萄牙草莓作物栽培中的应用》（The use of biodegradable mulch films on strawberry crop in Portugal），《园艺科学》（Scientia Horticulturae），第173卷，第65–70页

[216] 对巴斯夫公司的采访

4.3.1.3 土壤因子对生物降解地膜生物降解速率的影响

生物降解速率和程度完全取决于微生物群落的健康。真菌已被证明是一个极为重要的因子，可加速生物降解地膜中所用聚合物的生物降解反应。此外，一些研究表明真菌群落比细菌活性更为重要。[217]在实验室条件下检测聚丁二酸己二酸丁二醇酯（PBSA）[218]、聚羟基丁酸戊酸共聚酯（PBVB）[219]及聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯（PBAT）[220]时已经观察到这一现象。

美国的一项研究在三个不同地点测试了四种生物降解地膜。这三个地点在土壤类型、海拔高度和年降水量方面不尽相同，但环境温度范围都与北欧气候带相似。[221]作者发现，在同一地理位置，生物降解速率的差异可归因为材料因子（所用聚合物）的不同；相同材料在不同地理位置上生物降解速率的差异并不能完全用气候因子的差异来解释。两年后，一个监测点地块的剩余覆膜率（按面积计算）为2%，而其他地块的剩余覆膜率则分别为43%和89%。在生物降解速率最高的地块，研究人员发现真菌群落数量极高，但作者得出结论说，这种变化是土壤因子与生物变量共同作用的产物，他们称之为“*相互作用力的复杂网络*”。[222]

综上所述，生物降解地膜在土壤中实现完全生物降解所需的时间，在田间条件下和在实验室测试中可能会有很大差异。气候因子可以解释一些研究人员观察到的田间生物降解速率的变化，但土壤因子的变化也会显著影响这些速率，但人们对此知之甚少。

---

[217] Yamamoto-Tamura, K.，Hiradate, S.，Watanabe, T.，Koitabashi, M.，Sameshima-Yamashita, Y.、Yarimizu, T.及Kitamoto, H.（2015年）《土壤酯酶对栽培土壤中脂肪族聚酯农用地膜的生物降解的贡献》（Contribution of soil esterase to biodegradation of aliphatic polyester agricultural mulch film in cultivated soils），《AMB快讯》（AMB Express），第5卷，第1期，第10页

[218] Yamamoto-Tamura, K.，Hiradate, S.，Watanabe, T.，Koitabashi, M.，Sameshima-Yamashita, Y.、Yarimizu, T.及Kitamoto, H.（2015年）《土壤酯酶对栽培土壤中脂肪族聚酯农用地膜的生物降解的贡献》（Contribution of soil esterase to biodegradation of aliphatic polyester agricultural mulch film in cultivated soils），《AMB快讯》（AMB Express），第5卷，第1期，第10页

[219] Sang BI，Hori K，Tanji Y，Unno H（2002年）《真菌对土壤中聚（3-羟基丁酸酯-co-3-羟基戊酸酯）地膜原位生物降解的贡献》（Fungal contribution to in situ biodegradation of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) film in soil）。《应用微生物学和生物技术》（Appl Microbiol Biotechnol），58:241–247，doi:10.1007/s00253-001-0884-5

[220] Kasuya K，Ishii N，Inoue Y，Yazawa K，Tagaya T，Yotsumoto T，Kazahaya J，Nagai D（2009年）《一种嗜中温脂肪族-芳香族共聚酯降解真菌的特性》（Characterization of a mesophilic aliphatic-aromatic copolyester degrading fungus）。《聚合物降解和稳定性》（Polym Degrad Stab），94:1190–1196, doi:10.1016/j.polymdegradstab.2009.04.013

[221] Li, C.，Moore-Kucera, J.，Miles, C.，Leonas, K.，Lee, J.，Corbin, A.及Inglis, D.（2014年）《美国三个不同地点的潜在生物降解塑料地膜的降解（Degradation of Potentially Biodegradable Plastic Mulch Films at Three Diverse U.S. Locations），《农业生态学和可持续粮食系统》（Agroecology and Sustainable Food Systems），第38卷，第8期，第861–889页

[222] Li, C.，Moore-Kucera, J.，Miles, C.，Leonas, K.，Lee, J.，Corbin, A.及Inglis, D.（2014年）《美国三个不同地点的潜在生物降解塑料地膜的降解（Degradation of Potentially Biodegradable Plastic Mulch Films at Three Diverse U.S. Locations），《农业生态学和可持续粮食系统》（Agroecology and Sustainable Food Systems），第38卷，第8期，第861–889页

4.3.2 生物降解塑料与传统塑料的田间累积残留量对比

实验室研究表明，厚度介乎14至44微米之间的生物降解地膜在180天后失重率可达到95%。[223]2006年意大利一项研究发现，地膜覆盖栽培一年后，仅有4%的生物降解地膜残留在土壤中。[224]本研究中生物降解地膜的厚度范围为25至45微米，比一般生物降解地膜厚，这表明厚度更薄的生物降解地膜的降解性能甚至更好。最近一项实验室研究发现，两个生物降解地膜样本的矿化率在全年平均分布，其中50%矿化率发生在一年中的下半年（最后6个月）。这些样本都在28摄氏度恒温下进行培养，因此在田间，这一过程可能需要超过一年时间。[225]

事实上，多项实地研究报告称，在随犁翻入土壤一年后，土壤中每年仍可找到相当大比例的生物降解地膜残留。[226,227]西班牙一项针对六种生物降解地膜展开的研究表明，在随犁翻入土壤200天后，土壤中地膜残留物的失重率为42%至73%，这表明在这段时间内生物降解尚未彻底完成。[228]中国一项研究发现，2年后，仍有30%至50%的聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯（PBAT）和聚丁二酸己二酸丁二醇酯（PBSA）生物降解地膜残留存在。作者得出结论称，这两类薄膜在土壤中实现完全降解需要长达数年的时间，尽管该地区的平均温度与北欧相似（5-10ºC）。[229]

只有一项研究以一种试图复制真实农业生产条件的方式，在多年连续覆膜栽培后，对生物降解地膜的田间累积残留量进行了

---

[223] Barragán, D.H.，Pelacho, A.M.及Martin-Closas, Ll.（2016年）《实验室条件下土壤中农业生物降解塑料的降解》（Degradation of agricultural biodegradable plastics in the soil under laboratory conditions），《土壤研究》（Soil Research），第54卷，第2期，第216页

[224] Scarascia-Mugnozza G，Schettini E，Vox G等人（2006年）《实际规模试验中农用生物降解地膜的机械特性衰变和形态行为》（Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment）。《聚合物降解和稳定性》（Polymer Degradation and Stability），第91期，第2801–2808页

[225] Tosin, M.，Barbale, M.，Chinaglia, S.及Degli-Innocenti, F.（2020年）《土壤中地膜和落叶的分解和矿化》（Disintegration and mineralization of mulch films and leaf litter in soil），《聚合物降解和稳定性》（Polymer Degradation and Stability），第109309页

[226] Li, C.，Moore-Kucera, J.，Miles, C.，Leonas, K.，Lee, J.，Corbin, A.及Inglis, D.（2014年）《美国三个不同地点的潜在生物降解塑料地膜的降解（Degradation of Potentially Biodegradable Plastic Mulch Films at Three Diverse U.S. Locations），《农业生态学和可持续粮食系统》（Agroecology and Sustainable Food Systems），第38卷，第8期，第861–889页

[227] Moreno, MM，González-Mora, S.，Villena, J.，Campos, JA及Moreno, C.（2017年）《田间条件下六种具有潜在低环境影响的生物降解地膜的劣化模式》（Deterioration pattern of six biodegradable, potentially low-environmental impact mulches in field conditions），《环境管理杂志》（Journal of Environmental Management），第200卷，第490–501页

[228] Moreno, MM，González-Mora, S.，Villena, J.，Campos, JA及Moreno, C.（2017年）《田间条件下六种具有潜在低环境影响的生物降解地膜的劣化模式》（Deterioration pattern of six biodegradable, potentially low-environmental impact mulches in field conditions），《环境管理杂志》（Journal of Environmental Management），第200卷，第490–501页

[229] Wang, Z.，Wu, Q.，Fan, B.等人（2019年）《生物降解薄膜替代塑料薄膜提高膜下滴灌棉花（陆地棉）产量的试验》（Testing biodegradable films as alternatives to plastic films in enhancing cotton (Gossypium hirsutum L.) yield under mulched drip irrigation），《土壤与耕作研究》（Soil and Tillage Research），第192卷，第196-205页

实地测试。[230]这项美国研究在四年内测试了四种生物降解地膜。[231]在随犁翻入土壤6个月后，生物降解地膜的平均回收率为50%（范围为31%至67%），36个月后，土壤样品中的仍有大约40%的累积残留物质存在。该研究的作者还指出，他们的采样技术意味着尺寸小于2.36毫米的碎片会通过筛孔漏出，而不会被计算在内，因此土壤中地膜残留量会被低估。

这项研究的结果可用于背景分析，并且可以表明地膜累积残留存在的可能性，以及与传统（聚乙烯）地膜的对照情况。图4-4显示了在每两年休耕一年的情况下，15年来连续覆膜栽培（除休耕年外）后，每公顷土壤中地膜的预计累积量。计算方法的说明可参阅附录A.4.3。两种传统地膜应用情景表现出75%和90%的地膜回收率，分别代表最坏和最好的情况。在本研究第3.4.1.1节中确定的每公顷240公斤的负面影响阈值是产量可能受到影响的临界点（尽管这一临界点目前还远不能确定）。达到75%的地膜收集率需要11年时间；而达到90%的地膜回收集则需要26年。相比之下，随着材料的生物降解，生物降解地膜在该阈值以下不断循环。还应认识到的是，该阈值只是指示性数字，目前尚不清楚，生物降解地膜在土壤中的浓度与传统地膜相同时，是否会对产量造成类似的影响。然而，在开展更长期的研究以验证这一点猜想之前，确保地膜残留量低于该阈值仍然可能是最好的预防办法。

该图也是一张简化图，因为生物降解地膜不会发生线性生物降解反应。相反，从地膜随犁翻入土壤中的那一刻起，生物降解反应开始加速，并且会在整个生长季节或加速或减速。然而，基于根据一组狭窄结果的推断，该图表明，生物降解地膜很可能不会随着时间的推移而大量累积。

该情景系基于监测点地块（美国华盛顿州）12ºC的年平均土壤温度。根据第4.3.1.2节中描述的温度回归模型并基于实验室测试，25微米厚的地膜在12ºC的温度条件下应能在186天内完成生物降解。显然，在地膜铺设后（随犁翻入土壤2.5年后），残留地膜似乎持续长达三年的情况并不符合以上推断。这凸显出实验室测试和真实农业生产条件下测试之间的差异。在真实农业生产条件下的测试中，微生物活性、土壤水分含量和温度波动的变化都会影响生物降解速度。事实上，使用年平均土壤温度来模拟生物降解也可能高估了生物降解速度。

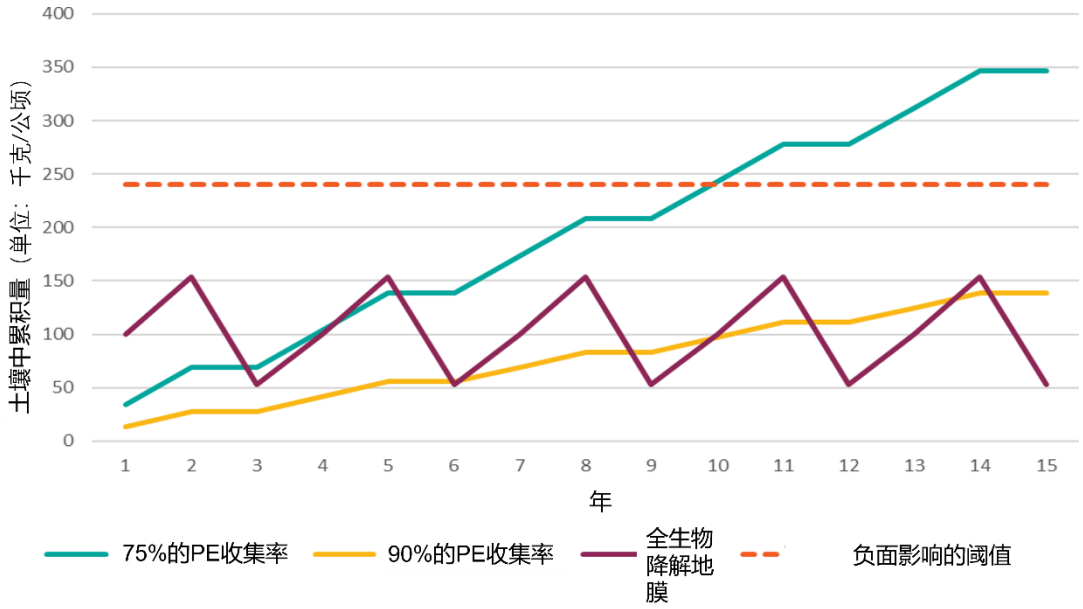
---

[230] Ghimire, S.，Flury, M.，Scheenstra, E.J.及Miles, C.A.（2020年）《耕作后田间生物降解塑料地膜和纸地膜的采样和降解》（Sampling and degradation of biodegradable plastic and paper mulches in field after tillage incorporation），《全环境科学》（Science of The Total Environment），第703卷，第135577页

[231] 这四种农用生物降解塑料分别是：1种聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯基、1种淀粉基和2种聚乳酸基、一种市售聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯/聚乳酸和一种实验性聚乳酸/聚羟基脂肪酸酯共混物。

图4-4：土壤中地膜累积残留量比较

生物降解地膜厚度为20微米；传统聚乙烯地膜厚度为25微米



然而，通过使用这两项研究的数据，可以获得相对于当地温度的地膜潜在累积残留量的指示。图4-5显示了四个年平均土壤温度条件下的地膜累积残留量；12ºC为美国研究所用温度、5ºC为北欧温度、10ºC为中欧温度，15ºC为南欧温度。回归模型表明，当温度在12ºC和10ºC之间时，生物降解所需时间将延长35%，这意味着对于25微米厚的地膜，需要四年而不是三年时间才能完成降解；在15ºC的温度条件下，该数字将减至两年多一点。在5ºC的温度条件下，该数字可能长达八年，不过考虑到这远远超出为开发回归模型而测试的实际温度，在这些温度条件下的不确定性很高。

同样，5ºC对作物栽培来说是一个非常低的温度，是许多蔬菜发芽温度的下限（通常为2-4ºC）。[232]然而，全年平均气温为5ºC有可能意味着夏季生长季节的温度更高，而冬季的温度则低于冰点。这意味着这仍然是一个切实可行的平均温度，代表北纬56度以北地区不断复现的情景。

研究结果表明，在较低温度下，25微米厚的地膜累积残留量可能会开始达到足够

[232] 巴尔干生态项目（2017年）《土壤温度与种子萌芽》（Soil Temperature and Seed Germination）

高的水平，从而可能对作物产量产生负面影响，在不实施休耕轮作的地区尤其如此。但是，需要开展具体的实地研究来证实这一点。

然而，实际上，25微米很可能是生物降解地膜厚度的较高值，特别是在相对寒冷的气候条件下（这些地区通常使用更薄地膜或具有更高生物降解速率的材料），因此图4-6显示了15微米地膜的建模结果，而15微米是更真实的地膜使用厚度。这表明，除了在5ºC下采取连续覆膜栽培的情景之外，其他任何情景都远低于负面影响阈值。图4-6中未显示土壤温度为15ºC的情景，因为根据建模结果，在此温度下，地膜在第一年内可以实现完全生物降解。

值得注意的是，在面向西班牙和意大利的种植户开展的利益相关者介入鼓励活动中，多年来一直使用生物降解地膜的种植户中都未报告残留累积问题（鉴于图4-5中的预测，这一情况的发生可以理解），不过没有种植户已对土壤样本进行分析并凭经验来确证这一点。

这些基于对解读有限数据得出的的指示性结果表明，如果重复使用生物降解地膜，那么土壤中总是会存在一些正处于生物降解阶段的残留，但其累计残留量可能会趋于稳定。如果某个地块整整一年都未曾使用生物降解地膜，则在较温暖的气候条件下，任何累积残留的塑料都会减少到接近于零的水平；但在温带气候下，塑料残留累积仍会在较低水平下持续更长时间。**然而，这一分析系基于有限的现有长期数据，这些数据仍存在不一致性，因此不能提供确定确切结论所需的可信度。尽管如此，这一分析还是提供了一个可能的累积风险的指标，除非这些传统塑料的田间地头回收率接近100%，否则这一风险似乎略低于传统塑料。**同样无从统计的是，在田间多年连续使用这些低浓度的生物降解地膜是否会产生任何长期影响——利益相关者引用了意大利的长期经验作为不会产生长期影响的证据，但是除了基于种植户经验的报告之外，我们尚未找到或者研究人员尚未提交任何数据来证实这一点。

图4-5：不同土壤温度下的生物降解地膜累积模型——膜厚25微米

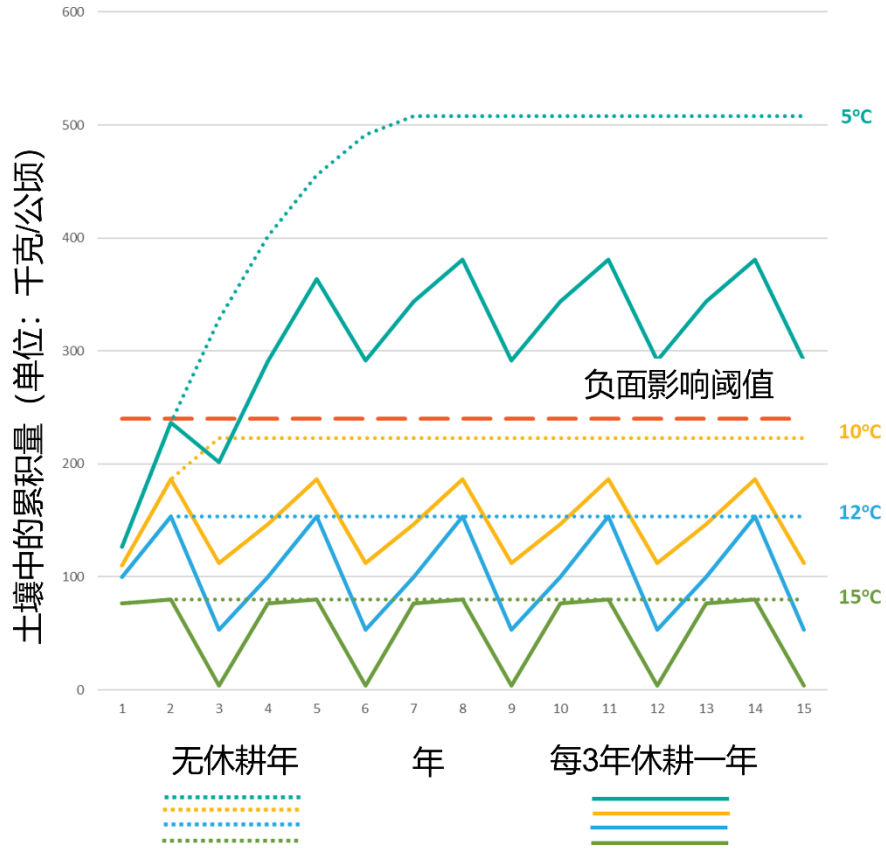
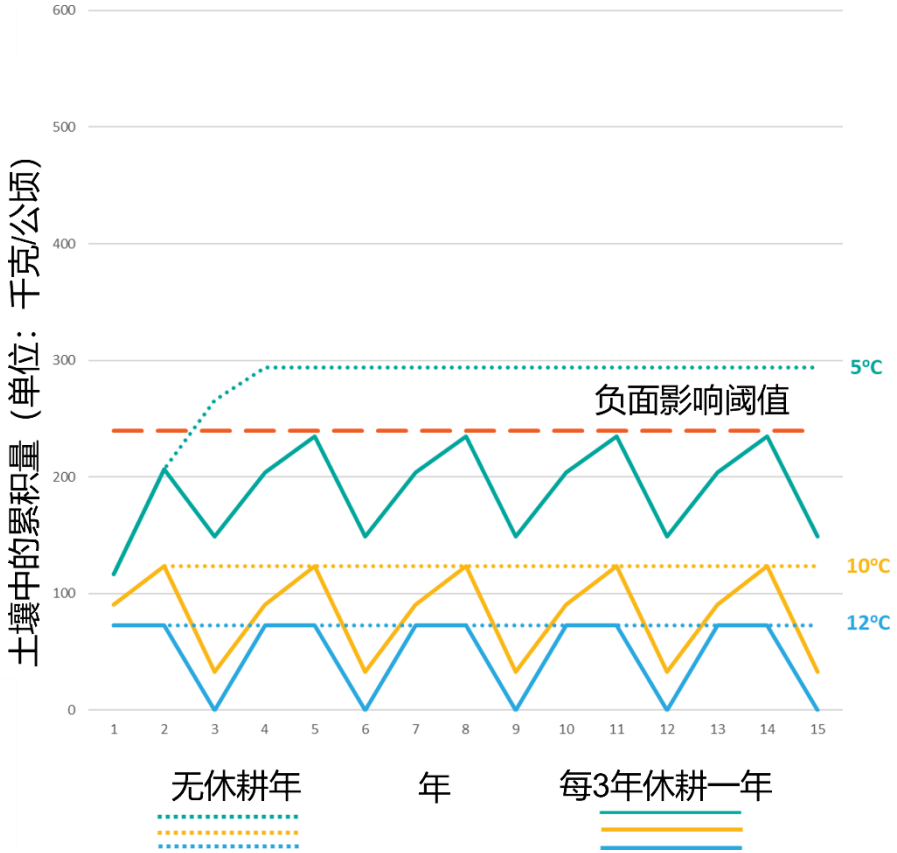


图4-6：不同土壤温度下生物降解地膜累积模型——膜厚15微米



4.3.3 农用生物降解塑料和传统塑料的环境影响

除了与使用农业塑料相关的环境风险，如果将它们存在开放环境中，那么提高其在整个生命周期中的环境表现也至关重要。这是因为用于生产农用生物降解塑料和农用传统塑料的原料来自不同来源（例如生物基或化石基）且具有不同（技术）性能，并且这会影响可用替代品的整体环境性能。例如，大多数生物降解地膜至少包含一些生物基原料，即来源于生物源的材料。在这些生物源材料发生完全生物降解[233]之前，从大气中吸收的碳会被暂时储存在生物源材料中。这与传统的含碳的化石基地膜形成了鲜明对比，因为如果不是这样，这些薄膜就会被“锁在”地下。这意味着我们应该认真考虑整个生命周期中的完整碳平衡。然而，农用生物降解塑料与农用传统塑料之间的比较评价应审慎进行，评价过程应尽可能依赖于透明、一致、可靠且可重复的研究，并遵循共同且协调一致的方法论规则。

欧盟委员会联合研究中心（JRC）针对依赖替代原料（例如生物基和化石基原料）的塑料制品开展了一系列生命周期评价（LCA）案例研究[234]，其主要目的是测试和说明一种方法的实际适用性，该方法能够针对塑料制品开展尽可能协调、一致且可重复的生命周期评价。因此，它们的目的不是未来证明或宣称其中一种被评估产品相对于其他产品具有最终的整体环境优势，评估结果应根据所做的假设和影响研究的局限性进行解释（详见案例研究报告）。例如，在某些情况下，评估中应用的生命周期清单数据仅近似于实际过程（例如聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯的生产或低密度聚乙烯的回收）。此外，根据生命周期评价惯例，实际应用数据反映了当前（或最近）的生产条件，因此它们没有考虑到未来可能发生的任何工艺改进或最新技术开发（例如用于某些生物基聚合物生产的技术）。

其中一项案例研究着眼于地膜，评估了原生低密度聚乙烯、再生低密度聚乙烯、淀粉基材料及和聚乳酸基材料在地膜生产中的应用。淀粉基和聚乳酸基材料是

---

[233] “完全生物降解”是指材料矿化成二氧化碳（可能还有甲烷）、在土壤中存在的微生物代谢作用下引起降解，以及将材料和生物降解过程中产生的任何中间降解产物转化为新的土壤生物质的过程。然后进一步对被融入全新土壤生物质中的碳进行矿化，直到形成稳定的有机化合物（例如腐殖质化合物），类似于施用在土壤上的有机物质（例如堆肥或沼渣沼液）。然而，（生物）塑料材料在土壤中的生物降解途径仍有待深入研究。

[234] Nessi S，Sinkko T，Bulgheroni C等人（2020年）《塑料生产用替代原料的比较生命周期评价：10个生命周期评价案例研究》（Comparative Life-Cycle Assessment of Alternative Feedstock for Plastics Production - 10 LCA case studies），《递呈欧盟委员会的报告》（Report for European Commission），2020年6月

87

生物基（淀粉、聚乳酸）和化石基塑料（聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯，即PBAT）的混合物，可能分别代表意大利诺瓦蒙特公司的Mater-bi生物塑料和巴斯夫的Ecovio生物塑料（不过该研究没有列明这些产品/品牌的名称）。生物降解塑料的一个常见问题是，它们通常具有特定的专有配方，因此不清楚是否可以像典型的传统聚合物一样，对它们的环境影响做概括性的说明。特定产品的生命周期清单数据通常不予公开，因此很难将市面上的特定产品与可用的汇总数据联系起来，并且可能导致结果不可靠。

欧盟在上述生命周期评价研究中应用了以下关键假设，特别是针对传统的非生物降解地膜。这些关键假设至关重要，因为它们可能会影响评估结果，但在某些情况下与本报告的研究结果不同：

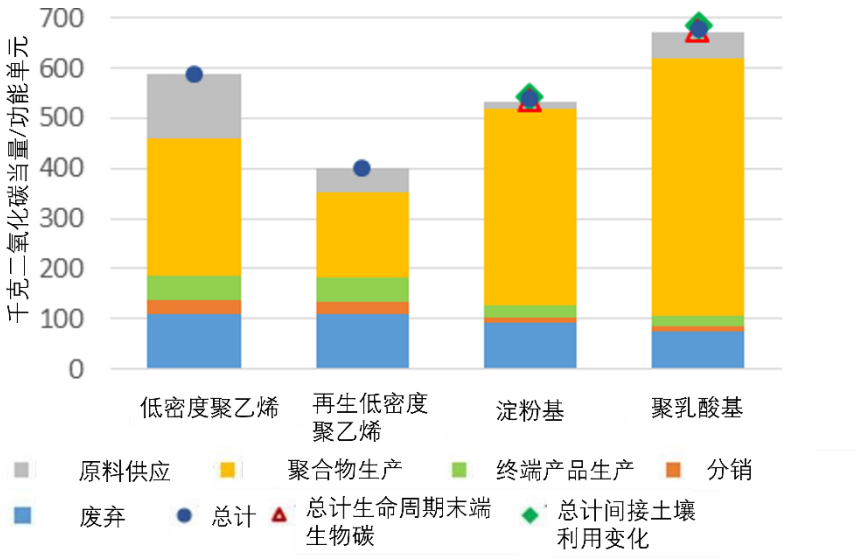
- 假设低密度聚乙烯地膜的厚度为35微米，该厚度在研究中被报告为市售地膜厚度上限值和下限值的四舍五入整数平均值。这可能是对欧盟当前典型做法的严重高估，因为利益相关者表示，大多数地膜产品的厚度范围通常在15至20微米之间，而较厚的地膜仅被专家应用于长期场景——这意味着取上限和下限的平均值不太可能代表已销售地膜产品的平均值。此外，该数字比欧盟EN 13655标准建议的用于在使用后应从田间地头移除的地膜的最小厚度厚10-15微米（即标准建议为20-25微米，具体因薄膜颜色不同而异）。这一点至关重要，因为制定该标准的目的是为了解决农户普遍使用更薄地膜的问题，如果地膜厚度通常为35微米或更高，则该标准没有存在的必要。
- 低密度聚乙烯薄膜的废弃管理情景包括20%的机械回收、45%的焚烧及35%的填埋。此外，假设田间回收率为90%，且已收集地膜的泥土脏污率为45%。这些假设均与本报告的研究结果相似（见第2.5节）。
- 对于回收利用路径，假设初始分拣步骤类似于针对来自市政垃圾分类收集的混合塑料废弃物的分拣过程。然而，在现实中，从田间地头收集的地膜已在源头进行分离（见第3.1节），因此这一假设具有一定程度的保守性，因为原则上不需要进行分拣（并且不应考虑此步骤的额外影响），不过这一假设仅涉及18%的覆盖在土壤上的地膜，因此可能只会对整体结果产生轻微影响。
- 假设回收利用流程效率是实际投入回收利用环节的废旧塑料量的84%。如果考虑到泥土脏污（45%）影响，那么整体回收利用效率将接近46%，这与本报告上文介绍的研究结果基本一致（即大约35%，但35%系针对15-20微米的更薄薄膜；见第3.2.3.1节）。
- 该研究假设使用后残留在土壤中的生物降解地膜的矿化率为90%，即在生物降解过程结束时假设材料中90%的有机碳转化为二氧化碳（符合

欧盟EN 17033标准测试地膜好氧生物降解性的最低要求），当测试地膜的好氧生物降解性时），其余有机碳最终转化为新的土壤生物质。正如向欧盟委员会提交的上一份可堆肥塑料产品报告中所讨论的[235]，大多数生物降解标准选择的90%阈值系指实验室规模的测试，其目的是检验产品的固有生物降解性，然而这在现实中可能无法实现，因为较高比例的碳会变成土壤中生物质的一部分，而转化为二氧化碳的碳的比例则较少。因此，90%的假设可被视作温室气体排放的"最坏情景"，尽管目前尚无明确证据表明地膜在真实土壤条件下的实际命运（即有多少碳被矿化成二氧化碳和水，有多少碳被融入新的高稳定性土壤生物质中）。

图4-7展示了一个关于地膜之气候变化影响的说明性研究成果示例。在上文讨论的假设和局限性范围内，我们发现由100%再生低密度聚乙烯（R-LDPE）制成的地膜对这一类别（即气候变化影响类别）的影响最小，即它比原生低密度聚乙烯地膜低30%，比生物降解地膜低25-40%。然而，必须指出的是，有研究报告称，使用100%再生材料生产地膜目前可能（尚）不可行，因此仅代表一种乐观情景。此外，没有假设被回收的低密度聚乙烯均来自于废旧地膜的闭环回收利用（而是来自于市政收集和工业收集的未指明的低密度聚乙烯废弃物）。使用淀粉基地膜和聚乳酸基地膜的影响都在使用原生低密度聚乙烯地膜的影响的10-15%之内，这在解释生命周期评价结果时可被视为无显著性差异。但是，低密度聚乙烯地膜厚度为35微米的假设肯定会对这个结果产生影响；将地膜厚度减至25微米（即减少近30%）可减小材料重量，因此整体影响可减少大约30%。在本研究的假设和条件下，这将使低密度聚乙烯地膜比替代性生物降解地膜更具优势。

[235] Hann, S.，Molteno, S.，Hilton, M.及Favoino, E.（2020年）《循环经济中可生物降解和可堆肥的消费塑料产品和包装的相关性》（Relevance of Biodegradable and Compostable Consumer Plastic Products and Packaging in a Circular Economy），《递呈欧盟委员会环境总署的报告》（Report for European Commission DG Environment），2020年2月

图4-7：气候变化的潜在影响——地膜的生命周期评价



资料来源：欧盟委员会联合研究中心（JRC）

在计算气候变化影响时，分别对不包括（默认方法）和已包括生物质增长期间吸收且在废弃（即地膜使用结束后）100年后未释放的生物源碳的贡献进行了计算。然而，在总体影响方面，两者未观察到显著性差异，因为这两种生物降解材料的生物源二氧化碳净排放接近中性（即从大气中吸收的大部分生物源二氧化碳均在生物降解过程中被排放出去）。如果材料中较大比例的有机碳被留置在土壤生物质中（但对其实际生物降解并无不利影响），则可能会更有利于选择生物降解塑料，但目前并不可能对生物降解过程中的碳进行准确跟踪。

审视不同生命周期阶段对气候变化产生的影响时，我们发现对所有材料而言，聚合物生产是最相关的阶段，与化石基薄膜相比，生物基薄膜在这一阶段表现出更高的气候变化影响。造成这一现象的部分原因是：与化石基塑料的悠久发展历史相比，生物基塑料的产量更低且相差甚远（因此形成规模经济的机会更少），而且商业化的时间相对更短。然而，目前尚不清楚为了能与化石基塑料竞争，生物基塑料生产工艺在未来能（进一步）改进到何种程度。

对于气候变化以外的其他影响类别，研究结果也显示了类似的情况。与其他替代产品相比，再生低密度聚乙烯薄膜在几乎所有剩余的15个影响类别[236]中具有最低的影响。而在至少一半的剩余影响类别中，原生低密度聚乙烯薄膜性能优于生物降解薄膜。

尽管这个结论存在一定的局限性，并考虑到该研究的说明性本质，有人可能会争辩说，对于目前可以在生命周期评价中量化的所有类别中，使用低密度聚乙烯地膜，当它被高比例回收利用，然后闭环用来生产新的地膜，会是一种可能对环境影响最小的情景（例如不包括露天环境中塑料释放的潜在影响）。即便我们能够在未来提高用于生物降解地膜生产的生物基原料的生产效率，但生物降解地膜无法被回收继续使用的事实意味着它将始终采用原生材料制造。从循环经济的角度来看，这并不

是最佳选择。但是仍有待观察的一点是，我们是否真的有可能有效地收集和回收传统化石基地膜，从而规避与塑料在环境中积聚，与此相关的利弊仍需要权衡。此外，仍需要证明的一点是，非生物降解地膜的真正闭环回收利用是否会因为清除泥土脏污[237]等步骤产生额外的环境影响，从而减少与其他可用替代品相比的优势。

对于其他废弃管理做法，由于回收利用不力，传统地膜通常被焚烧或填埋。该研究还模拟了低密度聚乙烯地膜的替代品。模拟结果发现，对于包括气候变化在内的大多数影响类别，焚烧和填埋这两种处理方式都比回收利用更糟糕。从气候变化的角度来看，100%焚烧情景是最糟糕的命运，因此低密度聚乙烯在这些情况下是最糟糕的材料选择。随着未来焚烧产生的电力可抵消更多低碳能源，这种情况也可能会变得更糟。

由于缺乏有代表性的数据，欧盟委员会联合研究中心（JRC）并未模拟残留物处理中薄膜脏污的影响。这对垃圾填埋可能尤其重要，因为附着在塑料上的有机物（例如作物秸秆）会分解成甲烷。如果在该领域没有进一步研究，就不可能识别、比较其明确的影响，但这确实为我们禁止高度污染地膜进入垃圾填埋场提供了更多依据。

4.3.4 环境风险结论

评估使用生物降解地膜可能产生的环境影响对于评估其在农业生产中替代传统塑料的潜力至关重要。本节对证据的回顾表明；

- *在使用过程中，*生物降解地膜对健康土壤结构的影响与传统覆盖物的影响相差无几，尽管为了获得最佳性能，种植户需要有个学习过程才能完成从传统覆盖物向生物降解地膜的转换。但如果薄膜供应商能够提供适当的培训和支持（通常实际情况亦是如此），这一点将不会被视作障碍；
- 材料、气候和土壤因子三者相互作用，共同影响生物降解速率，因此相同的产品在一个地方可能在两年内完全降解，而在另一个地方则可能需要更长或更短时间完全降解；
- 由于生物降解地膜耕种进土壤后实现完全生物降解可能需要一年以上的时间，因此在平均土壤温度低于15°C的地区，生物降解地膜会逐渐在土壤中累积，但这种累积会稳定在一个较低的水平；
- 一旦停止使用生物降解地膜或者如果遇到休耕年，在温带气候条件下（土壤温度高于10°C），土壤中生物降解地膜的残留量可能会迅速（1至2年内）减少至零；这与传统塑料形成鲜明对比，因为传统塑料的浓度将保持不变。

[236] 即除臭氧消耗之外的所有类别。

[237] 请注意，欧盟委员会联合研究中心（JRC）的研究假设使用低污染的低密度聚乙烯废料来生产再生低密度聚乙烯薄膜，而不是使用严重污染的废旧地膜。

- 土壤中长期低浓度的生物降解地膜对环境的影响尚不得而知。目前尚缺失对生物降解地膜残留累积方面的长期研究；
- 传统地膜或生物降解地膜迁移进入水道或其他环境的可能性与程度尚未被研究。如果传统薄膜碎片确实发生了迁移，现有证据表明会对生态系统产生一些（但尚无法量化的）负面影响。对于生物降解地膜来说，负面影响可能相对较小，但由于通常不对这些材料进行水生生物降解性检测，因此不能保证其影响为零。
- 如果使用生命周期评价（LCA）作为比较环境影响的工具，目前的证据表明，在大多数影响类别中，相比生物降解地膜，传统地膜对环境的影响相对较小。添加了回收料的传统地膜中表现出来的环境影响则更优。然而，传统地膜在田间的残留量及与之相关的负面影响尚无法量化比较；且
- 生物降解地膜很可能会降低塑料在露天环境中残留的出现和持久性。但需要权衡其中的利弊，而且目前不可能通过典型生命周期评价方法得出结论，且生物降解塑料在土壤中的生物降解途径尚待进一步探索。

表4-3总结了在传统地膜与生物降解地膜之间权衡取舍的关键。其中强调了相当多的未知数，阻碍当前得出明确的结论。虽然相比生物降解地膜，传统地膜一旦被回收利用，就会被认为在其整个生命周期内对环境的影响相对较小，但目前人们通常不回收传统地膜。尽管有可能鼓励回收利用已收集的材料，但仍需进一步的研究来确定是否有可能在使用后始终如一地从田间移除所有传统薄膜残留。如果此举不可能，环境中就会存在塑料污染与温室气体排放（以及大多数其他的环境影响类别）之间的关键权衡取舍问题。通过借助技术升级来提高地膜移除率、针对回收系统提供更清洁的材料以及生物基原料生产领域的进步与发展，这些未来都会影响到具体做法的抉择。

表4-3：地膜材料的权衡取舍（考虑环境影响）

绿色=最有利的环境情景；黄色=混合情景或不确定情景；

红色=最不利的环境情景

<table>
<tr><th>权衡取舍>>
地膜材料[5]</th><th>原材料与生产</th><th>垃圾填埋</th><th>垃圾焚烧</th><th>在土壤中残留</th><th>循环利用</th></tr>
<tr><td>生物基生物降解地膜

化石基生物降解地膜</td><td>相比常规地膜，通常能够产生更大影响[1]</td><td>不适用</td><td>不适用</td><td>释放生物二氧化碳；约1/3转化为生物质[1]

释放化石二氧化碳；约1/3转化为生物质[1]</td><td>不会发生—材料价值丢失</td></tr>
<tr><td>生物基常规地膜</td><td rowspan="2">相比生物降解地膜，通常能够产生较小影响</td><td rowspan="2">无效。但有机残留物可能生成甲烷</td><td>释放生物二氧化碳；</td><td rowspan="2">持续[4]</td><td rowspan="2">材料具有可回收性[3]</td></tr>
<tr><td>化石基常规地膜</td><td>释放化石二氧化碳；</td></tr>
</table>

1. 值得注意的是，随着供应链和制造过程的进步与发展，这种情况可能发生改变。
2. 目前尚不清楚转化为二氧化碳或生物质的占比究竟是多少。可堆肥塑料的1/3转化为生物质，已参考此数字作为指示性数字。
3. 在欧盟境内，地膜的循环利用通常不会发生——未来需要提高收集率并完善鼓励循环利用的政策选项。
4. 目前尚不清楚田间通常会留置多少塑料残留物（由于去除不当或厚度较薄的薄膜发生撕裂）。
5. 材料也可以是化石基和生物基的混合物。这意味着同一种产品既可以释放化石二氧化碳，又可以释放生物二氧化碳，具体视环境而异。

4.4 经济性比较

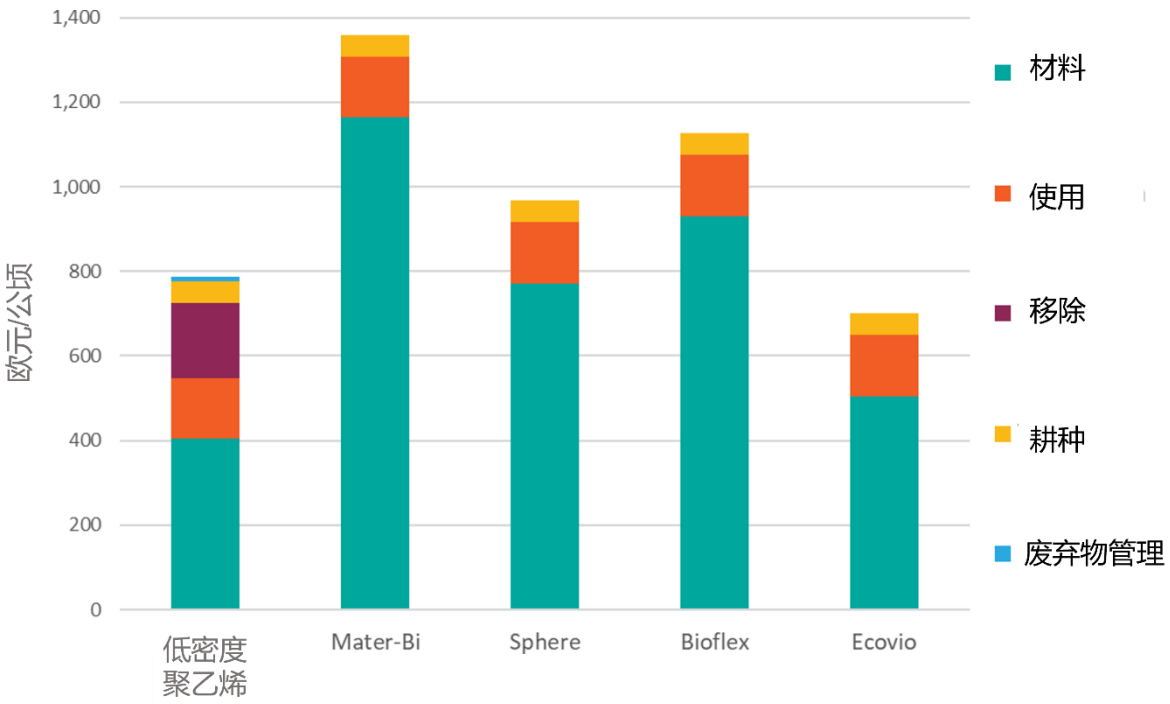
据报道，制约人们广泛接受生物降解地膜的障碍之一，是此类地膜的价格通常远高于聚乙烯地膜。西班牙的一项研究比较了辣椒地膜覆盖栽培的价格。该研究发现，15微米厚生物降解地膜的价格从每公顷500欧元到1,000多欧元不等，而同样厚度聚乙烯地膜的价格约为400欧元。[238]同一项研究还比较了使用每种地膜的总成本，如图 4-8所示。图中未包含的其他成本对生物降解地膜和传统地膜而言并无区别，主要区别在于聚乙烯地膜的移除和废弃物处理。地膜移除采用机械方式进行，但没有说明从田间地头收集地膜的比例。尽管如此，地膜成本的差异仍然是首要因素。废弃物处理——无论是垃圾填埋（10欧元）还是回收（16欧元）——成本相对低廉，仅占最终净利润率的0.1%。

在西班牙，为了减少塑料污染，一些地区当局已采取相关经济激励措施（例如在阿拉贡Aragon提供35%的补贴），以推广使用生物降解地膜；此举将生物降解地膜的成本降至接近聚乙烯塑料的水平。正如该研究所指出，这可能不足以成为激励人们向新系统转型的动力——至少对西班牙的辣椒作物来说是这样。

但这里存在的问题是，扩大使用传统塑料地膜的其他成本并未纳入考虑范围。正如第4.3.2节中所述，在短短10年间，土壤环境中塑料污染的加剧可能会对作物产量造成影响。以西班牙辣椒栽培为例，只要辣椒产量下降3%，就可抵消成本差异。然而，该结论在很大程度上仍停留在理论层面且适用于个别情况，作物类型和气候都会影响改用生物降解地膜是否能带来经济效益。

最后的成本考量因素是地膜厚度——该研究中的聚乙烯地膜和生物降解地膜的厚度均为15微米。这是典型的生物降解地膜厚度，但远低于有助高效移除田间地头传统塑料地膜所需的推荐厚度（20-25微米）。因此，举例而言，较厚地膜在价格上的33-67%增长会使图4-8中的低密度聚乙烯地膜成本增加至大约每公顷933-1067欧元。如果更厚地膜成为强制性要求，成本应该成为考量因素的一部分。

图4-8：地膜成本比较



资料来源：改编自Marí等人。

[238] Marí, AI，Pardo, G.，Cirujeda, A.及Martínez, Y.（2019年）《在辣椒（指尖椒）作物露天栽培中使用的生物降解塑料薄膜和纸质覆盖物的经济评价》（Economic Evaluation of Biodegradable Plastic Films and Paper Mulches Used in Open- Air Grown Pepper (Capsicum annum L.) Crop），《农艺学》（Agronomy），第9卷，第1期，第36页。

4.5 根据标准验证地膜安全性和产品性能

目前还没有一个适用于整个欧盟范围的标准可以对所有宣称可在土壤中生物降解的塑料和产品进行规定或测试。作为塑料制品的一个特殊子集，随着欧盟于2018年出台农业和园艺业用生物降解地膜标准（欧盟EN 17033:2018标准），地膜一直是标准制定者关注的焦点。此前，法国（NF U52-001 2005标准）和意大利（UNI 11495 2013标准）已针对地膜制定了国家标准。附录A.4.2详细比较了这些标准。

三个标准（欧盟、法国和意大利）规定了如下各项实验室检测要求：

1) 材料的化学成分；
2) 在土壤中的生物降解能力；和，
3) 生态毒性效应。

欧盟EN 17033标准针对生物降解地膜的三个不同厚度等级（<10微米、10微米~15微米和>15微米）详细规定了机械特性要求。该要求的阈值与传统塑料不同，但是设置这些要求的目的是为了确保地膜具有令人满意的性能。[239]然而正如本报告在第4.2.1节中所示，农民需要一定程度的学习才能让生物降解地膜发挥其最佳性能。欧盟标准在其附录H中包含一份生物降解地膜使用最佳实践的纲要性文件，不过目前尚不清楚这些最佳实践在多大程度上被遵循，因为它们属于自愿性实践，而且种植户不太可能直接查看标准。

欧盟EN 17033在附录G中列出了一个可选的检测流程，以确定在使用过程中地膜的破损可归因于地膜特性还是生物或非生物因素。由于地膜功能取决于作物在关键生长阶段需要覆膜的表面积，因此任何覆膜面积的减少都会影响地膜性能。种植户需要了解导致这种情况发生的原因是材料本身的限制还是其他原因。如果在使用过程中发生变化的地膜面积超过地膜总覆盖表面积的10%，欧盟标准则建议按照规定对材料进行测试。目前尚不清楚谁会真正使用此类测试，也不清楚这会带来何种影响。更有可能的是，遇到薄膜问题的种植户会转而使用另一种产品。

4.5.1 三个标准对生物降解性测试的规定

这三个标准在很大程度上遵循欧盟EN ISO 17556标准中规定的土壤生物降解性测试，该测试通过在实验室中测定所释放的二氧化碳量来计算固有的生物降解性。该测试使用已过筛的天然土壤作为介质，温度需保持在20-28°C范围内且上下浮动不得超过±2°C（最好为25°C）。根据欧盟EN17033标准中规定的有效性标准，

[239] 传统地膜标准（欧盟EN 13655标准）仅详细规定对厚度大于20微米的地膜的机械要求

如果在24个月内，与纤维素参照物对比，达到了90%的生物降解记录或绝对值，则表明该材料已通过测试。

人们认识到，为了能够复制，实验室测试条件需要仔细界定。因此不可避免地是，在生物和非生物因素的复杂相互作用下，实验室结果只能作为生物降解性的外在表征。[240]一些作者质疑ISO 17556标准是否是一个精准的指标，能否说明由这些材料制成的产品在真实土壤中会如何完成生物降解。为此，这些作者建议，此类测试应通过结果与实际田间条件的比较进行"校准"。[241]鉴于本报告第4.3.1节中讨论的研究结果（即，一种材料的生物降解速率因气候和土壤条件的不同而异），这种说法也问题重重。

在欧盟EN 17033标准中，对生物降解地膜或其组分的测试可作为评判产品是否满足生物降解性要求的依据，即，测试可以在地膜上进行，也可以在地膜颗粒或粉末形式的塑料基材上进行，但不得使用添加剂或母料。这引发了一些关于粉末形式测试适宜性的讨论，不过粉末样品的粒径约为200微米，大大高于厚度约为15微米的薄膜样品。[242]因此，这似乎是一个令人满意的测试流程，因为在假定两种条件下土壤水分含量和温度都相同的情况下，它会在田间产生比预期更慢的生物降级速率。然而，鉴于欧盟可以接受粉末或颗粒形式的测试，从本质上来说这意味着能够通过标准认证的是*材料*而不是*产品*——即一经认证的材料可以制成任何厚度的产品，这意味着在真实农业生产条件下，各种各样的生物降解时间都是可能的。

测试持续时间最长两年。尽管多项测试表明，某些生物降解地膜的田间生物降解可能需要数年时间，[243] [244]但这并不影响测试持续时间的选择，而这一选择旨在确定材料可能的*固有生物降解性*。任何超过生物降解性测试阈值的材料（即两年内降解率达90%）都应能够在足够长的时间内在土壤中完全降解。这意味着，即使在生物降解速率因气候因子而放缓的地区，材料最终也会降解，且不会留下任何

---

[240] Lambert, S.和Wagner, M.（2017年）。《生物基和生物降解塑料的环境性能：未来之路》（Environmental performance of bio-based and biodegradable plastics: the road ahead），《化学学会评论》（Chemical Society Reviews），第46卷，第22期，第6855–6871页

[241] Hayes, D.和Flury, Markus（2018年）《生物降解塑料地膜新标准EN 17033:2018的总结和评估》（Summary and Assessment of EN 17033:2018, a New Standard for Biodegradable Plastic Mulch Films），于2020年3月12日访问，https://ag.tennessee.edu/biodegradablemulch/Documents/EU % 20regs % 20factsheet.pdf

[242] 比利时OWS独立测试机构（2016年）《专家声明：（生物）降解地膜》（Expert Statement: (Bio)degradable Mulching Films）

[243] Moreno, MM，González-Mora, S.，Villena, J.，Campos, JA及Moreno, C.（2017年）《田间条件下六种具有潜在低环境影响的生物降解地膜的劣化模式》（Deterioration pattern of six biodegradable, potentially low-environmental impact mulches in field conditions），《环境管理杂志》（Journal of Environmental Management），第200卷，第490–501页

[244] Wang, Z.，Wu, Q.，Fan, B.等人（2019年）《生物降解薄膜替代塑料薄膜提高膜下滴灌棉花（陆地棉）产量的试验》（Testing biodegradable films as alternatives to plastic films in enhancing cotton (Gossypium hirsutum L.) yield under mulched drip irrigation），《土壤与耕作研究》（Soil and Tillage Research），第192卷，第196–205页

残留物。第4.3.2节中的累积模型表明，随着生物降解地膜的不断降解，土壤中生物降解地膜的浓度可能会趋于稳定。

对于那些不能立即随犁翻入土壤中的地膜应用，标准本身也存在模棱两可之处；一方面，它提供了一个基于地膜生命周期的分类系统，该分类系统在12个月以上级别中包括葡萄园和果园（附件G）；但是，它也在附件H中规定；

> *"种植户应确保将生物降解地膜混入土壤中并保持掩埋状态，以促进薄膜材料的生物降解进程。"*

显而易见的是，该测试机制（ISO 17556标准）仅适用于掩埋*在土壤中*的地膜，但似乎在某些情况下，这种情况永远都不会发生，或者数年内都不会发生。关于这在实践中是否存在问题，人们似乎缺乏共识。我们采访了两位参与欧盟EN 17033标准预规范测试的专家。[245]一种观点认为，土壤生物会仍然存在，并会对残留在土壤表面的物质进行生物降解，但这种生物降解的速度会慢得多。[246]另一种观点认为，虽然实际情况可能如此，但目前这是不可知且不可测试的，并且欧盟EN 17033标准没有提供验证这种特定情况的可行方法。[247]目前，欧盟EN 17033标准没有明确说明，也没有提供任何具体要求来表明，该标准不涵盖未随犁翻入土壤的地膜应用。由于土壤测试（ISO 17556标准）旨在复制有利于***土壤中***生物降解的理想条件，这意味着，在与微生物接触较少且水分含量较少的土壤表面，地膜材料需要更长时间来完成生物降解。这种时间的延长和暴露的增加也可能会加剧材料迁移至其他环境中的风险。

综上所述，欧盟EN 17033标准规定的生物降解性测试足以确保薄膜材料在土壤中累积的低风险。然而，它不保证（也不寻求保证）材料在两年内可完成完全生物降解，因为与实验室条件相比，气候和土壤条件可以减缓田间的生物降解速率。生物降解时间的延长可能会导致薄膜材料存在迁移至其他环境中的风险，但这种情况可能发生的程度尚无从统计。这种不确定性是当前知识储备中的一个缺口，但不太可能成为制约生物降解地膜使用的重大障碍。**在不太理想的条件下使用生物降解地膜进行替代时会存在不确定性，然而可以确定的是，在没有完全从田间地头移除的情况下，传统地膜会持续存在并造成危害。我们必须在此种不确定性和确定性之间求取平衡。**

由于浓度持续偏低但趋于稳定且不会累积，因此，土壤中生物降解地膜材料的存在很可能不可避免。我们将在下一节所讨论的标准范围内，通过生态毒性测试来评估其影响。

---

[245] 比利时OWS独立测试机构Bruno De Wilde和雅典农业大学的Demetres Briassoulis教授
[246] 比利时OWS独立测试机构Bruno De Wilde的专家意见
[247] 雅典农业大学Demetres Briassoulis教授的专家意见

4.5.2 三个标准对生态毒性测试的规定

为了确保材料不会对环境造成危害，相关标准的首要方法是对材料中的物质做出限制性规定。我们在附录A.4.2中比较了这三个标准的要求。这三个标准都限制了重金属的使用。此外，欧盟EN 17033标准将高度关注物质（SVHC）的浓度限制在0.1%以内。

我们将生物降解地膜置于初始浓度为1%的土壤中，进行了为期6个月的降解测试，探讨了可能出现的不利影响。对于典型的15微米厚地膜，随犁翻入土壤后土壤中的地膜浓度为0.0063%[248]，即使采用每年连续覆膜栽培方式，其最大累积水平也仅为0.012%。这是测试累积浓度的百分之一，这表明，生态毒性测试的测试浓度远高于现实农业生产中可能观察到的浓度。

三个标准中的生态毒性测试范围相似，但不同标准规定了不同的测试方法。所有三种标准都要求对植物（的萌芽和生长发育）和蚯蚓进行测试。欧盟EN 17033标准还包括一项基于硝化抑制机制对微生物进行的额外测试。欧盟EN 17033标准中规定的测试涵盖了所有生物群落，并探索了的不同土壤暴露途径，因为植物和微生物主要通过接触和吸收土壤水分摄取有毒物质，而蚯蚓则会摄入土壤物质。[249]

有人建议，可以通过扩大所覆盖的生物体范围并采用探索长期影响的测试来强化生态毒性测试。[250]对蚯蚓的慢性毒性试验包括为期56天的暴露期，并记录对后代数量和死亡率的影响。在实验设计中，56天是蚯蚓繁殖周期的两倍左右，但由于蚯蚓可以存活数年之久，因此该测试仍有可能没有注意到累积的慢性影响。

意大利诺瓦蒙特公司（Novamont）资助的一项研究测试了一种特定的生物降解地膜对多种生物的影响。该研究发现，在观察到生物降解地膜对生物体性能造成影响的领域，在使用纤维素的对照试验中也观察到了类似情况。作者据此得出的结论是，被测试的生物降解地膜可以被描述为*“对农业用途无害”*。[251]

---

[248] 比利时OWS独立测试机构（2016年）。《专家声明：（生物）降解地膜》（Expert Statement: (Bio)degradable Mulching Films）

[249] Hayes, D.和Flury, Markus（2018年）《生物降解塑料地膜新标准EN 17033:2018的总结和评估》（Summary and Assessment of EN 17033:2018, a New Standard for Biodegradable Plastic Mulch Films），于2020年3月12日访问，https://ag.tennessee.edu/biodegradablemulch/Documents/EU % 20regs % 20factsheet.pdf

[250] Sforzini, S.，Oliveri, L.，Chinaglia, S.及Viarengo, A.（2016年）《生物试验在测定降解塑料暴露后土壤生态毒性中的应用》（Application of Biotests for the Determination of Soil Ecotoxicity after Exposure to Biodegradable Plastics），《环境科学前沿》（Frontiers in Environmental Science），第4卷

[251] 资料来源同上。

在生物降解过程中释放的化合物所可能产生的影响也引起了人们的关注，因为在生态毒性测试使用的土壤中，地膜的生物降解已经持续6个月之久。因此，有人认为，这种做法的影响尚不清楚，因为目前的测试没有考虑到生物体在不同阶段不断变化的需求。[252]另一方面，生物降解地膜生产商声称，*"在生物降解过程中释放的单体和增塑剂本身在土壤中具有完全生物降解能力，如果采用基于REACH方法的评估方案进行评估，就会发现这些单体和增塑剂是安全的。"*[253]虽然不能排除生物降解地膜的生物降解可能对土壤生态系统产生目前尚未掌握的负面影响，但目前的生态毒性测试和成分限制足以确保这种风险相对较低，特别是与已查明的传统塑料残留累积问题相比。

综上所述，我们已回顾的证据表明，目前欧盟EN 17033标准中的生态毒性测试具有以下特征：

- 浓度足以涵盖生物降解地膜的定期使用；
- 涵盖三个生物有机体和暴露途径，但可通过增加测试生物体的范围来进一步强化测试。

然而：

- 这些测试没有探讨土壤中物质浓度低可能产生的长期影响；
- 通过对地膜生物降解已持续6个月之久的土壤进行测试，这些测试不会评估主要生物降解阶段的任何初始影响，例如化合物的释放或生物降解地膜碎片在生物降解之前对研究对象造成的物理影响。

目前仍需进一步研究探索最后两点的可能性，但目前来看，它们带来的风险很可能很低。因此，我们可以得出结论，如果产品需要满足欧盟EN 17033标准，风险就会得到控制，并保持在较低水平，这足以支持农用生物降解塑料的推广使用。然而，鉴于该领域的材料创新水平很高，定期审查回顾该标准以保持其严格性是谨慎明智之举。

[252] Bandopadhyay, S.，Martin-Closas, L.，Pelacho, A.M.及DeBruyn, J.M.（2018年）《生物降解塑料地膜：对土壤微生物群落和生态系统功能的影响》（Biodegradable Plastic Mulch Films: Impacts on Soil Microbial Communities and Ecosystem Functions），《微生物学前沿》（Frontiers in Microbiology），第9卷

[253] 意大利诺瓦蒙特公司（2020年）Position_Paper_Mulch film_Novamont_Apr20.pdf

4.6 应用风险综述

从上文讨论中，我们可以清楚地看出，在某些情况下，在农业生产中使用生物降解塑料具有一些明显优势。但是，可能还有其他的情景和产品，全生物降解的优势会减少，引发负面后果的风险会增加。表4-4按环境风险高低顺序给出了此类产品/情景的示例。由于无法量化风险，因此用相对风险进行表示。

低风险应用是将材料设计成可随犁翻入土壤中的应用。人们已在工业测试和已发表文献中对这些应用进行了广泛研究，以了解完成生物降解所需的时间。这些应用有与之相关的标准，包括在暖温带气候条件下用于短生长周期和长生长周期作物的地膜。

中等风险应用包括在较寒冷气候条件下或在不进行翻耕的地块使用地膜。由于塑料需要更长的时间才能完成生物降解且塑料可能会迁移至其他环境中，因此塑料废弃后的命运存在更大不确定性。在这些更难以管理的情况下，可以通过开展进一步研究和/或为农民提供更明确的信息来减少不确定性，进而降低风险。
此外，在中等风险的示例中，某些情况下，一些产品可能受益于其自身的生物降解性，例如滴灌带和树木保护罩。滴灌带与生物降解地膜一起使用，农民则可以省掉从田间移除塑料灌溉管的额外步骤。然而，目前该产品在研发和生产领域存在重大技术障碍（即需要开发出一种可以输送水，但不会过早发生生物降解的材料），这意味着此类产品目前尚未上市。[254]树木保护罩往往会多年留在原位，并可能被遗忘，但其生物降解时间是未知的，而且目前也没有适用的测试标准。然而，总的来说，与被弃置的传统塑料相比，缓慢降解的生物降解材料对环境的影响可能更小。尽管如此，最佳环境解决方案始终是移除生物降解材料以规避风险，但实际操作起来可能会困难重重。

高风险应用包括其他主要农用塑料制品（例如青贮饲料膜和温室大棚膜），这些产品目前尚无与生物降解时间相关的研究，并且通常会被留在原位。由于不确定随着时间的推移材料会发生何种变化，同时考虑到材料破损后其在整个环境中扩散的可能性增加，因此在没有控制的情况下，将大量薄膜留在原位会产生更高风险。所有这些产品都可以而且也能够被收集，但目前不同地区的收集水平相差较大。

[254] Hiskakis, M.，Babou, E.及Briassoulis, D.（2011年）《生物降解滴灌系统的实验处理：可能性和局限性》（Experimental Processing of Biodegradable Drip Irrigation Systems—Possibilities and Limitations），《聚合物与环境杂志》（Journal of Polymers and the Environment），第19卷，第4期，第887–907页

表4-4：农用生物降解塑料应用风险综述

环境风险	产品/应用	情景	处置	气候	生物降解所需时间	现行生物降解标准
积聚	地膜	短生长周期作物	随犁翻入土壤	温暖气候（例如意大利）	<2年[3]	EN 17033
				温带气候（例如法国）	大约3年[4]	
		长生长周期作物[2]		温暖气候（例如意大利）	大约3年[3]	
				温带气候（例如法国）	大约4年[4]	
部分积聚		短生长周期作物[1]		寒冷气候（例如瑞典）	无从统计	
		长生长周期作物[2]		寒冷气候（例如瑞典）	无从统计	
		多年生作物	留置土壤表面	温暖气候（例如意大利）	无从统计	×
				温带气候（例如法国）	无从统计	×
				寒冷气候（例如瑞典）	无从统计	×
	滴灌带	与生物降解地膜一起使用	随犁翻入土壤	任何气候	无从统计	×
	植物保护罩	为树木提供5年以上保护	留在原位	任何气候	无从统计	×
高	绳线与网套		留在原位	任何气候	无从统计	×
	青贮饲料膜拉伸缠绕膜		留在原位	任何气候	无从统计	×
	青贮饲料膜		留在原位	任何气候	无从统计	×
	矮拱棚篷布		留在原位	任何气候	无从统计	×
	温室大棚膜		留在原位	任何气候	无从统计	×

备注

1. 对于15微米厚薄膜，不足6个月
2. 假设需要更厚（~20-25微米）的薄膜，6至12个月
3. 基于15°C的平均土壤温度。使用来自Ghimire的数据（在12°C温度条件下进行的实验），并使用*Pischedda*等人的温度回归模型进行推算的建模结果。
4. 基于10°C的平均土壤温度。
5. 基于5°C的平均土壤温度。通过选择更容易生物降解的材料（例如淀粉基材料），该数字可能会减少。然而，在冬季，任何地面冻结都会阻碍生物降解反应的进行，直至气温回升。

4.7 提出和检验农用生物降解塑料使用标准

从废弃物处理的角度来看，就生物降解塑料而言，目前尚无证据表明，在其废弃后被犁入土壤时，此种材料本身会提供任何可衡量的农艺效益（这与地膜产品的农艺效益不同，生物降解地膜产品和传统地膜产品的农艺效益基本类似）。生物降解塑料中的一些碳似乎被纳入生物质中，但至少有一半以二氧化碳排放的形式“流失”。[255]未融入土壤但留在原位的生物降解塑料不太可能提供任何好处。**这就引出了一个前提，即在废弃物处理层级金字塔中，回收利用将高于在土壤中生物降解，这意味着我们的默认立场应该是重点关注农用塑料的收集和回收利用。然而，如果认为不可能完全移除此类材料，那么这一点也应与传统塑料混入土壤的不利证据相权衡。目前尚不清楚从田间地头100%移除农用塑料是否可行。**

在识别生物降解地膜的有益用途时，为传统地膜设定一个明确的标准也至关重要。显而易见的是，传统地膜的设计通常不是实现较高田间回收率和后续回收利用的最佳选择。尽管欧盟EN 13655标准规定了20微米的最小厚度限制，但该标准并非强制性标准。这将导致人们使用更薄的材料，这反过来又增加了残留塑料累积的可能性。似乎有一个强有力的论据表明，我们应设定强制性最低厚度和/或拉伸强度的指标（可能与标准有关），此类要求不仅有助于减少塑料污染，并且脏污程度会相应降低，从而提高塑料的回收利用。目前尚不清楚应指定的最小厚度限制应该是多少。

这方面需要进一步研究，以确定实现从田间地头100%移除材料所需的材料厚度。欧盟委员会联合研究中心针对该议题开展了一次生命周期评价（见第3.4.4节）。该评估发现，从材料生产的角度来看，即使是厚度为35微米传统塑料也依然更优。回收利用的不断改进以及在生产中使用再生原料会让更厚的材料仍然成为人们的首选。

现实情况是，我们应尽可能地避免土壤中存在具有累积可能性的任何塑料。建模结果表明，即使田间地头的传统地膜回收率高达95%或以上，50-100年内，这种累积也会导致问题重重。这意味着它可能不是一个迫在眉睫的问题，而是一个日积月累且无法逆转的问题。回收率每上升一个百分点都将产生巨大影响，我们应优先关注良好的设计和清除技术。尽管这指向了应全盘改用生物降解地膜（从塑料污染的角度来看），但在出现次优条件时，我们应谨慎行事（如第4.6节所述）。

---

[255] Hann, S.，Molteno, S.，Hilton, M.及Favoino, E.（2020年）《循环经济中可生物降解和可堆肥的消费塑料产品和包装的相关性》（Relevance of Biodegradable and Compostable Consumer Plastic Products and Packaging in a Circular Economy），《递呈欧盟委员会环境总署的报告》（Report for European Commission DG Environment），2020年2月

目前生物降解地膜还存在设计上的局限性，例如无法生产透明的生物降解地膜，这限制了可能的应用范围。

目前，农用生物降解塑料主要被应用于地膜，这是学术研究的主要关注点，因此这也是本报告的重点。**很明显，生物降解地膜为种植户提供了一项额外的选择，它的好处令人难以抗拒，似乎没有理由去立法阻止使用这类材料。**然而，目前业界正在开发用于农用生物降解塑料的新材料，并正在提出农用生物降解塑料新应用的建议，因此需要一套原则来指导这些产品的使用，以便在提供切实利益的同时避免误用和虚假宣传。这不仅可以保护现有的农用生物降解塑料市场免受具有类似但未经证实的产品的影响，而且还提供了一个发展框架。表4-5总结了上文讨论中确定的关键原则，并在此基础上提出了理想情况下应满足的标准，以在降低环境风险（主要针对相对风险）的同时，遵循废弃物处理层级金字塔制度和循环经济原则。

表4-5：生物降解塑料在农业生产中的应用标准

标准	理据
一级标准	
使用传统塑料会对环境造成负面影响，导致塑料在土壤中累积/渗入环境	该产品/应用是众所周知的在使用/处置过程中排放到环境中的塑料污染源。针对对环境不产生负面影响的塑料（或非塑料）应用，应以回收为目标，以保留材料价值。
去除、收集、负责任地处置该产品并在废弃时不留置任何该产品的残留物不具有切实可行性	应重点关注产品的收集和回收利用。可以在使用后易于移除和收集的产品（即使需要政策机制/激励措施）不应是生物降解制品。
二级标准	
与传统替代品相比，可以实现类似或更优的产品参数和性能	替代产品应提供与被替代产品几近相同的功能特性，否则不太可能被采用。
为了观察在特定气候条件下预期的生物降解时间，已开展现场测试	为减少产生非预期结果的风险，应在真实农业生产条件下进行测试，在形成具体规范前，此类测试可以成为研究的基础。
标准检测方法和生物降解阈值已存在（例如欧盟EN 17566和EN 17033标准）*	测试和验证标准的存在意味着生产者将有一个目标明确的标准，而消费者则可查阅这一标准并对产品的应有性能有所了解。

农用生物降解塑料使用标准可分为两个级别：一级标准和二级标准。一级标准由不太可能随时间发生变化的常量标准组成，这些标准优先于二级标准。二级标准是基于证据的标准，可用于对针对满足一级标准的产品/应用展开调查。其目的旨在节约那些可能会用来开发产品、测试生物降解性能和制定不当的应用标准所浪费的资源。

表4-6采用了这些标准，并将其应用于本报告中确定的常见农用塑料应用领域以及一些小众和/或新的示例应用领域。

表4-6：农业生产中使用生物降解塑料的应用标准

√符合标准，×=不符合标准，√×=证据基础不明确/或正在开发中

标准	地膜—短周期作物	水稻生产用地膜	灌溉用滴灌带	树木保护罩	饲料打捆绳线与网套	青贮饲料包装膜	温室棚膜
一级标准							
使用传统塑料会对环境造成负面影响，导致塑料在土壤中累积/渗入环境	√	不适用	√×	√	√	√	√
去除、收集、负责任地处置该产品并在废弃时不留置该产品的任何残留物不具有切实可行性	√	√	√×	√×	√×	×	×
二级标准							
在使用过程中可以实现类似或更优的产品参数和性能	√	不适用	×	√	√×	×	×
为了观察在特定气候条件下预期的生物降解时间，已开展现场测试	√	√×	×	×	×	×	×
标准检测方法和生物降解阈值已存在	√	√×	×	×	×	×	×

表4-6中列示的结果表明，目前只有地膜被认为是生物降解材料的恰当应用领域，这与本报告的研究结果一致。此应用拥有极强的证据基础作为支撑，并且它是唯一可以通过使用标准来验证的应用。在天平的另一端，青贮饲料包装膜和温室大棚膜都未能满足无法实现收集的一级标准的要求。尽管生物降解塑料生产商并未推广温室大棚膜等产品，但这为继续保持这一状态提供了合乎情理的框架。

显而易见的是，在农用塑料领域，不应将生物降解特性用作一种推卸农用塑料废弃物收集责任的手段。这意味着，我们应采取其他措施来解决与管理对环境不利的影响。对于青贮饲料缠绕膜和温室大棚膜而言，要达到与传统塑料相匹配的性能指标也是一项重大挑战；温室大棚膜要求透明且使用寿命较长，生物降解塑料很难达到这个要求。为青贮饲料提供一种具有气密性、坚固性和持久性的覆盖，也与当前生物降解塑料的特性背道而驰。同样，对于绳线和网套而言，生物降解塑料也不太合适，因为这种应用需要材料具有高抗拉强度，而生物降解塑料很难达到这一点（同时还要保持生物降解特性）。

更值得关注的是那些展示出生物降解塑料应用前景的产品，但目前缺乏证据支持这些产品。图4-9展示了一个生物降解塑料用于保护树木的应用示例与思维过程，并突出强调制约此类产品或类似产品开发和使用的主要障碍。

尽管尚不确定废弃树木保护罩的收集能力如何，但主要障碍是缺乏一套可以验证生物降解性能的标准测试方法。有证据表明，对于那些在环境温度下具有*固有生物降解性*的材料，如果将它们留在露天环境中（它们可能最终进入水道），不管这些材料是否达到了特定阈值，产生的影响都会比较低——除非100%的材料最终进入一个几乎不可能发生生物降解的环境（例如深海）。如第4.3.1.1节所述，某些材料（如淀粉、纤维素及聚羟基脂肪酸酯，即PHA）具有较高的固有生物降解性，因此可能造成的风险相对较小，但仅凭这些物质本身往往很难提供所需的材料特性，这就是为什么在生物降解地膜中使用混合物来平衡这些需求。同样，高生物降解性仅适用于立即需要这种功能的情形，而不是在长时间使用并暴露于环境之后。

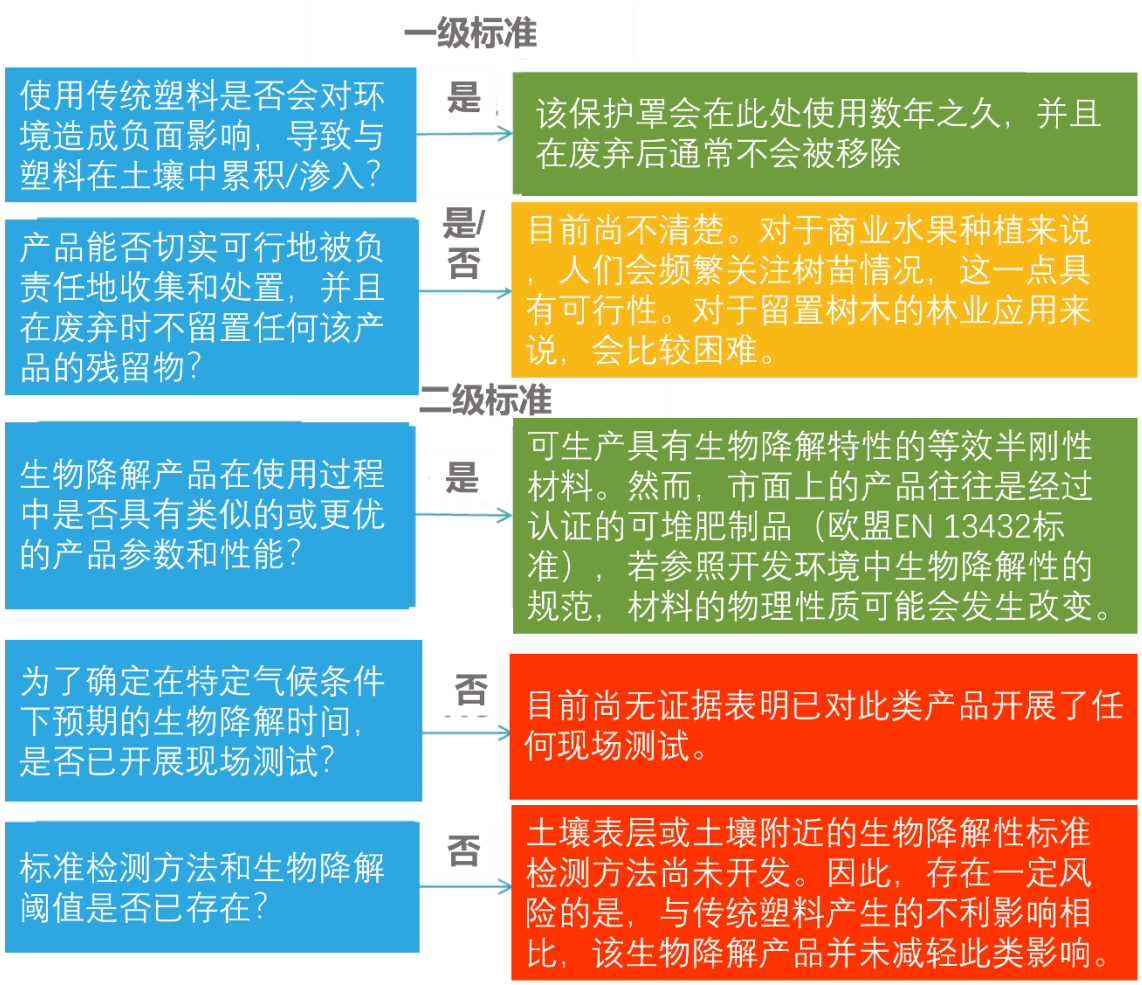
对于经常被留置在环境中的产品（例如树木保护罩），有观点认为，应该使用生物降解材料来减少影响——即使在特定条件下，不一定能实现完全的生物降解，但这可能是比永久存在的传统塑料更优的替代品。但是，考虑到除生物降解地膜以外的产品在标准与认证上存在的缺失，因此无法对有证据依据的产品和虚假宣传产品进行有效区分。

显而易见的是，标准化对于创造公平的竞争环境和避免虚假宣传至关重要。

正是由于这些原因，目前不应在欧盟层面推广其他农用生物降解塑料，因为新产品的应用应参考上文提到的一级标准与二级标准。如果没有方法检测并验证开发环境中的生物降解性（并考虑开展检测和验证的难度），则我们的关注点应该放在有效计划（例如生产者责任延伸制，EPR）的实施上，这些计划会为农场合理收集和管理所有塑料废弃物提供令人信服的理由。

图4-9：一级与二级标准在生物降解的树木保护罩产品中的应用

用于农业或林业——缠绕在幼树树干的螺旋式塑料防护罩，以保护幼树免受兔子和其他小动物啃噬。



5.0 农用塑料消费、废弃物产生和管理基线

我们对欧盟28国的农用塑料消费、废弃物产生和废弃物管理路径的基线进行了建模，并在本节中作了介绍。

基线数据基于第2.0节中介绍的的历史数据。利益相关者对农用塑料市场的未来行为和废弃物管理的意见也被用于指导前瞻性预测建模工作。

必须指出的是，本基线中使用的大多数数据均以单一统计数据为基础，这些统计数据主要来自欧洲贸易协会。欧洲农用塑料数据的统计报告制度尚且不够完善，因此需要对一些数据的输入和建模参数的选择进行审慎预估和假设。这些问题在本报告中均已作说明，并在可能的情况下通过参考已知统计数据加以证明。

建模使用的方法和假设详见附录A.6.0，并在下文讨论基线产出。

5.1 塑料消费与废弃物产生

本节介绍了投放市场的塑料和废弃物产生的数据和预测。首先，图5-1显示主要农用塑料类别的基线数据和未来消费量预测。该建模数字表明，总消费量将从2019年的72.1万吨增加到2030年的77.1万吨。如第A.6.2.1节所述，在建模中，废弃物产生量与塑料的市场投放量呈比例增加，从2019年的118.8万吨增加到2030年的126.2万吨。假设从2030年起，塑料的市场投放量保持不变。

图5-1：欧盟28国农用塑料市场投放量/消费量（单位：千吨，2019年至2040年）

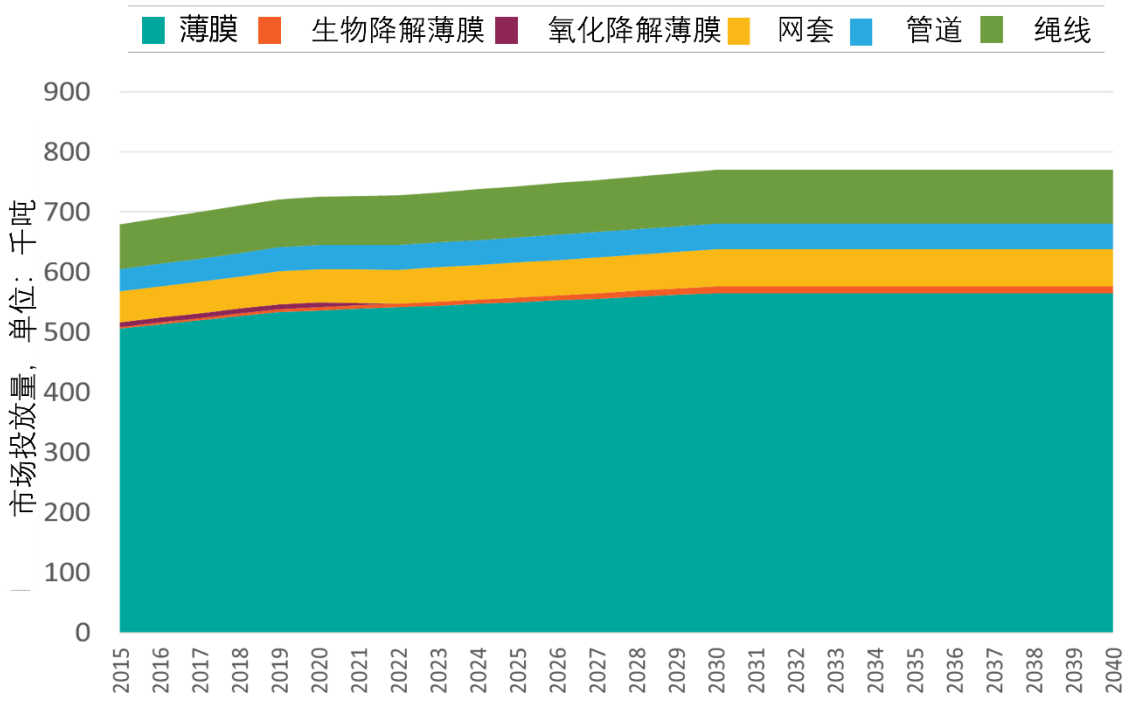


表5-1[256]显示2019年欧洲农业、塑料与环境协会的塑料市场投放量和废弃物产生量的详细分类数据。如图5-1所示，农用塑料市场的主要产品是薄膜，其中拉伸膜、青贮饲料包装膜和温室大棚膜的市场投放吨数最高。而废弃物产生量高于塑料的市场投放量，根据与业内人士的讨论结果，主要原因是产生的废弃物含有额外的土壤。

表5-1：2019年欧盟28国农用塑料市场投放量和废弃物产生量（单位：千吨）

	市场投放量	废弃物产生量
温室大棚膜	120	150
地膜	83	249
小拱棚膜	56	112
拉伸膜	146	219
青贮饲料包装膜	121	182
无纺布网套	8	16
防护网	5	5
捆包网	50	75
灌溉管	20	24
滴灌带	20	24
绳线	80	120
生物降解地膜	5	5*
氧化降解农用塑料	8	8*
总计	**721**	**1188**

**我们遵循欧洲农业、塑料与环境协会不同的报告定义，并将生物降解塑料和氧化降解塑料纳入废弃物产生数据中。对于这些应用，其产生的"废弃物"并没有被收集，而是被认为留在土壤中。*

[256] 欧洲农业、塑料与环境协会（2020年）提供的*塑料数据*

5.2 废弃物收集

收集率描述了通过国家收集计划收集的废弃物占比，因此报告数据（并由欧洲农业、塑料与环境协会记录）。废弃物的剩余成分在我们的建模中表示为“无从统计”的废弃物，包括塑料和土壤。如第A.6.1节所述，“无从统计”的废弃物包括以下收集/管理路线：

1) 通过当地解决方案进行垃圾填埋和回收利用（与国家收集计划无关）；
2) 有害的处理方法（例如现场焚烧、掩埋）；以及
3) 留在环境中。

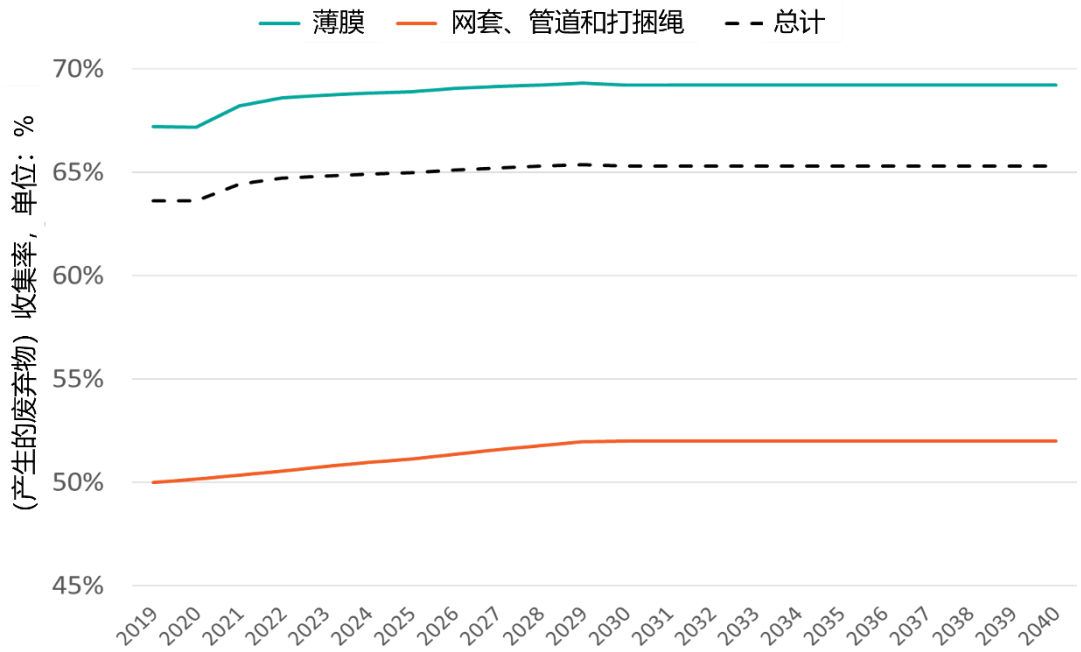
尽管一些文献估计了露天焚烧的废弃物数量（见附录A.6.1），但目前很少有可用数据记录了采用此种处理方式的废弃物比例，因此这些数据是从其他“无从统计”的处理方式中提取出来的。

如第A.6.2.2节所述，预测未来收集率的依据是，对于现有或计划实施国家收集计划的成员国将在7年内（强制性生产者责任延伸制）和9年内（自愿性生产者责任延伸制）实现最优收集率。

根据《废弃物框架指令》（WFD）第11条，成员国有义务在技术、环境和经济可行的情况下分类收集塑料废弃物。我们假设生产者责任延伸制是实现这些要求的主要途径。然而，仅仅因为《废弃物框架指令》的分类收集要求而假设所有成员国都将在未来（即在基线中）实施生产者责任延伸制并不合理，特别是考虑到尽管已经要求这些成员国遵守这一立法，但在许多情况下很多国家尚未能做到（目前只有少数成员国实施生产者责任延伸制）。此外，这项工作的目的是模拟更多的政策选项，以实现或推动实现这一最终目标（即履行《废弃物框架指令》），极大可能会是通过强制性生产者责任延伸制得以实现。第A.6.2.3节将对此作进一步探讨。

建模的收集率如图5-2所示。2019年的收集率来自欧洲农业、塑料与环境协会的数据。数据显示，薄膜的平均收集率为67%，所有其他应用领域的平均收集率为50%。

图5-2：基线收集率（2019年至2040年），单位：%

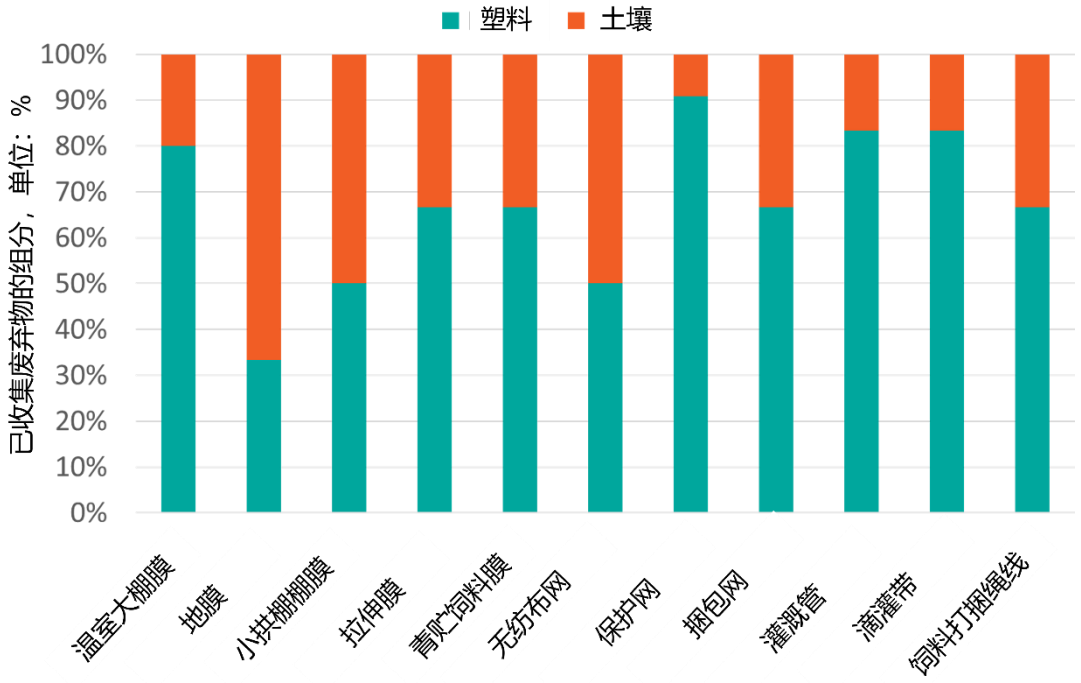


基线收集率表明，在建模的时间框架内，数据变化相对较小。2019年平均收集率（基于欧洲农业、塑料与环境协会的数据）为63.6%。英国和西班牙（安达卢西亚）计划于2020年启动的生产者责任延伸制预计将从2021年起对收集率产生影响，使欧盟的平均收集率提高近1%（至64.4%）。从2021年起，随着改善现有的生产者责任延伸制的执行效果，收集率将会提高，从而达到最优收集率。但是，由于当前的平均收集率（基于欧洲农业、塑料与环境协会的数据）已接近最优收集率，因此仅有约1%的进一步增长。

此外，收集率的提高只适用于现有计划范围内的应用，而其往往格外受限（见第2.6节）。

在已收集废弃物中，图5-3显示了基于欧洲农业、塑料与环境协会的数据，每种收集到的废弃物类别中塑料与土壤组分对比。

图5-3：已收集废弃物中的组分情况（2019年），单位：%



5.3 最终目的地

已收集废弃物被送往分类和回收处理设施，去除土壤和其他污染物后，剩下的塑料作为二次材料进行回收利用。对于农用塑料废弃物，回收利用是最环保的处理方法（可以重复使用的情况除外）。

而在一些收集系统中，已收集废弃物被直接送往垃圾填埋场和/或焚烧设施。这是由于终端材料市场不发达、缺乏回收利用基础设施或土壤过度污染等经济和/或技术原因，导致回收利用过程中出现技术困难。

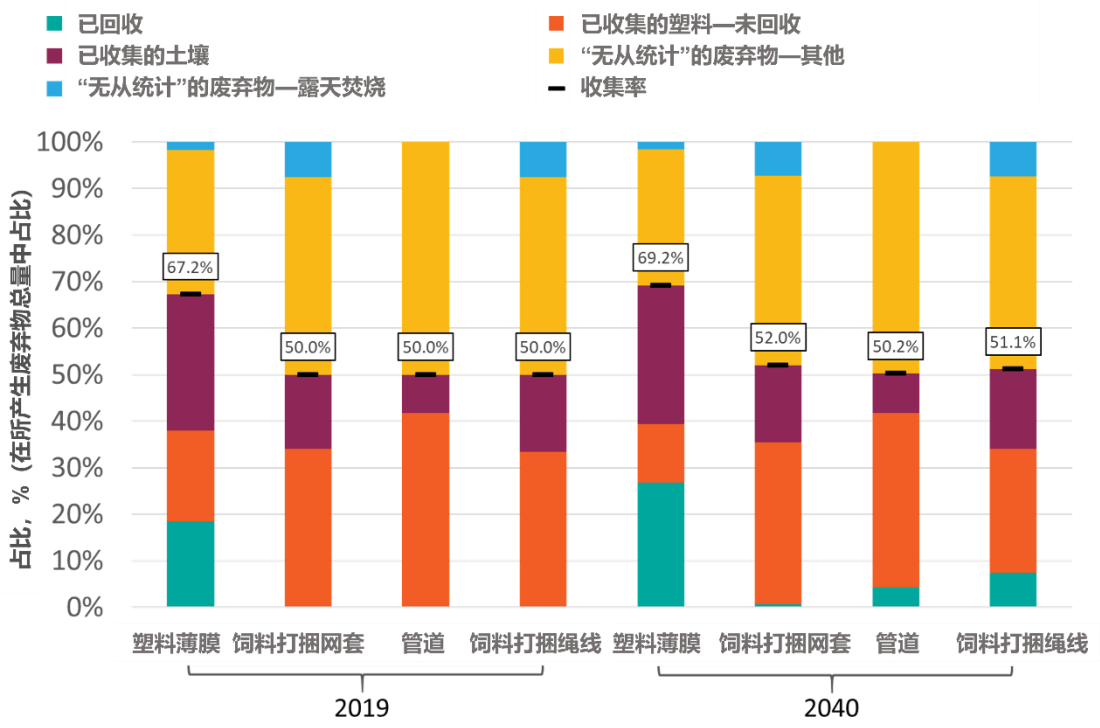
因此，已收集废弃物中再生塑料的总体“回收利用率”取决于送往回收利用（而非直接处置）的废弃物比例，以及从收集到回收利用环节中，在分拣厂和回收处理商处发生的损失。

这两个因素因成员国、收集系统和废弃物类型的不同而有较大差异。现有数据相对稀缺；基线中的当前回收利用率（即已收集废弃物的回收利用百分比）以是基于PRE的调查问卷报告的数值（见第2.5.4节）。这些数据表明，目前在欧盟已收集的拉伸膜、青贮饲料包装膜和温室大棚膜的平均回收利用率分别为70%、50%和30%，而饲料打捆网套、管道和饲料打捆绳线的回收利用率可以忽略不计。

与收集率类似（见第5.2节），预测未来回收率的依据是，对于现有或计划实施国家收集计划的成员国将在7年内（强制性生产者责任延伸制）和9年内（自愿性生产者责任延伸制）实现最优回收率。换言之，如果现有（或计划中的）国家收集计划目前直接将废弃物送往终端处置（例如填埋或焚烧），或送往非最佳的分类和回收利用过程，这些计划将会进行改进，以便所有已收集废弃物都可以实现最佳的分类与回收利用。最优回收率见第A.6.2.3节。

图5-4显示了2019年（历史数据的最后一年）和2040年（预测数据的最后一年）产生的废弃物的最终目的地。收集率显示为黑色条块（黄色为其他废弃物，其最终目的地“无从统计”）。在这些已收集废弃物中，紫色区域为土壤（未回收利用）。在最终回收利用之前，塑料废弃物的进一步流失以橙色显示。最后回收利用的废弃物以绿色显示。请注意，这是根据废弃物产生量（包括土壤）计算而得到的循环利用率，而本报告中引用的循环利用率是根据已循环利用塑料占已投入市场的塑料总量的百分比计算而得到的结果（即不包括已收集废弃物中的土壤）。

图5-4：废弃物的最终目的地（2019年至2040年），单位：%



塑料的回收利用率见图5-5和图5-6。如上所述，该比例是回收利用的塑料在投放市场的塑料中所占比例。总回收利用率预计将从2019年的24%上升至2040年的36%。

图5-5：按农用塑料类型划分的欧盟28国回收利用率预测（2019年至2040年），单位：%

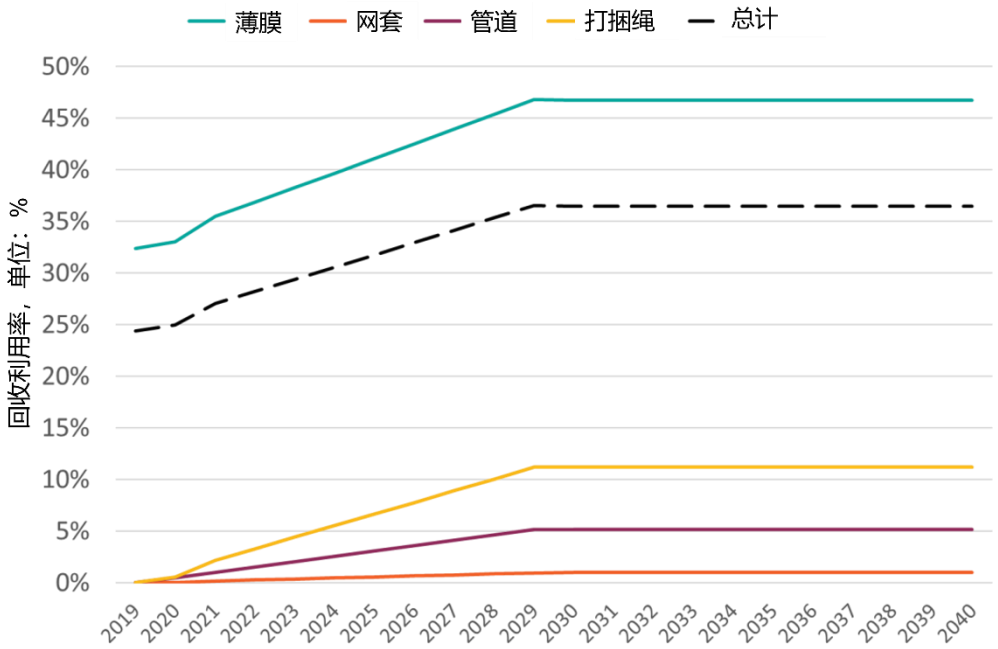
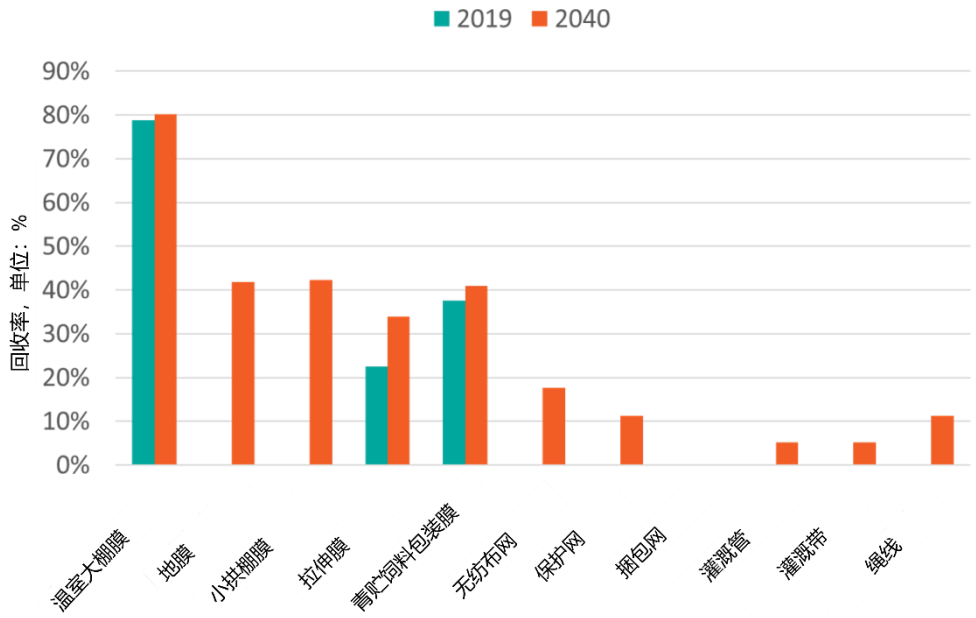


图5-6：农用塑料回收利用率模型（2019年至2040年），单位：%



预计未来几年送往焚烧的废弃物数量将会减少。基于的假设为：根据《废弃物框架指令》（经修订）对成员国的要求，即“*确保不对分类收集的废物.....进行焚烧*”，该要求将在现行的生产者责任延伸制下逐步实施。
该建模假设的基本原理将在第A.6.2.3节中作进一步探讨。

随着回收利用率的提高（见图5-2），送往处理处置（焚烧和填埋）的废弃物比例将进而下降。

收集率的提高导致“无从统计”的废弃物转移到正规的废弃物管理系统。这种“无从统计”的废弃物包括通过当地收集计划收集并处理处置的废弃物，以及对环境影响较大的处置路径，例如无人监管的现场处置/焚烧，以及留在环境中的废弃物。总体而言，最终的影响是将废弃物管理方式向层级金字塔上方移动。通过将已收集废弃物的整体回收利用比例提高，模型也模拟了另一个随之而来的转变，即在废弃物层级管理金字塔的“底部”，会有更多的遗留在环境中的废弃物或只经过了简单处理（掩埋或焚烧）的废弃物可以转向正规的废弃物管理路线。

6.0 确定目标和政策措施

6.1 确定问题

本报告已证实欧盟各国对废弃农用塑料的管理存在问题。尽管因为缺少可用的、可靠的最新数据，想要得出可靠的定量结论很有挑战，但据欧洲农业、塑料与环境协会估计，2019年欧盟产生的非包装类农用塑料废弃物的收集率只有64%（这一数字包括土壤和任何其他污染物，见第5.1节）。此外，尽管农用塑料具有很高的回收利用潜力，但2019年农用塑料的回收利用率只有24%（该比例是塑料回收利用率在投放市场的塑料中所占比例，不包括污染物）。

还需要注意的是，对于不同类型的农用塑料，其回收利用率也各不相同，地膜和饲料打捆网套目前无法回收利用（不过西班牙正在开发地膜回收利用设施）。[257] 无法收集农用塑料可能导致负面环境影响，例如，由于1) 塑料残留物积累在土壤中，2) 农用塑料露天焚烧的风险增加。据预计，在没有进一步干预的情况下，农用塑料收集量和回收利用量的增长将十分有限。

6.1.1 问题驱动因素

正如“更佳的监管工具箱”中14号工具所述，为解决已识别的问题，应确认其根本原因（或“驱动因素”）。[258] 在本研究过程中确定的问题驱动因素如下所述。

6.1.1.1 与低收集率相关的问题驱动因素

- **分类收集农用塑料废弃物的经济和/或监管激励机制不足**（按聚合物类型）。大多数农用塑料制品（但也有少数例外）对回收者并无盈利价值，因此废弃物管理者几乎没有收集此类制品的经济动力。此外，尽管法律要求对农用塑料废弃物实施分类收集（见2.4节），但在整个欧盟范围内，这一要求的实施仍显不力。

[257] 对Green World Compounding的采访。
[258] *更佳的监管工具箱*，于2020年8月11日访问，https://ec.europa.eu/info/law/law-making-process/planning-and-proposing-law/better-regulation-why-and-how/better-regulation-guidelines-and- toolbox/better-regulation-toolbox_en

- **地膜的技术特征，这可能意味着很难在不撕裂地膜的情况下将其从土壤中完全移除**（注意，需要更多科学证据来证明这一点）。

在已设立收集计划的地区亦存在以下问题：

- **农民对现有计划的认识不足；**
- **缺乏能够有效激励所有农民参与农用塑料废弃物收集的激励机制**（例如，农民可以选择（非法）就地焚烧他们的农用塑料废弃物或将其混入家庭垃圾中，而不是参与专门的收集计划）。这对于小体积农用塑料（如饲料打捆网套和饲料打捆绳线）来说尤其有风险。

6.1.1.2 与低回收利用率相关的问题驱动因素

- **主要因高污染率而催生的高昂加工成本**（对地膜和饲料打捆网套而言是一个特殊问题，因为目前尚未回收利用）
- **低价值/有限的回收料终端市场**

6.1.1.3 与农用生物降解塑料相关的问题驱动因素

- **不当使用农用生物降解塑料的风险**（例如它们可能不会完全生物降解）

6.2 目标

正如“更佳的监管工具箱”中的16号工具所述，“*目标应将对于问题（及其驱动因素）的分析与可响应的政策选项联系起来*”。[259]根据已确定的问题驱动因素，下一节列出了相应制定的总体和具体目标。

6.2.1 总体目标

总体目标是基于《条约》的目标，相关政策提供配套。《欧盟运行条约》（TFEU）第191（2）条规定：[260]

> *欧盟的环境政策应以高水平的保护为目标，同时考虑到欧盟各地区情况的多样性。应基于**预警原则，采取预防措施，***

---

[259] *更佳的监管工具箱*，于2020年8月11日访问，https://ec.europa.eu/info/law/law-making-process/planning-and-proposing-law/better-regulation-why-and-how/better-regulation-guidelines-and- toolbox/better-regulation-toolbox_en

[260] 《欧盟官方公报》（2012年）《欧盟运行条约》综合版，《欧盟官方公报》，2012年10月26日，查询网址：http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:12012E/TXT&from=EN

优先从源头整治环境损害，以及由污染者付费。[261]

因此，本研究的总体目标如下：

- **减少农用塑料泄露到环境中；**
- **确保农用塑料的使用和废弃管理遵守废弃物管理层级金字塔；以及**
- **废弃农用塑料的管理应遵循污染者付费原则。**

6.2.2 具体目标

具体目标详细说明了政策干预所要实现的目的。它们应足够广泛，以便考虑所有相关的政策选择，而不对某一特定的解决方案做出预判。表6-1列出了基于关键问题驱动因素的具体目标。

表6-1：具体目标

问题驱动因素		具体目标
收集率		
分类收集农用塑料废弃物的经济和/或监管激励机制不足	1	确保有足够的经济和/或监管激励机制，以支持农用塑料（按聚合物分类，以实现回收利用）在其废弃时的分类收集计划
地膜的技术特征，这可能意味着很难在不撕裂地膜的情况下将地膜从土壤中完全去除	2	确保有足够的财政、监管和/或声誉激励机制，使制造商能够开发出在移除过程中不会撕裂的地膜 确保农民广泛了解和认识到，生物降解地膜是传统地膜的理想替代品
农民对现有计划的认识不足	3	确保农民广泛了解现有农用塑料收集计划以及参与该计划的好处

[261] 增加重点

问题驱动因素		具体目标
鼓励农民参与农用塑料废弃物收集的激励机制不足	4	确保有足够的财政、监管和/或声誉激励机制，使农民能够参与农用塑料收集计划
回收利用率		
主要因高污染率而催生的高昂加工成本	5	确保有足够的财政、监管和/或声誉激励机制，使农民在收集前尽可能多地清除农用塑料废弃物造成的污染
低价值/有限的回收料终端市场	6	确保有足够的财政、监管和/或声誉激励机制，使生产者将农用塑料回收料纳入新产品生产
农用生物降解塑料		
不当使用农用生物降解塑料的风险	7	有足够的控制措施，以避免在农业中使用生物降解塑料而造成负面环境后果

6.3 政策选项

6.3.1 确定政策措施

我们根据具体目标确定了潜在政策措施“初选名单”（见表6-2）。

表6-2：政策措施初选名单

提高传统农用塑料收集率和回收利用率的政策措施	适用性	适用具体目标
自愿性生产者责任延伸制	所有传统农用塑料	1, 3, 4, 5
强制性生产者责任延伸制	所有传统农用塑料	1, 3, 4, 5
农民有义务参与收集计划	所有传统农用塑料	4

提高传统农用塑料收集率和回收利用率的政策措施	适用性	适用具体目标
对投放市场、收集和回收利用的农用塑料进行数据统计监测	有义务提供已投放市场、收集和回收利用的农用塑料统计数据	1
农用塑料露天焚烧禁令 + 执法	所有传统农用塑料	4
地膜的最小厚度/拉伸强度	地膜	2
温室大棚膜租赁模式	温室大棚膜	1
对原生塑料生产征税	所有传统农用塑料	6
焚烧税或禁令	所有传统农用塑料	不适用
垃圾填埋税或禁令	所有传统农用塑料	不适用
鼓励使用替代材料代替温室大棚膜	温室大棚膜	不适用
交流最佳实践和专业人员培训	所有传统农用塑料	3
对再生成分设定目标	所有传统农用塑料	6
将农用生物降解塑料纳入任何潜在的生产者责任延伸制中（用于数据收集和监测）	农用生物降解塑料	7
如果有标准，确保只使用经过认证的农用生物降解塑料	农用生物降解塑料	7
通过新的立法，对所有生物降解地膜强制执行EN 17033标准	农用生物降解塑料	7

6.3.2 筛选政策措施

根据“更佳的监管工具箱”中的17号工具，我们按照以下标准对政策措施初选名单进行筛选：[262]

- 法律可行性
  - 选项必须体现授权原则。它们还应遵循欧盟条约（和相关国际协议）产生的任何义务，并确保尊重基本权利。欧盟现有主要或次要立法中包含的法律义务也可能排除某些选项。
- 技术可行性
  - 技术和技术限制可能不允许执行、监管和/或执行理论上的选项。
- 之前的政策选择
  - 欧盟委员会之前的政策选项或欧盟机构的授权可能会排除某些选项。
- 与其他欧盟政策目标的一致性
  - 由于与欧盟其他总体政策目标缺乏一致性，某些选项可能会因此被提前排除。
- 效果与效率
  - 或许已经有证据表明，某些选项的成本效益平衡会更差。
- 相称性
  - 有些选项可能明显限制国家决策的范围，不在圆满实现目标所需的范围中。
- 政治可行性
  - 明显无法获得立法通过和/或获得必要政治支持的选项也可能被放弃。
- 相关性
  - 如果可以证明两种选项在重大影响或分布上不太可能有实质性差异，则只需保留其中一种。

如果一项或几项标准明确排除某项措施的可行性，则注明这些标准，而不涉及其他标准。按照所有标准进行筛选后确定的选项将被认定为可行方案。

---

[262] *更佳的监管工具箱*，于2020年8月11日访问，https://ec.europa.eu/info/law/law-making-process/planning-and-proposing-law/better-regulation-why-and-how/better-regulation-guidelines-and- toolbox/better-regulation-toolbox_en

6.3.2.1 筛选结果

筛选过程的结果如表6-3所示。温室大棚膜租赁模式、对原生塑料生产征税以及通过新的立法对所有生物降解地膜强制执行EN 17033等三项政策措施被否决，无法作进一步分析。有关它们被剔除的原因，请参见附录A.8.0。所有其他政策措施都在2020年7月举行的政策选项研讨会上提出并与利益相关者进行探讨，并与环境总司进行了详细讨论。本报告下一节将依次讨论各项选定措施。

表6-3：政策措施筛选结果

提高传统农用塑料收集率和回收利用率的政策措施	适用性	适用具体目标	筛选结果
自愿性生产者责任延伸制	所有传统农用塑料	1, 3, 5	已选
强制性生产者责任延伸制	所有传统农用塑料	1, 3, 5	已选
农民有义务参与收集计划	所有传统农用塑料	4	已选
对投放市场、收集和回收利用的农用塑料进行数据统计监测	所有农用塑料	1	纳入生产者责任延伸制措施（见第7.1节）
农用塑料露天焚烧禁令 + 执法	所有传统农用塑料	4	已选
地膜的最小厚度/拉伸强度	地膜	2	已选
温室大棚膜租赁模式	温室大棚膜	1	否决
对原生塑料生产征税	所有传统农用塑料	6	否决

提高传统农用塑料收集率和回收利用率的政策措施	适用性	适用 具体目标	筛选结果
将农用生物降解塑料纳入任何潜在的生产者责任延伸制中（用于数据收集和监测）	农用生物降解塑料	7	已选
如果有标准，确保只使用经过认证的农用生物降解塑料	农用生物降解塑料	7	已选
通过新法规，对所有生物降解地膜强制执行EN 17033标准	农用生物降解塑料	7	纳入生产者责任延伸制措施（见第7.3节）

7.0 政策措施选摘探讨

7.1 生产者责任延伸制

生产者责任延伸制（EPR）这种政策方法可使成员国实现农用塑料的分类收集和后续回收利用。如第2.4节所述，修订后的《废弃物框架指令》要求对塑料进行分类收集。第11条第1款规定：

> *“欧盟成员国应采取措施，促进高质量的回收利用，并应为此目的，在技术、环境和经济上切实可行且恰当的领域建立废弃物分类收集制度，以满足相关回收部门所必须遵循的质量标准。在满足本指令第10条第2款的条件下，到2015年，至少应针对以下物质建立分类收集制度：纸张、金属、塑料和玻璃。”*

鉴于《废弃物框架指令》并未说明这项要求仅限于特定类型的塑料废弃物，我们的理解是，这项要求适用于包括农用塑料废弃物在内的所有塑料废弃物。然而，成员国似乎在很大程度上忽视了这项要求适用于农用塑料；例如，一些成员国将农用塑料分类收集交由自由市场，分类收集责任并未得到落实。

根据生产者责任延伸制，生产者对消费后产品的处理处置管理承担经济和/或运营责任。若要建立农用塑料生产者责任延伸制计划，生产者应负责确保分类收集农用塑料的配套物流落实到位。生产者还应负责确保已收集废弃物按照废弃物层级制度进行管理。需要说明的是，一些成员国已实施农用塑料生产者责任延伸制计划（见表2-4）。

此外， 根据不同的设计方案，生产者责任延伸制将有助于实现以下具体目标：

- **确保有足够的经济和/或监管激励机制，以支持传统农用塑料在其处理处置时的分类收集计划的运作**——生产者责任延伸制为此类收集计划的运作提供监管激励。
- **确保农民广泛了解和认识现有农用塑料收集计划以及参与该计划的好处**——生产者责任延伸制可能涉及重要的意识提升和市场宣传工作，以确保其实现既定目标收集率。
- **确保有足够的财政、监管和/或声誉激励机制，使农民在收集前尽可能多地清除农用塑料废弃物造成的污染**——生产者责任延伸制极有可能纳入一种机制，以激励农民减少农用塑料废弃物污染，因为高污染度增加运输和处理成本，进而影响生产者税。
- **确保有足够的财政、监管和/或声誉激励机制，使农用塑料生产者将农用塑料回收料纳入新产品生产（即闭环回收利用）**——生产者责任延伸制计划可以引入费用调整机制，以鼓励在生产农用塑料产品时使用回收料。

我们将探讨农用塑料生产者责任延伸制的三种政策实施方法：强制性生产者责任延伸制；自愿性生产者责任延伸制（激励型）；自愿性生产者责任延伸制（非激励型）。
以下各节将就此展开详细讨论。

7.1.1 强制性生产者责任延伸制

强制性生产者责任延伸制是最强有力的生产者责任延伸制政策方法，也是确保在所有成员国建立生产者责任延伸制计划的唯一方法。该政策工具将通过法规要求农用塑料生产者为其投放市场的产品的处理处置管理提供资金，甚至要求实施具体设计原则并达成既定目标。我们建议纳入以下目标：

- **农用塑料的最低收集率目标：**并非所有现有生产者责任延伸制计划都有明确的收集率目标；而在有收集率目标的计划中，收集目标一般在65%–70%范围内（生产者责任延伸制范围内不同农用塑料类型的平均值）（见表7-1）。实际上，更高的收集率完全可以达到（例如，据SvepRetur估计，2018年瑞典市场上投放的农用塑料（包括包装）中，约92.5%被收集）。相比之下，ERDE计划的代表表示，70–75%的收集目标是强制性和自愿性计划的可行上限，IFFPG计划的代表表示，将收集率提高到80%以上极具挑战性。[263] ADIVALOR计划则更为乐观，其代表认为，90%的收集率是现实条件下的最高值（一些农民一直选择通过其他途径处理农用塑料废弃物，例如城市垃圾处理中心）。[264]

- **最低覆盖率要求：**为支持高收集率，应要求确保所有农民都能获得方便的收集服务。法国相关计划在建立时所签协议中便包含此项规定。
- **农用塑料的最低回收利用率目标：**设定回收利用率目标将促使利益相关者关注所收集农用塑料的质量，并刺激相应投资。回收利用率目标可基于现有农用塑料生产者责任延伸制计划实施情况进行设定。

[263] 对ERDE、IFFPG和SvepRetur的采访
[264] 对ADIVALOR的采访

表7-1：现有生产者责任延伸制计划——收集率和回收利用率目标

计划	收集率目标	回收利用率目标
IFFPG（爱尔兰）[265]	青贮缠绕膜和料板塑料片：70%	不适用
ADIVALOR（法国）[266]	农用薄膜：80%；网套与绳线：55%	农用薄膜：84%；（基于已收集量）网套与绳线：50%
ERDE（德国）[267]	到2022年青贮缠绕膜和料板塑料片：65%	本计划收集的所有青贮缠绕膜和料板塑料片均实现回收利用
SvepRetur（瑞典）[268]	70%	30%（基于已收集量）

- **最低数据要求：**为对照回收利用率和收集率目标，生产者自然有收集在市场投放、收集并回收利用的农用塑料数据的需求。[269]每个计划都需要采用一种可靠的方法来准确确定所收集塑料的污染程度。此外，强制性生产者责任延伸制还可要求生产者收集以下数据：

    - 销售至各农场的农用塑料的数量/类型；
    - 各农场送至回收点的农用塑料的数量和类型。

    通过分析上述数据，将能够确定购买过农用塑料但尚未通过生产者责任延伸制计划将农用塑料送至回收点的农户，而这些数据可以支持其他政策措施

[265] 对IFFPG的采访
[266] Accord-cadre pour la periode 2016 - 2020
[267] 对ERDE的采访
[268] 对SvepRetur的采访
[269] 原则上，要求收集详细数据可以是一项独立措施，但鉴于分类收集方面的法律要求，在没有加大收集力度的情况下，这一要求似乎不太可能得到落实。根据污染者付费原则，某种形式的生产者责任延伸制是可取的，因此在生产者责任延伸制的背景下讨论数据要求。

（例如，要求农民参与农用塑料收集计划或禁止农用塑料露天焚烧）。必须指出的是，政策选择研讨会上利益相关者的反馈表明，销售至各农场农用塑料数量和类型数据的收集或将极具挑战性。此工作需零售商配合，而且供应链中的复杂性可能会使追踪某些类型的农用塑料变得更加困难，例如，青贮缠绕膜由承包商作为服务的一部分提供，而不是由农民直接购买。然而，更完善的数据是迈向循环经济过程中的核心，在实行农用塑料生产者责任延伸制计划的情况下，拥有此类数据将显著增强理解和提高计划绩效的能力。即使不引入生产者责任延伸制计划，仍需对已投放市场、收集和回收利用的农用塑料进行统计监测，将其作为一项独立措施加以实施。

- **最佳实践指南（可选）：**最佳实践指南可与强制性生产者责任延伸制法规一起发布。该指南将概述最佳实践的EPR计划应遵循的设计原则，以最大限度地提高清洁材料的收集率，例如：
    - **生产者费用完全覆盖处理处置净成本：**如果生产者费用完全覆盖了处理处置净成本，农民便不必在收集点以缴费形式来补充生产者费用。这样的安排颇有助益，因为在收集点收取的任何费用都可能成为农民通过该计划将农用塑料送至回收点的经济抑制因素。
    - **减少污染的机制：**应以某种方式激励农民减少回收农用塑料的污染程度。其中一种选项是返利式政策，即生产者费用中包含假定污染水平的成本（例如约50%），如果农民交付的塑料污染程度低于该门槛，就会获得返利。
    - **公平分配处理处置成本：**生产者税应因产品类型而异，以反映不同类型农用塑料的处理处置成本的差异。这种方法可以避免销售一种农用塑料的生产者补贴其他类型农用塑料的管理成本。
    - **沟通/教育：**生产者责任延伸制计划应制定与农民沟通清除、储存和安排所收集农用塑料方面最佳做法的策略。例如，其中应包括可以采取的减少污染的措施（例如，如有可能，在干燥季节离田，并储存在室内）。
    - 更多有关生产者责任延伸制计划最佳实践应遵循的设计原则的详细信息，请参阅附录A.9.0。

7.1.2 自愿性生产者责任延伸制（激励型）

除强制性生产者责任延伸制之外，另一种方法是通过提供资金激励设立自愿性生产者责任延伸制。不需要针对这种方法修改任何法律规定。值得注意的是，如果不修改法律规定，就无法制定具有法律约束力的回收利用率或收集率目标，也不会有最低覆盖范围或数据要求。然而，针对所有这些要素，可与各国政府自愿达成一致（例如，ADIVALOR与法国政府达成框架协议，其中包含收集率和回收利用率目标）。

欧洲农业、塑料与环境协会建议，资金可用于支持农用塑料生产者责任延伸制计划的建立和启动阶段（例如初步研究、试点运行、与利益相关者的沟通等）。初步建议是，与法国或英国规模类似的国家每年大约需要20万至30万欧元启动，为期两到三年。[270]

7.1.3 自愿性生产者责任延伸制（非激励型）

最后一个选项是由欧盟委员会发布公告，大力鼓励成员国对农用塑料建立生产者

责任延伸制计划。该政策工具将强调在整个欧盟范围内有效管理农用塑料废弃物的必要性，并突出强调《废弃物框架指令》关于实行塑料分类收集的要求；同时，将概述国家生产者责任延伸制计划的优势，例如成本效益，以及遵守作为欧盟环境法基础的污染者付费和预防原则。

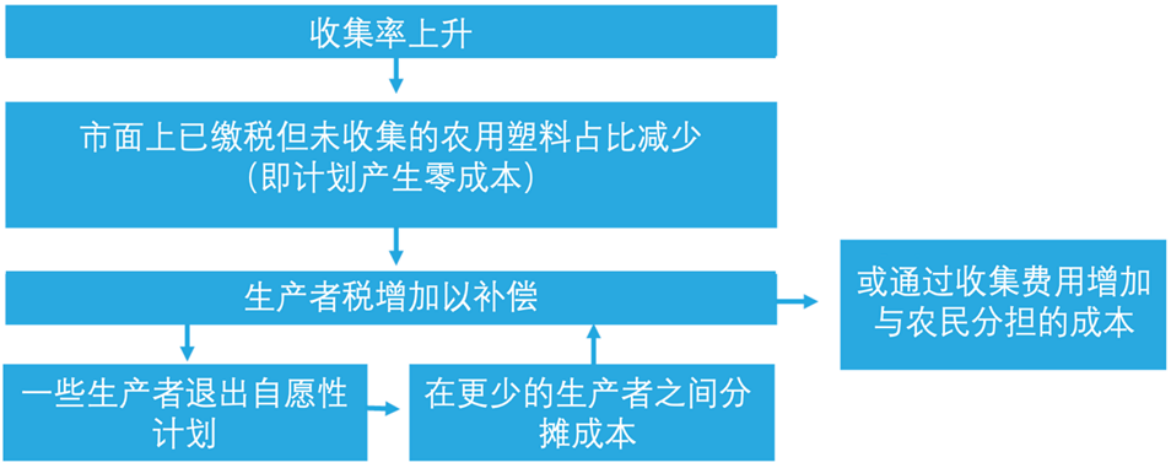
7.1.4 自愿性生产者责任延伸制与强制性生产者责任延伸制的比较

鉴于在如何实施生产者责任延伸制方面有一系列政策方法可供选择，因此有必要比较强制性和自愿性方法，并总结每种方法的相对优势和劣势。基于对现有农用塑料生产者责任延伸制计划发展动态的梳理，我们作出以下分析。

高收集率下计划的稳定性

自愿性计划已产生较高收集率（例如，法国ADIVALOR计划的平均收集率在2019年达到约67%）。[271]然而，我们认为，自愿性计划在收集率很高的情况下可能会变得不稳定。图7-1中概述的发展动态说明了具体原因，下文将作进一步解释。

图7-1：自愿性生产者责任延伸制计划在高收集率下的演变情况



对未收集的农用塑料产品征收的生产者税用于补贴已收集产品的处理处置成本。随着收集率上升，未收集的产品占比减小，生产者税可能需要上调，以便更接近每吨的实际处理处置成本（或者，也可能引入/增加农民收集成本）。随着收集率上升，可能会有一些与规模经济相关的成本下降（例如，更多农用塑料通过计划拥有的预处理厂）。然而，这在一定程度上取决于收集量增加了多少；如果废品回收站的数量保持不变，而交付至现场的回收吨数增加，则运营废品回收站的固定成本将分摊至更多吨的回收塑料上。然而，为了达到收集目标，可能还需要设立更多废品回收站。

[270]对欧洲农业、塑料与环境协会的采访
[271]ADIVALOR提供的数据

为了说明这一概念，我们以爱尔兰为例，在该国，网套与绳线产品的生产者税是每吨140欧元。此项计划为强制性，而这项税费的征收对象为市场上投放的所有网套与绳线产品。网套与绳线的每吨处理处置成本高于此数字。然而，目前通过IFFPG计划，仅收集了市场上投放的约18%的网套与绳线。因此，从生产者税和农民收集费（每吨额外收取10欧元）中，能够获得足够收入来支付回收材料的收集和处理费用。若要提高网套与绳线收集率，目前的筹资模式不足以支付处理处置成本（生产者费用或农民收集费——或两者兼而有之——都需要增加）。

从理论上讲，随着收集率的提高，生产者费用可能达到足以促使一个或多个生产者退出自愿性计划的地步。如果发生这种情况，所有收集到的材料的总处理处置成本将在更少的生产商之间分摊，而针对投放市场的每吨材料征收的生产者税将需要进一步增加。（请注意，一旦农用塑料产品被购买和使用，往往无法确定该产品来自哪个生产者，因此也就无法确定是否已缴纳税款。因此，即使某个生产者退出该计划，其产品也极有可能继续通过该计划而回收，费用由参加计划的生产者承担。）如果这种循环持续存在，在高收集率下，自愿性计划可能面临财务不稳定的风险。在强制性计划下则不存在这种风险，因为没有生产者退出该计划的选项。

自愿性计划下的农民收集费

在一些现有的农用塑料生产者责任延伸制计划中，生产者税未完全覆盖处理处置管理的全部净成本，必须由收集点基于重量的缴费作为补充（见表A9.1）。这项规定的核心驱动因素之一是，希望避免由于生产者税过高而劝阻生产者不参加自愿性计划。法国的计划就是如此。由于担心此举可能会使搭便车的风险太高，针对地膜/片材的生产者税并未设定在反映真实处理处置成本的水平上。为了弥补资金缺口，农民必须在收集点缴纳每吨地膜/片材155欧元的费用。随着时间的推移，该计划将逐步增加对地膜/片材生产者的税费，目的是预先支付全部处理处置净成本。

向农民收取收集费不符合生产者责任延伸制最佳实践；应预先支付全部处理处置净成本。在收集点收取费用可能会阻碍农民通过该计划将农用塑料送至回收点，并可能导致管理不善（例如就地焚烧农用塑料）。因此，强制性计划的一个优势是，很少需要考虑平衡生产者税与农民收集费之间的处理处置成本，以确保税费能被参加计划的生产者接受。

污染-返利

确保为农民提供充分的激励措施，以便在收集农用塑料废弃物之前减少污染程度，这是本项目确定的具体目标之一。尽管避免在收集点收费，是被视为生产者责任延伸制的更优设计，但基于重量的收费**的确**能够激励农民减少回收农用塑料中的污染。

另一个值得探索的选择是，实施返利式制度，即预先征收生产者税中包含假定污染水平的成本，如果农民交付塑料的污染程度低于该门槛，便获得返利。这一机制不要求农民在收集点支付任何费用，实际上能够激励农民参与（因为如果农民将污染程度低的塑料送至回收点，他们就有机会获得返利）。但问题在于，很难目视评估任何农用塑料的污染程度（例如，被水分严重污染的薄膜看起来很干净），因此需要进行一定程度的科学分析，并追加费用。

ADIVALOR计划便选择此方式。如果农民认为其农用塑料低于污染门槛，他们将

有责任要求进行分析。如果分析结果证实情况如此，生产者责任延伸制计划将承担分析成本（并降低收集费用），否则农民须承担分析成本。

投资者信心

强制性生产者责任延伸制计划让投资者对回收设施树立信心，因为未来几年内的塑料原料供应会有保障。现有农用塑料生产者责任延伸制计划的关键挑战之一是为收集到的材料寻找回收商。欧洲的塑料回收利用能力有限，回收商通常更青睐更清洁的商业和工业塑料。有保障的农用塑料供应或许有助于鼓励通过投资提高欧洲的塑料回收利用能力。

费用调整

可在生产者责任延伸制体系内实行费用调整；根据费用调整方法，生产者支付费用根据与其产品的环境性能具体标准而异。这方面的构想是，对那些在特定标准下性能良好的产品实行较低收费标准，而性能不佳的产品则可能受到处罚。考虑到需要刺激回收料的需求，回收成分可以作为农用塑料生产者责任延伸制计划的调整标准（事实上，爱尔兰IFFPG计划正在考虑这一点）。不过，应当注意的是，鼓励纳入回收成分的调整方案未必会刺激对**农用塑料**回收料的需求（回收成分可以来自其他类型的塑料）。

为了确保激励效果，有必要进行强有力的调整。在强制性计划下，此项工作容易开展，因为在自愿性计划下，受到处罚的生产者可能会退出计划。

强制性数据收集

生产者责任延伸制计划可以要求生产者提供数据。作为最低要求，所有生产者责任延伸制计划（无论自愿性还是强制性）都必须要求生产商共享投放市场的农用塑料吨位的数据，并且必须收集所收集和回收利用农用塑料的吨位数据。目的是监测该计划的绩效。生产者责任延伸制计划可以更进一步，要求提供更详细的信息，例如：

- 销售至各农场的农用塑料；
- 各农场送至回收点的农用塑料。

根据强制性计划，可以将全面的数据收集要求写入立法，使得生产商别无选择，只能遵守。相比之下，全面的数据收集要求可能对参与自愿性计划构成障碍（假设自愿性计划的生产者和其他利益相关者希望尽可能减少数据收集要求）。此外，根据自愿性计划，对未能提供所需数据的生产者采取行动的制裁措施可能有限。

公平竞争环境

强制性生产者责任延伸制计划保证为所有生产者营造“公平竞争环境”。与自愿性计划不同的是，搭便车的机会很少，因此所有生产者公平分担农用塑料处理处置时的管理成本。

文本框7-1：强制性农用塑料生产者责任延伸制度计划的优势

综上所述，我们认为，与自愿性方法相比，强制性农用塑料生产者责任延伸制计划具有多项优势：

- 在收集率最高的情况下，强制性计划可能比自愿性计划更稳定
- 根据强制性计划，较少需要管理搭便车者的风险，因此更容易将全部成本计入农用塑料的价格中，这意味着农民不需要支付收集费
- 强制性计划使投资者对回收设施更有信心，相信未来几年将继续供应原料
- 强制性计划为收集有关农用塑料使用和回收的全面、完整数据提供了更稳定的平台
- 强制性计划保证为所有生产者营造公平竞争环境

从自愿性过渡到强制性

上文概述了强制性生产者责任延伸制方法的优势。还必须注意到，自愿性计划在一定程度上表现出强劲的绩效（法国ADIVALOR计划和瑞典SvepRetur计划表现最显著）。如果首先采用自愿性方法实施生产者责任延伸制，并不排除向强制性生产者责任延伸制过渡，或在稍后阶段引入具有法律约束力的回收利用率和收集率目标。如果自愿性方法不能达到预期绩效水平，这种过渡或许合适。

7.2 增强生产者责任延伸制效果的配套措施

7.2.1 农民参与农用塑料收集计划的义务

这项措施要求农民参与农用塑料收集计划。该收集计划应：

- 将农用塑料与其他材料分类收集（即非商业性废弃农膜收集计划）；
- 遵守废弃物管理金字塔（即在可行的情况下回收农用塑料）。

这项措施将有助达成以下具体政策目标：

- 确保有足够的财政、监管和/或声誉激励机制，使农民能够参与农用塑料收集计划。

根据设限，这项措施将与强制性生产者责任延伸制结合使用，以鼓励农民积极参与强制性计划，进而提高收集率。由于图7-1中概述的演变情况，将这项措施与自愿性生产者责任延伸制计划相结合可能存在问题。由于农民的参与推高了收集率，自愿性计划有可能变得不稳定。

政策选择研讨会的反馈意见是，最好让**生产者**承担管理农用塑料废弃物的责任，而不是直接让农民承担。农民已经感到他们受到严格的监管；而任何强制农民参与收集计划的法规都可能遭到农民的不满和抵制，他们会认为这是对其农业生产活动强制施行的另一种限制或经济负担。然而，我们建议将这一措施与强制性生产者责任延伸制结合使用，这意味着所有农民都有足够的机会接触到农用塑料收集计划，从

而将参与负担降至最低。

7.2.2 农用塑料露天焚烧禁令 + 执行相关规定

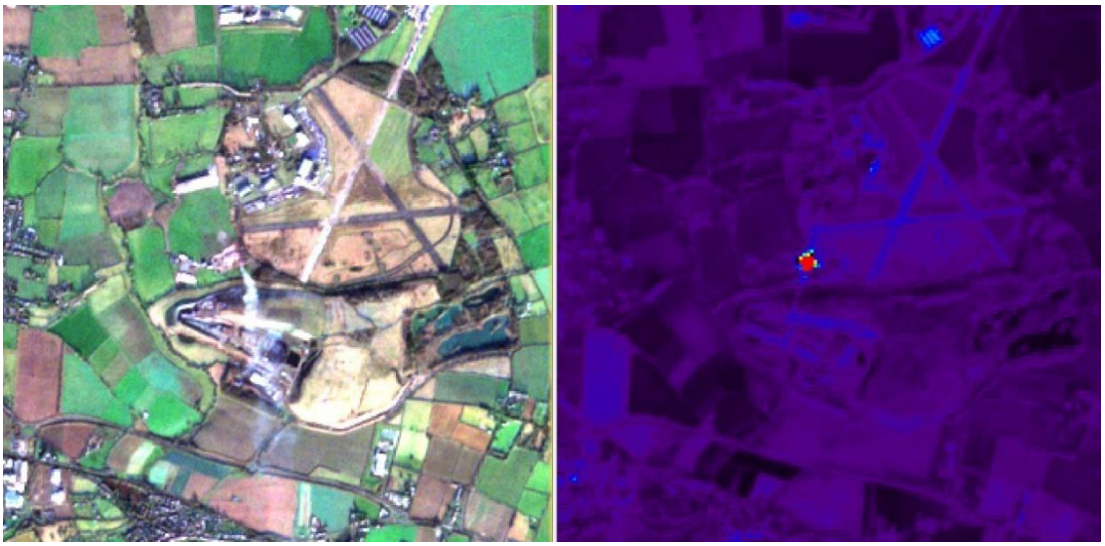
这项措施将农用塑料露天焚烧禁令与有效执行相关规定相结合。这项措施将有助达成以下具体政策目标：

- 确保有足够的财政、监管和/或声誉激励机制，使农民能够参与农用塑料收集计划。

一些成员国已经制定禁止焚烧农用塑料/农业废弃物的政策（见表2-3）。然而，证据（尽管有限）表明，此类禁令并不总能有效执行。据了解，这是因为在采取执法行动之前，监管机构需要观察实施现状，而这在现实中很难做到。

根据这项政策措施，建议利用卫星数据帮助执行农用塑料露天焚烧禁令。与遥感专家的初步讨论表明，有可能根据卫星图像（即结合使用烟羽和热异常探测）确定农业用地上的“焚烧”地点（见图 7-2）。[272] 不过，还需要进一步通过试点，验证使用卫星图像这种手段的有效性。

图7-2：卫星图像示例——农场焚烧事件



资料来源：Air & Space Evidence公司

使用卫星图像探测欧洲所有农田的焚烧地点将耗资巨大；如果需要商业性卫星图像，年费用可能高达数百万欧元。探测到的焚烧地点数量也可能太多，以至于在执行相关规定方面并无帮助，如果在农业用地上还进行合法焚烧植被等活动，则情况更是如此。

[272] 与4 Earth Intelligence公司及Air & Space Evidence公司的交流（Communication with 4 Earth Intelligence and Air & Space Evidence）

因此，我们建议，就对焚烧事件进行分析的卫星图像而言，认真选择可能更为有效。例如，如果生产者责任延伸制计划实施全面的数据管理系统，记录农民购买的农用塑料和送至回收点的农用塑料，就有可能查明哪些农民可能没有将其用过的农用塑料送至回收点。这些农民更有可能在现场焚烧塑料。这些信息随后可用于（通过卫星图像）检查特定地点是否存在焚烧活动。利用卫星图像实施农用塑料焚烧禁令的几起热点事件可能会有效地减少这种行为的盛行。如果这一方法得到实施，监管机构仍将负责执行农用塑料露天焚烧禁令，但要求生产者责任延伸制计划向当局提供相关数据。这项措施已被提出应结合强制性生产者责任延伸制进行建模（因为根据自愿性生产者责任延伸制方法，可能难以实施支持这项措施所需的全面数据收集工作）。

还应指出的是，确定焚烧地点的卫星图像将比仅仅确定农用塑料的焚烧活动具有更广阔的应用前景。例如，这些数据还可用于帮助识别废弃物处置方面的其他错误行为。因此，可以与其他政策方案分摊获取和分析此类卫星数据的费用。

7.3 农用生物降解塑料政策措施

在所选定的政策措施中，有两项涉及农用生物降解塑料（BDAP），旨在实现以下具体目标：

- 确保有足够的控制措施，以避免在农业中使用农用生物降解塑料而造成负面环境后果。

我们提出了两项旨在实现这一目标的政策措施（不过这些措施没有单独建模），因为这些措施的目的是通过为生产者提供核实索赔的方式来支持适当使用农用生物降解塑料。这样，种植者能够根据自身需要选择合适的产品。这些措施也贯穿各领域，应被视为所有生产者责任延伸制政策措施的组成部分。

7.3.1 将农用生物降解塑料纳入生产者责任延伸制计划

实现这一具体目标的第一步是充分了解农用生物降解塑料的使用方式和适用范围。这项措施的目的是通过将农用生物降解塑料整合到生产者责任延伸制计划中。生产者责任延伸制计划要求农用生物降解塑料生产者至少提供关于已投放市场产品的下列数据：质量、公顷面积、农场位置和适用作物。实际上，农民必须在销售点提供这些信息，因此需要调整生产者责任延伸制数据收集系统，以纳入这些数据。农用生物降解塑料生产者将免除缴纳收集和处理费用（因为与农用生物降解塑料无关），但将缴纳少量数据管理费。

为使这项政策措施行之有效，拟议的生产者责任延伸制计划需要有生产企业的全面参与和强有力的数据收集要求——在强制性生产者责任延伸制下最容易实现的这一目标。按照自愿性生产者责任延伸制方法，这一政策措施可能不甚有效，因为农用生物降解塑料生产者可能选择不参与或不分享所要求的数据。这项措施将构成强制性生产者责任延伸制计划的一部分，所以在这项工作的建模阶段没有单独计算成本（建立适当的数据收集系统可能会增加一小部分成本，但这并不重要）。

在利益相关者讨论时，农用生物降解塑料生产者普遍支持这项拟议的措施，因为业界对与传统农用塑料一起纳入生产者责任延伸制计划的做法表示肯定。

7.3.2 确保仅使用经过认证的生物降解地膜产品

如果引入生产者责任延伸制计划，并且生产者费用不适用于生物降解产品，则产品误用生物降解标签的风险或将增加。确保只使用经认证的生物降解产品，将最大限度地降低产品被误导为生物降解产品的风险，以及可能无法在土壤中适当降解的风险。目前，农用生物降解塑料方面的唯一标准是关于地膜（EN 17033）的。因此，目前没有理由对其他农用生物降解塑料产品类型免除生产者责任延伸制费用（或无法验证其可行性）。

执行这项措施的一种方式是要求农用生物降解塑料生产者参加生产者责任延伸制计划（如上所述），但只对经认证的农用生物降解塑料产品免除全额付款（如果存在商定的标准）。未经认证产品的生产者必须支付与传统农用塑料相同的费用。同样，这项措施如果与生产者责任延伸制计划相结合将最为有效（根据自愿性计划，农用生物降解塑料生产者可以选择不参与）。

如果现行的欧盟EN 17033标准在生产者责任延伸制中被用作体现遵从性的证据或豁免生产者责任延伸制处置费用的证据，则也应进行修订，以反映最佳实践和不确定性。目前，该标准建议种植者在作物生长期后将地膜混入土壤中。对于某些作物（例如葡萄园）来说，此举可能不具可行性（或并非典型做法），因此这一实践并不总是被遵循。如果种植者不能提供已将地膜混入土壤中的证据，则建议不给予任何作物类型豁免权。

对于留置在土壤表面的地膜和其他农用生物降解塑料，必须制定新的标准和相关检测方法，以便提供一个框架，使此类产品能够从生产者责任延伸制豁免中受益。此外，对于缺失经过验证的相关标准或相关标准未被人们普遍接受的农用生物降解塑料产品，如果像目前的传统塑料一样被留置在环境中，则应被视为“管理不善”。

7.4 传统地膜的最小厚度/拉伸强度

专家意见（见3.1.1）表明，地膜越薄，从土壤中去除时撕裂的可能性就越大，这可能导致塑料碎片残留在环境中并堆积在土壤中。所选定的政策措施之一强制规定为最大限度地降低地膜收集过程中被撕裂的风险，传统地膜必须具备的最小厚度。这项参数也应与最小拉伸应力配对，因为这是定义必要厚度的重要指标，即，如果给定厚度的产品具有较低的拉伸应力，则更容易发生撕裂。在这种情况下，重要的是不牺牲材料特性。

政策选择研讨会强调，**更厚的**薄膜可以更好地进行回收利用，而且，作为回收材料的一部分，污染将会更低（更厚的薄膜意味着塑料:土壤比率上升）。这两个方面都将是传统地膜回收利用市场培育的关键。

强制规定传统地膜的最小厚度/拉伸应力可以最大限度地降低收集过程中地膜被撕裂的风险（以及塑料碎片随后在环境中的累积量）。目前，可用于将特定地膜厚度与地膜收集后土壤中塑料残留量关联起来的定量证据非常有限。针对欧盟《农业/园艺用可回收热塑性地膜（EN 13655）》标准规定：黑色地膜的最小厚度应为20-25微米。然而，该标准并非强制性，而且符合该标准的地膜产品比例尚不清楚。

因此，在建议使用任何强制性最小厚度（或强度）之前，为了更好地理解厚度和收集率间的关系，建议开展进一步研究。

相关研究应包括：

- 实地检验不同作物类型使用的不同厚度地膜可达到的收集率，以及是否存在最佳收集条件（如旱天或雨天）。
- 检验和确定从田间回收地膜的最佳做法，包括使用专门的机械设备。
- 对回收的材料进行土壤污染和回收利用方面的检验，以确定回收商是否更有可能找到在回收利用方面具有经济可行性的更厚地膜，及其对回收成分纳入闭环有何影响。

由于这项措施在提高回收利用率方面的有效性存在不确定性，因此没有采取这项政策措施进行建模。

7.5 建模所选政策措施

综上所述，我们为建模而采用了以下政策措施：

- 自愿性生产者责任延伸制（非激励型）
- 自愿性生产者责任延伸制（激励型）
- 面向生产者的强制性生产者责任延伸制
- 强制性生产者责任延伸制 + 禁止农用塑料露天焚烧和执行相关规定
- 强制性生产者责任延伸制 + 农民参加农用塑料收集计划的要求

8.0 不同政策措施的建模计算结果

本节总结了模拟的政策措施的影响，以及与基线（一切照旧）的对比。这些影响包括农业塑料制品物质流的变化、生产者和农民的财务成本变化明细以及所取得的环境效益概述。

表8-1中列出了第6.0和7.0节所述内容的政策措施，并总结了每项措施的主要建模参数。

表8-1：政策措施模型参数

	自愿性生产者责任延伸制（非激励型）	自愿性生产者责任延伸制（激励型）	强制性生产者责任延伸制	强制性生产者责任延伸制 + 禁止农用塑料露天焚烧	强制性生产者责任延伸制 + 参与要求
预期收集率，%	70%	70%	80%	82%[1]	95%
生产者责任延伸制计划开始日期	2026年	2024年	2023年	2023年	2023年
实现预期收集率	2035年	2033年	2030年	2030年	2030年

备注：

1. ***这项额外收集（相对于"强制性生产者责任延伸制"）是通过将以前焚烧的废弃物转移到正式废弃物收集范畴而实现的。***

A.7.2中描述了场景建模的详细方法，关键假设如下：

- 假定生产者责任延伸制计划模型涵盖所有农用塑料应用场景，同时假定现有的生产者责任延伸制计划在实施计划模型的同时将会扩大范围，以满足全面覆盖的需要。

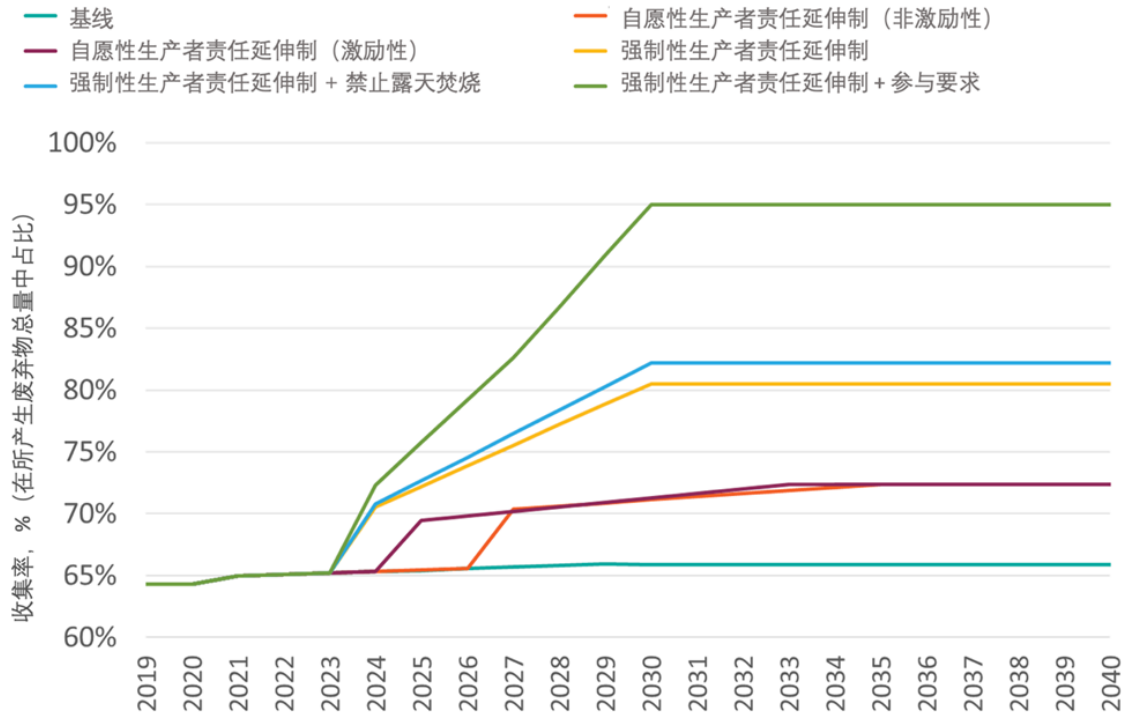
- 生产者责任延伸制计划的开始日期是计划实施的年份，假设任何效益（在收集率、财务成本等方面）都始于下一年。
- 现有计划永远不会从强制性转变为自愿性，即如果一项自愿性生产者责任延伸制政策措施被模型化，任何现有的强制性计划都将继续存在。
- 其他模型参数相对于基线保持不变，包括废弃地膜预测量、损失率和废弃物管理现行政策的影响（见第5.0节）。

以下各节介绍建模结果。

8.1 对废弃物管理的影响

图8-1显示了基线和所有政策措施的模拟分类收集率的概况。这些数据显示了达到表8-1中详细说明的最优收集率“目标”的收集率轨迹。

图8-1：收集率建模计算结果（2019年-2040年），单位：%



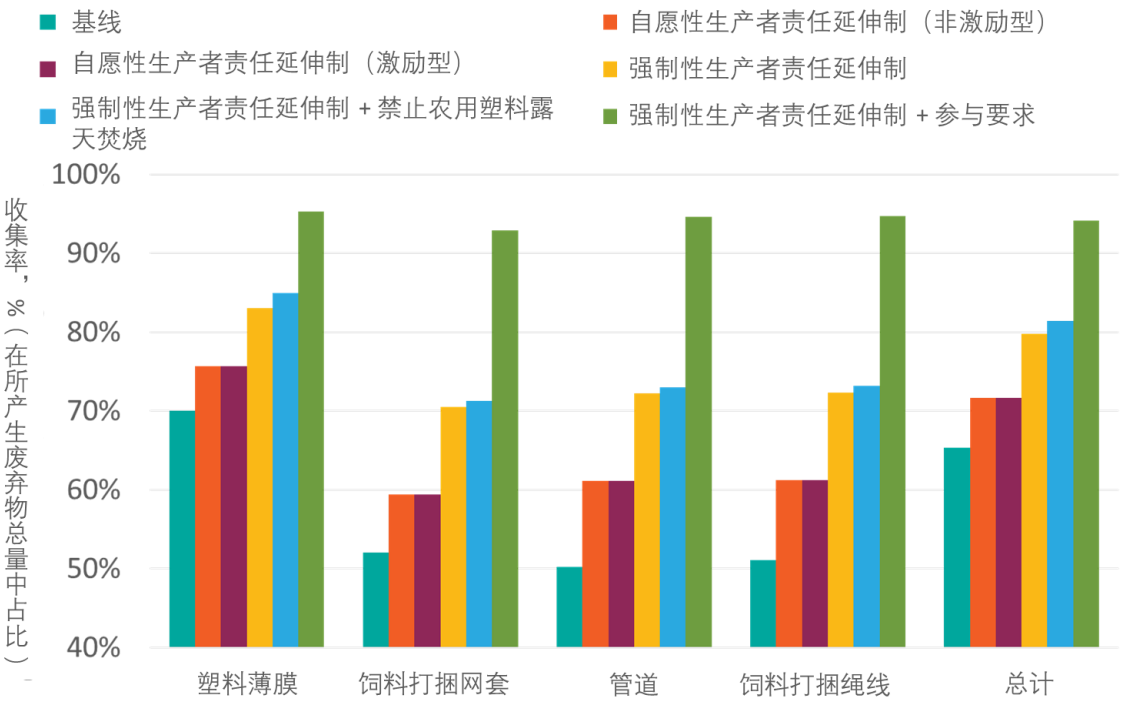
模型中，在生产者责任延伸制度计划充分生效后，除*强制性生产者责任延伸制 + 参与要求*措施外，所有措施的模拟收集率均超过预期收集率（见表8-1）。这是由于现有强制性计划的平均绩效相对较高（收集率>80%），超过几乎所有模拟政策措施的预期收集率。由于基线中的任何强制性计划都被建模为随着新生产者责任延伸制计划的实施而继续存在并扩大范围（见第8.0节），如图所示，这会使最终收集率略高于新计划的预期收集率（*强制性生产者责任延伸制 + 参与要求*除外）。

该图还显示了生产者责任延伸制计划模型范围扩大的影响（假设模型涵盖所有农用塑料应用场景）。这使得在实施新的生产者责任延伸制计划（以及扩大现有生产者责任延伸制计划的范围）后，收集率急剧上升。此后，模拟收集率逐年稳步增长，直到该计划达到最优收集率目标。

对比基线，所有政策措施都使收集率显著增加。2035年，通过生产者责任延伸制计划实现的收集率相对于基线的增幅介乎6.5%（自愿性生产者责任延伸制计划）与29%（*强制性生产者责任延伸制 + 参与要求*）之间。没有激励措施的自愿性生产者责任延伸制计划模型达到与激励计划类似的预期收集率，不过假设激励计划将比非激励计划更快地达到预期收集率。

农用塑料应用主要类别的收集率的变化分布情况如图8-2所示。其中显示了2035年（即在所有政策措施产生充分影响后）各项政策措施的收集率比较。

图8-2：收集率（2035年），单位：%



该图显示，在这些高水平类别中，各个类别的收集率轨迹遵循类似于当前计划已有模式，即，即使总体计划绩效提高，目前收集率较高的农用塑料仍继续显示出高于平均水平的收集率。*强制性生产者责任延伸制 + 参与要求*措施是一个例外，其模型输出表明，所有塑料应用必须达到很高的收集率才能实现95%的总体收集率。

图8-3显示了随着时间推移的模拟回收利用率，表8-2详细说明了2035年实现的最终回收利用率（在所有政策措施产生充分影响后）。

图8-3：回收利用率建模计算结果（2019年-2040年），单位：%

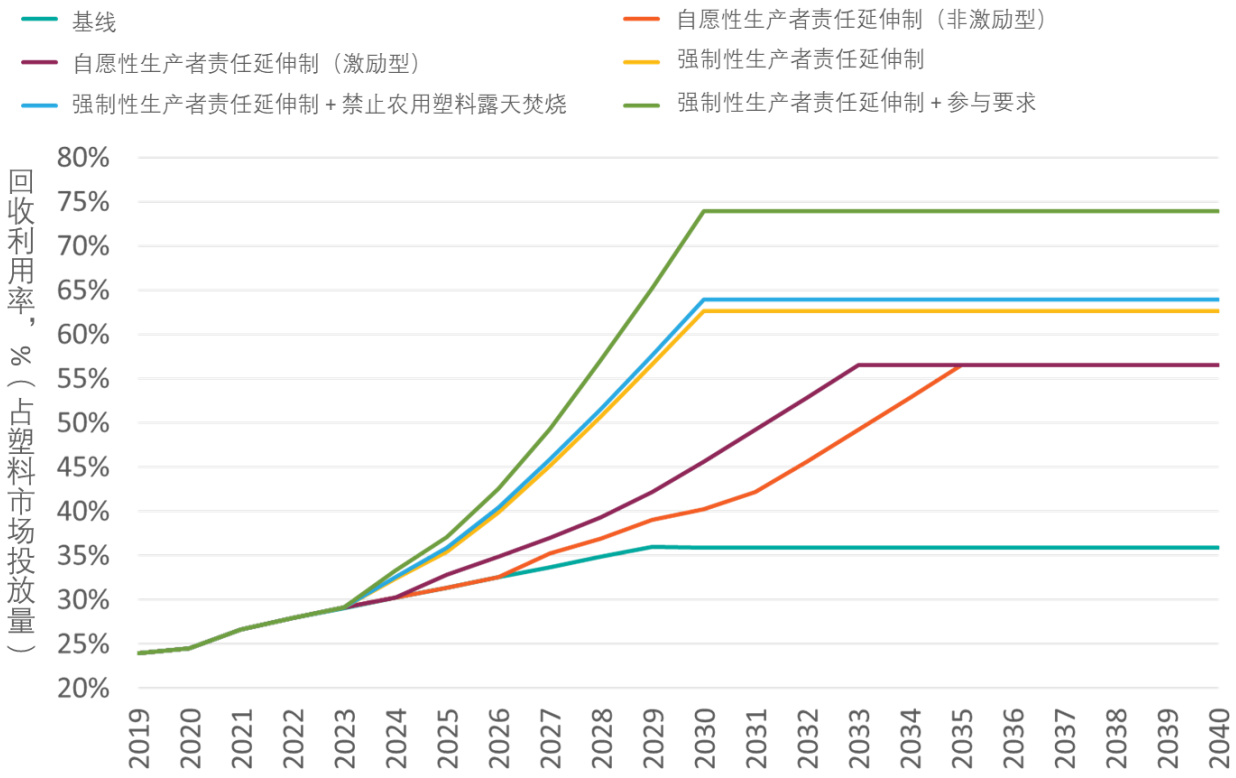


表8-2：回收利用率建模计算结果（2035年），单位：%

措施	塑料回收利用率，占投放市场塑料的百分比
基线	35.9%
自愿性生产者责任延伸制（非激励型）	56.5%
自愿性生产者责任延伸制（激励型）	56.5%
强制性生产者责任延伸制	62.6%
强制性生产者责任延伸制 + 禁止农用塑料露天焚烧	63.9%
强制性生产者责任延伸制 + 参与要求	73.9%

与收集率类似，可通过实施生产者责任延伸制计划提高回收利用率，通过更强有力的政策措施（即强制性和/或禁令或参与要求）可逐步产生更大影响。

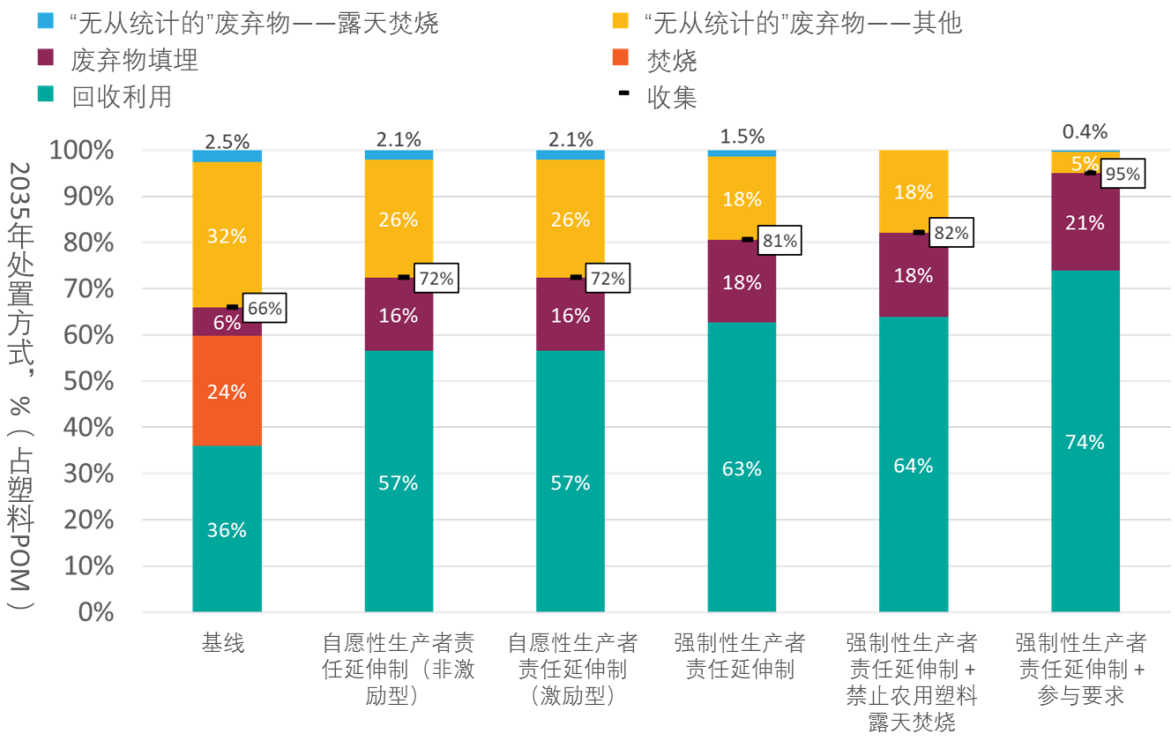
此处列出的回收利用率是最终水平，即通过再生塑料产量所测算出来的回收利用率。回收利用率的提高不仅是因为收集率的提高（通过实施生产者责任延伸制计划），而且还因为随着时间的推移，已收集废弃物的管理逐步得到改善，使得损失

率降低（从而使更大比例的投入物料得到回收利用）。

应当指出，图8-3中的回收利用率曲线略微弯曲，这是由于建模方法中调整了个别塑料应用场景收集率。由于各个应用场景的收集率逐年增加，所以对收集率的总体影响（即这些收集率的平均值按各个应用场景产生的废弃物数量加权）并非每年恒定不变，不过收集率逐年变化的幅度很小。

最后，我们在图8-4中列出了2035年产生的塑料废弃物处置方式（在所有政策措施产生充分影响后）。

图8-4：塑料废弃物处置方式（2035年），单位：%



该图显示了《废弃物框架指令（修订版）》中，*"确保不对分类收集的废物……进行焚烧"这*一要求所产生的模型化影响。如附录A.6.2.3.所述，假设生产者责任延伸制计划逐步落实这一要求。随着收集率的提高，"无从统计的"废弃物的比例减小，现场焚烧废弃物的比例也相应减小，*强制性生产者责任延伸制 + 露天焚烧禁令*情景完全消除露天焚烧（这将使环境效益显著提升，如第8.3节所述）。

8.2 经济影响

我们对本项目的两个主要利益相关者群体：农民和农用塑料产品生产者的经济影响进行了建模。财务成本建模方法的完整说明见附录A.7.3，并在此章进行总结。从广义上讲，建模考虑的是由谁支付处理处置费用以及何时支付这部分费用。

就废弃物管理成本而言，即使生产者确实将部分或全部生产者责任延伸制费用转嫁给农民，这一成本现在仍是前期成本，即它被纳入塑料产品的初始成本中，而不是作为处理处置成本。因此，如果在处理处置时没有额外成本，农民更有可能

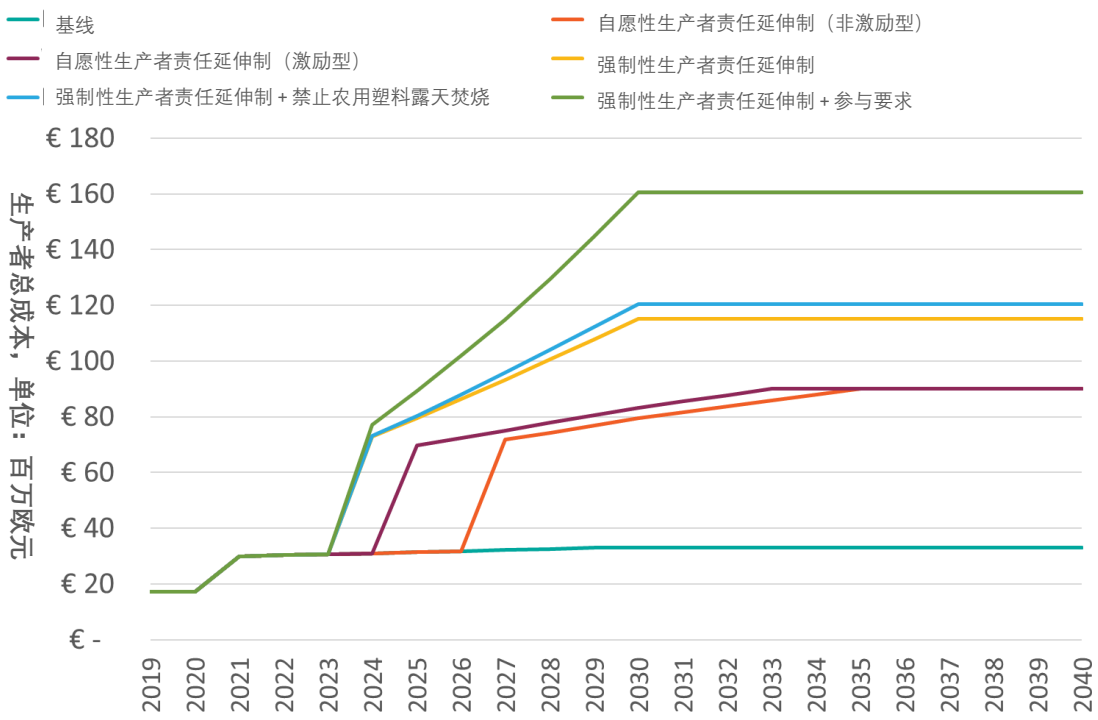
妥善处置废弃物（或者，如果生产者费用仅覆盖部分废弃物管理成本——现有计划中通常就是如此——相对于没有生产者责任延伸制的情况，成本更低）。

废弃物管理的估算净成本在模型中分布在生产者之间（部分或全部成本在购买时转嫁给农民），农民在塑料产品处理处置时直接承担成本。在基线情景下采用了欧盟目前的平均成本；在使用生产者责任延伸制模型中，根据观察到的生产者责任延伸制费用与收集率之间的关系调整生产者责任延伸制费用（由生产商）支付的处理处置管理成本的占比——即生产者责任延伸制费用随着收集率的上升而增加。出现这种情况的原因是已收集废弃物的数量增加，从而增加了生产者必须支付收集和后续管理费用的废弃物数量。

假设根据最高绩效选项，即*强制性生产者责任延伸制 + 参与要求*措施，将通过生产者责任延伸制承担废弃物管理的全部成本。然后，根据模拟收集率与最高绩效选项下实现的收集率之间的相对差异，计算所有时间段和情景的生产者责任延伸制费用。在计算农民的成本时运用了类似（但相反的）方法，即随着收集率的上升，农民的成本（即在处理处置时直接支付的成本）减少。

图8-5显示了基线和每种模型化措施随时间推移而产生的生产者总成本。

图8-5：生产者总成本（ 2019年-2040年），单位：百万欧元

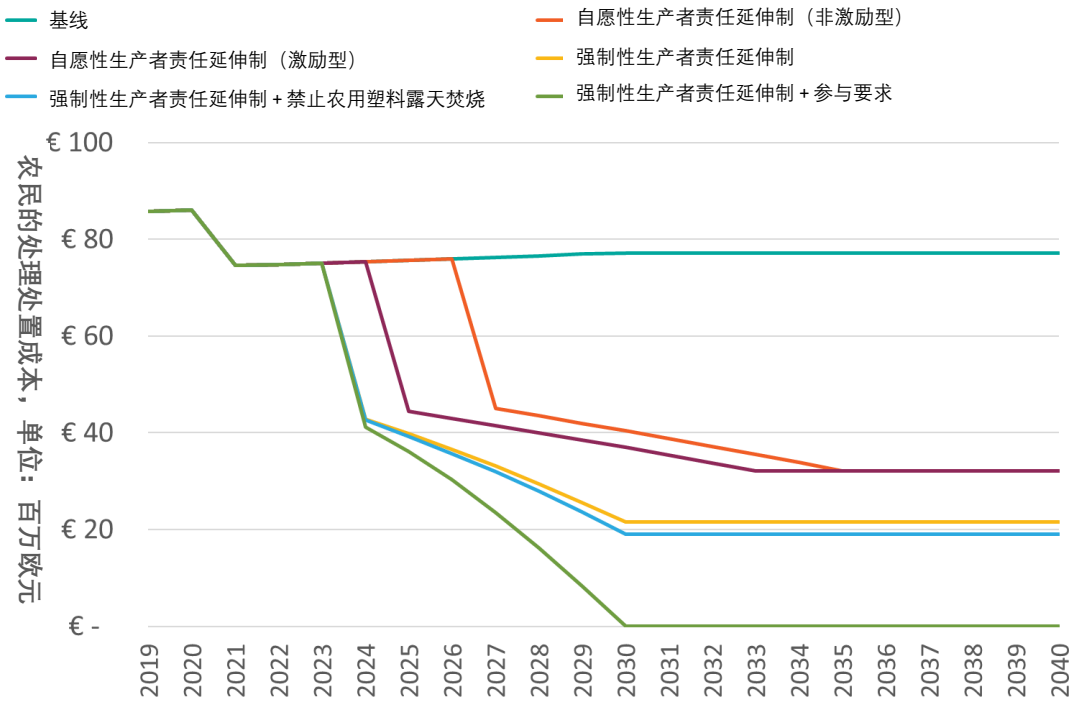


在每个生产者责任延伸制计划的模型化实施后，成本最初大幅上升，这是由于模型实施后在欧盟纳入到EPR体系的农用塑料总量增加。然后随着收集率上升，生产者支付的处理处置成本比例增加，导致成本逐年变化，变化幅度大致相当。2035年，生产者成本的变化（相对于基线）为每年额外增加从5700万欧元（自愿性生产者责任延伸制计划）到1.27亿欧元（*强制性生产者责任延伸制 + 参与要求*）不等。生产者总成本从每年约9000万欧元到1.6亿欧元不等，具体取决于所采

用的生产者责任延伸制计划。这些数字占欧盟农用塑料年销售额估数18亿欧元的5%至9%（请注意，该年销售额数字基于内部分析，具有很高不确定性，但提供了有用的指示性比较；更多详细信息见A.7.3）。

农民为处理处置管理支付的直接成本随着时间推移显示出类似但相反的趋势，如图8-6所示。和生产者费用的情形（图8-5）一样，本图清楚地显示了计划从2020年开始实施的生产者责任延伸制计划的影响（英国和西班牙–安达卢西亚）。其结果是，当这些计划被建模为在下一年（2021年）开始产生影响时，农民承担的成本将会减少。然后，所有计划的成本都遵循与生产者责任延伸制计划模型开始日期一致的轨迹，并随着时间的推移而对收集率产生影响。2035年，农民在塑料产品处理处置时支付的成本降幅（相对于基线）从每年4500万欧元（自愿性计划）到每年7700万欧元（*强制性生产者责任延伸制计划 + 参与要求*）不等。

图8-6：农民的处理处置成本，单位：百万欧元



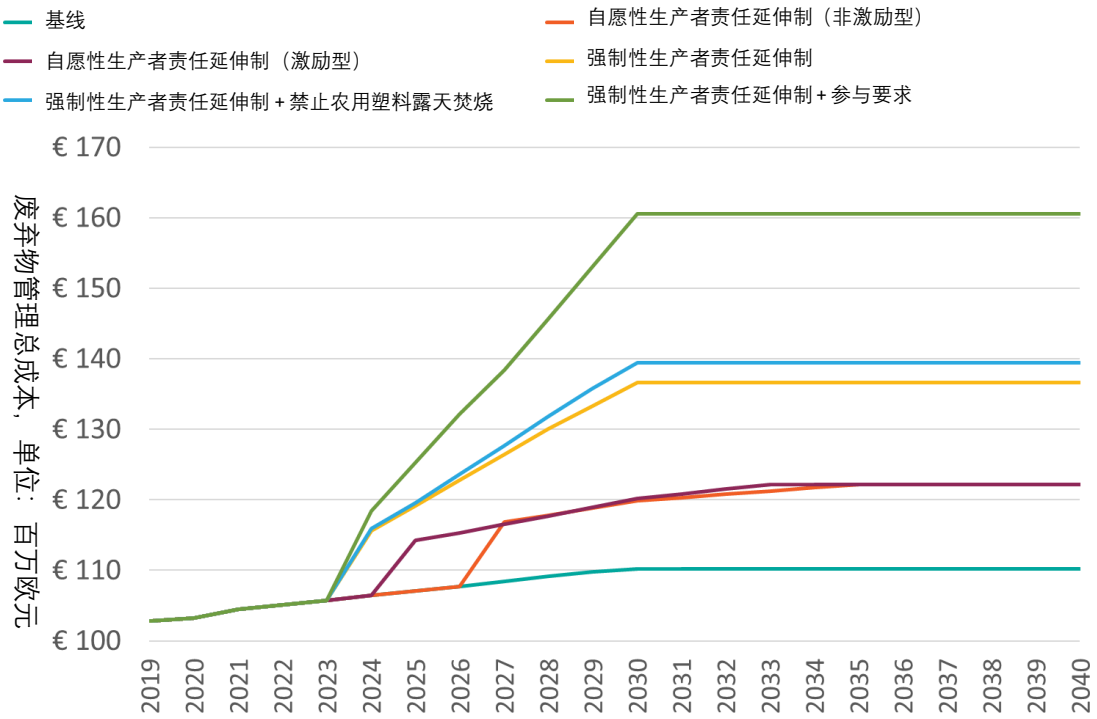
如上所述，每种模型的吨废弃物管理总成本保持不变，成本模型在生产者费用与农民在农膜处理处置时支付的直接成本之间分配。未收集的废弃物，即“无从统计的”废弃物，没有与之相关的废弃物管理成本——没有将废弃物留在环境中或露天焚烧/倾倒的成本。在实践中，其中一些废弃物可能通过未报告的本地收集计划收集，因此存在收集成本。不过，任何已知数据集均未报告此类收集的程度，因此建模中不包括此类成本。

随着各个情景中的收集率（和收集的废物总吨数）上升，废弃物管理的成本也增加。这是因为“无从统计的”废弃物现在得到适当收集，此部分废弃物之前并未产生财务成本（重大环境成本除外，见第8.3节），而现在存在与之相关的管理成本。

废弃物管理的净成本，即生产者费用和农民的处理处置成本之和，如图8-7所示。

正如预期的那样（在我们的模型中，每吨废弃物管理的净成本保持不变），净成本的变化与收集率的变化相同（图8-1）。

图8-7：废弃物管理净成本，单位：百万欧元



授权调查范围（ToR）要求提交不同选项下回收利用数量每提高百分之一的成本报告。虽然原则上可以将每种选项的废弃物管理成本净增加额除以回收利用的百分比增加额，但这并不能提供有意义的比较。

首先，在回收利用方面额外增加一个百分点的边际成本将因起点而异。为了实现具体的回收利用目标，首先收集那些收集和回收利用的成本和难度最低的农用塑料，然后逐渐收集和回收利用越来越具有挑战性的产品——包括地理位置、污染水平、低值等。

因此，在其他条件相同的情况下，回收利用率从20%增加到21%的增量成本低于从40%增加到41%的增量成本（从60%增加到61%意味着更高的增量成本）。

然而，这条“成本曲线”的形状将因计划而异，具体取决于多种因素（单独因素或者多因素组合），例如：

- 农用塑料使用的地理集中度（如果用户在地理区域上集中，收集农用塑料的成本会更低）；
- 使用强度——如果少量农场使用大量农用塑料，则可以比大量使用少量农用塑料的农场更有效地收集农用塑料；
- 使用的农用塑料的类型；
- 使用的农用塑料的类型多样性。

第7.1.4节描述了强制性计划相对于自愿性计划的优势，结论如下：

- 在收集率最高的情况下，强制性计划可能比自愿性计划更稳定；
- 根据强制性计划，管理搭便车者的风险较小，因此更容易将全部成本计入农用塑料的价格中，这意味着农民不需要支付收集费；
- 强制性计划使投资者对回收设施更有信心，在未来继续供应原料；
- 强制性计划为收集有关农用塑料使用和回收的全面、完整数据提供了更稳定的平台；
- 强制性计划保证为所有生产者营造公平竞争环境

在成本曲线方面，根据强制性计划在收集覆盖范围要求方面的具体规定，以及关于收集覆盖范围推广的时间表，自愿性计划在更低收集水平上回收利用的每吨成本可能更低。如果将重点放在收集成本最低且最容易获得的农用塑料上，就会发生这种情况，这些农用塑料也具有积极的材料价值。

然而，正如第7.1.4节所述，由于自愿性计划的边际成本（及费用）增加可能导致单个生产者退出，因此在更高收集率的条件下，自愿性计划可能变得不稳定。这将给留在该计划中的更少量的生产者带来更高的成本负担，从而可能刺激更多生产者退出，周而复始。

此外，根据强制性计划，获得有助于规划物流的更高质量数据的可能性更高（特别是在与参与要求相结合的情况下）实际上可能意味着与自愿性计划相比，可以更有效地实现特定水平的收集和回收利用（即使是相对较低或中等的回收利用率）。

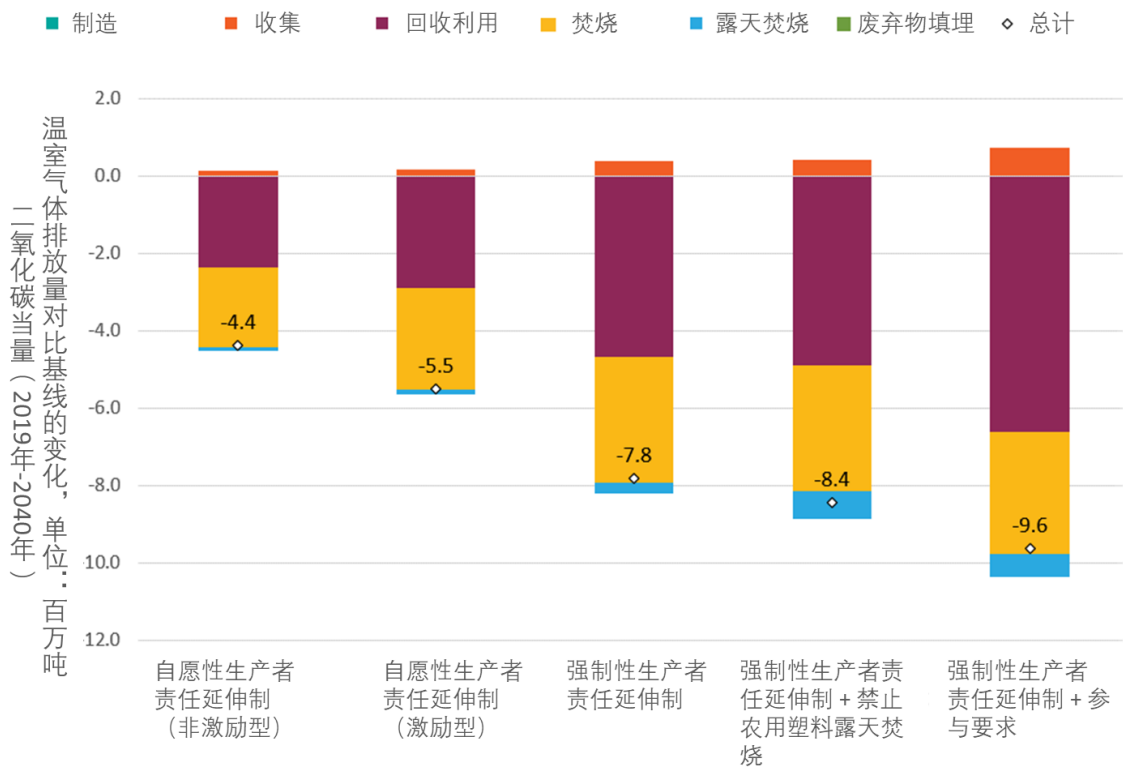
缺乏数据意味着这种讨论不可避免地停留在理论层面。然而，考虑到不同的设计思路，显然强制性计划可以更确定地实现更高水平的回收利用，而通过实现更高水平的收集和回收利用，可以确保生产者充分支付塑料处理处置管理成本，而不是直接让农民承担。

8.3 环境影响

环境影响既表现为温室气体净排放量，也表现为外部性货币化，包括气候变化的外部成本、空气质量影响以及与环境中散落和/或留下的废弃物造成的不舒适有关的成本估算。

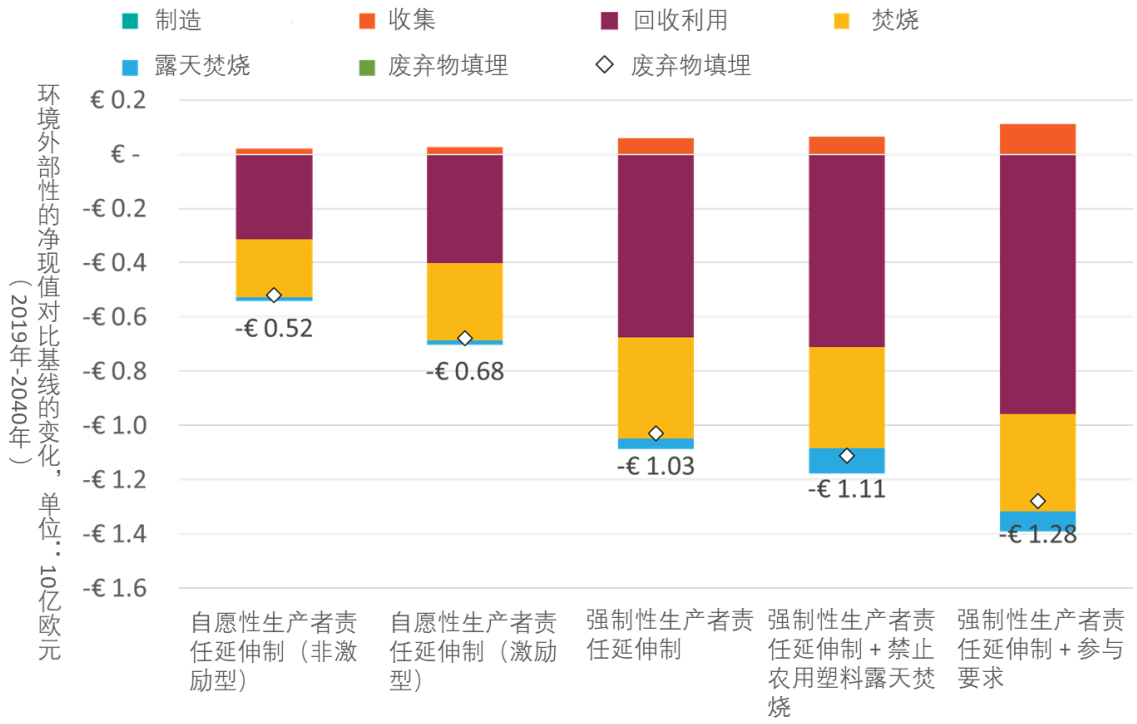
模型化措施的温室气体排放量（相对于基线）的总体变化如图8-8所示。该图显示了建模时间段（即2019年-2040年）内所有影响的总和。碳减排总量从440万吨二氧化碳当量（自愿性计划）到960万吨二氧化碳当量（*强制性生产者责任延伸制+参与要求*）不等。这一减排大部分归因于增加的回收利用产生的碳效益，而通过减少焚烧和露天焚烧也实现了显著减排成效。这些碳效益大大超过了通过增加废弃物收集（即为获得农用塑料而进行的额外收集，否则这些农用塑料将被焚烧或就地掩埋）而额外产生的碳。

图8-8：温室气体排放量的总体变化（2019年-2040年），单位：百万吨二氧化碳当量



各种模型化措施的环境外部性变化如图8-9所示。根据4%的社会因素贴现率，以2019年至2040年模拟外部性净现值（NPV）的变化为准。对相对于基线（*强制性生产者责任延伸制 + 参与要求*）高达13亿欧元净现值的环境效益进行了建模，典型强制性计划实现近10亿欧元的净现值效益，而自愿性计划实现约5亿-7亿欧元的净现值效益。

图8-9：环境外部性净现值的总体变化（2019年-2040年），单位：10亿欧元



大多数环境外部性表现出与观察到的温室气体排放量类似的趋势，即回收利用的增加显著减少外部成本，同时减少焚烧和露天焚烧的外部性也略有减少。露天焚烧实现的外部性减少量虽然小于焚烧，但单吨减少量更大，因为露天焚烧对环境造成的损害要大得多。露天焚烧的单位影响包括对黑碳排放造成的气候变化和空气质量的额外影响。

通过减少留在环境中的农用塑料，将进一步减少外部性。显然，这种管理不善的废弃物会带来不舒适影响，即在更广泛的环境中出现管理不善的废弃物会对人们享受该环境产生负面影响。[273] 然而，这种不舒适的*程度*是不确定的，仅在少数既往研究中作过估计，通常为支付意愿法（Willingness to Pay, WTP）。

然而，迄今为止，尚无研究估计*农用塑料*在环境中造成的视觉不舒适程度（即人们因在环境中看到农用塑料而感到不安的程度的货币指标），或者知道这种塑料进入环境（包括土壤、水体和海洋环境）时的不安程度。与塑料瓶、食品容器、吸管和搅拌棒等物品相比，公众对环境中的农用塑料关切较少，农用塑料不是普通民众日常生活的一部分，我们所在城镇和海滩上的垃圾就是如此。然而，存在视觉上的影响，特别是在洪水过后，树篱和河畔树木缠住塑料的地方，还存在对土壤健康以及淡水和海洋环境的尚未量化的影响。

[273] 例如，一些非政府组织强调了这一问题，如河流污染（见 https://www.wyeuskfoundation.org/blogs/e-news/plastics-in-rivers-and-seas）和鲸鱼摄入商业温室大棚篷布（https://www.theguardian.com/world/2013/mar/08/spain- sperm-whale-death-swallowed-plastic）

在没有对单位不舒适程度进行估计的情况下，不可能将这些成本包括在图8-9所示的环境外部性中。然而，这部分成本显然不是零。为了提供指示性和典型推测性数字，ICF和欧诺弥亚最近为欧洲委员会进行的一次性塑料影响评估中的单位（即每吨）不舒适成本缩减了10倍。[274]这意味着，一吨农用塑料对环境的不舒适影响被设定为一吨一次性塑料（如塑料瓶、食品包装等）的十分之一（即10%）。这一假设的逻辑是，这种影响可能比这些一次性塑料类型的影响小得多，后者散落在更显眼和人口更密集的地方。人们认识到这是一个主观得出的数字，如果要在未来的影响评估中使用这样的数字，则需要进行深入研究，以提高关于不舒适程度的确定性。

基于这一不舒适程度，并假设留在环境中的农用塑料废弃物数量与目前送往露天焚烧的数量相似，计算出解决不舒适问题的总成本为1.82亿欧元。如前所述，这是一项不以实际数据为基础的推测性评估。然而，我们认为，这项评估说明了通过减少环境中残留的废弃物数量可以实现的潜在环境效益（即“避免”不舒适）的程度。1.82亿欧元这一数值很高，特别是考虑到这只是一年内累积的环境效益，而不是模型期间的净现值（如图8-9所示）。

未收集的农用塑料随后会随着时间的推移而碎裂，这也可能意味着微塑料颗粒会在农业土壤中积累，并有可能进入水域。第3.4节总结了农用塑料残留物（微塑料）对土壤健康和农业产量影响的知识状况。然而，没有足够的资料能够对这种微塑料的存量和流动以及随着收集率上升而可能产生的影响作出定量估计。可以说，收集率越高，每年留在环境中的有可能变成微塑料的农用塑料的数量就越少。

---

[274] ICF和Eunomia（2018年）减少一次性塑料所产生海洋垃圾的措施的影响评估，环境总司报告，https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/Study_sups.pdf

9.0 政策选择比较

《废弃物框架指令》第11条第1款规定，在技术、环境和经济上可行且适当的情况下，塑料废弃物必须分类收集（实施截止日期为2015年实）。这一要求也适用于农用塑料废弃物。

然而，据欧洲农业、塑料与环境协会（APE Europe）估计，2019年，在欧盟境内产生的非包装用农用塑料废弃物中，仅有约38%被分类收集。此外，尽管大多数农用塑料具有很高的再生利用潜力，但据预计，在欧盟境内收集的非包装用农用塑料废弃物中，目前仅有28%实现循环利用（估计42%被填埋，30%被送往能量回收）。

该协会调查了传统农用塑料收集率和回收率如此之低背后的驱动因素。从本质上说，由于农用塑料废弃物污染率高且终端市场有限，回收商对大多数农用塑料废弃物的需求不足（近年来，在中国禁止进口再生塑料原料后，再生塑料原料流回欧洲市场，使这一问题更加严重）。如果留给自由市场，将会导致缺乏分类收集农用塑料的激励措施。
此外，在确实存在农用塑料分类收集计划的情况下，可能并非总有足够的激励措施吸引所有农民参与。如果他们能够以成本更低或更方便的方式管理农用塑料废弃物，例如就地焚烧或投入到所收集的混合废弃物中，则结果更是如此。

已制定若干政策目标，旨在改进农用塑料处理处置期间的管理（很大程度上基于问题驱动因素）。总体目标如下：

- 减少渗入环境的农用塑料；
- 确保农用塑料的使用和处理处置管理遵守废弃物管理金字塔；以及
- 农用塑料的废弃管理应遵循污染者付费原则。

还制定了若干具体的政策目标（见第6.2.2节）。根据这些具体目标，制定和评估了一系列政策措施（见表6-3）。这些政策措施主要围绕生产者责任延伸制，因为生产者责任延伸制有潜力达到作为本项目一部分而制订的若干政策目标：

- 确保有足够的监管激励机制，以支持废旧农用塑料在其处理处置时的综合收集计划的运作
- 确保农民广泛了解和认识现有农用塑料收集计划以及参与该计划的好处
- 确保有足够的激励机制，使农民在收集前减少农用塑料废弃物污染程度
- 确保有足够的财政、监管和/或声誉激励机制，使农用塑料生产者将回收料纳入新产品生产（可能通过费用调整）

生产者责任延伸制政策措施

生产者责任延伸制被认为比其他初选政策选择（例如对原生塑料生产征税）更适当且更有针对性。此外，生产者责任延伸制将帮助成员国满足《废弃物框架指令》中规定的塑料废弃物分类收集的要求。

生产者责任延伸制有多种实施方式，在本研究中比较了三个选项：自愿性（激励）、自愿性（非激励）和强制性。此外，还结合两项额外的政策措施（分别）对强制性生产者责任延伸制进行了建模，以增强其效果：禁止露天焚烧和执行相关规

定，以及要求农民参与农用塑料收集计划。

定性分析表明，与自愿性生产者责任延伸制相比，强制性生产者责任延伸制有多重优势，下文和表9-1对此进行了总结：

- 在收集率最高的情况下，强制性计划可能比自愿性计划更稳定
- 根据强制性计划，较少需要管理搭便车者的风险，例如，在生产者税和农民费用之间分担费用。这样的安排颇为重要，因为在收集点收取的费用可能成为农民将农用塑料送至回收点的抑制因素；
- 强制性计划使投资者对回收设施更有信心，相信未来几年将继续供应原料；
- 强制性计划为收集有关农用塑料使用和回收的全面数据提供了更稳定的平台；
- 强制性计划保证为所有生产者营造公平竞争环境；
- 强制性计划可以更有效地与其他提高收集计划绩效的措施相结合（这是因为强制性制度在高收集率下本质上更稳定，而且根据强制性计划更容易落实更全面、更详细的数据收集要求）。

不同生产者责任延伸制选项的模型化绩效表明，强制性生产者责任延伸制可能在整个欧盟实现比自愿性生产者责任延伸制更高的收集率和回收利用率，尽管所有生产者责任延伸制选项都会使收集率和回收利用率显著高于基线（见表9-1）。请注意，表9-1中列出的收集率和回收利用率是近期简化结果；到2040年，激励性和非激励性自愿生产者责任延伸制选项将取得相同的绩效。非激励性质的自愿性生产者责任延伸制需要更长时间才能达到这一绩效水平，因为人们认为在该选项下更难获得很高的生产者参与度。因此，与激励选项相比，非激励选项让生产者承担的总体成本更低。同样，与激励选项相比，非激励选项的温室气体减排量略低。

表9-1：不同生产者责任延伸制政策措施比较

	高收集率下的稳定性	投资者对回收设施的信心	全面数据收集	公平竞争环境/生产者公平性	收集（包括污染物）（2040年）	回收利用率（2040年），占农用塑料市场投放量的百分比	温室气体排放量的变化（2019年-2035年），单位：百万吨二氧化碳当量	环境外部性的净现值变化（2019年-2040年），单位：10亿欧元	废弃物管理净成本的净现值变化（2019年-2040年），单位：10亿欧元
基线	不适用	不适用	不适用	不适用	**66%**	**36%**	**-**	**-**	**-**
自愿性生产者责任延伸制（非激励型）	可能不稳定	中	同意和执行更具挑战性	搭便车的风险	**72%**	**57%**	**-4.4**	**-0.52欧元**	**0.08欧元**
自愿性生产者责任延伸制（激励型）	可能不稳定	中	同意和执行更具挑战性	搭便车的风险	**72%**	**57%**	**-5.5**	**-0.68欧元**	**0.09欧元**
强制性生产者责任延伸制	稳定	高	可由计划要求	高	**81%**	**63%**	**-7.8**	**-1.03欧元**	**0.22欧元**
强制性生产者责任延伸制 + 禁止农用塑料露天焚烧	稳定	高	可由计划要求	高	**82%**	**64%**	**-8.4**	**-1.11欧元**	**0.24欧元**
强制性生产者责任延伸制 + 参与要求	稳定	高	可由计划要求	高	**95%**	**74%**	**-9.6**	**-1.28欧元**	**0.40欧元**

1) 净现值（NPV）代表成本和收益的贴现流量

2) 请注意，实现收集率提高一个百分点的边际成本随着收集率的上升而增加。例如，收集率从50%提高到55%的边际成本将低于收集率从75%提高到80%的边际成本。因此，表中列出的每个百分点提升的成本是2019-2040年收集率和回收利用率整个增长的平均值。

与所有选项的基线相比，废弃物管理的净成本增加，原因是“无从统计”废弃物的数量减少，没有与之有关的废弃物管理成本（但与巨大的环境成本有关）。此外，根据生产者责任延伸制，废弃物管理成本发生的节点从农民在产品处理处置时直接发生转移到生产者将产品投放市场时发生（即使转嫁给农民，这一成本也是前期负担，并包含在塑料产品的成本中）。人们认为，如果在处理处置时采取这项措施没有额外成本，农民更有可能妥善处置废弃物。

与各种生产者责任延伸制选项相关的环境效益与所实现的收集率和回收利用率密切相关（例如，碳减排大部分归因于增加的回收利用产生的碳效益，而通过减少焚烧和减少露天焚烧也实现了显著减排成效）。因此，根据建模，强制性生产者责任延伸制实现比自愿性生产者责任延伸制更大的环境效益。尽管如此，与基准相比，所有生产者责任延伸制选项都代表显著的环境效益。

我们的研究结论：在农用塑料管理领域推行生产者责任延伸制，很可能会大幅提高整个欧盟范围内农用塑料的收集率和回收利用率。作为一项政策措施，它兼具适度性和针对性。它还将推促欧盟成员国实现《废弃物框架指令》中规定的分类回收塑料废弃物的要求，这一要求的2015年截止日期已过。尽管有自愿性农用塑料生产者责任延伸制计划方面的成功范例（例如法国的ADIVALOR计划），但那些处于较强端的生产者责任延伸制计划（即强制性生产者责任延伸制）可能最为有效。

有鉴于《废弃物框架指令》（WFD）第11条第1款对分类收集塑料废弃物的现行规定，我们建议欧盟委员会制定指导方针，以鼓励欧盟成员国实施生产者责任延伸制并履行其在《废弃物框架指令》下与农用塑料废弃物相关的义务。
此外，我们进一步建议，根据当前研究的结果，此类指导应考虑自愿方法与强制方法的相对优劣以及在生产者责任延伸制制定和运作领域的最佳实践。

农用生物降解塑料政策措施

我们建议将农用生物降解塑料纳入农用塑料生产者责任延伸制计划。生产企业责任延伸制计划可被用作一种收集数据的机制，这些数据包括如何使用和在何处使用农用生物降解塑料（这种数据有助于监测农用生物降解塑料的适当使用）。根据设想，农用生物降解塑料生产企业将免于缴纳生产者责任延伸制收集和处理费用（因为这些不适用于农用生物降解塑料），而只需支付用于数据管理的管理费。

农用生物降解塑料标准

若已制定农用生物降解塑料标准（例如用于地膜的欧盟EN 17033标准），则只有通过认证的农用生物降解塑料才可以免于缴纳生产者责任延伸制收集和处理费用。因此，这一措施通过为生产者提供核实索赔的框架来支持适当使用农用生物降解塑料。为了实现农用生物降解塑料与生产者责任延伸制的有机结合，拟议的生产者责任延伸制计划需要有生产企业的全面参与和强有力的数据收集要求——在强制性生产者责任延伸制下最容易实现的这一目标。

如果现行的欧盟EN 17033标准在生产者责任延伸制中被用作体现遵从性的证据或豁免生产者责任延伸制处置费用的证据，则应对其进行修订，以反映最佳实践和不确定性。目前，该标准建议种植者在作物生长期后将材料混入土壤中。对于某些作物（例如葡萄园）来说，此举可能不具可行性（或并非典型做法），因此这一实践并不总是被遵循。如果种植者不能提供已将材料混入土壤中的证据，则建

议不给予任何作物类型豁免权。

对于留置在土壤表面的地膜和其他农用生物降解塑料，必须制定新的标准和相关检测方法，以便提供一个框架，使此类产品能够从生产者责任延伸制豁免中受益。此外，对于缺失经过验证的相关标准或相关标准未被人们普遍接受的农用生物降解塑料产品，如果像目前的传统塑料一样被留置在环境中，则应被视为“管理不善”。

传统地膜的最小厚度/拉伸强度

所探讨的最后一项政策措施是，强制规定传统地膜的最小厚度/拉伸应力，以最大限度地降低收集过程中地膜被撕裂的风险（以及塑料碎片在环境中的累积量）。目前，可用于将特定地膜厚度与土壤地膜残留比例关联起来的定量证据非常有限。因此，在建议使用任何强制性最小厚度（或强度）之前，为了更好地理解厚度和收集率之间的关系，建议开展进一步研究（详情见7.4 ）。

欧盟《农业/园艺用可回收热塑性地膜（EN 13655）》标准可用作验证最低标准的工具。

10.0 进一步研究需求和相关建议

本研究的开展过程明显缺乏可验证数据并从中得出结论。为此，我们强调以下研究需求（主要涉及填补数据缺口）和相关建议：

数据缺口

- 投放市场的农用塑料数量、用途及废弃后在成员国内流向的统计数据缺失。
- 大部分关于生物降解地膜的研究和已发表的证据都是基于南欧，特别是意大利的经验；北欧的发布数据缺失；并且，为本研究开发的累积模型仅仅基于美国一项研究的观察结果。
- 截至目前，尚无人研究或量化已留置在土壤中的传统地膜或生物降解地膜迁移到其他环境（例如水体）的塑料残留问题。
- 关于传统地膜在收集后仍留置在土壤中的典型数量，目前尚无可验证的数据。尽管利益相关者引用了一些数字（离田率从60%到100%之间不等），但并未得到经验证据的证实。
- 关于地膜厚度与传统地膜收集后田间残留量之间的关联，目前尚无可验证的数据（仅有专家意见）。
- 目前尚无关于环境中农用塑料残留对人情绪消极影响程度的研究。

对进一步研究的全方位建议

- 构建一个强大而准确的农用塑料监测数据系统。在生产者责任延伸制框架下的数据收集工作可以提供此类数据，并且在强制性生产者责任延伸制的情况下数据的覆盖范围最佳。
- 建立一个（农用塑料残留）从农业用地到水体潜在流向的空间模型，该模型应考虑农场位置与水体、土壤侵蚀和降雨之间的关系。

对进一步开展传统农用塑料研究的建议

- 委托开展一项田间试验研究，其研究重点应放在识别收集传统地膜的典型做法和最佳实践上。应考虑作物类型、材料厚度和收集设备等变量。

- 确定欧盟《农业/园艺用可回收热塑性地膜（EN 13655）》标准的现行要求是否足够有效，即，如果强制执行，这些要求是否足以提升传统地膜离田率。
- 在获得传统地膜收集的典型做法和最佳实践的数据之后，进一步制定相关政策以强化/鼓励良好实践，包括：
    - 对特定收集设备的要求
    - 最佳实践指南
    - 地膜设计要求，例如对最小厚度的要求
    - 针对特定应用情景，限制传统地膜的使用（例如，针对有证据表明不可能将传统地膜完全收集起来的的作物类型作出限制性规定）
- 评估地膜机械化收集技术（例如在法国试点的RAFU技术）在减少环境污染方面的有效性，以及是否应该实施支持使用该类技术的政策。

对进一步研究农用生物降解塑料的建议

- 针对生物降解地膜使用开展进一步研究，在不同气候条件的区域、历经多个作物生长周期进行土壤采样。此类研究结果都可能需要在欧盟EN 17033标准修订版中反映出来。
- 针对留置在土壤上的特定产品（而不是现有土壤中特定含量的测试）制定生物降解性的标准检测方法和相关极限阈值要求，例如针对树木保护产品制定检测方法和要求。
- 除了确定可能妨碍传统地膜离田的特定应用实践外，这些应用场景还可能受益于鼓励使用生物降解地膜的激励措施。

附录

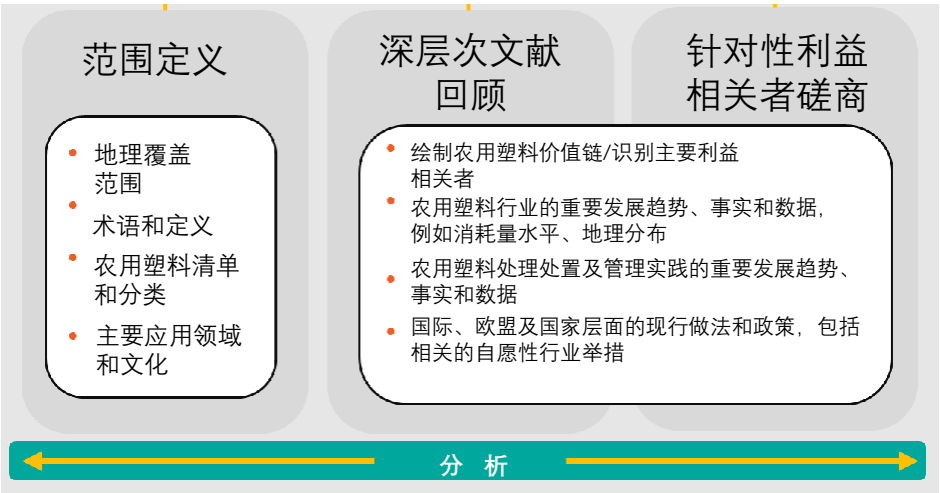
A.1.0 数据收集方法

我们在图A1. 1中列示了可用于了解农用塑料“使用现状”的整体方法。该方法包括以下六个步骤：

- 第1步 – 选择欧盟成员国具有代表性的样本
- 第2步 – 列出农用塑料的清单和分类
- 第3步 – 接洽欧盟和国家层面的农用塑料管理部门
- 第4步 – 了解欧盟和国家层面的农用塑料废弃物管理
- 第5步 – 纵览与之相关的国际政策和最佳实践
- 第6步 – 陈述重要研究成果

与塑料使用现状相关的重要研究成果和已采集数据既可用于分析传统塑料与生物降解塑料的管理实践，又可用于基线情景制定。

图A1.1：研究塑料使用状态的方法



A.1.1 数据收集

我们将在以下章节中进一步详细介绍数据收集过程（采用**案头研究和利益相关者磋商**方式进行）。

A.1.1.1 案头研究和文献综述

我们收集并回顾了大量文献，其中包括由公共事业主管部门（例如环境部、农业部、欧盟机构、工业界以及研究和学术出版社）发布的相关文件。我们在以下章节中提供了详尽的资料来源列表。

A.1.1.2 针对性利益相关者磋商

为了解决任何潜在的不一致性、不确定性及数据缺口问题，我们在通过阅读文献

收集数据的同时，还组织召开了针对性利益相关者磋商。利益相关者磋商的目的是收集与现状有关的重要观点，重点关注领域包括在提高收集率和回收再利用率方面所面临的挑战、相关驱动因素、主要机遇及重要制约因素等。

除了确保相关利益相关者的见解与我们已收集和分析的数据紧密相关之外，我们还努力确保我们的反馈尽可能反映所有不同利益相关者的关切和利益。因此，我们与广泛的利益相关者进行了接触，特别是从生产商到回收商的行业参与者，以及负责废弃物管理（包括收集、回收和再使用)的公共当局。我们在表A1.1中提供一份利益相关者磋商的摘要。

特别值得一提的是，为了获得国家和欧盟层面农用塑料的必要数据并验证针对估算值的假设和重要研究成果，项目团队还与循环塑料联盟（CPA）密切合作。循环塑料联盟于2018年12月成立，其愿景是促进自愿行动和承诺，以实现到2025年欧洲每年至少有1000万吨再生塑料用于产品和包装的目标。循环塑料联盟聚集了塑料价值链中的主要公共和私人利益相关者，可以获得与处理处置相关的重要数据，例如农用塑料废弃物收集、分类及回收数据，以及相关挑战的数据。

我们采用了以下方法进行利益相关者磋商：

- **调查问卷**：专门针对不同的利益相关者群体进行调整，例如塑料生产商、回收商、欧盟成员国政府当局、行业协会等。
- 电话**访谈**：目的是获得更多澄清和反馈
- **分组座谈会**：我们召开了三次由少数参与者参加的在线分组座谈会，集中讨论特定议题。
    - 农用塑料领域生产者责任延伸制
    - 西班牙农用生物降解塑料的种植者和生产者
    - 意大利农用生物降解塑料的种植者和生产者
- **网络研讨会**：我们针对特定主题并面向更广泛的受众，组织召开了多场专项网络研讨会。
    - 旨在介绍项目并分享早期研究成果的网络研讨会
    - 政策方案网络研讨会：传统塑料
    - 政策方案网络研讨会：生物降解塑料

上述磋商使本项目能够从广泛的利益相关者群体中获取数据，因此我们获得的信息远远超出标准文献综述可查获的数据范围，包括政策声明和简报文件。

利益相关者磋商使得利益相关者有机会就本项目提出问题。在第一次网络研讨会中，利益相关者对产品范围的定义、地理覆盖范围以及数据与分析的准确性表示关切。由于最初的分析仅依赖于学术文献，因此，利益相关者在这一阶段提出的意见和建议促使我们对与农用生物降解塑料相关的风险进行了重新评估。在最后一次关于生物降解塑料的网络研讨会中，我们澄清了包括“风险、矿化及农艺效益”在内的术语使用；另外，与会者普遍认为，需要在整个欧洲范围内规范生物降解地膜的使用。

表A1.1：利益相关者磋商情况

所涉组织机构	范围	状态			
		已联系但未回应	调查问卷	网络研讨会	访谈
城市和地区可持续资源管理协会（ACR+）	欧盟	X			
雅典农业大学（Agricultural University of Athens）	欧盟			X	X
欧洲农业、塑料与环境协会（APE Europe）	欧盟		X	X	X
巴比尔集团（Barbier Group）	欧盟				
巴斯夫（BASF）	欧盟		X	X	
CEDO	欧盟				X
欧洲青年农业委员会（CEJA）	欧盟	X			
欧洲塑料再生与回收组织协会（EPRO）	欧盟	X			
欧洲塑料加工商协会（EUPC）	欧盟	X			
欧洲生物塑料协会（European Bioplastics Association）	欧盟		X	X	X
欧洲废弃物管理和环境服务联合会（FEAD）	欧盟		X	X	
国际农业系统协会（IFSA）	欧盟	X			
国际农业工作协会（International Association on Work in Agriculture）	欧盟	X			
欧洲塑料回收商协会（PRE）	欧盟		X	X	
欧洲塑料制造商协会（PlasticsEurope）	欧盟			X	
塑料能源公司（Plastic Energy）	欧盟				X
TAMA欧洲公司（Plastic Energy）	欧盟			X	X
保加利亚农业部（Bulgarian Ministry of Agriculture）	保加利亚	X			
保加利亚环境部（Bulgarian Ministry of Environment）	保加利亚	X			
Blitc EOOD	保加利亚	X			
Elplast EOOD	保加利亚	X			
西班牙青年农民农业协会（ASAJA）	西班牙			X	
西班牙可堆肥和生物降解塑料协会（ASOBIOCOM）	西班牙			X	
纳瓦拉农业食品合作社（Cooperativas Agroalimentarias Navarra）	西班牙			X	

所涉组织机构	范围	状态			
		已联系但未回应	调查问卷	网络研讨会	访谈
圣地亚哥Apóstol合作社（Cooperativa Santiago Apóstol）	西班牙			X	
SUCA合作社（Cooperativa SUCA，安达卢西亚）	西班牙			X	
穆尔西亚农业合作社联合会（FECOAM）	西班牙			X	
莱里达大学园艺系（Department of horticulture. Lleida University）	西班牙			X	
芬兰环境研究所（SYKE）	芬兰	X			
芬兰环境部（Finnish Ministry of Environment）	芬兰	X			
芬兰农业部（Finnish Ministry of Agriculture）	芬兰	X			
芬兰塑料回收有限公司（Finnish Plastics Recycling Ltd）	芬兰	X			
YTT	芬兰	X			
图尔库大学布拉赫亚中心（University of Turku – Brahea Centre）	芬兰		X	X	
MTK农民协会（MTK Farmers association）	芬兰	X			
芬兰智能精益解决方案公司（Smart and Lean Solutions Finland）	芬兰	X			X
芬兰塑料工业联合会（Finnish Plastics Industries Federation）	芬兰	X			
法国农业部（French Ministry of Agriculture）	法国	X			
A.D.I.VALOR	法国		X	X	X
ADEME	法国	X			
爱尔兰农膜生产者协会（IFFPG）	爱尔兰			X	X
特拉蒙蒂农业公司（Azienda agricola F.lli. Tramonti S.S.）	意大利			X	
圣托罗圭多农场（Azienda agricola Santoro Guido）	意大利			X	
SOLE di Parete合作社(CE)（Cooperativa SOLE di Parete (CE)）	意大利			X	
意大利诺瓦蒙特公司（Novamont）	意大利			X	X
意大利水果协会（Ortofruititalia）	意大利			X	
阿斯托尔菲花园农业公司（Societá Agricola gli orti di Astolfi）	意大利			X	
德国联邦环境、自然保护与核安全部（German Federal Ministry of Environment）	德国		X		
德国作物用塑料回收倡议（ERDE）	德国	X			
德国塑料包装行业协会（Industrievereinigung Kunststoffverpackungen）	德国	X			

所涉组织机构	范围	状态			
		已联系但未回应	调查问卷	网络研讨会	访谈
德国联邦食品与农业部（German Ministry of Agriculture）	德国	X			
RIGK	德国			X	X
荷兰水资源管理部（Netherlands Ministry of Water management）	荷兰	X			
荷兰戴利塑料公司（Daly Plastics Netherlands）	荷兰	X			
挪威科技大学（Norweigan University of Science and Technology）	挪威		X		
波兰环境部（Polish Ministry of Environment）	波兰	X			
波兰气候部（Polish Ministry of Climate）	波兰	X			
波兰农业部（Polish Ministry of Agriculture）	波兰	X			
波兰国家环境保护基金（Polish National Fund for Environmental Protection）	波兰	X			
Plast-Fol Sp.	波兰	X			
波兰塑料加工商协会（Polish Association of Plastic Converters）	波兰	X			
瑞典环境保护署（Swedish Environmental Protection Agency）	瑞典		X		X
瑞典农业委员会（Jordbruks Verket）	瑞典	X			
SvenskRetur	瑞典		X		
瑞典循环和回收利用协会（Kretslopp et Recycling i Sverige AB）	瑞典		X		
英国农业、塑料与环境协会（APE UK）	英国			X	X
Berry BPI	英国				X
斯塔福德郡大学法医学系（Staffordshire University Forensic Science Department）	英国				X

A.2.0 辅助性技术资料——市场评估

A.2.1 欧盟层面分析的附加信息

下表提供了欧洲农用塑料市场的相关信息，包括农用塑料的销量和应用领域。

表A2.1：农用塑料制品中使用的主要聚合物和添加剂[275,276]

制品类型	传统塑料	生物降解塑料	添加剂
温室大棚与大拱棚膜	低密度聚乙烯、红外低密度聚乙烯、乙烯-醋酸乙烯共聚物、线性低密度聚乙烯	-	防雾剂、光选择性添加剂、紫外线稳定剂、长红外性能增强剂母料
矮拱棚膜	低密度聚乙烯、乙烯-醋酸乙烯共聚物、线性低密度聚乙烯、聚氯乙烯	淀粉、聚己内酯、聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯、聚羟基脂肪酸酯、聚乳酸、聚丁二酸丁二醇酯、热塑性淀粉、纤维素	紫外线稳定剂、红外性能增强剂
植物苗圃用塑料薄膜	低密度聚乙烯、线性低密度聚乙烯	-	-
直接覆盖物（无纺布/浮罩）	聚丙烯、多孔低密度聚乙烯	-	-

275 Demetres B.等人（2013年）。《欧洲农用塑料废弃物产生和整合的回顾、绘图和分析》（Review, mapping and analysis of the agricultural plastic waste generation and consolidation in Europe）。

276 Scarascia, G.等人（2012年）《欧洲农业生产用塑料材料：实际使用和前景》（Plastic materials in European agriculture: Actual use and perspectives），《农业工程杂志》（Journal of Agricultural Engineering），第42卷，第3期

制品类型	传统塑料	生物降解塑料	添加剂
葡萄园和果园用塑料罩	低密度聚乙烯、乙烯-醋酸乙烯共聚物	-	紫外线稳定剂、彩色颜料
地膜	透明或黑色低密度聚乙烯	淀粉、聚己内酯、聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯、聚羟基脂肪酸酯、聚乳酸、聚丁二酸丁二醇酯、热塑性淀粉、纤维素	彩色颜料、紫外线稳定剂、炭黑
编织网套（防雹网、防风林、防鸟网、遮阳网）	高密度聚乙烯	-	彩色颜料
采收用无纺布网套	聚丙烯、高密度聚乙烯	-	彩色颜料
塑料管、灌溉管/排水管	低密度聚乙烯、高密度聚乙烯、聚氯乙烯、热固性增强塑料	-	彩色颜料
包装（农药罐、化肥袋）	低密度聚乙烯、高密度聚乙烯	-	彩色颜料
收割和作物储存用塑料制品（容器、储罐、板条箱）	聚氯乙烯、高密度聚乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯、玻璃增强热固性塑料	-	-
青贮饲料膜和保护罩	低密度聚乙烯	-	彩色颜料
其他（硬质塑料片、盆、绳线等）	低密度聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、高密度聚乙烯、热固性增强塑料、聚氯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯	-	彩色颜料

表A2.2：2019年农业中使用的不同塑料类型和所占份额[277]

作物生产	
类别所占份额	数量（万吨）
传统农用塑料份额	**31.2**
生物基农用塑料份额[278]	0.5
氧化降解塑料份额	0.8
总计	**32.5**
畜牧业生产	
传统农用塑料	**39.7**

表A2.3：欧盟主要农用塑料制品的预计年销售额[277]

制品类型	数量（万吨）
薄膜	53.33
网套	4.0
绳线	5.45
管道	8.0
总计	**70.78**

表A2.4：2019年欧盟作物生产用农用塑料制品的预计年销售额[277]

作物生产	
制品类型	数量（万吨） 来源
温室大棚膜	11.7
矮拱棚膜	5.63
地膜	7.7

277 欧洲农业、塑料与环境协会网站：《统计数据：欧洲的塑料文化》（Statistics: Plasticulture in Europe）。访问地址：http://apeeurope.eu/statistics

作物生产	
制品类型	数量（万吨） 来源
塑料灌溉管	2.0
滴灌带	2.0
无纺布网套（用于采收）	0.5
防护网	0.45
总计	**31.0**

表A2.5：2019年欧盟畜牧业生产用农用塑料制品的预计年销售额[279]

畜牧业生产	
制品类型	数量（万吨）
青贮饲料膜	12.1
拉伸膜	14.6
牧草捆草网	5.0
绳线	8.0
总计	**39.7**

表A2.6：农用传统传统塑料和农用生物降解塑料制品中使用的聚合物量

聚合物	数量（万吨）	资料来源
高密度聚乙烯	53.33	欧洲农业、塑料与环境协会[279,280]
低密度聚乙烯	5.45	
聚丙烯	8.0	
聚乙烯	4.0	
传统聚合物总量（2019年）	**70.78**	

279 欧洲农业、塑料与环境协会网站：《统计数据：欧洲的塑料文化》（Statistics: Plasticulture in Europe）。访问地址：http://apeeurope.eu/statistics

280 欧洲农业、塑料与环境协会提供的数据

表A2.7：2018年不同国家/地区农用薄膜的预计年销售额（欧盟+挪威/瑞士/英国/冰岛）[281]

欧盟（+挪威、冰岛、英国、瑞士），2018年（单位：万吨）			
西班牙	9.3	匈牙利	0.85
意大利	8.95	捷克共和国	0.78
德国	7.0	瑞士	0.365
法国	5.75	葡萄牙	0.34
英国	3.2	冰岛	0.16
波兰	2.3	爱沙尼亚	0.13
荷兰	1.95	立陶宛	0.13
爱尔兰	1.56	拉脱维亚	0.12
瑞典	1.38	斯洛伐克	0.1
比利时	1.431	斯洛文尼亚	0.095
芬兰	1.18	罗马尼亚	0.09
保加利亚	0.975	卢森堡	0.06
希腊	0.98	马耳他	-
奥地利	0.58	塞浦路斯	0.035
挪威	0.88	其他	2
丹麦	0.72		
欧盟成员国 + 4国总计 =		**53万吨**	

资料来源：欧洲农业、塑料与环境协会

[281] 欧洲农业、塑料与环境协会网站：《统计数据：欧洲的塑料文化》（Statistics: Plasticulture in Europe）。访问地址：http://apeeurope.eu/statistics

表A2.8概述了欧盟现行立法中有关生产者责任延伸制和/或农用塑料回收利用的通用规则和具体条文。

表A2.8：欧盟现行立法中有关农用塑料立法的规定

一般规定	针对农用塑料的具体规定
《废弃物框架指令》	
• 与废弃物管理实践相关的概念和定义 • 制定生产者责任延伸制计划的要求和指导方针 • 固废处理金字塔制度概述	• 发布建筑废弃物管理指引 • 将生产者责任延伸制视作提高资源效率的重要工具，并发布在欧盟成员国实施生产者责任延伸制的指导方针
欧盟塑料循环经济战略	
• 加速向循环经济转型，实现经济可持续增长 • 欧盟生产者责任延伸制计划的协调 • 到2030年，投放欧盟市场的塑料包装将可以回收利用或重复使用，且成本低、效率高 • 从源头上最大限度地减少塑料废弃物	• 以再生成分为原料加工而成的产品份额有所增长 • 在全球需要以更可持续的方式来处置废旧塑料的现状下，在分拣和回收利用技术领域发挥领导作用 • 鼓励业界自愿作出承诺
REACH法规	
• 保护人类健康和环境 • 提升欧盟化工产业竞争力	• 适用于回收商和回收材料使用 • 限制在回收物中使用遗留添加剂

表A2.9概述了在欧盟和成员国层面确定的一些有关农用塑料废弃物管理的拟推行举措及其他最佳实践。

表A2.9：农用塑料拟推行举措摘要

地域范围	拟推行举措
欧盟	• 欧盟于2018年发布关于塑料地膜生物降解性能的欧盟EN 17033标准，其中规定了生物降解、生态毒性、薄膜特性和成分的检测方法和评估标准。该标准以现行的“OK生物降解土壤”认证为基础，后者要求在24个月内进行土壤中塑料材料生物降解性能测试，且二氧化碳转化率需达到90%。它还包括一个新的生态毒性测试和评估方案，该方案考虑了地膜对植物、无脊椎动物（例如蚯蚓）及微生物的影响。欧盟EN 17033标准规定了对潜在有害成分的限制，例如受管制金属和高度关注物质。 • 农用塑料废弃物标签（LabelAgriWaste，为农用塑料废弃物贴标，以提高废弃物的价值）计划是一项欧洲研究项目，旨在为回收或能量回收用的农用塑料废弃物（APW）的收集和限价，制定一个经济可行的计划。通过一系列试点测试，欧盟设计、测试并改进了该农用塑料废弃物的标签计划。 • 全球G.A.P证书是由欧洲连锁超市创立的一项认证计划，旨在为作物栽培、水产养殖、畜牧业和园艺业生产提供“良好农业规范”。它是同类认证计划中规模最大的项目之一，在125个国家和地区拥有超过188,000家认证生产商。该计划制定的一些标准包括：识别来自所有农区的废弃物和污染源，包括塑料；实施农场废弃物管理计划，以避免和/或最大限度地减少耗损和污染，并制定废弃物管理规范；每年对采收前农业用水的物理污染和化学污染进行风险评估，包括塑料袋产生的风险。
芬兰	芬兰近期正式通过并实施的塑料路线图，有望在未来几年通过改善收集服务和鼓励创新来推动塑料回收利用率提升。例如，芬兰从2020年初开始允许对已分类的青贮饲料膜进行回收，并在采用机械回收的同时辅以化学回收，从而使之前难以回收利用、脏污严重或混作一团的废旧塑料得到回收利用。
法国	• 法国正在通过在农场层面安装机器来改进在田间地头储存和收集地膜的做法。法国政府部门已开发出一个决策支持工具，用以解释生物降解薄膜对某些作物（包括生菜）的好处。 • 法国ADIVALOR和法国农用塑料委员会（CPA）还携手设定了实现100%收集率的目标。 • 此外，法国在今年年初宣布启动CLEANFILM项目。该项目旨在为地膜创建一个预处理单元（研磨-清洁），从而使这些脏污薄膜可以得到回收利用。

地域范围	拟推行举措
希腊	希腊目前正在筹建首家“食品创新和孵化中心”，这是一家由“新生代新农业”组织（New Agriculture for a New Generation）领导的本地非营利性组织。该倡议的主要目标是在科学技术及商业运营层面（例如研发、新产品开发、市场分析研究以及出口等），给予企业切实支持。该中心将致力于提高青年农民与企业家开发和销售新产品的能力，并创造新的未被利用的市场和机遇。换言之，该中心将提供有用且实用的知识，帮助青年企业家在农业、粮食及其他相关领域开拓可持续发展的事业/业务，并提升农产品附加值。该中心的拟议任务包括： • 支持更好地收集/运输/管理和回收农用塑料、支持为农民提供更佳认证：a）由希腊作物保护协会/希腊植物保护协会推行的农药空瓶空袋试点计划；b）由Plastika Kritis推行的农用薄膜试点方案， • 开展教育、资讯及意识提升活动：a）“新生代新农业”计划；b）希腊作物保护协会（ESYF）；c）Stevia Hellas Coop；d）金星种植户农业合作社（Venus Growers Agricultural Cooperative）。 以上任务得到多家组织机构的支持，其中包括：1）拉斯卡利德斯慈善基金会（A. C. Laskaridis Charitable Foundation，简称ACLCF）；2）瓦西利斯船长和卡门康斯坦塔科普洛斯基金会（Captain Vassilis & Carmen Constantakopoulos Foundation）；3）希腊农村发展与食品部（Ministry of Rural Development & Food）。
爱尔兰	爱尔兰农膜生产者协会（IFFPG）正在探索通过应用生态调节或先征后退手段（先征税后返还），激励人们在农用塑料生产中更广泛地使用再生成分。
西班牙	• 在西班牙，使用生物降解地膜是皇家法令第533/2017号令中列明的环境行动之一，可纳入欧盟第1308/2013号条例中针对蔬菜和水果行业制定的经营性计划。因此，西班牙水果和蔬菜行业的生产者组织可以利用这些经营性资金，但作为一种联合财务工具，要求生产者组织提供财政捐助。在该计划中，欧盟对生物降解地膜的补贴相当于地膜市场价格的25%。 • 绿色世界复合物公司（Green World Compounding）日前将其穆尔西亚（Murcia）工厂的回收利用能力从每年2.2万吨提高到每年10万吨。该新工厂是欧洲最大的农用塑料废弃物回收商，有能力处理西班牙产生的所有农用塑料废弃物。主要回收利用温室大棚膜和地膜。该公司从大型农场收集农用塑料废弃物，并为小型农场提供中间废弃物收集装备。为了支持农业部门战略公司的创建，地方政府已从公共基金中划拨专款用于补贴该公司。新工厂将引入一条生产线，以回收附着在地膜上的泥土，并对泥土进行加工处理以备日后用作混凝土料。
瑞典	瑞典SvepRetur计划旨在实现废旧农用塑料收集率达70%的目标。在已收集的所有塑料中，至少有30%应被回收利用，即重新用于制造新产品。其余则用于能量回收，即塑料焚烧产生余热供暖和发电。

A.2.1.1 全球生物基塑料与生物降解塑料市场

生物基塑料的市场应用呈逐渐扩大趋势，覆盖从包装、汽车、农业/园艺业及玩具乃至纺织品的诸多领域。包装仍然是生物基塑料的最大应用领域，占2019年生物基塑料市场总量的53%以上（114万吨），而全球用于农业/园艺业的生物基塑料总量为16.1万吨。[282]

生物基塑料在欧洲市场所占份额尚无统计。

目前，在每年生产的逾3.59亿吨塑料中，生物基塑料约占1%[283]。但随着需求的不断增加，以及更复杂聚合物（例如多层塑料、使用了创新添加剂的塑料等）、应用及产品的不断涌现，生物基产品市场呈不断增长和多样化态势。根据欧洲生物塑料协会（European Bioplastics）汇编的最新市场数据，2019年，全球生物基塑料产能为211万吨，其中欧洲占比25%[284]。农业领域在全球生物基聚合物市场份额中占比3%。在农业领域，生物基聚合物主要用于开发生物降解地膜。事实上，在用于农业用途的生物基塑料或化石基塑料中，99%都具有生物降解性能。[285]据规划，全球生物基塑料产能将从2019年的约211万吨增加到2024年的约243万吨。在这一产能的提升中，聚乳酸的大幅增长功不可没。[286]

另一方面，受多种因素的制约，**生物降解塑料的**使用目前在欧洲农业部门中并不普遍。这些制约因素包括它们的市场价格：生物降解塑料价格可能远高于传统塑料。其他制约因素可能包括人们认为生物基或生物降解塑料对土壤质量和区域气候条件有负面影响。这些因素被认为是阻碍芬兰农民在更大程度上使用生物降解塑料的主要原因。不仅生物基和生物降解塑料的价格比传统塑料高出三到四倍，而且芬兰园艺生产商也担心生物降解塑料可能对其田地造成不利影响。[287]此外，据报道，芬兰的天气条件（寒冷冬季和土壤条件）也不利于使用生物降解薄膜。以地膜为例，一般情况下，地膜在芬兰通常可使用更长的时间——长达3季或4季（年）。

---

[282]欧洲生物塑料协会诺瓦研究所（2019年）生物塑料市场数据。访问地址：https://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/Report_Bioplastics_Market_Data_2019.pdf

[283] Michael Carus，诺瓦研究所（Nova-Institute）（2019年）。《生物基原料和聚合物：2018年至2023年全球产能、产量和发展趋势》（Bio-based Building Blocks and Polymers – Global Capacities, Production and Trends 2018 – 2023）

[284]欧洲生物塑料协会诺瓦研究所（2019年）《2019年生物塑料市场数据》（Bioplastics market data 2019）

[285]《欧洲生物塑料、事实和数据》（European Bioplastics, Facts and figures）。访问地址：https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf

[286]欧洲生物塑料协会。《2019年新市场数据：生物塑料行业呈强劲增长态势》（New market data 2019: Bioplastics industry shows dynamic growth）。

[287]基于调查问卷和对图尔库经济学院布拉赫中心的采访，2020年4月

相比之下，在其他气候条件较温和的欧洲国家，地膜的使用时间则可能相对短，即只能使用2季。[288] 法国的ADIVALOR收集计划正努力通过使用一种决策支持工具来提高农民的意识，该工具旨在解释生物降解薄膜对某些作物（包括生菜）的裨益。[289]

文本框A2.1：欧洲生物降解塑料研究项目实例

过去数年间，欧洲开展了多个研究项目，以开发用于地膜生产的生物降解塑料。主要项目已在多个国家启动，其中包括西班牙（2001-2002年启动的EA计划、2003-2005年启动的TRIGGER以及2016-2019年启动的MULTIBIOSOL计划）、希腊（2001-2005年启动的BIOPLASTICS计划、2007-2009年启动的BIODESOPO计划）、葡萄牙（2010-2013年启动的AGROBIOFILM计划）以及意大利（2003-2006年启动的BIOMASS计划）。
这些项目的主要目标：一是优化和开发新型塑料，使其具有完全生物降解性和可堆肥性，以减少塑料污染物对土壤的污染；二是研究土壤中塑料的生物降解性能。例如，于2016-2019年启动的MULTIBIOSOL项目宗旨是证明使用生物降解塑料可以使农业实践兼具可持续性和高效性。

A.2.2 欧盟国家层面分析

A.2.2.1 芬兰

现行措施和管理

2018年10月，芬兰环境部通过了国家“塑料路线图”（Plastics Roadmap）。促进农用塑料回收利用和替代是提议的关键措施之一。[290] 芬兰目前尚未专门针对农用塑料废弃物制定专门的收集计划。相反，管理实践系通过合作网络执行，其中包括收集服务。

对于投放市场用于专业用途的产品包装，农业生产用塑料包装必须遵守生产者责任制要求，但农场中用于包装饲料的塑料则不包括在内。芬兰已有由生产商设立

---

288 基于调查问卷和对图尔库经济学院布拉赫中心的采访，2020年4月
289基于调查问卷和对ADIVALOR的采访，2020年4月。
290 芬兰环境部（2018年）。《芬兰塑料路线图》（A Plastics Roadmap for Finland）；访问地址：https://muovitiekartta.fi/userassets/uploads/2019/03/Reduce-and-refuse-recycle-and-replace.-A-Plastics-Roadmap- for-Finland.pdf

的接收终端，可以免费运送塑料包装废弃物。[291]芬兰农用塑料处理处置阶段涉及的主要参与者包括回收商（芬兰清洁塑料有限公司，英文名称Clean Plastic Finland Ltd）、农场零售商、废弃物管理运营商（区域运营商和国家运营商），以及供热和能量回收公司。

农用塑料消耗量

据预计，2019年，总计有14,265吨农用塑料投放芬兰市场（见图A2.1）。其中，地膜和青贮饲料膜占据整个市场的最大份额（98%），其次是温室大棚膜和用于作物生产（例如草莓和蔬菜）的直接覆盖物和网套。[292]

图A2.2旨在展示农用塑料制品中主要聚合物的类别和所占份额，其中用于生产地膜的低密度聚乙烯占据整个市场的最大份额（98%）。在生物降解塑料的使用方面，2019年，生物降解塑料仅占农用塑料市场份额的0.21%，相对高昂的成本严重制约了生物降解塑料的广泛推广和应用。

图A2.1：2019年芬兰农用塑料制品（不包括包装）的市场投放量（单位：吨）

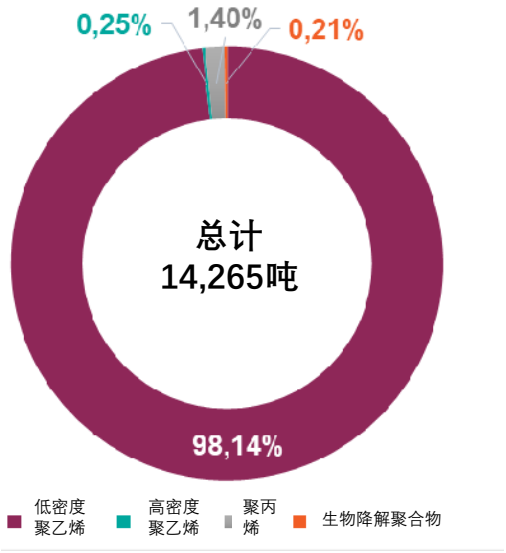
资料来源：图尔库大学

---

[291] 芬兰环境部（2019年）《芬兰塑料路线图》（A Plastics Roadmap for Finland）。访问地址：https://muovitiekartta.fi/userassets/uploads/2019/03/Reduce-and-refuse-recycle-and-replace.-A-Plastics-Roadmap- for-Finland.pdf

[292] 基于调查问卷和对图尔库经济学院布拉赫中心的采访，2020年4月

图A2.2：2019年芬兰农用塑料制品中使用的主要聚合物类型和所占比例

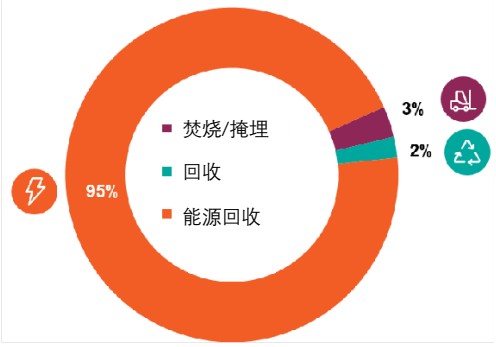


资料来源：图尔库大学

农用塑料废弃物产生量和处理处置管理实践

芬兰每年的农用塑料废弃物产生量大约为12,000吨（包括包装）。[293,294] 青贮饲料膜是目前主要的废弃物来源，其次是地膜和农用塑料包装。根据可用的文献资料和利益相关者反馈，大多数（非包装）农用塑料废弃物以能量回收（90-95%）的形式进行处理，而只有约2%被回收利用，其余部分（3%）被就地焚烧或填埋（图A2.3）。

图A2.3：芬兰农用塑料废弃物（不包括包装）的处理（年平均值）



（非包装用）农用塑料废弃物的收集量和回收量都相对较少，这是因为收集所需的预处理过程（由于使用的塑料类型不同）相对繁复、废弃物脏污严重（特别是青贮饲料膜和地膜）、收集费用高企不下以及农场与废弃物处理中心通常相隔甚远。

因此，大量潜在的农用塑料废弃物都没有被收集，而是被存储在农场中（在某些情况下被就地焚烧或掩埋）。有鉴于此，为了有效提高回收再利用率，亟需

293 Horttanainen, Mika等人（2007年）《农场塑料废弃物回收利用》（Recycling of Plastic Waste of Farms）
294 基于调查问卷和对图尔库大学的采访，2020年4月

进一步改进现有的废弃物管理系统。[295]为此，芬兰新近出台的塑料路线图有望通过改善收集服务和鼓励创新来推动未来几年塑料回收利用率的增长（如需了解更多详情，请参阅表A2.9）。

市场趋势和处理成本

目前，生物降解塑料在芬兰农业生产中的应用十分有限，催生这一现象的因素主要包括，市场价格较高（可能比传统塑料高出三到四倍，见表A2.10）、区域天气条件不利以及农民存在错误认知（一些农民认为生物降解塑料会对土壤质量造成负面影响）。

表A2.10：芬兰境内地膜和青贮饲料膜的预计市场价格

农用塑料制品	类型	价格（欧元）
地膜	传统塑料（低密度聚乙烯）	每卷€141欧元，50公斤
	生物降解地膜	每卷€362欧元，50公斤
青贮饲料膜	传统塑料（线性低密度聚乙烯）	每卷€77欧元，30公斤

资料来源：图尔库大学

农用塑料废弃物的收集费用从每吨30欧元到120欧元不等，具体取决于脏污程度、分类要求以及农场与废弃物管理中心之间的距离等多种因素。[296]

A.2.2.2 法国

现行措施和管理

在法国，（非包装用）农用塑料废弃物通过一项**自愿性收集计划**进行管理，该计划由生产者责任组织（PRO）ADIVALOR负责运营。该计划由法国农用塑料委员会（CPA）于2001年推出。除了该计划之外，在法国，其他私营公司也参与了农用塑料废弃物的收集。

农用塑料消耗量

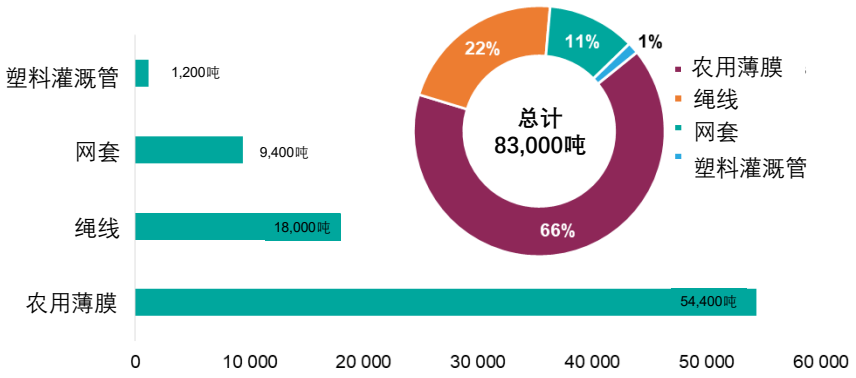
2019年，据预计，投放法国市场的农用塑料制品（不包括包装）总量达83,400吨。[297]农用薄膜占据了整个市场的最大份额（66%），其次是绳线（22%）、网套（11%）[298]和柔性灌溉管（1%）（见图A2.4）。其中，约80%（16,500吨）用于畜牧业生产，其余20%用于作物生产（见图A2.5）。[299]

---

295 芬兰环境部（2018年）。《芬兰塑料路线图》（A Plastics Roadmap for Finland）
296 基于调查问卷和对图尔库大学的采访，2020年4月
297 法国农用塑料委员会（CPA）（2019年）《年度报告》（Annual report）
298 网套包括防雹网，约900吨
299 法国农用塑料委员会（CPA）（2019年）《年度报告》（Annual report）

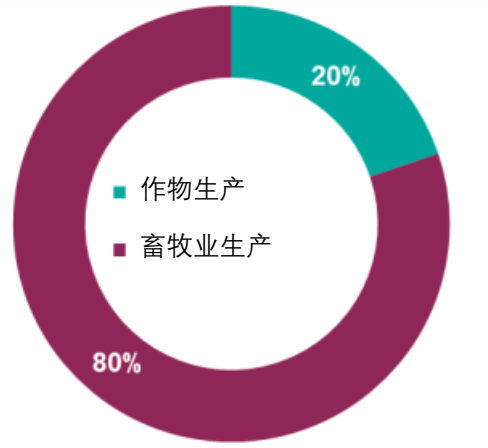
就农用塑料制品中所使用的主要聚合物而言，低密度聚乙烯占据了市场份额（66%），其次是聚丙烯（22%）、高密度聚乙烯（11%）及线性低密度聚乙烯（1%）（图A2.6）。

图A2.4：2019年投放法国市场的特定农用塑料制品数量（单位：吨）

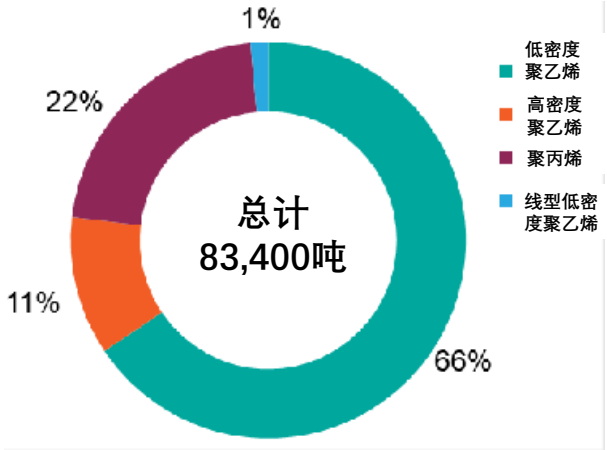


资料来源：循环塑料联盟

图A2.5：2019年按细分市场划分的法国农用塑料消耗量分布



图A2.6：2019年法国农用塑料制品中使用的主要聚合物类型和所占比例

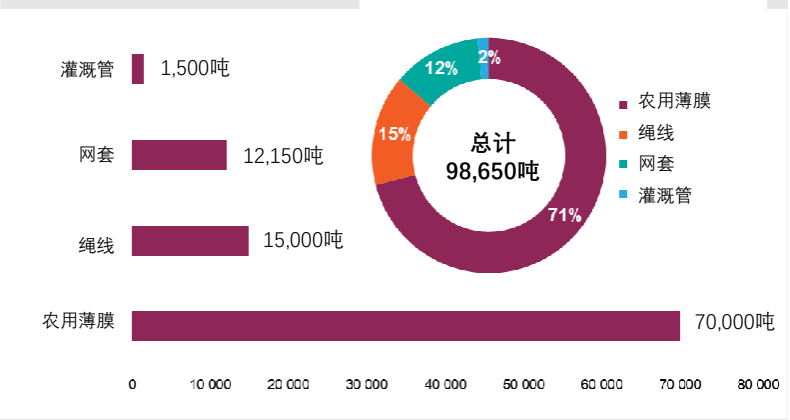


资料来源：循环塑料联盟

农用塑料废弃物产生量和处理处置管理实践

2019年，法国的农用塑料废弃物产生量大约为98,650吨（不包括包装）（图A2.7）。[300]农用薄膜在法国农用塑料废弃物产生量中占比71%，与已呈报的消耗量趋势（66%的市场份额）相一致。

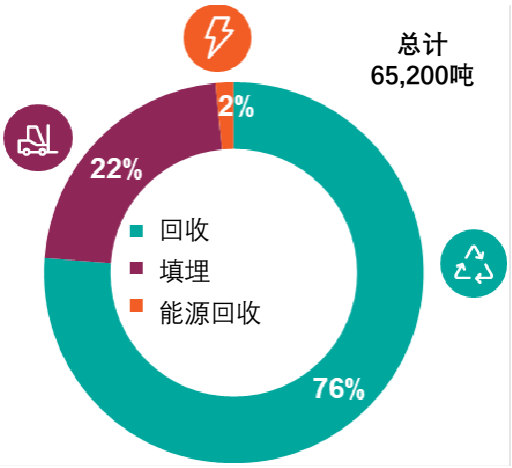
图A2.7：2019年按制品类型分列的法国农用塑料废弃物（不包括包装）数量（单位：吨）



本报告中涉及的生命周期终止处理数据基于由ADIVALOR提供的数据。法国ADIVALOR计划目前仅涵盖农用薄膜、网套（包括防雹网）、绳线及灌溉管（柔性）。因此，本报告中涉及的管理实践数据（见图A2.8）系基于该计划统计的农用塑料废弃物总量。

2019年，ADIVALOR计划的农用塑料废弃物收集量达6.57万吨。鉴于上文提及的法国农用塑料废弃物总产生量，这相当于大约67%的收集率。在已收集的6.57万吨农用塑料废弃物中，76%被回收利用，22%被填埋，2%被用于能量回收（图A2.8）。

图A2.8：2019年法国农用塑料废弃物收集后的处理（单位：吨）



资料来源：ADIVALOR

农用薄膜是唯一被送去垃圾填埋（14,494吨）和能量回收（1,000吨）的塑料制品。在回收利用方面，在已收集的6.57万吨农用塑料废弃物中，农用薄膜的回收利用率达79%（4.2万吨），网套、绳线和灌溉管的回收利用率达100%。如果以农用塑料废弃物总产生量为基数，则法国农用塑料废弃物的回收利用率在50%左右。

根据收集计划，投入市场的总量与收集和循环利用的总量之间存在显著差异，这是因为污染严重（特别是用于收集和储存原料的覆盖膜和产品）。据预计，

300基于调查问卷和对ADIVALOR的采访

最低脏污程度的平均值为20%（而地膜则可高达50%）。

市场趋势和成本

平均而言，法国的处理费用如下：[301]

- 垃圾填埋：每吨135欧元
- 能量回收：>每吨100欧元
- 收集：每吨0到250欧元（具体取决于废弃物的特征，例如重量、密度等，以及每立方米运输的塑料数量，即从收集点运输到最终处理单位的交付点。）

A.2.2.3 德国

现行措施和处理处置管理

德国自2013年7月起开始推行农用塑料废弃物**自愿性收集计划**。该计划由生产者责任组织ERDE（德国作物用塑料回收倡议，德文名称Erntekunststoffe Recycling Deutschland）负责运营。[302,303]德国不允许在农场就地填埋农用塑料废弃物。[304]

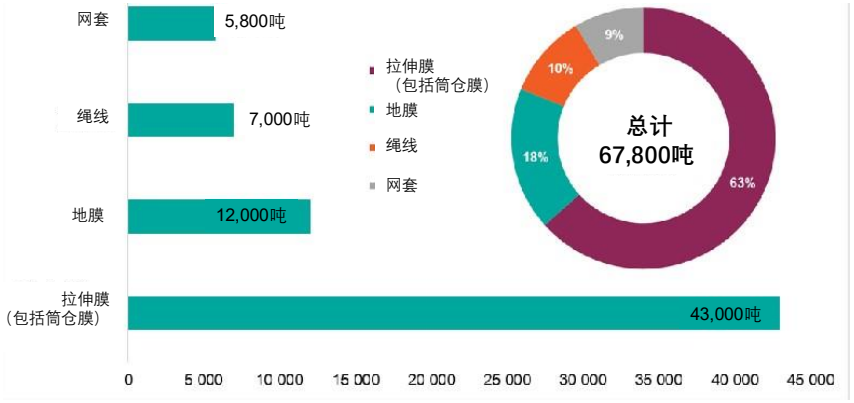
农用塑料消耗量

由于已呈报数据的覆盖范围和涉及年份不尽相同，德国使用的主要农用塑料制品市场份额和数量的数据因来源的不同而异。基于Conversio（2018年）数据的估算表明，2019年，约6.78万吨农用塑料制品（不包括包装）被投放到德国市场（见图A2.9）。[305] 拉伸膜（包括青贮饲料膜）总量近4.3万吨，占据了市场最大份额（63%），其次是地膜（18%）、绳线（10%）和网套（9%）。这些数字或多或少与ERDE呈报的收集数据所作的市场预测相符：2019年，拉伸膜和青贮饲料膜收集量达20,500吨，相当于市场总量的40%以上（总量至少为51,250吨）。[306] 在德国，农用塑料制品中使用的主要聚合物类型是低密度聚乙烯（78%）（见图A2.10）。德国的生物降解聚合物使用量大约为2,000吨，仅占所有所用聚合物总量的3%。然而，包括农用生物降解塑料在内的其他替代产品也已纷纷投放德国市场。德国有多

301基于调查问卷和对ADIVALOR的采访
302 ERDE网站，访问地址：www.erde-recycling.de/en/about-erde/what-is-erde.html
303 PlastEurope关于农用薄膜回收利用的网站。访问地址：www.plasteurope.com/news/AGRICULTURAL_FILM_RECYCLING_t236996
304根据德国联邦环境署于2020年3月提交的问卷回应
305 Conversio（2018年）《2017年德国塑料材料流量》（Material flow of plastics in Germany in 2017）。访问地址：www.bkv-gmbh.de/fileadmin/documents/Studien/Kurzfassung_Stoffstrombild_2017_190918.pdf
306 ERDE网站。访问地址：www.erde-recycling.de/en/faq/faq-en.html

家符合EN 17033标准（已通过DIN certco认证[307]）生产生物降解材料的制造商，其中包括：诺瓦蒙特公司（生产Mater-Bi EF04P、Mater-Bi EF08P0和Mater-Bi EF08P1）；巴斯夫公司（生产ecovio M2351），以及四川开元创亿生物科技有限责任公司（生产地膜）。

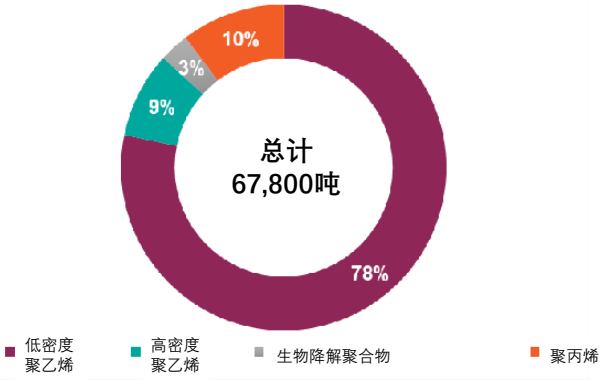
图A2.9：2017年投放德国市场的特定农用塑料制品数量（单位：吨）



资料来源：自行预计[308]

在德国境内再生农用塑料制品的使用和特定挑战方面，目前尚缺少量化数据和详细信息。德国联邦环境署（UBA）所面临的主要挑战是确保农用塑料的特殊性能，例如抗紫外线功能、透水性、防雾功能、颜色、抗静电效果和与用途相关的厚度限定值等

图A2.10：2017年德国农用塑料制品中使用的主要聚合物类型和所占比例



农用塑料废弃物产生量和管理实践

ERDE的收集计划的运作原则是所有农业供应专业人士都应共同承担收集责任。2018年，德国共有68家合作伙伴运营着408个收集点。[309]收集计划的主要参与者包括：

---

307 德国Dincertco认证公司关于生物降解性能的网站。访问地址：www.dincertco.de/de/dincertco/produkte_leistungen/zertifizierung_produkte/umwelt_1/biodegradable_in_soil/biod egradable_in_soil.html

308 基于由德国联邦环境署（UBA）和联邦统计局提供的数据

309 PlastEurope网站（2019年4月16日）。《农用薄膜回收：ERDE几乎导致塑料回收量翻番》（Agricultural Films Recycling: Germany's Erde initiative almost doubles collection volume）。访问地址：www.plasteurope.com/news/detail.asp?id=242253

- **专业使用者**（主要是农民）：他们根据收集运营商所定的日期和地点，完成废弃物的分类、预处理和运送。每个使用这些产品的供应机构和农民都可以在ERDE收集点处理他们的废旧作物用塑料制品。
- **收集运营商：**每家收集纳入ERDE的塑料类型的公司（合作社、私营农业贸易商和机械商、废弃物管理公司）都可以成为该倡议的收集点。他们全年营业或仅营业一至两天，负责收回已清理干净的作物用塑料制品。
- **参与回收计划的制造商：**包括欧洲农业、塑料与环境协会、ASPLA S.A.、Groupe Barbier、bpi agriculture、TRIOPLAST有限公司等。每一家向德国市场供应塑料薄膜的制造商或原始分销商都可以成为ERDE的会员。德国塑料包装和薄膜制造商协会（IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V.）旗下有300家会员公司。该协会致力于促进作物用塑料制品的回收和循环再利用。它对其产品的处理承担积极的责任。

- 在德国，农用塑料废弃物按以下类别执行分类收集制度：
  - **第1类：**青贮料板塑料片、底层薄膜和筒仓管；
  - **第2类：**青贮拉伸膜和牧草捆草网替代膜；
  - **第3类：**圆形牧草捆草网。

根据规定，塑料薄膜必须已清扫干净，不得有粗泥。薄膜中不得混入铁、木、轮胎等异物，也不得混入纱线或网套。圆形牧草捆草网必须分装成袋。这些袋子由收集点负责分发。[310]已收集的塑料应被分解成小块，经清洗和熔化后再进行粉碎再生（回收），之后就可被用于生产各类塑料制品。

农用塑料废弃物采用本地收购方式，并由设在德国和第三国的特殊处理设施进行处理。在ERDE回收利用系统框架下收集的塑料膜将采用机械回收方式进行回收。在RIGK回收系统框架下收集的用于有害物质（例如农药或化肥）和非有害物质的包装等农用塑料（如果可能）可采用机械回收方式进行回收，也可被送去进行能量回收。部分废弃物作为残余废弃物处置，并被送去进行能量回收（焚烧）。

本报告中列示的德国处理处置做法关键数据系从ERDE获得，其中包括青贮饲料膜和拉伸膜、网套和绳线，这些都属于该协会计划收集的主要农用塑料废弃物。这些农用塑料制品也是投放市场的主要制品。

2019年，ERDE框架下收集和回收的拉伸膜和青贮饲料膜总计达到近20,500吨，相当于市场总量（51,250吨）的40%以上。[311]至于剩余农用塑料废弃物的处理

---

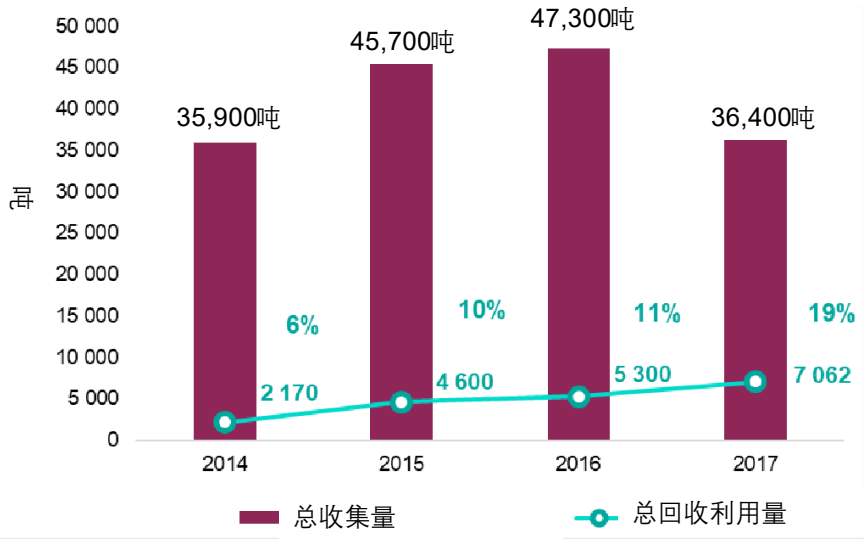
310 《ERDE回收手册》（ERDE Recycling Brochure）（未注明日期）。访问地址：www.erde-recycling.de/fileadmin/user_upload/interner_Bereich/20200201_RIGK_ERDE_Falzflyer_EN.pdf

311 ERDE website accessible at: www.erde-recycling.de/en/faq/faq-en.html

方式我们目前尚不得而知。然而，德国不允许在农场就地填埋农用塑料废弃物。

如图A2.11所示，2014年至2017年间，所收集的青贮饲料膜和拉伸膜的回收利用率逐年稳步提高。德国ERDE计划的目标是进一步提高在德国销售的青贮饲料膜和拉伸膜的收集率和回收利用率，到2021年达到50%，到2022年达到65%。如果以农用塑料废弃物总产生量为基数，则2015年至2017年间，德国农用塑料废弃物回收利用率提升1%（2%至3%）。

图A2.11：2014年至2017年德国农用塑料收集量和回收量（单位：吨）



资料来源：ERDE

A.2.2.4 希腊

现行措施和管理

在希腊，《2015-2020年国家废弃物管理计划》[312]（目前正在修订中，预计将于2020年年中完成）对农用废弃物（包括所有农用塑料）管理作出了具体规定。希腊环境与能源部（在希腊农业发展与粮食部的支持下）正在起草《联合部长决议》，以根据欧盟指令和国家立法强制执行生产者责任制。它将提供一个法律框架，以支持面向农用薄膜生产商的生产者责任延伸制计划（即“替代废弃物管理系统”）制定工作。2020年，“新生代新农业”试点项目也顺势启动，该项目旨在面向当地

312 希腊环境与能源部网站，访问地址：www.opengov.gr/minenv/?p=6644

社区、农业合作社和生产者宣传政策和交换意见，以推促建立农用塑料的循环经济模式（另见表A2.9）。

在农用塑料废弃物的管理方面，希腊目前在国家或地区层面尚未制定相关收集计划。然而，希腊目前有两项针对农药塑料包装废弃物和温室大棚膜的试点方案正在运作，能够为如何管理特定农用塑料废弃物提供额外洞见。

希腊涉及农用塑料的主要国家立法包括：

- 《希腊第2939/2001号法律》，其纳入了关于包装和包装废弃物的欧盟第94/62/EC号指令和第4496/2017号法律（系第L.2939/2001号法律的修订版）
- 《第106453/2003号部长决议》（ΦEK 391/B/2003），涉及希腊回收利用公司（HERRCO）的包装废弃物综合替代管理系统（CAMS – 回收利用系统）。根据上述《第106453/2003号部长令》，农药企业被纳入此生产者责任延伸制体系中（希腊回收再生公司CAMS回收系统）
- 《希腊第4036/2012号法律》，涉及农药营销、可持续使用及其他规定，特别是关于农药包装管理的第27条
- 《第8197/90920/2013号联合部长决议》（由JMD 6669/79087/2015修订），涉及正确使用农药产品的国家行动计划，特别是关于农药塑料包装产品恰当管理的第29条。

农用塑料消耗量

在希腊特定（非包装用）农用塑料制品的市场投放量方面，目前尚缺少准确数据。然而，根据希腊作物保护协会（HCPA）提供的数据估算，投放市场的农用薄膜总量平均每年约为8,500吨（见图A2.12）。根据投放市场的具体制品数量，农用薄膜可进一步细分如下：[313,314]

- 温室大棚膜、葡萄酒和烟草覆盖物 = 3,600吨/年
- 矮拱棚膜和熏蒸薄膜 = 1,900吨/年
- 地膜 = 2,000吨/年
- 圆草捆缠绕膜 = 500吨/年
- 青贮饲料膜 = 500吨/年

以上产品均采用聚乙烯和乙烯-醋酸乙烯共聚物（EVA）材料制成。关于生物降解塑料与传统塑料在农业生产中的使用趋势的信息

---

313 Plastika Kritis（未注明日期）。访问地址：www.generationag.org/assets/site/public/nodes/1142/1468-3- Manos-Kyrkilis-Plastika-Kritis.pdf?fbclid=IwAR3txWMsh9y2dCaDuKfrR5NKhP8lhzsq_AusAbF2IAF-Zk18n_tSsvcGfhI

314根据希腊作物保护协会提供的见地预计。

非常有限，因为生产成本极高，因此生物降解塑料制品在希腊并未得到广泛使用。

在希腊，生产并最终投放市场的农用塑料制品大多数是农用薄膜和农药塑料包装容器。其他农用塑料制品（例如绳线、网套和塑料管路系统）也有生产，但规模要小得多，而且目前通过国家生产者登记处获得的国家层面相关数据十分有限。[315]

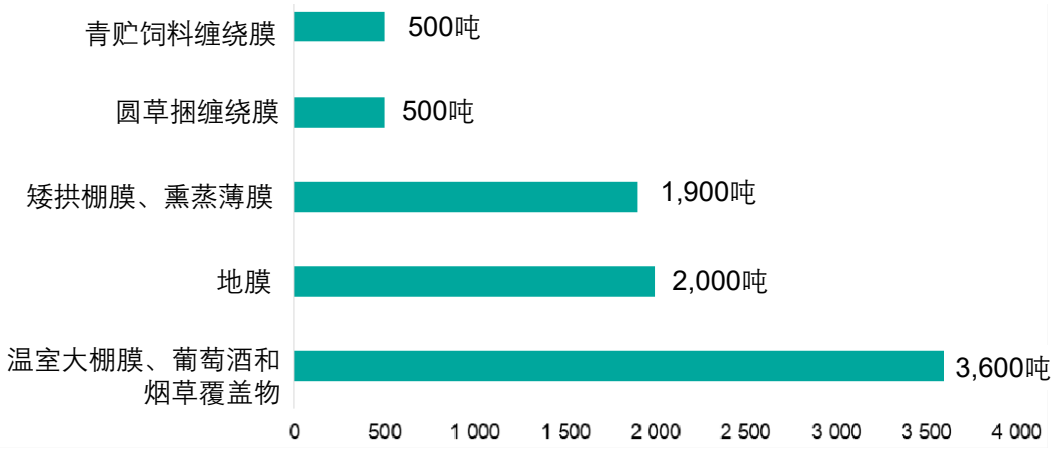
投放希腊市场的主要农用塑料制品类型和预计数量包括：

1) 农用薄膜（8,500吨）
2) 农药产品/包装用空容器（1,000吨）
3) 废旧灌溉部件
4) 农用设备零部件

其中，第1类和第2类塑料制品总量约为9,500吨。

据希腊作物保护协会称，农药塑料包装产品的生产量与市场消耗量/投放市场总量极为接近，为（平均）每年800吨。大多数农药包装产品采用聚乙烯加工而成，少量制品采用COEX（5-10%）和聚对苯二甲酸乙二醇酯（<1-2%）。[316] 应当指出的是，根据联合国安全要求标准（泄漏）的规定，农药塑料包装产品不得使用生物降解材料。[317]

图A2.12：投放希腊市场的农用薄膜平均数量（单位：吨）



资料来源：自行预计

315 https://www.eoan.gr/en/content/17/national-producers-registry
316 对希腊作物保护协会的采访，2020年3月。
317 对希腊作物保护协会的采访，2020年3月。

下表列出了希腊农用塑料供应链中的主要参与者：

表A2.11：希腊农用塑料行业的主要利益相关者

名称	相关性
ACHAIKA PLASTICS S.A.	该公司**以低密度聚乙烯和高密度聚乙烯为原材料**，为希腊生产品种更为齐全的柔性塑料（包装）。 产品包括自动包装用热收缩膜、主要用于化肥行业的工业用薄膜袋、塑料袋、抽绳式垃圾袋，农用聚乙烯薄膜和码垛用塑料薄膜。
巴斯夫（BASF）	巴斯夫致力于为农业产业提供全方位解决方案 • 温室大棚膜 • 地膜 • 青贮饲料膜和拉伸膜
EURODRIP ABEΓE	灌溉管生产商、塑料管道系统生产商
EUROFILM MANTZARIS AE	**软包装生产商：** • 低地被覆盖物（地膜） • 温室大棚膜 • 农用塑料罩 • 农业和工业用塑料薄膜
DAIOS PLASTICS AE	• 软质水果套袋/Safe-D用于软质水果制品，如鲜食葡萄、樱桃、覆盆子、蓝莓、黑加仑等 • 温室大棚膜 • 温室专用薄膜（Air – Tube：由Daios团队开发的一种用于在温室大棚内输送暖空气的特殊管道） • 温室大棚围墙：在薄膜顶部的焊接部分附有一根绳索，使农民可以非常快速地将薄膜覆于温室侧边，避免浪费时间和金钱
THRACE PLASTICS Co S.A	**热成型塑料：主要是聚丙烯、聚乙烯及高密度聚乙烯** • 地被覆盖物 • 恶劣天气防护罩 • 除叶织物（白色丙纶机织织物） • 重型防冻制品（聚丙烯针刺无纺布） • 地膜（100%聚乙烯） • 作物覆盖物（聚丙烯针刺无纺布） • 网套（由100%高密度聚乙烯制成） • 绳索和绳线（采用挤出机生产的复丝聚丙烯长丝纤维）

PLASTICA KRITIS ABEE（占35%的市场份额）	• 温室大棚膜 • 新型7层温室大棚膜 • 矮拱棚膜 • 地膜 • 土壤消毒 • 能源筛选 • 青贮饲料膜 • 青贮饲料袋和谷物袋 • 农场和动物饲养建筑设施 • 池塘塑料衬布。该公司生产的KRITIFIL®多层薄膜的宽度可达20米，厚度可达10微米。 **关键信息：**Kritis塑料有限公司在位于克里特岛的当地工厂回收利用农用薄膜。
STAMATIOU PLASTICS AEBE	塑料管道系统生产商 • 灌溉管（排水管） • 管道和零部件（聚乙烯管道、聚乙烯零部件、聚氯乙烯–U型管、聚氯乙烯–U型零部件）
其他主要利益相关者	
希腊作物保护协会（HCPA），（ΕΣΥΦ）	希腊作物保护协会（HCPA）是在希腊市场上生产、分销和标准化植物保护产品的农药企业和机构（生产商）的代表。希腊作物保护协会的会员包括大约20-25家公司，它们在希腊中控制了植物保护产品的绝大多数市场份额（市场占有率高达**85%-95%**）。
雅典农业大学（AUA）	他们的研究小组（雅典农业大学自然资源与农业工程系结构与材料研究小组，英文简写SMRG，http://www.smrg.aua.gr/）在传统和生物基农用塑料领域拥有丰富的经验和深厚的专业知识。雅典农业大学协调了两个涉及传统农用塑料的项目： LABELAGRIWASTE，“旨在稳定废弃物物价的农用塑料废弃物标记制度”（集体研究项目，项目编号516256-2，2006-2009年。 AGROCHEPACK，“设计一个共同的农用化学塑料包装废弃物管理计划，以保护自然资源和稳定农用塑料废弃物物价”（项目编号2G-MED09-015 ERDF MED计划，2009-2013年）和多个涉及生物基塑料的项目。
部委/公共事业部门（例如农村市政当局）	希腊环境与能源部（在希腊农业发展与粮食部的支持下）将牵头修订国家立法，以便针对农药塑料包装和温室大棚膜推行新的生产者责任延伸制计划（后者通过《联合部长决议》推行）。
EOAN	希腊资源回收机构（EOAN）将针对农药塑料包装和温室大棚膜，批准推行两项生产者责任延伸制计划（后者通过《联合部长决议》推行）。
新生代新农业	作为一家地方性非营利组织，新生代新农业旨在为投身希腊农产品行业的青年创造就业和创业机会，推动农业部门采用全新研发模式和商业模式。

农用塑料废弃物产生量和管理实践

在希腊农用塑料废弃物产生和处理方面，希腊目前仍缺乏可用和可靠的定量数据。目前尚未单独报告农用塑料废弃物管理的数据，因此无法获取国家层面的数据。根据主要利益相关者的意见和建议，希腊农用塑料废弃物的主要管理实践包括：

- 与城市固体废弃物（MSW）一起收集并填埋
- （非法）焚烧

- 农用塑料回收利用率低，温室大棚膜和农药塑料包装废弃物尤其如此。

希腊农用塑料废弃物管理效率低下的部分原因是缺乏具体的国家废弃物管理立法。然而，如前所述，随着国家废弃物立法按计划分步骤的修订，这种情况有望得到改变。该立法将针对农药塑料包装和温室大棚膜推行新的生产者责任延伸制计划。

就处理费用而言，由聚乙烯（PE）制成的温室大棚膜的处理费用预计为每公顷330欧元（包括收集费用）。

温室大棚膜管理试点方案

希腊目前有7个分类收集温室大棚膜的收集点，大多数设在克里特岛（耶拉彼得拉、廷巴基翁、帕莱奥霍拉及法拉萨那）。已收集的薄膜目前被送往Kriti塑料有限公司的工厂进行回收利用。克里特岛的温室大棚膜回收利用率相对较高。位于伯罗奔尼撒半岛的Lordanidis有限公司是第二个回收设施。该公司负责收集温室大棚膜，以便送往当地工厂进行回收利用。农用塑料是单一材料，因此，将它们制成颗粒后可用于生产农用塑料管和塑料袋。

在下一阶段，希腊政府将与地区/地方当局和农民协会通力合作，在马拉松（Marathon）、马诺拉达（Manolada）、特里菲利亚（Trifylia）、普雷韦扎（Preveza）、特里卡拉（Trikala）和伊马蒂亚（Imathia）设立新的收集点，以覆盖希腊更多地区。

设立新的收集点后，农民需要将温室大棚膜存放在大型容器中，这些容器将被粉碎、打捆，然后被送去回收利用。
Kriti塑料有限公司正在研究在能量回收过程中执行受控焚烧的可能性。目前，该公司还在与水泥行业讨论以下问题：温室大棚膜一旦达到其生命周期终点，是否可以在水泥窑中焚烧，以生产替代燃料。

按计划成功实施温室大棚膜生产者责任延伸制的《部长决议》面临的一些重大挑战包括：

- 为了执行《部长决议》中的拟议措施，拟推行的温室大棚膜生产者责任延伸制计划必须在其他地区设立收集点，并为偏远地区（例如岛屿）或农用薄膜使用量少的地区制定解决方案，因为难以证明在这些地区单独设立收集点的合理性和必要性。
- 这一领域的一个巨大困扰是如何妥善处置因脏污严重而不适合回收利用的薄膜（地膜、矮拱棚膜、熏蒸薄膜、圆草捆缠绕膜）。由于厚度薄且使用后含泥量和水分含量极高，因此没有可回收利用超薄薄膜的工厂。
- Kriti塑料有限公司正在研究在能量回收过程中执行受控焚烧的可能性。

- 此外，由于农场分散度极高且每公顷废弃物产生量极小，因此据评估，青贮饲料保护网套的收集被认为不具可能性。

农药塑料包装废弃物试点方案

自2013年起，希腊作物保护协会与希腊回收再生公司（国家包装生产者责任延伸制计划）合作开展了农药塑料包装废弃物的分类收集和回收试点计划。希腊作物保护协会的公司会员是现行包装生产者责任延伸制体系（希腊回收再生公司CAMS回收系统）的一部分。（自愿参与）试点方案的参与者包括：市政当局、农民协会、私营企业/生产者和当地农药产品企业/商店（作为收集点）。未来拟推行的新生产者责任延伸制体系可能覆盖更多种类的农用塑料。我们在文本框A2.2中列出了试点方案的主要成果和拟推行举措。

按计划成功实施农药塑料包装废弃物专属生产者责任延伸制体系的一些重大挑战包括：

- 当地销售农药产品的企业/商店的参与度（作为收集点）；
- 农民的参与度（强制性）——有效的监督和惩罚制度；
- 针对残留在农药塑料包装废弃物中的有害物质，缺乏适当的管理；
- 缺少收集农药塑料包装废弃物的必要基础设施；
- 对相关利益相关者（农民、协会等）的意识提升/资讯提供/培训活动的重要性认识不足。

文本框A2.2：希腊农药包装废弃物试点收集计划的拟推行举措

主要预期成果：

- 每年农药塑料包装废弃物收集量达8-10吨
- 针对处理处置管理问题，有6,500名农民接受培训/信息通报
- 参与收集计划的市政当局：基勒、阿吉亚、埃拉索纳、拉里萨、坦普、蒂尔纳沃斯、法尔萨拉、韦里亚、纳乌萨、伊拉克利亚-塞雷斯、佩拉、尼格里塔、穆扎基、帕拉马斯、法卡多纳、普雷韦扎、约阿尼纳、普雷维扎、约阿尼纳。
- 预计收集（回收）率<10%（根据拉里萨地区收集量推测的估算值，该地区已实现收集点全覆盖）
- 已收集的农药塑料包装废弃物被运送到MRF，单独进行回收利用（不与其他市政包装相混合），经进一步加工后送交希腊现有回收商（例如Skeberis塑料有限公司）
- 再生塑料材料被用于生产特定产品（如污水管）

拟推行举措

- 开发一套农药塑料包装废弃物专属生产者责任延伸制体系
- 希腊作物保护协会已制定了一份五年商业计划，用于开发一套农药塑料包装废弃物专属生产者责任延伸制体系，并推动开展农药塑料包装废弃物实施抵押返还方案的可行性研究
- 据希腊作物保护协会称，考虑到法律困境/财务困难/管理难题，在开发农药塑料包装废弃物专属生产者责任延伸制体系的第一阶段，抵押返还方案并非理想之选。
- 据希腊作物保护协会推测，新的生产者责任延伸制体系将在2020年5月至6月获得希腊环境与能源部的批准。

A.2.2.5 爱尔兰

现行措施和管理

1997年，爱尔兰出台了一部旨在推动和促进农用塑料（青贮饲料缠绕膜、塑料袋、青贮料板塑料片）回收利用的具体法例。自2017年10月起，该法例还覆盖网套与绳线。[318] 爱尔兰是少数几个实施此类措施的欧洲国家之一。特定农用塑料制品的生产商必须：

- 通过提供抵押返还方案，直接参与从客户手中回收农用塑料废弃物的工作；

---

318 《废弃物管理条例：农用塑料》（Waste Management (Farm Plastics)）（修订）2017年。访问地址：http://opac.oireachtas.ie/AWData/Library3/CCAEdoclaid080917_122641.pdf

- 或者，参与由爱尔兰农膜生产者协会（IFFPG）运作的收集/回收计划

爱尔兰农膜生产者协会（IFFPG）负责运营爱尔兰唯一的用于农用塑料制品（例如青贮饲料缠绕膜、青贮料板塑料片、塑料袋、网套及绳线）的生产者责任延伸制计划。目前，爱尔兰尚无提供抵押返还方案的生产商。因此，所有生产商都是爱尔兰农膜生产者协会的会员，爱尔兰农膜生产者协会是爱尔兰政府批准的唯一农用塑料回收合规计划。对于未参与爱尔兰农膜生产者协会的农民，有关青贮饲料缠绕膜和青贮料板塑料片废弃物管理的替代选择包括：

- 使用独立于爱尔兰农膜生产者协会运行的独立收集系统
- 填埋：但是，该选项成本高昂，因为垃圾填埋场的塑料垃圾倾倒费为每半吨袋70至80欧元，远高于爱尔兰农膜生产者协会收取的收集费（见第0章）
- 农场储存/堆存
- 非法焚烧或掩埋废旧塑料：根据《空气污染法》（1987年）和《废弃物管理法》（1996年），焚烧或掩埋农用塑料也属于违法行为

爱尔兰农膜生产者协会是一家非营利组织，其资金来源有两种：一是向生产者收取回收税（占其收入的70%）；二是向农民收取从量计征的收集费（占其收入的30%）。该计划采取以下方式运作：

- 生产商向爱尔兰市场每供应一吨农用塑料，就必须向爱尔兰农膜生产者协会缴纳一笔税款（违反此项规定的属于违法行为）。2019年，该项税款为每吨140欧元（不含增值税）。
- 所有在爱尔兰合法销售的青贮饲料缠绕膜、青贮料板塑料片、网套及绳线均须徵税。农民在按计税价格购买塑料后，会得到一个6位数的标签代码。该代码可大幅降低向农民征收的收集费。
- 爱尔兰农膜生产者协会负责组织收集和回收爱尔兰各地的农用塑料，农民可选择以预约方式要求收集商前往农居宅院收集，也可选择将废旧塑料送往一些当地的一日收集中心（2018年该协会共运营235个收货中心）。农民需要为其弃置的所有塑料缴纳从量计征的收集费；该项措施有助于提高塑料清洁度并降低其脏污程度。
- 绝大部分塑料均通过收集中心加以回收（占2018年回收总量的89%），这可能是由于收集费相对低廉，而且事实上农民距离当地收集中心平均仅6英里。农民也可选择将农用塑料直接运送至已获授权的废弃物处理设施，尽管这种情况并不常见。

爱尔兰也使用**农用包装塑料**（例如化肥袋、饲料袋及化学品储罐）。目前尚不清楚农用包装塑料的市场投放总量，但粗略估计每年约为3,000至4,500吨。[319]

---

[319] 对爱尔兰农膜生产者协会的采访，2020年3月

就**农用包装塑料**（即化肥袋、饲料袋及化学品储罐）而言，尽管不属于爱尔兰农膜生产者责任延伸制计划的一部分，因为它们未被列入《农用塑料条例》（Farm Plastics Regulations），但生产商必须遵守欧洲包装法规，并承担管理产品管理费用。为此，生产商须按照REPAK包装合规计划的规定缴纳相关费用。爱尔兰农膜生产者协会经营一家名为“农用塑料回收利用公司”（Farm Plastic Recycling）的姊妹公司，该公司提供农用塑料收集服务，运营资金部分来自于REPAK的补贴，部分来自于向农民收取的收集费。此项服务并不是农民处置农场包装塑料废弃物的唯一可用选择，但选择使用此项服务的农民人数呈日益增长势头。

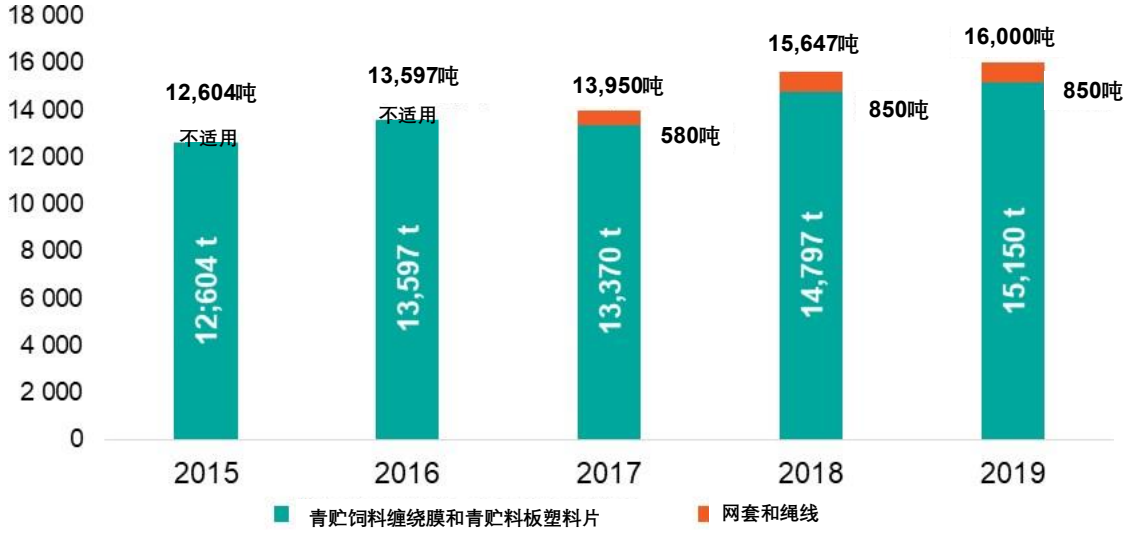
爱尔兰就**农用塑料包装废弃物**向农民收取的收集费为每半吨袋5欧元。2018年，收集费从每半吨袋10欧元降至5欧元，此举刺激了收集量的增加。2017年和2018年农用塑料包装废弃物收集量请参阅下表A2.12。收集量的增加可归因于收集费的降低。

表A2.12：2017年和2018年农用塑料包装废弃物收集量（单位：吨）

年份	大型化肥袋和饲料袋	小型化肥袋和饲料袋	桶	总计
2017年	272吨	245吨	83吨	600吨
2018年	310吨	370吨	117吨	797吨

资料来源：爱尔兰农膜生产者协会

图A2.13：2015至2019年爱尔兰青贮饲料缠绕膜、青贮料板塑料片、网套及绳线的收集率和市场投放量（前一年）



资料来源：爱尔兰农膜生产者协会

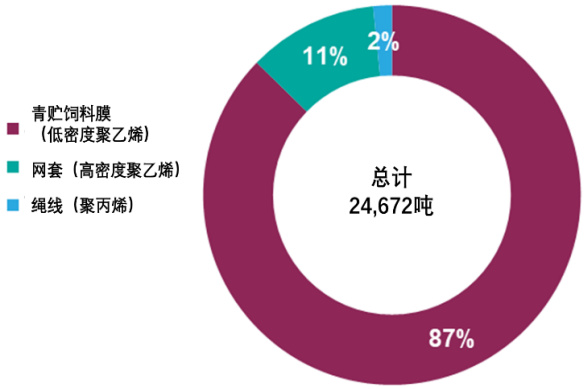
农用塑料消耗量

爱尔兰农业主要以畜牧业为主。大部分（84%）农区用于牧草（青贮、干草及牧草）种植，其余农区为政府公地、粗放牧带以及谷物及其他作物产区（各占三分之一）。[320] 因此，爱尔兰实际使用的主要农用塑料制品类型是青贮饲料压缩打捆用的青贮饲料膜（青贮饲料缠绕膜和青贮料板塑料片）、网套及绳线（见图A2.13）。据估计，2019年爱尔兰主要农用塑料制品的市场投放量为24,672吨（见图A2.14）。[321] 青贮饲料膜（缠绕膜和料板塑料片）占据市场主要份额（87%），其次是网套（11%）和绳线（2%）。

近年来，得益于牛奶配额的取消（配额制度将爱尔兰牛奶产量限制在每年55亿升）和草原管理的改善（见图A2.15），爱尔兰青贮饲料缠绕膜和青贮料板塑料片的市场投放量有所增长。

相比之下，尽管在2018年至2019年间网套市场投放量有所增加，但市场上出现了一种被称为“牧草捆草网替代膜”的新产品，一些农民正在用它取代牧草捆草网。2019年牧草捆草网替代膜销售量约为550吨，如果这一趋势得以延续，则牧草捆草网的市场投放量可能会下降。

图A2.14：2019年爱尔兰特定农用塑料制品/聚合物类型的市场份额



资料来源：爱尔兰农膜生产者协会

青贮饲料缠绕膜和青贮料板塑料片以耐用性为其重要特征——在某些情况下，它需要在爱尔兰气候条件下持续使用12至24个月。在青贮饲料缠绕膜和青贮料板塑料片中使用生物降解聚合物并不适宜，因为塑料制品可能会过早开始失去其完整性，从而影响生产的青贮饲料的质量。就目前情况来看，据爱尔兰农膜生产者协会假定，对于主要的农用塑料制品类型，爱尔兰市场上尚无可生物降解的替代品，而且这种情况在未来几年内也不太可能完全改变。

爱尔兰在农用塑料制品中使用**再生成分**的程度目前尚无统计（即使已经被使用，生产商也没有就此积极开展营销）。然而，再生成分最有可能存在于

---

320 爱尔兰农业与食品发展部（Ireland Agriculture and Food Development Authority）关于《爱尔兰农业》的网站。访问地址：www.teagasc.ie/rural-economy/rural-economy/agri-food-business/agriculture-in-ireland/

321 根据从爱尔兰农膜生产者协会获得的数据估计

青贮料板塑料片中，因为它具有相当可观的厚度（100微米），并且不像青贮饲料缠绕膜那样需要拉伸至200%或300%。

图A2.15：2015-2017年爱尔兰特定农用塑料制品的市场投放量（单位：吨）

资料来源：爱尔兰农膜生产者协会

农用塑料废弃物产生量和管理实践

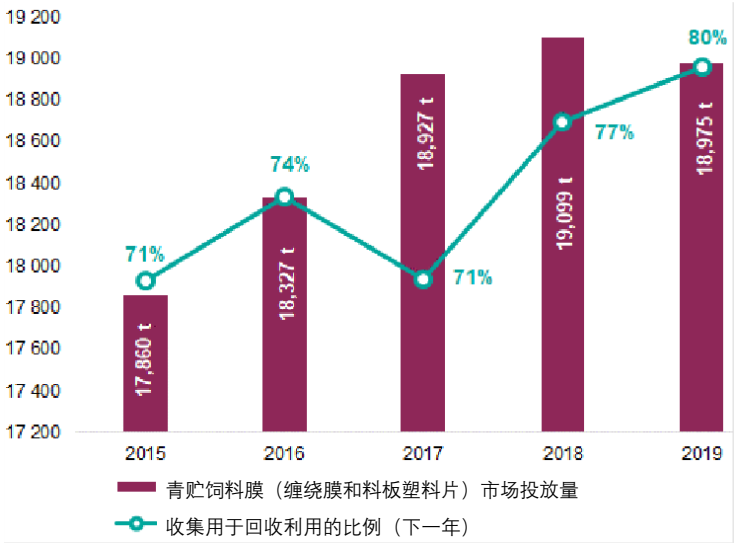
本报告中列示的爱尔兰管理实践关键数据均基于从爱尔兰农膜生产者协会获得的信息，包括爱尔兰农膜生产者协会框架下收集的主要农用塑料废弃物：青贮饲料缠绕膜、青贮料板塑料片、网套及绳线。这些农用塑料制品也是投放市场的主要制品。

- 目前尚缺失爱尔兰境内农用塑料废弃物总产生量的数据。

因此，我们以（前一年）市场投放总量为基数，列示了爱尔兰农膜生产者协会用于回收的青贮饲料（包括青贮饲料缠绕膜和青贮料板塑料片）收集率的估计值。

- 如图A2.16所示，爱尔兰农膜生产者计划收集并回收了青贮饲料膜市场投放总量的70%至80%，这在很大程度上达到了爱尔兰政府设定的70%的回收目标。

图A2.16：2015年至2019年爱尔兰青贮饲料膜市场投放量和收集用于回收的比例（下一年）



资料来源：爱尔兰农膜生产者协会

[322] 影响回收利用率的一个关键因素是上一个冬季的气候条件。在恶劣气候条件下，牛在牛棚中停留的时间更长，饲料库存也易耗尽（即，需要使用更多的青贮饲料），从而产生更多塑料废弃物。这解释了2017年至2018年间回收利用率增长6%的原因。据估计，爱尔兰65-70%的农民使用爱尔兰农膜生产者协会来管理其处于生命周期终止阶段的青贮饲料缠绕膜和青贮料板塑料片。

对于**网套和绳线**，在2018年修订的《农用塑料条例》（Farm Plastics Regulations）中，爱尔兰首次要求网套和绳线生产商承担部分回收成本，这促使农用塑料收集量在2017年基础上有所增长（见图A2.16）。[323]与青贮料板塑料片和青贮饲料缠绕膜相比，网套与绳线回收利用率相对较低的原因是欧洲缺乏足够的专属回收网点。关于已收集的其余废弃物如何处置的更精确数据尚无统计，但是可以假设至少有一部分用于能量回收。

市场趋势和成本

在废弃物处理费用方面，爱尔兰农膜生产者协会采用两种收费方式：一是向生产者收取回收利用税（占其收入的70%）；二是向农民收取从量计征的收集费（占其收入的30%）。2019年，生产商收取的回收税为每吨140欧元。

在网套与绳线的具体收集费用方面，2017年，征收回收税带来的额外收入使爱尔兰农膜生产者协会能够将网套与绳线收集费从每半吨袋15欧元降至每半吨袋5欧元。

诸如批量购买化肥和饲料（即，用卡车运送足量饲料，以装满一个大型农场储罐）等趋势可能会导致未来这一市场规模的缩减。在欧洲其他地区常见的其他农用塑料制品（例如地膜）在爱尔兰鲜少使用。例如，据估计，爱尔兰的地膜市场规模每年不超过400–500吨。[324]

A.2.2.6 意大利

现行措施和管理

意大利第152/2006号法令[325]允许农民在农场场地内临时储存最多不超过30立方米的农用废弃物，但储存时间不得超过一年。在此期间之后，农民对其农用塑料废弃物的管理可有以下选择：

---

[322] 回收利用率允许回收塑料中含有50%的脏污（主要是水分）

[323] 书籍（eISB），电子版《电子爱尔兰法规手册》（eISB）。访问地址：www.irishstatutebook.ie/eli/2017/si/396/made/en/print

[324] 对爱尔兰农膜生产者协会的采访，2020年3月

[325] Decreto legislativo，2006年4月3日，n.152《Norme in materia ambientale》www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2006_0152.htm

- 使用市政收集体系，例如“accordi di programma”[326]和“protocolo di intesa”；[327]
- 将农用废弃物运送至已设立的收集点；或者
- 与私营废弃物管理运营商签约：在意大利的一些地区，这是农用塑料废弃物处理的唯一选择。[328]

2019年，意大利启动了聚乙烯（用于生产温室大棚膜和地膜）专属收集计划。该计划由Polieco负责运营。Polieco是由意大利政府成立的全国性生产者责任组织，负责收集和回收聚乙烯制品废弃物。根据《意大利第152/2006号法律》第234条的规定，聚乙烯制品的生产商、进口商、使用者、分销商及回收商必须在参与Polieco计划和独立组织管理其废弃物（例如通过私营废弃物承包商）中二选其一。此外，意大利还有针对农用塑料包装产品（例如农药容器）的收集计划，该计划由COREPLA/CONAI负责运作。

意大利《2020年预算法》对一次性塑料制制品征收塑料税。此项课税为固定的每公斤0.45欧元，适用于具有容纳、保护、操纵或运送货物或食品功能的一次性塑料制品。《预算法》将可堆肥制品和采用再生塑料制成的物品排除在征税范围之外。尽管此项塑料税日前尚未生效，但预计将从2020年7月1日起生效。《预算法》不会影响投放到意大利市场的所有类型的农用塑料，但可能会影响其中一些，例如农用化学品容器、花盆、托盘和箱盒。[329]

意大利已将生物降解地膜纳入作为《欧洲共同农业政策》（European Common Agricultural Policy）两大支柱的环境措施中：市场共同组织（支柱I）；由意大利各地区自行制定的农村发展计划中的农村发展政策（支柱II）。通过这笔欧盟资金，意大利不同地区的种植者可以获得部分生物降解地膜的补贴。例如，艾米利亚-罗马涅大区（Emilia Romagnia）的种植者在购买用于水果和蔬菜作物的生物

326 该项目协议是各领地实体（地区、省或市）为协调其活动而与其他公共事业主管部门签立的一份协议。

327 联合协议主要涉及公共主体和私营主体之间约定的治理行为，协议双方同意在一个项目上达成一致。尽管该协议不具有法律约束力，但它是各方将遵守已达成一致的计划、战略和流程等内容的承诺。

328 Agrigoglio（2009年）La gestione dei rifiuti in agricoltura n.3/2009 Supplemento special di Agrifoglio n。31/2009

329 法律文本，访问地址：www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2019- 12-30&atto.codiceRedazionale=19G00165&elenco30giorni=true

降解薄膜时可获得每公顷250欧元的补贴[330]，而西西里岛的种植者在购买用于露天水果和蔬菜作物的生物降解薄膜时可获得每公顷274欧元的补贴。[331]

根据于2006年4月3日颁布的《第152号法令》第189条的规定，意大利生产商必须提交《强制性环境声明》（MUD）。《强制性环境声明》中需载明关于每项商业活动所产生、收集、运输和发送给其他主体的废弃物量的信息，以及在单一《欧洲废弃物规范》（European Waste Code，欧盟第2000/532/EC号决议）层面在本国领土上所管理的废弃物量的信息。但是，某些特定的生产商和行业（例如农业部门）没有义务向当局提交此项声明。这项义务的缺失影响了意大利国家环境保护研究所（ISPRA）在国家层面呈报的数据的完整性。每年，废弃物处理厂的管理人员都需要通过《强制性环境声明》提交其废弃物管理量的信息。对全国《强制性环境声明》数据的加工处理提供了关于单一《欧洲废弃物规范》（EWC）层面废弃物管理量的完整信息。[332] 然而，对已产生废弃物的经济活动的识别仍不具可能性。尽管在《强制性环境声明》中被确定为EWC 020104的废弃物管理量几乎全部来自农业部门，但EWC 150102确定的废弃物管理量则包括来自所有类型活动（不仅是农业部门）的塑料包装。[333]

由Consorzio C.A.R.P.I.（意大利塑料回收独立联营公司，全称为Consorzio Autonomo Riciclo Plastica Italia）负责运作的自愿性塑料包装计划覆盖塑料包装的生产商、废弃物收集商和回收商。该计划覆盖的部分回收商同时也回收利用农用塑料（例如I.L.A.P SPA）。CONAI（全称为Consorzio Nationale Imbalaggi）是所有包装材料的自愿性生产者责任组织，旗下包含多个材料生产者责任组织。COREPLA（全称为Consorizio nazionale per la raccolta, il riciclo e il recupero degli emballaggi di Plastica）是CONAI内部用于塑料包装的材料生产者责任组织。[334] CONAI是一个由大约90万家公司组成的非营利性私营联盟（2016年）。根据法律，意大利所有包装生产商和使用者都有义务遵守CONAI的规定。[335]由于一些包装产品系由聚乙烯制成，因此关于此类商品的生产者或使用者所支付的生态补偿费应

330 《斯维卢波乡村计划》（Programma di Sviluppo Rurale）简介。访问地址：www.fitosanitario.pc.it/files/1515/2059/6280/Presentazione_Province_Rev_CM_09-03-2018_.pdf

331 《斯维卢波乡村计划使命宣言》（Programma di Sviluppo Rurale Mission statement），访问地址：www.psrsicilia.it/Allegati/Bandi/Misura10/Disposizioni%20attuative%20definitive.pdf

332 欧盟第2000/532/EC号决议

333 基于对意大利国家环境保护研究所的采访，2020年3月

334 Corepla网站。访问地址：www.corepla.it/conai-dichiarazioni-e-cac

335 CONAI（2017年）《意大利的包装回收：Conai系统》（Packaging recovery in Italy: The Conai System）。访问地址：www.conai.org/wp- content/uploads/2014/09/The-CONAI-System_-2017.pdf

由谁来收取的问题，目前仍存在一些争议。[336,337] 在这些情况下，农民填写具体表格，包括每年的农用塑料购买量和处置量。这有助于此类废弃物的呈报，但并非所有意大利省份都已引入此类协议，所有此报告制度不足以推导出国家层面此类废弃物的真实详尽数字。例如，阿布鲁佐（Abruzzo）地区与其他各方之间签订的《Impresa Agricola Pulita》项目协议（Accordo di Programma）[338] 描述了该地区农用废弃物收集服务的组织机构和各方责任。该协议第16条描述了包含农用塑料废弃物在内的特殊和无害废弃物的收集方案。

POLIECO联盟拥有大约5000个会员。[339]该协会向其会员提供技术、经济和法律咨询建议，并就环境保护问题组织培训活动。倘想获取PolieCo联盟的会员资格，则必须支付固定费率，并每年为聚乙烯废弃物的收集、回收和再利用支付摊缴费用。

农用塑料消耗量

目前尚无任何具体的国家立法或专项收集计划来对数据收集和报告要求作出规定，因此关于意大利农用塑料消耗量、废弃物产生量和相关管理实践的数据十分有限。因此，我们将在后续章节中提供利益相关者的相关见地，以及来自意大利国家环境保护研究所（ISPRA）、再生塑料推广研究所（IPPR）及Briassoulis（2013年）的可用数据。

根据Briassoulis（2013年）的主要研究成果[340]和目标利益相关者的见地[341]做出的假设，据估计，2018年意大利农用塑料制品（不包括包装）的市场投放量为176,850吨（见附录中图A2.17）。农用薄膜占据市场主要份额（87%，150,850吨），并可按具体用途进一步细分如下：地膜（43,000吨）；[342]温室大棚膜（45,000吨），[343]矮拱棚膜（29,350吨），直接覆盖物（25,000吨）和青贮饲料膜（8,500吨）。

---

336 LCA网站，2019年3月26日。《聚乙烯产品废弃物：哪个联盟有权索要环境费？》（Waste of Polyethylene goods: which consortium has the right to claim the environmental fee?）访问地址：www.lcalex.it/en/waste-polyethylene-goods-wich-consortium-right- environmental-fee/

337 Mondaq网站，2019年4月8日。《意大利：聚乙烯产品废弃物：哪个联盟有权索要环境费？》（Italy: Waste Of Polyethylene Goods: Which Consortium Has the Right to Claim the Environmental Fee?）。访问地址： www.mondaq.com/italy/Environment/795490/Waste-Of-Polyethylene-Goods- Which-Consortium-Has-The-Right-To-Claim-The-Environmental-Fee

338 《Impresa Agricola Pulita项目协议使命宣言》（Accordo di Programma “Impresa Agricola Pulita” Mission statement）。访问地址：www.regione.abruzzo.it/system/files/rifiuti/ORR/impresa-agricola-pulita/Accordo-Programma.pdf

339 基于对POLIECO联盟的采访，2020年3月

340 Briassoulis等人（2013年）。《欧洲农用塑料废弃物产生和整合的回顾、绘图和分析》（Review, mapping and analysis of the agricultural plastic waste generation and consolidation in Europe）。《废弃物管理资源》（Waste Manag Res）。2013年12月；31(12):1262-78. Doi: 10.1177/0734242X13507968。341 数据由意大利一家大型农用塑料生产商提供

342 信息由一家意大利加工商根据AMI中提供的信息提供。

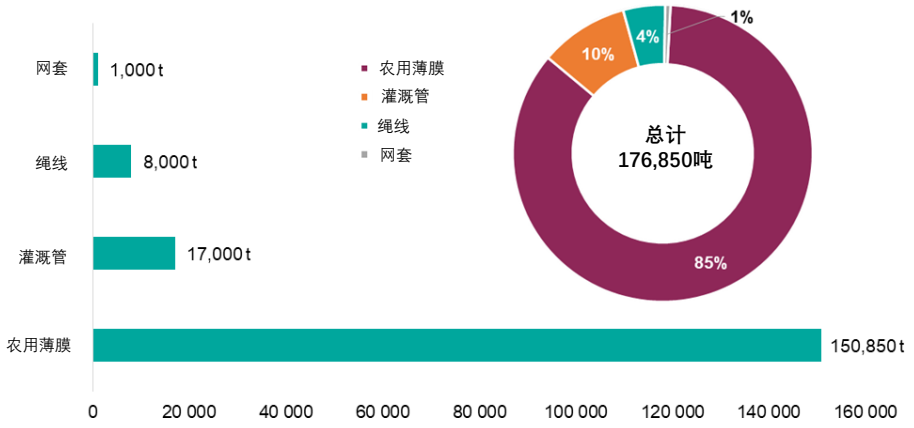
343一家意大利加工商做出的估计，假定60,000公顷农田使用温室大棚，每公顷塑料使用量为2至2.3吨，平均使用年限为3年。

灌溉管（10%）、绳线（4%）及网套（1%）也被投放市场，但数量较少。

2018年，意大利生物降解地膜的市场投放量约为2,000吨。[344] 就原生材料与再生材料的比例而言，在意大利生产的农用塑料（包括包装）中，大约83%使用原生塑料制成，17%使用再生塑料制成（见图A218）。[345, 346] 在农业部门，在青贮饲料膜和灌溉管中使用再生聚乙烯材料尤为普遍。[347]

在特定的农用塑料包装制品方面，2018年意大利化肥袋和农用化学品容器的市场投放总量分别约为12,700吨和2,700吨。[348] 据意大利诺瓦蒙特公司称，意大利北部使用MATER-BI地膜的第一家大型联盟是CIO联盟（Consorzio Interregional Ortofrutticoli）。在意大利南部，普利亚大区（Puglia）和坎帕尼亚大区（Campania）的生物降解地膜的使用量正呈不断增长态势。意大利普利亚大区目前的工业化番茄农场面积为20,000公顷，其中约有4,000公顷现在采用地膜覆盖栽种技术，30%的地膜采用MATER-BI生物塑料制成。[349]

图A2.17：2018年意大利特定农用塑料制品的市场投放量（单位：吨）



资料来源：自行预计[350]

---

[344] Assobioplastiche（2019年）《Crescita costante per l'industria delle bioplastiche anche nel 2018》。访问地址：www.assobioplastiche.org/assets/documenti/news/news2019/CS_Assobioplastiche%205%20rapporto%205%20giugn o%202019.pdf

[345] IPPR - 再生塑料推广研究所（2019年）。《塑料应用行业》（Plastic Application Sectors）。访问地址：https://plastics4p.it/wp-content/uploads/2019/04/Settori-di-impiego-della-plastica-Andamento-innovazione-per- la-sostenibilita%CC%80-norme-tecniche.pdf

[346] 基于2018年意大利农用塑料生产数据（22万吨，包括农用塑料包装制品）

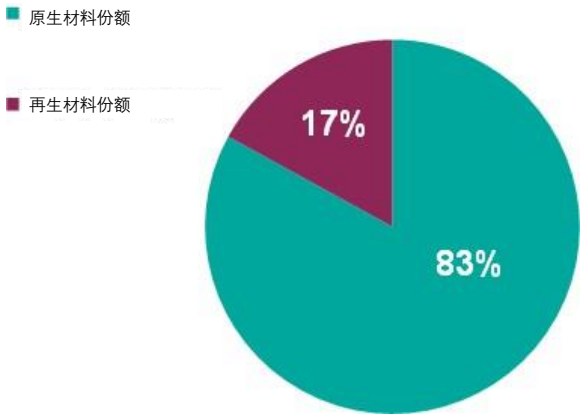
[347] 再生塑料推广研究所（2019年）。《塑料应用行业》（Plastic Application Sectors）。

[348] 根据Briassoulis等人的估计（2013年）和意大利农用塑料生产商提供的见解。

[349] 意大利诺瓦蒙特公司网站，访问地址：https://agro.novamont.com/page.php?id_page=88

[350] 根据Briassoulis等人的估计（2013年）和意大利农用塑料生产商提供的见解。

图A2.18：2018年意大利农用塑料产量（包括包装）中使用的原生材料和再生材料的比例



资料来源：再生塑料推广研究所（IPPR）

农用塑料废弃物产生量和管理实践

据意大利国家环境保护研究所称，2017年意大利农用塑料（不包括包装）回收量为96,809吨，填埋量为382吨，焚烧量为85吨。据Briassoulis（2013年）估计，这些数值约占意大利农用塑料废弃物年产生量的10%。[351] 据Polieco称，近一半的回收农用塑料废弃物是农用薄膜，其中以温室大棚膜为主（90%），而地膜（10%）占比明显偏低。[352] 如果以意大利农用塑料废弃物总产生量为基数，则所有农用塑料废弃物（包括包装）的回收利用率约为56%。

2017年，在《强制性环境声明》数据库中宣称的因"农业作物和动物产品生产、狩猎及相关服务"（Ateco 01）而产生的废弃物总量为：

- 10,700吨EWC 020104（塑料废弃物——不包括包装）[353] 和
- 6,438吨EWC 150102（塑料包装）。[354]

市场趋势和成本

如下农用塑料废弃物收集费用和处理费用均来自《博洛尼亚项目协议》（Accordo di Programa di Bologna）：温室大棚膜和地膜300欧元/吨、空塑料农药包装1,500欧元/吨、箱盒300欧元/吨。

参与Polieco计划的会员需要按统一费率付费并每年缴款。基本年费可能从500欧元

---

351 根据Briassoulis称（2013年），意大利的农用薄膜年消耗量相当于164,000吨（其中温室大棚膜54,675吨；地膜46,495吨；矮拱棚膜29,350吨；直接覆盖膜25,000吨，青贮饲料膜8,500吨）。
352 基于对POLIECO联盟的采访，2020年3月
353 基于对意大利国家环境保护研究所的采访，2020年3月
354 基于对意大利国家环境保护研究所的采访，2020年3月

（向农民协会收取）到每吨聚乙烯制品15-31欧元不等。[355] 此外，聚乙烯薄膜及其他聚乙烯制品的购买价格中还包括大约相当于每吨14欧元的环保费用，由农民支付。然而，据报道，并非所有农民都会支付此项费用。[356]

农用塑料产量

2018年，意大利农用塑料产量为22万吨，年营业额达6.4亿欧元。主要农用塑料制品包括：用作温室大棚膜、地膜和青贮饲料膜的低密度聚乙烯薄膜；以高密度聚乙烯和聚氯乙烯为主要原料加工而成的灌溉软管；以及以高密度聚乙烯为主要原料制成的箱盒。意大利每年生产的大部分农用塑料都以原生塑料为主要原料加工而成（83%），但有些制品的主要原料中也包括再生塑料（17%）。在青贮饲料膜和灌溉连接件的生产中使用再生聚乙烯材料在农业部门中十分普遍。在过去数年间，温室大棚膜的产量呈下降趋势，因为农民在使用耐久长效薄膜的同时对其进行修复。[357]

传统农用塑料占据意大利农用塑料产量的绝大部分比重，但意大利同时也有生物聚合物制造领域的全球领军企业：意大利诺瓦蒙特公司。2015年，诺瓦蒙特公司生产了12万吨独有的MATER-BI生物聚合物，生产商可采用常见的塑料加工工艺将MATER-BI转化为不同的塑料制品，例如地膜[358]，也可以加工成生物降解塑料袋及其他制品。[359,360] 意大利有三家塑料加工商采用MATER-BI聚合物为原料加工生产生物降解地膜，它们分别是：PATI SPA、G.Valota SpA和Lirsa Srl。[361]
COREPLA/CONAI对塑料包装实行差异化收费制度：[362]

- 可分拣/可回收的工业废弃物（179欧元/吨）
- 可分拣/可回收的生活垃圾（208欧元/吨）
- 不可分拣/不可回收废弃物（228欧元/吨）

意大利有多家塑料回收商。然而，由于农用塑料废弃物脏污程度通常较高，大多数回收商都只接收工业塑料和塑料包装，而往往拒收农用塑料废弃物。意大利最大的两家农用塑料回收商都位于西西里岛（I.L.A.P SPA和I.L.P.A.V. SPA）。图A2.19中列示了意大利农用塑料行业的主要生产商和回收商。

---

355 De Lucia & Pazienza（2019年）《关于减少农用塑料废弃物的政策选择的调查：意大利南部的一项试点研究》（Investigating policy options to reduce plastic waste in agriculture: A pilot study in the south of Italy）
356 基于对POLIECO联盟的采访，2020年3月
357 再生塑料推广研究所（2019年）《塑料应用行业》（Plastic Application Sectors）。
358 Mater Bi网站，访问地址：http://materbi.com/solutions/agricoltura/telo-per-la-pacciamatura
359 意大利诺瓦蒙特公司（未注明日期），《Mater-bi聚合物信息资料》（Factsheet on Mater-bi polymers）。访问地址：
https://agro.novamont.com/public/Documenti/Factsheet_ITA.pdf
360 Mater Bi网站，访问地址：http://materbi.com/en/solutions/agriculture/mulching-film
361 Mater Bi网站，访问地址：http://materbi.com/partners
362 IEEP（2017年）《欧盟塑料战略和循环经济中的生产者责任延伸制：专注于塑料包装》。访问地址：https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/95369718-a733-473b-aa6b-153c1341f581/EPR%20and%20plastics%20report%20IEEP%209%20Nov%202017%20final.pdf?v=63677462324

图A2.19：意大利农用塑料行业的主要利益相关者

A.2.2.7 西班牙

现行措施和管理

西班牙最近启动了一项**自愿性收集计划**，用于管理非包装用农用塑料废弃物。MAPLA是专门为监督该计划的执行而设立的协会，其总体目标是组织和资助非包装用农用塑料废弃物的收集和回收工作。[363]在Anaip、Cicloplast、欧洲农业、塑料与环境协会以及其他创始成员的共同推动下，MAPLA目前覆盖西班牙90%的薄膜加工商和分销商。该计划将首先着眼于收集安达卢西亚大区的温室大棚膜和地膜，最终将扩展到整个国家层面。所有投放市场的相关产品都将在其采购价格中纳入“生态税”的款项。

西班牙另外两项旨在收集农用塑料包装废弃物（例如农药容器）的收集计划（SIGFITO[364]和AEVAE[365]）目前也已启动，并受《西班牙包装法》（Spanish Packaging Law）的规管。[366]

农用塑料消耗量

在西班牙农用塑料消耗量、废弃物产生量及相关管理实践方面，目前尚缺少最新的可靠数据。因此，我们根据相关的可用数据作了估计。

根据Briassoulis（2013年）[367]和Cicloplast（2017年）[368]报告的数据，据估计，西班牙每年的农用塑料制品（不包括包装）市场投放量平均约为181,970吨

---

363 Residuos Professional网站，2020年3月11日。《农用塑料废弃物管理的可持续发展机遇》（Sustainable opportunities for the management of agricultural plastic waste）。访问地址：www.residuosprofesional.com/mapla-gestion-residuos-plasticos- agricolas

364 Sigfito网站，访问地址：http://sigfito.es

365 Sigfito网站，访问地址：www.aevae.net

366 Ley 11/1997，de 24 de abril，de Envases y Residuos de Envases。

367 基于2005年市场数据

368 Cicloplast（2017年）CIFRAS Y DATOS CLAVE DE LOS PLÁSTICOS Y SU RECICLADO EN ESPAÑA DATOS 2017 www.cicloplast.com/ftp/cifras_datos_clave_plasticos_y_su_reciclado_en_espana.pdf

（见附录中的图A2.20）。农用薄膜（例如地膜、温室大棚膜、拱棚膜、青贮饲料膜）约占53%的市场份额，其次是灌溉管（43%）和绳线（4%）。

据Cicloplast称，据估计，2016年农用薄膜市场投放总量中有63%（61,000吨）用于作物生产，37%（35,000吨）用于畜牧业生产。[369] 温室大棚膜主要用于西班牙南部的作物生产，而青贮饲料膜则在西班牙北部更广泛应用于畜牧业生产（见图A2.20）。[370]

农业部门每年的生物降解地膜消耗量约为1,500吨[371]，氧化降解塑料消耗量约为500吨。[372]

农用塑料消耗量

在西班牙，**生物降解地膜**是主要的生物降解塑料制品，消耗量约为1,500吨。[373] 消耗量因地区不同而异，生物降解地膜消耗量最大地区集中在纳瓦拉等部分地区集中了大部分生物降解地膜（纳瓦拉地区有20%的蔬菜种植者合作社使用生物降解地膜）。

西班牙主要的传统农用塑料薄膜加工商（阿曼多阿尔瓦雷斯集团，西班牙语全称Grupo Armando Alvarez）在其生产中采用再生塑料为原料。**再生塑料在农用塑料加工中**的应用因塑料制品种类的不同而异。塑料地膜中再生塑料的含量介乎10%至50%不等，具体因最终产品厚度和原材料质量的不同而异。最终产品的厚度越高，再生塑料的含量也就越高。目前，温室大棚膜的加工生产不使用再生塑料原料。

---

369 Cicloplast（2017年）《SITUACION ACTUAL DE LA GESTION DE PLASTICOS AGRICOLAS EN ESPAÑA Y EN EUROPA》。https://docplayer.es/81539286-Situacion-actual-de-la-gestion-de-plasticos-agricolas-en-espana-y-en- europa-valsain-2-de-octubre-de-2017.html

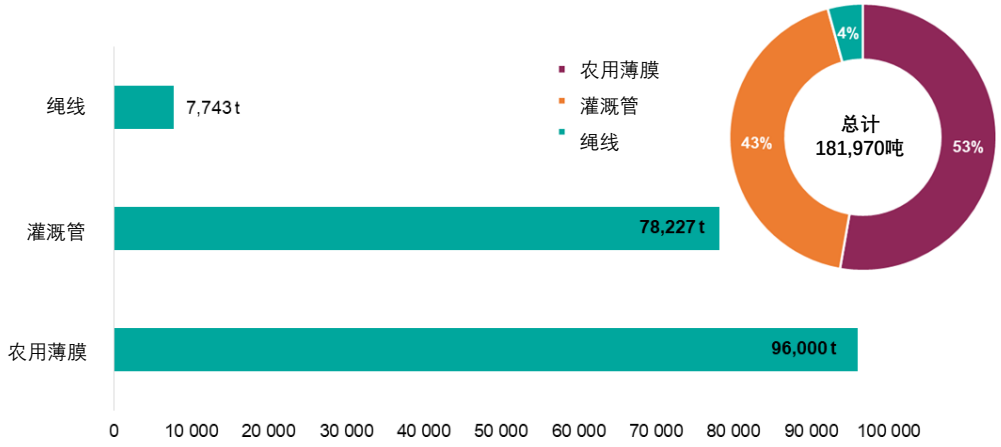
370 Briassoulis（2013年）。《欧洲农用塑料废弃物产生和整合的回顾、绘图和分析》（Review, mapping and analysis of the agricultural plastic waste generation and consolidation in Europe）

371 基于对ASOBIOCOM公司和西班牙一家大型农用塑料加工商的采访，2020年3月

372 基于对西班牙一家大型农用塑料加工商的采访，2020年3月

373 基于对ASOBIOCOM公司和西班牙一家大型农用塑料加工商的采访，2020年3月

图A2.20：西班牙农用塑料制品的平均市场投放量（单位：吨）



资料来源：自行预计[374]

表A2.13：西班牙农用塑料消耗总量和各地区消耗量

	地膜	温室大棚膜	拱棚膜
全国总计	52,857公顷	50,146公顷	14,527公顷
安达卢西亚	33%	69%	81%
穆尔西亚	26%	10%	
卡斯蒂利亚-拉曼恰	19%		
纳瓦拉	10%		
巴伦西亚自治区	7%	4%	12%
加那利亚		12%	

资料来源：根据Cicloplast（2017年）呈报数据做出的自行预计[375]

农用塑料废弃物产生量和管理实践

2017年，西班牙的农用塑料废弃物产生量（包括包装）大约为158,857吨。[376] 近一半的农用塑料废弃物来自塑料灌溉管（75,776吨），而其余一半则来自温室大棚膜和拱棚膜[377]（23%）、青贮饲料膜（11%）、地膜（10%）、绳线（5%）和农药容器（3%）。

374基于Cicloplast（2017年）和Briassoulis（2013年）呈报的数据

375 Cicloplast（2017年）《SITUACION ACTUAL DE LA GESTION DE PLASTICOS AGRICOLAS EN ESPAÑA Y EN EUROPA》。https://docplayer.es/81539286-Situacion-actual-de-la-gestion-de-plasticos-agricolas-en-espana-y-en- europa-valsain-2-de-octubre-de-2017.html

376 Cicloplast（2017年）《2017年西班牙塑料及其回收的关键数据和资讯》（Key figures and data on plastics and their recycling in Spain, 2017）。检索地址：www.cicloplast.com/ftp/cifras_datos_clave_plasticos_y_su_reciclado_en_espana.pdf

377 包括大拱棚膜、矮拱棚膜和直接覆盖物

在管理实践方面，西班牙每年回收的塑料中有9%（90,608吨）来自农业部门。[378] 2016年，安达卢西亚地区的农用塑料废弃物回收量为39,668吨。其中大部分来自温室大棚膜和高拱棚膜（59%），其次是地膜（38%）及其他塑料（3%）。如果以农用塑料废弃物总产生量为基数，则西班牙农用塑料废弃物（包括包装）的回收利用率在57%左右。

关于未回收利用的农用塑料废弃物如何处置的更精确数据尚无统计，但是可以假设它们的处置方式与其他类型塑料废弃物类似，即2/3填埋，1/3焚烧。[379] 其他资料来源表明，部分废弃物在田间就地焚烧和掩埋，或被丢弃在周边环境中。[380] 例如，据西班牙青年农民农业协会（ASAJA）估计，在西班牙，“大约95万公顷的农业用地和农村环境受到农用塑料废弃物污染的影响，其中近一半需要立即采取干预措施。”[381]

西班牙各地目前的农用塑料废弃物收集实践并不具有同质性，而且愿意收集此类废弃物的私营废弃物管理公司在西班牙境内的分布也并不均匀。西班牙南部有多家废弃物管理公司能够收集农用塑料废弃物，而西班牙北部的情况却并非如此。造成这种异质性的原因之一，可能是不同地区农用塑料废弃物的组成不尽相同。与地膜或青贮饲料膜相比，废弃物管理公司往往对温室大棚膜更感兴趣，而使用温室大棚膜的大部分农区都位于西班牙南部。

西班牙北部缺乏农用塑料废弃物回收商，这促使地区行政职能部门要么鼓励使用生物降解塑料地膜（例如纳瓦拉地区），要么通过公共事业公司与当地农用塑料加工商的合作来面向农业部门提供废弃物回收服务（例如坎塔布里亚地区）。

作为一家新成立的协会，MAPLA目前覆盖西班牙90%的薄膜加工商和分销商，他们将从2021年起作为生产者责任组织行事。加工商和经销商将在产品首次进入西班牙市场时支付“生态补偿费”。MAPLA目前正与已获授权的农用塑料废弃物管理公司和回收商合作，以便完成该计划的制定并于2021年启动该计划。该计划将首先着眼于收集安达卢西亚大区的温室大棚膜和地膜，然后逐步扩大其覆盖范围，直至在整个国家层面收集所有农用塑料废弃物（不包括包装）。我们在以下文本框

---

[378] Cicloplast（2017年）《CIFRAS Y DATOS CLAVE DE LOS PLÁSTICOS Y SU RECICLADO EN ESPAÑA DATOS 2017》。www.cicloplast.com/ftp/cifras_datos_clave_plasticos_y_su_reciclado_en_espana.pdf

[379] 2017年，再生塑料数量首次超过填埋塑料数量，而焚烧塑料数量则是再生塑料的一半。因此，在废旧塑料收集总量中，回收利用率为40%、填埋率为40%、焚烧率为20%（Cicloplast，2017年）。

[380] Marí等人（2019年）《在辣椒（指尖椒）作物露天栽培中使用的生物降解塑料薄膜和纸质覆盖物的经济评价》（Economic Evaluation of Biodegradable Plastic Films and Paper Mulches Used in Open- Air Grown Pepper (Capsicum annum L.) Crop）。《农艺学》（Agronomy），2019年，9(1), 36；https://doi.org/10.3390/agronomy9010036

[381] http://www.innovationatiris.com/2020/02/21/iris-invites-you-to-the-ap-waste-project-presentation-on-18th- march/

中描述了西班牙安达卢西亚、纳瓦拉及加泰罗尼亚地区使用的收集计划，包括关键的成功因素和现有制约因素。

就回收趋势和实践而言，交付回收的温室大棚和拱棚膜通常比较干净（**含泥量**15-20%），因此易于回收。但交付回收的地膜通常脏污程度较高（含泥量40-60%），因此回收利用过程较为复杂。另一方面，温室大棚和拱棚膜的使用时间（通常3-4年）比地膜使用时间（通常1年）更长，并且使用时间越长，收集时材料的降解程度越高。已收集废旧材料的降解会影响再生材料的品质。低品质的再生聚乙烯可用于采用注射成型工艺生产的塑料制品，而高低品质的再生聚乙烯也可用于吹塑成型塑料加工工艺。

文本框A2.3：西班牙安达卢西亚地区的收集计划

西班牙安达卢西亚地区收集计划概述

由于西班牙**安达卢西亚**地区农用塑料废弃物年产量巨大，因此该地区通过《第73/2012号法令》第99条和第100条规定了针对农用塑料废弃物的生产者责任延伸制要求。在安达卢西亚市场上销售农用塑料产品的加工商和分销商必须参与生产者责任延伸制计划。

CICLOAGRO于2012年获得安达卢西亚政府授权，成为农用塑料废弃物生产者责任组织，以共同应对《第73/2012号法令》中规定的农用塑料生产商的法律义务。

CICLOAGRO系统仅适用于投放安达卢西亚市场的农用塑料废弃物。该系统当前的收入来源主要来自再材料的销售业务。参与该收集系统的农民和回收商将就收集费达成一致意见，但再生材料的销售高度依赖于原生塑料市场。

由于缺乏区域竞争力，CICLOAGRO系统于2018年3月停止运作。尽管对此存在争议，但西班牙各个地区不得针对未在国家层面进行规管的废弃物部分，制定生产者责任延伸制计划。[382]

成功因素

- 得益于CICLOAGRO计划，安达卢西亚地区农用塑料废弃物回收量从2012年的数吨激增至2016年的近4.97万吨，收集率高达80.5%。[383]
- 在安达卢西亚地区，温室大棚塑料废弃物产生量大于地膜废弃物产生量。这种组合激励回收商不断加大

382欧洲新闻社（Europa Press）网站，2018年4月19日。《Cicloagro停止其作为安达卢西亚农用塑料集体管理系统的活动》（Cicloagro ceases its activity as a collective management system for agricultural plastics in Andalusia）。访问地址：www.europapress.es/andalucia/noticia-cicloagro-cesa- actividad-sistema-colectivo-gestion-plasticos-agricolas-andalucia-20180419161643.html

383 欧洲农业、塑料与环境协会，2017年2月16日。董事会会议，法兰克福。检索地址：www.plastiques- agricoles.com/wp-content/uploads/2017/05/MinutesBoardmeeting20170216.pdf

农用塑料废弃物的收集和回收力度。从2012至2018年间的市场价格来看，温室大棚塑料废弃物的高价（每吨150-200欧元）弥补了地膜的负价（每吨-5 -0欧元）。

- 安达卢西亚法律和CICLOAGRO倡议有效助推了该地区稳健回收商网络的建立。

制约因素

- 该计划的经济可行性在很大程度上取决于石油价格。当原生材料价格下跌时，该系统缺失能够维系其运作的固定收入。此外，农用塑料加工商和分销商也没有为其产品的生命周期终止管理支付费用。
- 在一个地区内推行的生产者责任延伸制可以激励其农民购买周边地区（未推行生产者责任延伸制计划的地区）的农用塑料。
- 农民有时会将其高价值塑料制品出售给未经授权但出价更高的废弃物管理公司，因此对该计划的收入来源造成影响。
- 参与CICLOAGRO计划的农民既没有获得该计划提供的任何报酬，也没有因该计划而支付任何费用。此外，该计划并未出台旨在减少杂质脏污的激励措施。这意味着更高的收集费用，因为在运输时塑料上附着的大量泥土会增加运输成本，而沾染上脏污的塑料也同时涉及更高的处理和处置成本。
- 尽管农民被要求收集自己的农用塑料废弃物，但该计划并未出台合规性管控措施，因此在某些情况下，地膜收集工作并未按正确方式完成。

文本框A2.4：西班牙纳瓦拉地区的收集计划

西班牙纳瓦拉地区收集计划概述

西班牙纳瓦拉地区农用塑料废弃物的年产量达2,692吨（44%的塑料地膜、10%的温室大棚膜、5%的拱棚膜、14%的青贮饲料膜及27%的其他塑料废弃物），其中65%被收集。已收集的农用塑料废弃物中有11%被回收利用，其余则被送往El Culebrete填埋。农民负责收集农用塑料废弃物并将其直接运送至垃圾填埋场。向农民收取的费用包括：每吨36欧元的废弃物管理费和每吨20欧元的垃圾填埋税。

据意大利诺瓦蒙特公司称，纳瓦拉地区80%的番茄栽培使用生物降解薄膜。其原因是用于番茄栽培的耕地大部分都由农民承租，必须干净地归还给地主。[384]

作为纳瓦拉地区农民和农民合作社的代表，纳瓦拉农业食品合作社（UCAN）主要实施了三项与农用塑料相关的举措：

- 开展意识提升宣传活动，提高农民对农用塑料使用和生命周期终止管理的意识。他们发布了农民指南，为每一类作物提供一类地膜的使用建议（常规地膜或生物降解地膜）。生物降解地膜仅推荐用于番茄种植，其被认为不具良好经济效益或不能用于

384 意大利诺瓦蒙特公司关于“生物降解地膜”的网站。访问地址：https://agro.novamont.com/page.php?id_page=88

纳瓦拉地区栽培的其他类型的蔬菜。[385]该指南还建议在芦笋栽培中重复使用传统地膜。

- 游说地方政府为使用生物降解地膜的农民提供财政支持，以补偿使用生物降解塑料所带来的额外生产成本（相对于传统地膜而言）。他们估计，使用生物降解地膜意味着农民的生产成本将激增37%（即使假设农用塑料废弃物的脏污率为20%，并且收集农田中传统农用塑料废弃物所需的时间为每公顷18小时）。在纳瓦拉地区，购买生物降解地膜的费用是传统地膜的4倍。
- 在中国全面禁止废旧塑料进口后，纳瓦拉地区收集的农用塑料废弃物大部分使用填埋法处理，因为当地政府在回收利用当地生产的低数量、高质量农用塑料废弃物（主要是地膜）方面并未提供其他选择。目前，纳瓦拉地区农民和农民合作社正与当地回收商合作，希望将此类废弃物转化为有价值的产品（例如户外家具）。

成功因素：

- 纳瓦拉地区农产品合作社的农用生物降解地膜塑料使用率已达20%。
- 该地区曾对生物降解塑料的使用进行补贴，这一举措有助于提升农用生物降解塑料的消耗量。
- 纳瓦拉地区农民和农民合作社已经确定了应该使用农用生物降解塑料的作物类别和技术类别，以及应该继续使用传统农用塑料的作物类别和技术类别。

制约因素：

- 塑料生产商目前并未参与上述倡议，因为国家法律框架还未设立针对此类废弃物的生产者责任延伸制。
- 使用农用生物降解塑料的农民总体上对农用生物降解塑料的性能感到满意。然而，有些农民并不愿意使用农用生物降解塑料，因为此类塑料价格昂贵、有时会发生（早期）降解、会被杂草穿孔，而且处理工作也更为繁复。

文本框A2.5：西班牙纳加泰罗尼亚地区的收集计划

西班牙加泰罗尼亚地区收集计划概述

西班牙加泰罗尼亚地区有一些正在推行的收集计划，主要针对温室大棚膜和畜牧业用青贮饲料膜。

温室大棚膜：2002年，加泰罗尼亚废弃物管理局（Catalan Waste Agency）、维拉萨尔德马尔市议会（City Council of Vilassar de Mar）、超市政实体“Mancomunitat de l'Alt Maresme per a la gestió de residus solids citys I del medi environment”和农业合作社“Cooperativa Agraria Santboiana”签署了一项协议，以针对农用塑料实施废弃物管理系统，并在此基础上提升农用塑料的回收利用率并稳定农用塑料物价。
该协议允许创建3个收集中心，并为其配备挤压处理和储存空间。这些收集中心可以为所有农用塑料废弃物持有者提供服务，而无论其来自何处。

385 UGAN（2019年）《农业部门塑料管理良好实践手册》（Good practices Manuel for management of plastics in the Agricultural sector）。检索地址： http://ucan.es/wp-content/uploads/2019/09/MANUAL-BUENAS-PRA%CC%81CTICAS-GESTION-PLASTICOS-AGRARIOS.pdf

2018年底，其中一家收集中心在寻找愿意接收其塑料废料圆捆的废弃物管理公司时遇到麻烦。相反，位于另一个城市的另外两家收集中心并未遇到同样问题（至少彼时如是），它们的塑料废料圆捆由已获授权的废弃物管理公司妥善收集和管理。

畜牧业用青贮饲料膜：在某些农村地区，畜牧业用青贮饲料膜的管理曾经存在问题，这些废旧塑料经常被丢弃在田地地头和周边地区。为解决这一问题，加泰罗尼亚地区三家Consell Comarcals（地方政府）与农民达成自愿协议，地方政府负责收集和管理农用塑料废弃物，而农民则支付服务费用。其中一家地方政府向每个农场收取固定费用，另外两家地方政府则根据农用塑料废弃物数量，向农民收取从量计征的收集费。它们回收的青贮饲料膜大部分被运往中国，直到中国全面禁止废旧塑料进口。这种塑料目前用作固体衍生燃料或使用填埋法处理。

在生物降解地膜方面，莱里达大学（University of Lleida）开展了一个项目，以展示在加泰罗尼亚地区使用生物降解地膜的领域和裨益。[386]。一些加泰罗尼亚农民和合作社（例如Cal Valls、Petit Pla和l'Hort de Cal Castell）已经开始使用生物降解地膜。[387]

成功因素

- 目前加泰罗尼亚正在收集农用塑料，农民需为此项服务付费。

制约因素

- 生产商不对其产品的生命周期终止管理负责。公共事业部门需要对此负责，以免引发环境问题。

市场趋势和成本

如表A2.14所示，西班牙生物降解塑料的市场价格依然高企不下，其成本可能比传统塑料高出2-4倍。[388,389]
地膜的收集费估计在每吨10欧元至20欧元之间。已收集的温室大棚膜废弃物（用于回收）的市场价值约为每吨100-150欧元。[390]

表A2.14：西班牙农用塑料材料的市场价格

塑料类型	所用主要聚合物	价格（欧元/公顷）
传统塑料	低密度聚乙烯	404欧元/公顷

386 莱里达大学（2019年）《在加泰罗尼亚园艺部门使用生物降解地膜的可行性》（Viability of the use of biodegradable mulching films in Catalan horticultural sector）。检索地址：https://ruralcat.gencat.cat/documents/20181/4633934/19_Demostraci%C3%B3+de+la+viabilitat+de+l%27%C3%BAs+dels+encoixinats_UdL_FITXA+INICIAL+DEMOS.pdf/76df34d6-d065-4bb0-b351-7e703844de81
387 意大利诺瓦蒙特公司网站。访问地址：https://agro.novamont.com/
388 Marí等人（2019年）《在辣椒（指尖椒）作物露天栽培中使用的生物降解塑料薄膜和纸质覆盖物的经济评价》（Economic Evaluation of Biodegradable Plastic Films and Paper Mulches Used in Open- Air Grown Pepper (Capsicum annum L.) Crop）。
389 基于对西班牙农用塑料薄膜加工商和种植者代表的采访，2020年3月
390 基于对西班牙农用塑料废弃物回收商的采访，2020年4月

塑料类型	所用主要聚合物	价格（欧元/公顷）
生物降解塑料（Mater-Bi®）	聚己内酯、淀粉共混物	1164欧元/公顷
生物降解塑料（Sphere®）	马铃薯淀粉、再生聚合物 聚乳酸，共聚酯	772欧元/公顷 931欧元/公顷
生物降解塑料（Ecovio®）	聚乳酸、聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯、淀粉	505欧元/公顷

资料来源：Mari（2019年）；由西班牙农用塑料生产商提供的估计值

农用塑料产量

西班牙是欧洲最大的农用塑料生产国之一。作为欧洲市场引领者，阿曼多阿尔瓦雷斯集团（Grupo Armando Alvarez）旗下有大约25家国际公司。[391] 平均而言，该公司每年生产约12万吨传统农用塑料薄膜、1,500吨农用生物降解塑料地膜以及近500吨农用氧化降解塑料薄膜。[392] 图A2.21列示了活跃在西班牙农用塑料部门的主要生产商和回收商。

图A2.21：西班牙农用塑料部门主要利益相关者

A.2.2.8 瑞典

现行措施和管理

瑞典的农用塑料废弃物管理均基于自愿性生产者责任制。SvepRetur是负责收集农用塑料废弃物的非营利性行业协会，每年向瑞典环境保护署（SEPA）报告。[393] 瑞典几乎所有的农业市场参与者都已加入SvepRetur体系。

瑞典环境保护署（SEPA）正在致力于在总体上实现塑料的可持续使用，而不是专门针对农业部门。瑞典环境保护署还致力于推动研发项目并支持商业教育，以

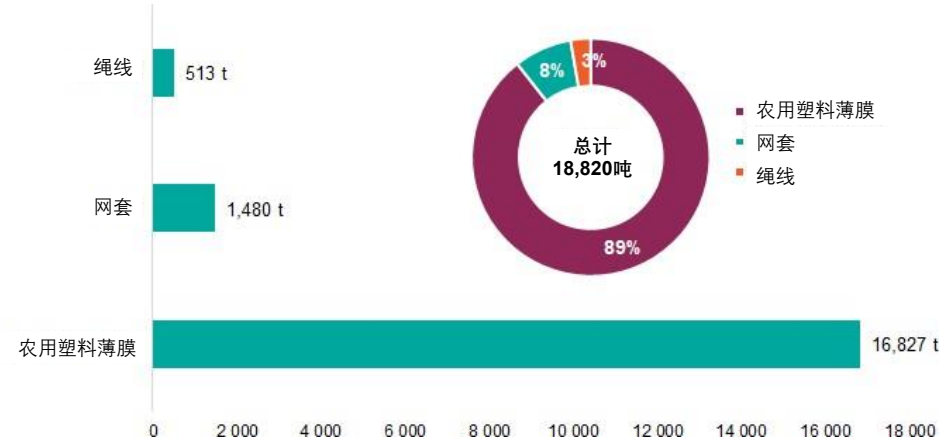
391 基于对一家西班牙传统农用塑料薄膜加工商的采访，2020年3月
392 基于对一家西班牙传统农用塑料薄膜加工商的采访，2020年3月
393 SvepRetur网站，访问地址：http://svepretur.se/

刺激可持续创新和推广新型生物基材料的使用。例如，2019年，瑞典环境保护署发布了一份关于瑞典主要塑料使用与处理处置情况的报告，并提供了有关塑料的数据资料和实用建议。瑞典环境保护署还借助多种手段来刺激可持续创新，其中包括在需求端和供应端之间构建对话机制、鼓励购买者团体提出需求并明确要求、以投资补贴方式资助项目、为标准化工作和基于挑战的竞争提供资金。瑞典环境保护署还致力于支持瑞典标准协会的包装标准化工作。为此，该署设立了ISO秘书处，并责成其制定塑料回收的全球标准。

农用塑料消耗量

2019年，瑞典的农用塑料制品（不包括包装）市场投放量大约为18,820吨（见图A2.22）。[394] 用于畜牧业生产的农用塑料（例如拉伸膜和青贮饲料膜，包括管件和片材）约占72%的市场份额（16,827吨），其次是网套（1,480吨；8%）和绳线（513吨；3%）。

图A2.22：2019年瑞典农用塑料制品（不包括包装）的市场投放量（单位：吨）



资料来源：SvepRetur/瑞典环境保护署

394基于瑞典环境保护署/SvepRetur提交的调查问卷反馈

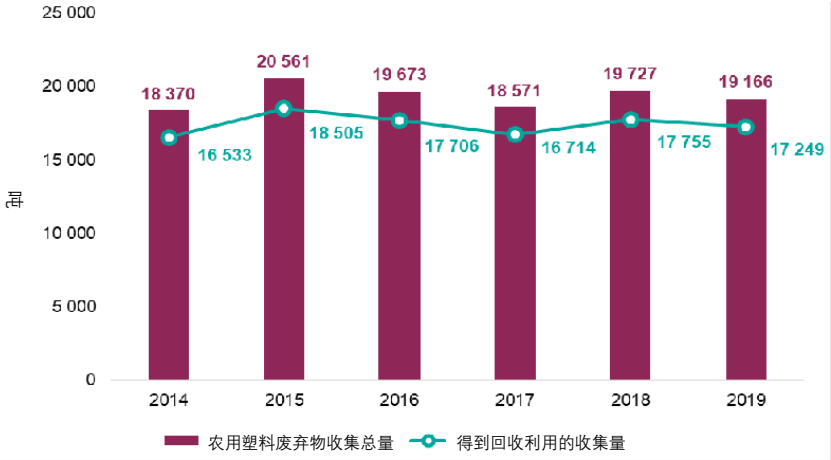
农用塑料废弃物产生量和管理实践

目前尚缺失瑞典境内农用塑料废弃物总产生量的数据。尽管如此，SvepRetur呈报的管理实践数据表明，瑞典产生的大部分农用塑料废弃物都被收集并送去回收利用。其余无法回收利用的废弃物（例如脏污严重的产品）使用焚烧法处理或用于能量回收。

管理实践数据系基于SvepRetur的农用塑料废弃物总收集量。据SvepRetur估计，2018年，在瑞典农用塑料制品（包括包装）市场投放总量（19,194吨）中，近92.5%已被收集。

在农用塑料废弃物总收集量中，88%（16,891吨）被回收利用，12%被送去能量回收。[395] 瑞典每年的农用塑料收集率

图A2.23：2014年至2019年瑞典农用塑料废弃物（包括包装）收集量与回收量的估算值（单位：吨）



资料来源：SvepRetur/瑞典环境保护署

自2014年以来一直保持相对稳定，年均收集率为93%，年均回收利用率为90%（以总收集量为基数）（图A2.23）。然而，应该指出的是，据SvepRetur称，由于脏污程度高和受进口影响，很难准确估计回收利用率。[396] 已收集的塑料中大多数是农用薄膜，但具体制品的份额尚无统计。
不过，考虑到高回收利用率，可以假设大多数产品都采用聚乙烯（农用薄膜）和聚丙烯（网套）为原料。

作为一家收集企业和回收商，KRSAB（Kretslopp & Recycling i Sverige AB）[397]受SvepRetur指派，负责直接从农场或收集点收集塑料。整个农用塑料回收过程都靠资助，整个农用塑料回收过程都依赖于从价计征的收费（按照实际发生的成本收取相应费用）来提供资金支持。该费用直接加在农用塑料的采购价格中。农用塑料废弃物由瑞典的专属设施负责收集和处理。主要处理工艺包括机械清洗和再生颗粒制造。已收集的农用塑料中，只有一小部分被送往第三国进行回收利用。不能回收的一小部分废弃物（例如，脏污严重的塑料容器）使用焚烧法处理或用于能量回收。

395 基于瑞典环境保护署/SvepRetur提交的调查问卷反馈
396 基于瑞典环境保护署/SvepRetur提交的调查问卷反馈
397 KRSAB网站，访问地址：http://krsab.nu/

SvepRetur鼓励农民在可能的情况下重复使用产品（例如无纺布材料和青贮料板塑料片）。此外，SvepRetur还提供各类指南，指导农民在将材料交付SvepRetur收集点之前如何运送、打包和清洗材料。已收集的塑料应尽可能干燥和清洁，且每种塑料应分类放置。农用塑料的形式多种多样，因此必须在回收利用之前进行分类。SvepRetur将塑料分为六大类：

- 青贮饲料拉伸膜
- 地幔箔
- 牧草捆草网和由塑料废料捆制成的聚丙烯绳线
- 箔（青贮饲料袋、青贮成箔、青贮管、栽培箔）
- 无纺布塑料（纤维布）
- 大袋
- 由青贮拉伸膜、箔和网套制成的线轴和线芯
- 塑料容器

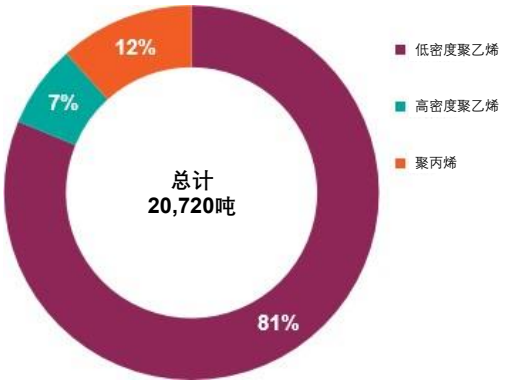
生物降解聚合物的市场份额

在瑞典，生物降解塑料的使用并不广泛。瑞典使用的主要聚合物类型首先是低密度聚乙烯（81%），其次是聚丙烯（12%）和高密度聚乙烯（7%）（图A2.24）。

此外，瑞典农用塑料废弃物收集商Svepretur只收集可回收材料（例如聚乙烯或聚丙烯），不收集生物降解塑料。考虑到高回收利用率，瑞典环境保护署建议大部分产品采用聚乙烯或聚丙烯制成，如下所示：

- 低密度聚乙烯，设有内袋的大袋（包装）
- 低密度聚乙烯，黑白色且厚度薄的作物薄膜（农用塑料薄膜）
- 聚丙烯网套和绳线
- 聚丙烯纤维、聚丙烯无纺布
- 采用不同塑料材质制成的管道

图A2.24：瑞典农用塑料产品中使用的主要聚合物份额

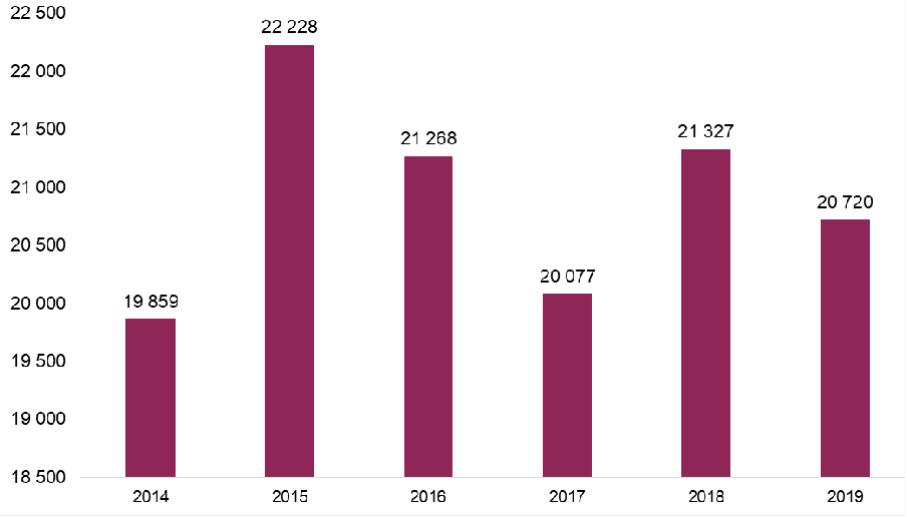


资料来源：SvepRetur

再生成分的市场份额

瑞典在农用塑料制品中使用再生成分的程度目前尚无统计。但是瑞典农用塑料部门已为此设定目标，即农用塑料市场投放总量中至少有30%应被回收利用。

图A2.25：2014年至2019年瑞典农用塑料制品（包括包装）的市场投放量（单位：吨）



资料来源：SvepRetur

A.2.2.9 其他欧盟成员国

在保加利亚、荷兰及波兰的农用塑料及相关管理实践方面，目前尚缺少最新的可靠数据。为此，我们在本节中总结了现有文献中描述的与废弃物通用管理相关的一些主要研究结果，并在适用情况下引用了一些利益相关者的见地。

保加利亚

在保加利亚，温室大棚膜是主要的农用塑料制品之一。2010年，保加利亚的作物种植面积为43,191公顷，其中有1,028公顷采用温室大棚栽培技术（53%为聚乙烯温室大棚，47%为玻璃温室大棚）。[403]

保加利亚境内产生的农用塑料废弃物大部分采用填埋法处理。保加利亚尚未出台国家或地方收集计划，也没有专门针对农用塑料废弃物的填埋限制。据估计，2016年保加利亚的整体塑料回收利用率约为20%（塑料包装回收利用率约为22.5%），能量回收率约为5%。[398] 但是，特别是在农用塑料方面，据报道，保加利亚

398 欧洲塑料制造商协会（2018年）。《塑料——2018年记事》（Plastics – the Facts 2018），访问地址：www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf

的回收利用率在欧盟国家中排在末位。[399] 然而，收集和回收废旧塑料的私营公司正在该国悄然崛起。[400]

荷兰

在荷兰，温室大棚膜和大拱棚膜是主要的农用塑料制品（2012年覆盖面积约为400公顷）和直接覆盖物（2012年覆盖面积为1,300公顷）[401]，主要用于鲜花和蘑菇等作物生产。

荷兰对废弃物实行堆填限制。大多数农用塑料废弃物被送往焚烧厂进行能量回收。[402] 2016年，荷兰能量回收率为65%，所有塑料废弃物的回收利用率为35%。[403]

根据《荷兰废弃物管理税协议》（ABBO）、《欧盟包装指令》（第94/62/EC号指令）及生产者责任延伸制原则，生产商和进口商负责对投放到荷兰市场的塑料包装产品进行管理。《2013年包装框架协议》（Raamovereenkomst Verpakkingen）确立了回收利用目标。[404] 2016年，荷兰的包装回收利用率位居欧盟前列（回收利用率大于45%）。[403]

荷兰设有多家塑料回收厂。例如，戴利塑料公司（Daly Plastics）以农用薄膜为原料加工生产再生塑料颗粒，用于制造新产品。在聚特芬（Zutphen）工厂，每年约有64,000公吨的废旧农用薄膜被回收利用，制成可重复使用的聚乙烯。[405]

波兰

在波兰，《波兰废弃物法》（Polish Waste Act）规定，农民应承担管理其废弃物的责任。[406] 此外，根据波兰国家法律，市政当局应负责收集和管理城市废弃物。然而，波兰国家立法中并未明确涵盖农用塑料，这导致一些城市不收集农用塑料

---

399 欧盟委员会（2018年）。《循环经济中的欧洲塑料战略》（A European Strategy for Plastics in a circular economy）。访问地址：
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0016&from=RO
400 Integra Plastics网站：https://integra-plastics.com/integra-plastics.php
401 Scarascia, G.等人（2012年）。《欧洲农业生产用塑料材料：实际使用和前景》（Plastic materials in European agriculture: Actual use and perspectives）。
402 欧洲塑料制造商协会（2018年）。《塑料——2018年记事》（Plastics – the Facts 2018），访问地址：
www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf
403 欧洲塑料制造商协会（2018年）。《塑料——2018年记事》（Plastics – the Facts 2018），访问地址：
www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf
404 Afvalfonds，《立法框架》（Legislative framework）。访问地址：
https://afvalfondsverpakkingen.nl/en/legislative-framework
405 今日回收（Recycling today）（2019）。《戴利塑料公司回收农用薄膜和包装薄膜》（Daly Plastics recovers agricultural and packaging film）。访问地址：
https://www.recyclingtoday.com/article/daly-plastics-recovers-agricultural-and-packaging-film/
406 Agroberichtenbuitenland（2020年）。《波兰：农用薄膜使用问题》（Poland: Problems with the utilization of agricultural films）。访问地址：
https://www.agroberichtenbuitenland.nl/actueel/nieuws/2020/01/21/problems-with-the-utilization-of-agricultural-film

废弃物。一些地区已经构建了农用塑料废弃物（废旧地膜、温室大棚膜等）的地方收集体系，不过波兰并未设立区域级或国家级的收集计划。

大多数塑料废弃物使用填埋法处理，这在波兰未被明令禁止。[407] 波兰国家环境保护和水资源管理基金于2019年发起了一项名为“清除农业活动中产生的农用薄膜及其他废弃物”的倡议，以支持农用塑料废弃物的收集工作。正如该倡议所反映的，波兰正在积极完善农用塑料废弃物管理。[408]

A.2.3 非欧盟国家层面分析

A.2.3.1 加拿大

加拿大采取自愿性与强制性收集计划相结合的方式推进农用塑料废弃物管理相关工作。CleanFarms基于自愿原则推行农用塑料薄膜废弃物收集计划，但仅限于个别省份（见表A2.15）。[409]

在加拿大，投放市场的农用塑料制品主要用于畜牧业生产，此类制品包括农用薄膜（青贮饲料膜、圆草捆缠绕膜及绳线）、谷物与种子运输袋以及化肥与农药包装。在特定农用塑料制品的市场投放量方面，目前尚缺少数据。为此，可以假设消耗量估算值应与CleanFarms对加拿大农用塑料废弃物产生量的估算值基本一致。[410]

平均而言，加拿大每年（非包装）农用塑料废弃物产生量约为45,000吨。[411] 其中，只有大约5%（2,250吨）被回收利用，9%（4,050吨）被收集转移（即从直接处置转移过来并送往分类设施），4%（2,000吨）被焚烧（转废为能），82%（36,700吨）被填埋（图A2.26）。据估计，价值回收率约为10%。

---

407 BBorkowski, Kazimierz（2016年）《波兰塑料回收与能量回收活动：发展现状和前景》（Plastics Recycling and Energy Recovery Activities in Poland – Current Status and Development Prospects）。检索地址：www.vivis.de/wp-content/uploads/WM6/2016_WM_375-388_Borkowski.pdf

408 http://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/usuwanie-folii-rolniczych/

409 《回收产品新闻》（Recycling Product News）网站，2019年10月25日。《Cleanfarms着眼农用塑料废弃物：非营利性环境管理机构正在通过管理农用塑料废弃物帮助加拿大农民保持其农业生产的清洁和可持续发展》（Cleanfarms has agri-plastic waste in the bag: Non- profit environmental stewardship is helping Canadian farmers keep their operations clean and sustainable by managing agriculture industry plastic waste）。访问地址：www.recyclingproductnews.com/article/32240/cleanfarms-has-ag-plastic-waste-in-the-bag

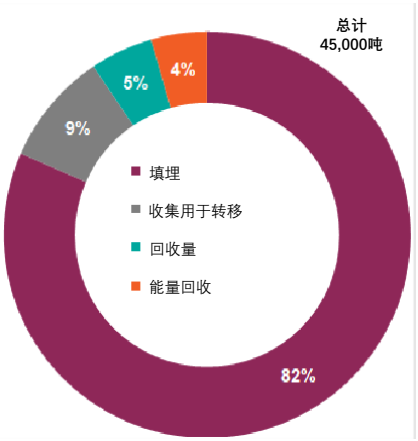
410 加拿大环境部（2019年）《加拿大塑料行业、市场和废弃物的经济研究》（Economic study of the Canadian plastic indsutry, markets and waste）。检索地址：www.taxpayer.com/media/En4-366-1-2019-eng.pdf

411 加拿大环境部（2019年）《加拿大塑料行业、市场和废弃物的经济研究》（Economic study of the Canadian plastic indsutry, markets and waste）。检索地址：www.taxpayer.com/media/En4-366-1-2019-eng.pdf

自启动以来，加拿大生产者责任延伸制计划已扩大其覆盖范围和地域范围。此类计划收集的第一种农用塑料废弃物是空的农药容器/化肥容器（容量不超过23升）。早在30多年前，作为一项自愿性生产者责任延伸制计划，阿尔伯塔省（Alberta）就已开始收集处于生命周期终止期的农药/化肥容器。[412] 此外，萨斯喀彻温省（Saskatchewan）也已推行一项废弃谷物袋专属收集和回收计划（文本框 A2.6）。

Cleanfarms是加拿大唯一从事农用塑料废弃物收集和回收的大型非营利性行业管理组织。[413]

图A2.26：加拿大农用塑料废弃物（不包括包装）的生命周期终止处理（年平均值）



资料来源：加拿大环境部

Cleanfarms基于自愿原则进行运作，但也受3个省级监管计划的规管：萨斯喀彻温省（用于收集谷物袋）以及曼尼托巴省（Manitoba）和魁北克省（Quebec）（用于收集空容器）。[414] 2018年，在加拿大所有投放市场的小型容器中，大约65%系通过Cleanfarms计划得以收集。[415]

表A2.15：2020年Cleanfarms在加拿大运作的农用塑料废弃物收集计划概况[416]

省份	包袋与大号型手提袋	23升以下容器	谷物袋	手提袋和桶	绳线、圆草捆缠绕膜及青贮饲料膜	绳线、圆草捆缠绕膜及青贮饲料膜
英属哥伦比亚省		X				X
阿尔伯塔省		X	X	x	X（仅绳线）	X
萨斯喀彻温省		X	X	x		x

412 《回收产品新闻》（Recycling Product News）网站，2019年10月25日。《Cleanfarms着眼农用塑料废弃物：非营利性环境管理机构正在通过管理农用塑料废弃物帮助加拿大农民保持其农业生产的清洁和可持续发展》（Cleanfarms has agri-plastic waste in the bag: Non- profit environmental stewardship is helping Canadian farmers keep their operations clean and sustainable by managing agriculture industry plastic waste）。访问地址：www.recyclingproductnews.com/article/32240/cleanfarms-has-ag-plastic-waste-in-the-bag

413 《回收产品新闻》（Recycling Product News）网站，2019年10月25日。《Cleanfarms着眼农用塑料废弃物：非营利性环境管理机构正在通过管理农用塑料废弃物帮助加拿大农民保持其农业生产的清洁和可持续发展》（Cleanfarms has agri-plastic waste in the bag: Non- profit environmental stewardship is helping Canadian farmers keep their operations clean and sustainable by managing agriculture industry plastic waste）。访问地址：www.recyclingproductnews.com/article/32240/cleanfarms-has-ag-plastic-waste-in-the-bag

414 CleanFarms网站，访问地址：https://cleanfarms.ca/programs-at-a-glance/

415 CleanFarms（2018年）《年度报告》（Annual report）。检索地址： https://cleanfarms.ca/wp-content/uploads/2019/04/Cleanfarms- 2018-Annual-Report-EN.pdf

416 CleanFarms网站，访问地址：https://cleanfarms.ca/programs-at-a-glance/#top

省份	包袋与大号型手提袋	23升以下容器	谷物袋	手提袋和桶	绳线、圆草捆缠绕膜及青贮饲料膜	不必要的农药和兽药
曼尼托巴省	x	X	x	X	X	x
安大略省	X	X		X		x
魁北克省	X	X		X		x
新不伦瑞克省	X	X		X		x
新斯科舍省	X	X		X		x
爱德华王子岛省	X	X		X		x
纽芬兰省		X		X		X

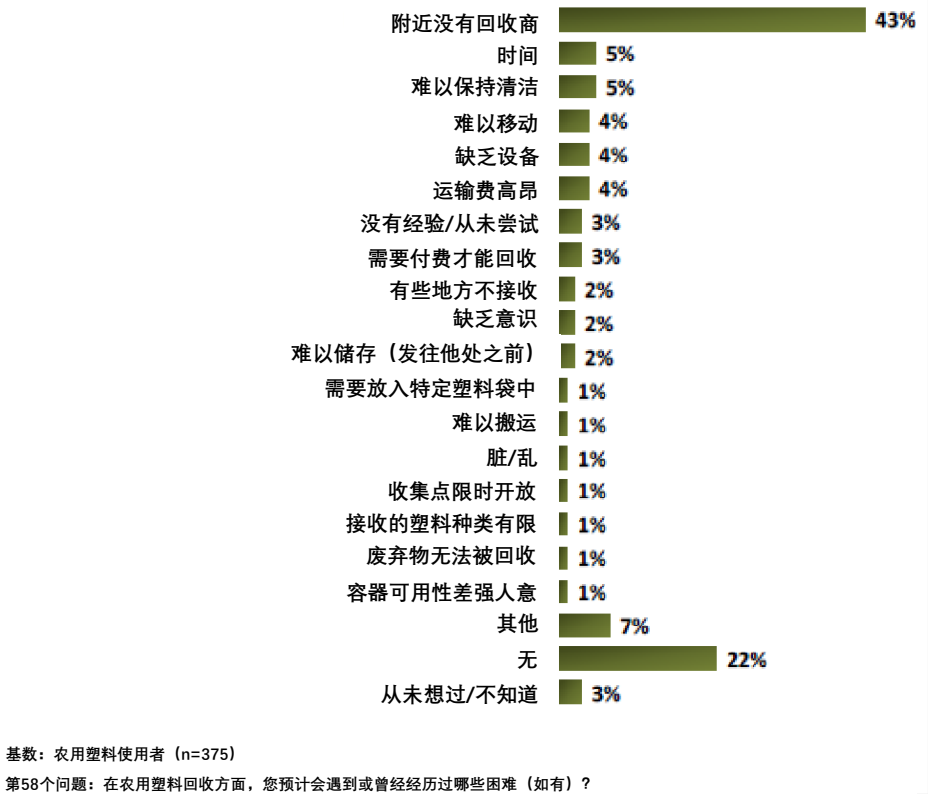
文本框A2.6：萨斯喀彻温省谷物袋收集与回收计划

2016年，萨斯喀彻温省通过了《农用包装产品废弃物管理条例》（Agricultural Packaging Product Waste Stewardship Regulations）[417]，该条例对农用谷物袋的收集作了规定。随着该条例的实施，回收利用计划的经济负担逐渐从公共资助向产业转移。一项不可退还的环保手续费（EHF）于2018年11月1日起正式生效并开始征缴。环保手续费用于抵补在指定收集点收集塑料袋并将其运送至终端市场以回收再造成新产品（例如垃圾袋）的费用。不可退还的环保手续费按每公斤25加拿大分的比例收取，该费用直接加在塑料袋的购买价格中（一个塑料袋约为125公斤）。[418]

417 《农业包装产品废弃物管理条例》（Agricultural Packaging Product Waste Stewardship Regulations）（2016年）检索地址：
www.publications.gov.sk.ca/freelaw/documents/English/Regulations/Regulations/E10-22R4.pdf

418 https://cleanfarms.ca/wp-content/uploads/2019/04/Cleanfarms-2018-Annual-Report-EN.pdf

图A2.27：阿尔伯塔省农民在农用塑料回收领域面临的困难



资料来源：阿尔伯塔省政府（2012年）[419]

A.2.3.2 冰岛

基于草料放牧和青贮饲料生产的畜牧业是冰岛农业最重要的主导部门（畜牧业产值约占农业总产值的75%）。[420] 据冰岛回收基金（IRF）称，冰岛每年农用薄膜（青贮饲料）的市场投放量约为1,800吨。[421] 这一数字与欧洲农业、塑料与环境协会呈报的2019年农用薄膜销售量（1,600吨）基本一致。[422]

自2003年以来，冰岛针对青贮饲料膜推行了一项强制性生产者责任延伸制计划。该

---

419 阿尔伯塔省政府（2012年）。《农用塑料回收调查：最终报告》（Agricultural Plastics Recycling Survey. Final Report）。2012年10月。www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/com14387/$file/Plastics_Recycling_Agricultural_Producers_Surv ey_Final_Report.pdf?OpenElement

420 经合组织（2008年）。《自1990年以来经合组织国家农业生产的环境绩效》（Environmental Performance of Agriculture in OECD countries since 1990）。访问地址：www.oecd.org/iceland/40801889.pdf

421 基于对冰岛回收基金的采访，2020年3月

422 欧洲农业、塑料与环境协会网站：《统计数据：欧洲的塑料文化》（Statistics: Plasticulture in Europe）。访问地址：http://apeeurope.eu/statistics

计划由冰岛回收基金（IRF）负责运作，该基金是一家国有生产者责任组织。[423] 青贮饲料膜的生产商和进口商须按废弃物管理及处理作业（例如收集、运输、回收及再生利用）的成本，缴付回收利用费。该回收利用费已包含在青贮饲料膜价格价格中；因此，农民承担了该收集系统的部分资金。2020年，该费用为每公斤28克朗（相当于每公斤0.19欧元）。[424] 除设有专门收集点之外，该计划会组织人员，每年至少两次直接前往农场，收集废旧青贮饲料膜。[425]

据估计，冰岛2020年青贮饲料膜的收集率约为90%（脏污率估计约为30%）。[426] 作为冰岛主要塑料回收商，纯北回收公司（Pure North Recycling）将收集到的青贮饲料膜废弃物回收用于生产塑料薄片，然后将其出售给其他欧洲国家以制造塑料产品。[427,428]

A.2.3.3 挪威

挪威农业部门主要致力于畜牧业生产，例如草料和谷物生产。[429] 在具体的农用塑料制品方面，据欧洲农业、塑料与环境协会估计，2019年挪威农用薄膜的市场投放量为8,800吨。[430] 在挪威其他特定农用塑料制品的市场投放量方面，目前尚缺少数据。

自1997年以来，Grønt Punkt Norge（GPN）一直负责监管一项专门针对农用塑料包装（例如化肥袋、种子袋以及青贮饲料膜等农用薄膜）制定的自愿性生产者责任延伸制计划。[431]

2018年，挪威通过GPN计划收集了17,866吨农用塑料废弃物（包括包装）。在农用塑料废弃物总收集量中，有10,719吨被回收利用。[432] 据GPN称，已收集且用于

---

423 《联合国关于废弃物管理的国家报告（感测数据）：冰岛》（UN National reports on waste management (sense data): Iceland）：检索地址：www.un.org/esa/dsd/dsd_aofw_ni/ni_pdfs/NationalReports/iceland/waste.pdf

424 www.step-info.org/iceland-waste-products-recycling-fees-act-no-162-2002.html

425 《联合国关于废弃物管理的国家报告（感测数据）：冰岛》（UN National reports on waste management (sense data): Iceland）：检索地址：www.un.org/esa/dsd/dsd_aofw_ni/ni_pdfs/NationalReports/iceland/waste.pdf

426 基于对冰岛回收基金的采访，2020年3月

427 基于对纯北回收公司的采访，访问地址：www.sorpa.is/en/households/heyrulluplast

428

429挪威农民协会（未注明日期）。《挪威农业》（Norwegian Agriculture）。访问地址：www.bondelaget.no/getfile.php/13894650-1550654949/MMA/Bilder%20NB/Illustrasjoner/Norwegian%20Agriculture%20EN.pdf

430 欧洲农业、塑料与环境协会网站：《统计数据：欧洲的塑料文化》（Statistics: Plasticulture in Europe）。访问地址：http://apeeurope.eu/statistics

431 Gront Punkt挪威网站，访问地址：www.grontpunkt.no/membership/membership-rules

432 收集量位17866吨，考虑到40%的脏污率，减去7147吨 = 10719吨净回收材料：Gront Punkt挪威网站，访问地址：www.grontpunkt.no/om- oss/fakta-og-tall

回收利用的农用塑料废弃物量约占挪威农用塑料制品市场投放总量的83.5%。[433]

A.2.3.4 英国

2020年，为收集农用塑料废弃物，英国启动了两项独立的自愿性收集计划，其目的是在全国范围内加大农场塑料废弃物的收集力度：

- **英国农业、塑料与环境计划：**由非营利组织英国农业、塑料与环境协会（APE UK）根据生产者延伸责任原则推出的一项计划，覆盖英国80%的大型非包装用农用塑料生产商。[434]该计划向生产商收取从量计征的环境保护税（英文缩写EPC，税率为每吨20英镑），以抵补废弃物收集和处理成本。
- **英国农场塑料责任计划（UKFPRS）：**由英国多家大型收集商发起的一项计划。不同于英国农业、塑料与环境计划的是，英国农场塑料责任计划是由农用塑料的收集商（而不是生产者）发起。该计划旨在通过协调农场收集商的共同努力来增加废旧塑料的收集量，从而使农民在收集农场塑料的过程中“无需额外支付费用”。设立该计划的初衷在一定程度上是为了应对出口市场的关闭和废旧材料价值的下降，同时直接响应英国农业、塑料与环境计划，而英国农业、塑料与环境计划被认为会对当前农用塑料收集商构成商业威胁。这是因为这两项计划都旨在增加农用塑料的收集量。因此，如果任何一项计划能够实现收集量的提升，则意味着另一项计划的收集量可能下滑。英国农场塑料责任计划框架下的大多数收集商（代表绝大多数收集商）目前不打算参加英国农业、塑料与环境计划。[435,436]

农用塑料消耗量

在英国，农用塑料被主要用于畜牧业生产，其所涉及的主要农用塑料制品包括：青贮缠绕膜、拉伸膜、牧草捆草网和聚丙烯绳线，这些都用于缠绕和保存草料。据估计，英国每年的非包装用农用塑料市场投放量为48,950吨（见图A2.28）。[437]
2019年，拉伸膜（低密度聚乙烯）占英国农用塑料市场份额的近半壁江山（47%），达23,000吨。在英国，农业生产中使用的生物降解塑料的市场份额极小，估计最多不超过1-2%。[438]

---

433 Gront Punkt挪威网站，访问地址：www.grontpunkt.no/om-oss/fakta-og-tall

434 RECOUP Recycling（2019年）《英国启动农用塑料计划》（UK Farm Plastics Scheme Launched）。访问地址：www.recoup.org/news/7822/uk-farm-plastics-scheme-launched

435 基于对英国一家农用塑料收集商的采访，2020年3月

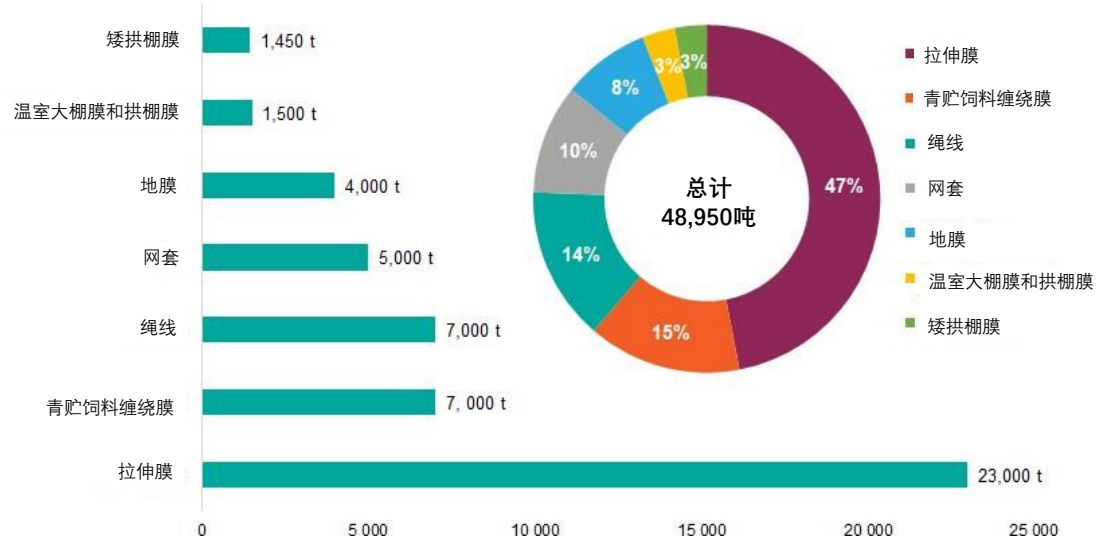
436 Doherty, J.（2019年）《回收商启动第二项农用塑料计划》，于2020年4月1日访问，www.letsrecycle.com/news/latest-news/recyclers-launch-second-farm-plastics-scheme

437基于英国农业、塑料与环境协会提供的数据。

438 基于对英国一家农用塑料收集计划运营商的采访

就生物降解塑料的份额而言，生物降解塑料在农业生产中的使用可谓微不足道。在西葫芦和甜玉米作物生产中使用了一些以黑玉米或马铃薯淀粉为原料加工制造的生物降解产品（例如Biotelo）。[439]这与坊间传闻相一致。据坊间传闻估计，英国生物降解塑料的使用率最多不超过1-2%。[440]

图A2.28：2019年英国特定农用塑料制品的市场投放量（单位：吨）



*资料来源：欧洲农业、塑料与环境协会*包括聚乙烯拱棚膜—透明薄膜 **所有地膜，包括胡萝卜地膜、地膜 ***亦称圆草捆缠绕膜 **** 包括塑料上脏污物的重量*

439 ADAS UK Ltd（2011年）《保护措施下园艺作物的生长：临时覆盖物和塑料地膜的使用对英国农艺实践的影响》（Horticultural crops grown under protection – impact of use of temporary covers and plastic mulches on UK agronomic practice）

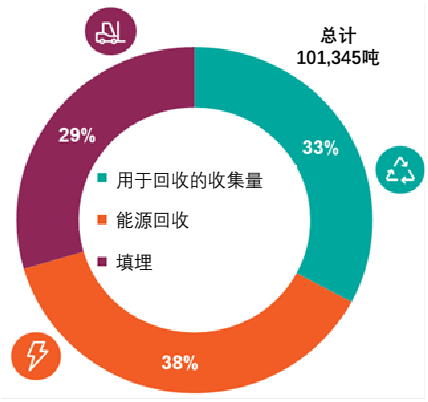
440 基于对英国一家农用塑料收集计划运营商的采访

管理实践

由于缺失国家层面的回收利用目标，而且直到最近才出台专门的农用塑料废弃物收集计划，因此关于英国如何管理处于生命周期终止期的废旧塑料的数据十分有限。因此，本研究中对管理实践的估计均基于从APE UK和废弃物与资源行动计划（WRAP）获得的可用数据。

据APE UK估计，英国每年的（非包装用）农用塑料废弃物产生量约为101,345吨。[441]在这一农用塑料废弃物产生量中，大约三分之一（33,268吨）被收集。

图A2.29：英国农用塑料废弃物（不包括包装）的处置方式（年平均值）



资料来源：英国农业、塑料与环境协会、废弃物与资源行动计划

如果以农用塑料废弃物总产生量为基数，则英国的农用塑料废弃物的回收利用率约为33%。据废弃物与资源行动计划（2016年）估计，在未收集用于回收的剩余农用塑料废弃物中，56%被送去能量回收，44%被送去填埋。[442]

根据农用塑料废弃物总产生量的估算值，图A2.29显示了管理实践的整体比例。该图表明，平均有33%的农用塑料废弃物被收集用于回收，38%被用于能量回收，29%被填埋。

应当指出的是，图A2.29所示的管理数据并未反映被就地焚烧/掩埋的农用塑料废弃物所占份额的估计值，而根据《2006年废弃物管理条例》，就地焚烧/掩埋塑料废弃物在英国属于被明令禁止的行为。然而，根据利益相关者的见地和文献资料，为了避免缴纳处置费，一些农民仍在继续非法掩埋或焚烧其废弃物。[443,444]

---

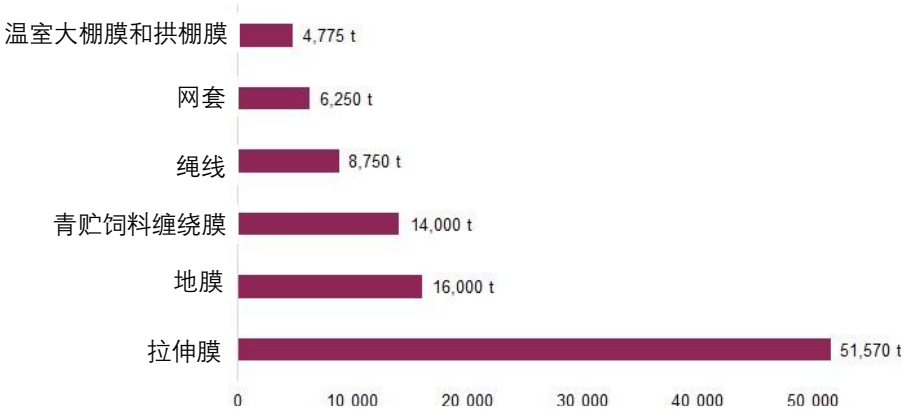
441 英国农业、塑料与环境协会根据市场数据和预计的收集率与脏污率估算出农用塑料废弃物产生量（见附录中表5.16）。

442 废弃物与资源行动计划和Valpak（2016年）《塑料空间流》（Plastics Spatial Flow）。访问地址：: www.valpak.co.uk/docs/default- source/environmental-consulting/plastic_spatial_flow_final_report_20aug.pdf

443 废弃物与资源行动计划和Valpak（2016年）《塑料空间流》（Plastics Spatial Flow）。访问地址：www.valpak.co.uk/docs/default- source/environmental-consulting/plastic_spatial_flow_final_report_20aug.pdf

444 基于对英国一家农用塑料收集商的采访，2020年3月

图A2.30：英国每年农用塑料废弃物产生量（不包括包装）的估计值



资料来源：英国农业、塑料与环境协会

英国农业、塑料与环境协会根据过去两年与回收商和收集商的对话，对这一数字进行了估算。

表A2.16：英国农业、塑料与环境协会根据过去两年与回收商和收集商的对话，对这一数字进行了估算

塑料制品	温室大棚膜与拱棚膜	矮拱棚膜	地膜**	青贮饲料膜	拉伸膜***	绳线	网套	总吨数/平均%
聚合物类型	低密度聚乙烯	低密度聚乙烯	低密度聚乙烯	低密度聚乙烯	低密度聚乙烯	聚丙烯	高密度聚乙烯	不适用
市场投放量（吨）	1500	1450	4000	7000	23000	7000	5000	48950
平均脏污率%	125%	200%	400%	200%	225%	125%	125%	207%
使用后产生量（吨）****	1875	2900	16000	14000	51570	8750	6250	101525
收集率	80%	70%	60%	30%	25%	20%	20%	33%
总收集量（估计值）	1,500	2,030	9,600	4,200	12,938	1,750	1,250	33,268
未收集总量（估计值）	375	870	6,400	9,800	38,813	7,000	5,000	68,258

*资料来源：英国农业、塑料与环境协会*包括聚乙烯拱棚膜—透明薄膜 **所有地膜，包括胡萝卜地膜、地膜、作物覆盖物 ***亦称圆草捆缠绕膜 **** 包括塑料上脏污物的重量*

英国有三家大型收集商：Agri-cycle、Solway及Farm XS，此外还有其他一些施行本地化经营的小规模收集商。2018年，一家名为桦木塑料公司（Birch Plastics）

的大型收集服务公司因经济原因而停止收集服务的运营。[445] 在英国绝大部分地区都存在着农业材料收集领域的竞争。在将其农用塑料打包成捆后，英国收集商有四种处理方式可供选择：[446]

1) 将低价值塑料出售给在国外寻找回收商的中间商。
2) 将高价值塑料出售给英国的再加工商。
3) 组织收集成捆塑料以供出口。通常既无利润也无成本。
4) 堆存塑料（目的是收集足够量塑料以批量出售）。

英国的收集市场相对分散，大约有70家农用塑料收集商。不同收集商的收集方式和收费方式都不尽相同。一些收集商需要收取认购费以资助他们的收集服务。认购费从每年150英镑到400英镑不等，价格因农场规模大小的不同而异。在大多数情况下，农民将农用塑料运送到收集商，但有时可以选择支付收集费（每次收集商收费100英镑）。其他不采用认购服务模式的收集商则向农民收取从量计征的收集费（按吨数计费）。[447]

根据废弃物与资源行动计划的《塑料空间流》（Plastics Spatial Flow）报告，大部分出口外销的农用塑料在返回英国进行再加工之前，都要在东欧进行人工清洗。[448]

尽管英国的废弃物转移通知（WTN）系统旨在通过要求农民从已获许可证的废弃物处理商处获得一份废弃物转移通知，以验证其农用塑料废弃物的收集情况，从而防止采用非法手段处置废弃物。有坊间证据表明，一些农民通常只将一部分农用塑料移交给已获许可证的废弃物加工商，然后将其余农用塑料进行焚烧或掩埋。以这种方式生成的废弃物转移通知可促使农民遵循法律的要求，并节省因处置农用塑料废弃物而产生的成本。[449] 随着最近威尔士唯一一家专门收集农用塑料废弃物的公司（桦木塑料公司）关闭，这个问题可能会在威尔士变得愈加普遍。[450]

农用塑料产量

2006年，已知共有24家农用塑料生产商/进口商供应英国市场，按吨数计算，估计有66%为英国本地生产，34%为进口产品。其中六家公司占据了该市场94%的份额。[451]

---

445 基于对英国一家塑料生产商/回收商的采访，2020年3月
446 基于对英国一家农用塑料收集商的采访，2020年3月
447 基于对英国一家农用塑料收集商的采访，2020年3月
448 废弃物与资源行动计划和Valpak（2016年）《塑料空间流》（Plastics Spatial Flow）。访问地址：www.valpak.co.uk/docs/default- source/environmental-consulting/plastic_spatial_flow_final_report_20aug.pdf
449 BBC新闻（2019年）《农民可"焚烧或掩埋"塑料》（Farmers could 'burn or bury' plastic）
450 BBC新闻（2019年）《农民可"焚烧或掩埋"塑料》（Farmers could 'burn or bury' plastic）
451 Valpak和ADAS（2007年）《农用塑料废弃物收集与回收计划》（Agricultural Waste Plastics Collection and Recovery Programme），2007年6月

尽管目前尚无近期数据，但坊间证据表明，英国生产商目前的市场份额可能会略微缩减至40-50%。英国聚合物工业公司（BPI）是英国最大的农用塑料供应商。[452]就地膜而言，在英国只有一家工厂可以清洗和切碎地膜制品，即位于苏格兰彼得埃里森农业服务公司（Peter Allison Agriservices）。

发展趋势和各地区使用情况

关于英国各地区农用塑料区域消耗量的数据鲜少存在。英国农业、塑料与环境协会的一项研究得出结论，威尔士地区农场每年的塑料消耗量平均为1.1吨。然而，这些农场正在使用与青贮饲料生产相关的塑料。因此，这一数字并不适用于其他地区（例如英格兰东南部），因为当地农场通常更大并且在园艺业实践中使用更多塑料。在缺失区域消耗量数据的情况下，我们根据2006年的废弃物产生量数据，假设青贮饲料缠绕膜消耗量最高的地区为：[453]

1) 苏格兰：在英国青贮饲料缠绕膜消耗量中占比17%
2) 英格兰西南部：在英国青贮饲料缠绕膜消耗量中占比14%
3) 威尔士：在英国青贮饲料缠绕膜消耗量中占比12%
4) 北爱尔兰：在英国青贮饲料缠绕膜消耗量中占比11%

由于拉伸膜、牧草捆草网套和绳线通常需要与青贮饲料缠绕膜结合使用，因此这些农用塑料制品的区域消耗量趋势可能与青贮饲料缠绕膜消耗量趋势相一致。

市场趋势

英国软质水果的种植面积为9,400公顷。据估计，其中有85%均采用温室大棚或矮拱棚栽培技术（亦称多拱棚）。[454]我们未找到最近作物覆盖物使用的时间序列数据，但2011年英国环境、食品与农村事务部（Defra）的一份报告识别了英国作物覆盖物的种类、数量、趋势以及使用它们的原因。该报告表明，作物覆盖物的使用量在21世纪初期有所增长，其中用于软质水果和蔗果生产的作物覆盖物数量明显增加。据该报告称，2003年，软质水果和蔗果总产量的30%使用了作物覆盖物，到2009年，该数字上升至至少70%。与此同时，英国越来越多的土地用于水果生产。例如，2004年至2011年间，英国的草莓种植面积翻一番。据估计，2019年英国低密度聚乙烯作物覆盖物的市场投放量约为7,000吨（图A2.28）。[455]

---

452 基于对英国一家农用塑料收集商的采访，2020年3月
453 Valpak和ADAS（2007年）《农用塑料废弃物收集与回收计划》（Agricultural Waste Plastics Collection and Recovery Programme），2007年6月
454 Alman Hall（2019年）《草莓产业概况》（Overview of the strawberry industry），于2020年3月6日访问：https://allmanhall.co.uk/blog/overview-of-the-strawberry-industry-in-the-uk
455基于对英国一家农用塑料收集计划运营商的采访

通过使用覆盖物来减轻英国气候对作物产量的影响，能够使英国在欧洲市场上更具竞争力竞争。[456]因此，农用薄膜（例如地膜、温室大棚膜及拱棚膜，以下统称为“作物覆盖物”）在英国越来越多地用于水果生产。[457]

英国的收集市场相对分散，大约有70家农用塑料收集商。英国有三家大型收集商：Agri-cycle、Solway及Farm XS，此外还有其他一些施行本地化经营的小规模收集商。2018年，一家名为桦木塑料公司（Birch Plastics）的大型收集服务公司因经济原因而停止收集服务的运营。[458]在英国绝大部分地区都存在着农业材料收集领域的竞争。不同收集商的收集方式和收费方式都不尽相同。一些收集商需要收取认购费以资助他们的收集服务。认购费从每年150英镑到400英镑不等，价格因农场规模不同而异。在大多数情况下，农民将农用塑料运送到收集商，但有时可以选择支付收集费（每次收集商收费100英镑）。其他不采用认购服务模式的收集商则向农民收取从量计征的收集费（按吨数计费）。[459]由英国农业、塑料与环境协会运作的该项收集计划需要收取从量计征的环境保护税（英文缩写EPC，税率为每吨20英镑），该笔税费会被添加到其农用塑料产品的销售发票上。该笔资金会被转给英国农业、塑料与环境协会，协会会用这笔资金支持该计划的运作，包括从农民那里收集材料和投资改善废弃物收集基础设施。
英国农业、塑料与环境协会正处于与一家废弃物管理公司合作的初级阶段，合作的目的是架构一个覆盖整个英国的收集中心网络。最终，从这些生产商手中购买塑料的农民需要支付税款。从理论上讲，在缴纳税款后，农民不太可能非法处置废弃物或使用填埋法/焚烧法处置废弃物。此外，由英国农业、塑料与环境协会资助的该项收集计划将有助农民更轻松地移交他们的农用塑料。[460]

表A2.17显示了用于特定农用塑料制品的各类再加工（再生）聚合物的大致市场价值/价格。这些价格受每种聚合物脏污率的影响。少数收集商设法以较低售价出售线型低密度聚乙烯制青贮饲料膜废弃物——最高为每吨15英镑，或将其无利润/不收费地转让给中间商。[461]

表A2.17：农用塑料制品中使用的再加工聚合物的价值

制品	青贮饲料膜	梭织网套	喷雾罐	牧草捆草绳
聚合物类型	线性低密度聚乙烯	聚丙烯	高密度聚乙烯	聚丙烯
每吨平均价格	5-7英镑/吨	80英镑/吨	230英镑/吨	200英镑/吨

资料来源：英国农用塑料收集商；塑料废弃物被收集、清洗并打捆后的价格

456 ADAS UK Ltd（2011年）《保护措施下园艺作物的生长：临时覆盖物和塑料地膜的使用对英国农艺实践的影响》（Horticultural crops grown under protection – impact of use of temporary covers and plastic mulches on UK agronomic practice）
457 包括临时拱棚
458 基于对英国一家塑料生产商/回收商的采访，2020年3月
459 基于对英国一家农用塑料收集商的采访，2020年3月
460 基于对英国一家农用塑料收集商的采访，2020年3月
461 基于对英国一家农用塑料收集商的采访，2020年3月

A.3.0 辅助性技术资料——传统塑料

A.3.1 ADIVALOR分类和预处理说明

表A3.1：育种塑料——分类和预处理说明

类型	杂质最高含量	说明
青贮料板塑料片（聚乙烯底层）	20%	清扫、晾干、折叠、卷起、捆扎
青贮料板塑料片（聚酰胺底层）	20%	将两层分开，清扫、折叠、卷起并捆扎防水布。由经销商将聚酰胺薄膜装入蓝色袋中
缠绕膜（所有颜色）	15%	清洁、晾干、清除蔬菜碎屑
塑料线	20%	尽可能清洁且无植物碎屑
圆草捆捆草网	40%	清洁并甩晃

表A3.2：市售园艺业用薄膜——最低技术要求

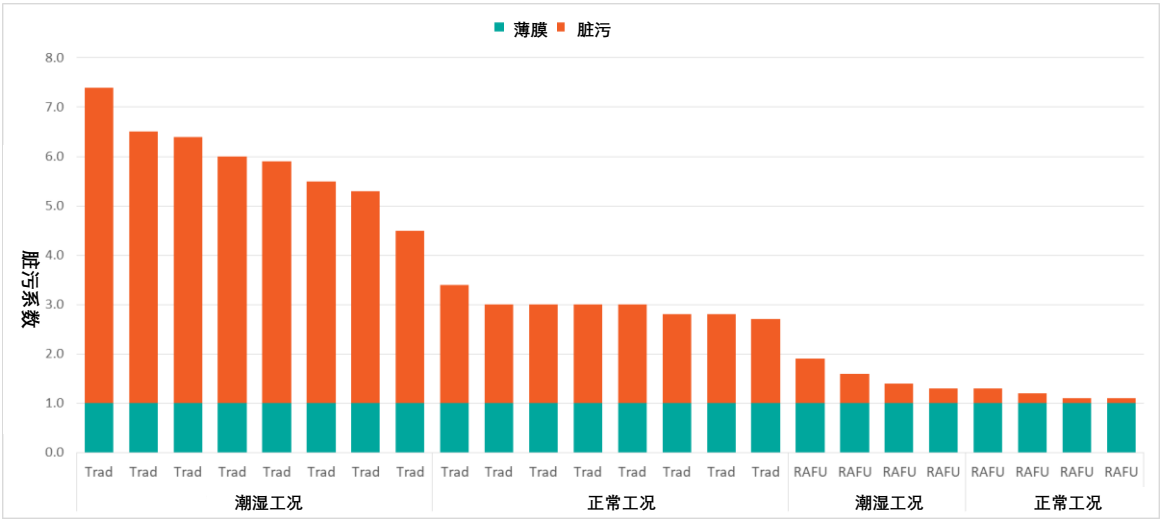
类型	杂质最高含量	说明
温室大棚膜和大拱棚膜	20%	将薄膜折叠，并切除与其他市售园艺薄膜一起被占用的埋入部分。 温室大棚膜：将植物压碎，可能要静候数日以加速分解。
矮拱棚膜	40%	将刀片插入挖出塑料薄膜。
地膜（无色）	50%	手动清除：甩晃以去除植物和泥土。分类回收地膜和灌溉护套。
地膜（彩色）	50%	机械清除：提起下摆以清除泥土。用带缠绕器的双锥型机器将塑料卷成两个圆锥体。分类收集地膜和灌溉护套。不要使用夹头。
地膜（地上）	20%	
所有薄膜：尽量减少有机废弃物的存在；存放薄膜，以干燥天气最为适宜，以防沙子或泥土粘附塑料表面 将薄膜储存在平整、清洁且易于拾取的区域，供自卸卡车装卸货用，天气条件不受限制 不要与其他类别的农用薄膜（绳线、网套、柔性灌溉软管）混放，也不与化肥袋或基质袋混放		

A.3.2 RAFU技术[462]

下图展示了RAFU技术的实际应用场景。

462 https://www.youtube.com/watch?v=FPDnJfoI7b0

图A3.1：胡萝卜地膜的传统清除手段与RAFU技术的脏污率比较[463]



图A3.1显示了ADIVALOR在2019年演示中呈现的图片。该图片表明，与传统清除手段相比，采用RAFU技术清除胡萝卜地膜可以显著降低脏污率，在潮湿工况和正常工况下都是如此。

463 ADIVALOR（2019年）《实现100%废旧地膜回收利用率：这如何可能？》（Reach 100% Recycling of Mulch Films - Is It Possible?），2019年

A.4.0 辅助性技术资料——生物降解塑料

A.4.1 生物降解地膜与传统地膜在作物栽培中农艺性能比较

加工用番茄	
生长周期	5个月：从春季到初秋
农艺技术	如果使用低密度聚乙烯地膜，薄膜碎片会污染番茄果实，因此无法在露天场地上采用机械化收割方式收割番茄作物。[464]
当前应用地点	意大利、西班牙及法国（已应用10年） 西班牙：在政府财政激励的支持下，西班牙纳瓦拉地区目前的加工用番茄种植面积为2000公顷，其中80%使用农用生物降解地膜。 意大利：尤其是在意大利南部地区，一家区域组织正在大力推广农用生物降解地膜。[465]
采用生物降解地膜覆盖栽培技术后作物产量与采用聚乙烯地膜相当	Mater Bi被用于西班牙[466] [467] [468]、意大利[469]及美国[470] Bioflex和生物薄膜被用于西班牙。[471] [472]

464 意大利诺瓦蒙特公司（2020年）QAmulch_March_20.pdf
465 意大利诺瓦蒙特公司（2020年）QAmulch_March_20.pdf
466 Martin-Closas L，Bach A，Pelacho AM等人（2008年）《有机番茄生产系统中的生物降解地膜》（Biodegradable mulching in an organic tomato production system）。《园艺学报》（Acta Horticulturae），767:267–274
467 Armendariz R，Macua JI、Lahoz I等人（2006年）《不同塑料地膜在加工用番茄栽培中的应用》（The use of different plastic mulches on processing tomatoes）。《园艺学报》（Acta Horticulturae），724:199–202
468 Moreno MM，Moreno A，Mancebo I（2009年）《不同地膜在番茄（茄属）作物栽培中的比较》（Comparison of different mulch materials in a tomato (Solanum lycopersicum L.) crop）。《西班牙农业研究杂志》（Span J Agric Res），7:454–464
469 Candido V，Miccolis V， Castronuovo D等人（2006年）《生态兼容塑料在温室大棚中新鲜番茄作物上地膜覆盖研究》（Mulching studies in greenhouse by using eco- compatible plastic films on fresh tomato crop）。《园艺学报》（Acta Horticulturae），710:415–420
470 Cowan JS，Miles CA，Andrews PK等人（2014年）《生物降解地膜在高拱棚番茄（茄属）生产中的表现与聚乙烯相当》（Biodegradable mulch performed comparably to polyethylene in high tunnel tomato (Solanum lycopersicum L.) production）。食品与农业科学杂志（J Sci Food Agric），94:1854–1864
471 Martin-Closas L，Bach A，Pelacho AM等人（2008年）《有机番茄生产系统中的生物降解地膜》（Biodegradable mulching in an organic tomato production system）。《园艺学报》（Acta Horticulturae），767:267–274
472 Cirujeda A，Aibar J，Anzalone A等人（2012年）《用生物降解地膜代替聚乙烯防治加工用番茄生产中的杂草生长》（Biodegradable mulch instead of polyethylene for weed control of processing tomato production）。《可持续发展农学》（Agron Sustain Dev），32:889–897

采用生物降解地膜覆盖栽培技术后作物产量下降	尚无任何研究发现这一问题
杂草控制	使用地膜控制杂草的成效令人满意，持续覆膜60天内地膜没有破损。[473] 纸地膜、秸秆地膜、人工除草及除草剂对杂草生长的控制效果均与15微米低密度聚乙烯地膜相当[474]
早熟性	意大利研究发现，15-20微米的光选择性绿膜提高了早期土壤温度，因此苗势生长旺盛、根系发育既多且快。[475]
是否适合使用生物降解地膜？	是。

新鲜番茄	
生长周期	5个月：全年均可在拱棚或温室大棚中生长
农艺技术	露天/大拱棚/温室大棚
当前应用地点	意大利、西班牙、法国、澳大利亚、美国、加拿大
采用生物降解地膜覆盖栽培技术后作物产量与采用低密度聚乙烯地膜相当	黑色25微米Ecoflex[476] 西班牙：在露天条件下使用绿色和棕色16-25微米生物降解地膜覆盖技术后作物产量与使用15-30微米低密度聚乙烯地膜相当。[477] 美国：使用黑色12.7微米EcoPlanet地膜覆盖技术后作物产量与使用黑色20微米低密度聚乙烯地膜相当[478] 中国：夏季在温室大棚中，生物降解地膜的性能比低密度聚乙烯地膜更佳——这被认为是因为夏季条件下的热应力。[479]

473 Martin-Closas L，Bach A，Pelacho AM等人（2008年）《有机番茄生产系统中的生物降解地膜》（Biodegradable mulching in an organic tomato production system）。《园艺学报》（Acta Horticulturae），767:267–274

474 Anzalone A，Cirujeda A、Aibar J等人（2010年）《生物降解地膜材料对加工用番茄栽培中杂草控制的影响》（Effect of biodegradable mulch materials on weed control in processing tomatoes）。《杂草技术》（Weed Technol），24:369–377

475 意大利诺瓦蒙特公司（2020年）QAmulch_March_20.pdf

476 Ngouajio1 M，Auras R，Fernández RT等人（2008年）《脂肪族-芳香族共聚酯生物降解地膜在鲜食番茄生产系统中的田间性能》（Field performance of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films in a fresh market tomato production system）。《园艺技术》（HortTechnology），18:605–610

477 Moreno, M.M.和Moreno, A.（2008年）《不同生物降解地膜和聚乙烯地膜对番茄作物土壤特性和产量的影响》（Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop），《园艺科学》（Scientia Horticulturae），第116卷，第3期，第256-263页

478 Alamro, M.，Mahadeen, A.和Mohawesh, O.（2019年）《大田条件下可降解地膜对番茄生长发育和产量的影响》（Effect of degradable mulch on tomato growth and yield under field conditions），《保加利亚农业科学杂志》（Bulgarian Journal of Agricultural Science），第25卷，第1122–1132页

479 Zhang, X.，You, S.，Tian, Y. 及Li, J.（2019年）《夏季番茄生产用塑料薄膜、生物降解纸及生物基地膜的比较：土壤特性、植物农艺性状、果实产量及果实品质》（Comparison of plastic film, biodegradable paper and bio- based film mulching for summer tomato production: Soil properties, plant growth, fruit yield and fruit quality），《园艺科学》（Scientia Horticulturae），第249卷，第38–48页

采用生物降解地膜覆盖栽培技术后作物产量下降	白色Ecoflex[480]
其他影响	在温室大棚中对杂草的控制与低密度聚乙烯地膜相当（12微米和15微米的MB） [481]
其他备注	采用纸地膜技术后的作物产量也与生物降解地膜相当[482][483] 使用纺粘无纺布后的作物产量也与生物降解地膜相当[484]
是否适合使用生物降解地膜？	是

476 Ngouajio1 M，Auras R，Fernández RT等人（2008年）《脂肪族-芳香族共聚酯生物降解地膜在鲜食番茄生产系统中的田间性能》（Field performance of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films in a fresh market tomato production system）。《园艺技术》（HortTechnology），18:605–610

477 Moreno, M.M.和Moreno, A.（2008年）《不同生物降解地膜和聚乙烯地膜对番茄作物土壤特性和产量的影响》（Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop），《园艺科学》（Scientia Horticulturae），第116卷，第3期，第256-263页

478 Alamro, M.，Mahadeen, A.和Mohawesh, O.（2019年）《大田条件下可降解地膜对番茄生长发育和产量的影响》（Effect of degradable mulch on tomato growth and yield under field conditions），《保加利亚农业科学杂志》（Bulgarian Journal of Agricultural Science），第25卷，第1122–1132页

479 Zhang, X.，You, S.，Tian, Y. 及Li, J.（2019年）《夏季番茄生产用塑料薄膜、生物降解纸及生物基地膜的比较：土壤特性、植物农艺性状、果实产量及果实品质》（Comparison of plastic film, biodegradable paper and bio- based film mulching for summer tomato production: Soil properties, plant growth, fruit yield and fruit quality），《园艺科学》（Scientia Horticulturae），第249卷，第38–48页

480 Ngouajio1 M，Auras R，Fernández RT等人（2008年）《脂肪族-芳香族共聚酯生物降解地膜在鲜食番茄生产系统中的田间性能》（Field performance of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films in a fresh market tomato production system）。《园艺技术》（HortTechnology），18:605–610

481 Candido V，Miccolis V， Castronuovo D等人（2006年）《生态兼容塑料在温室大棚中新鲜番茄作物上地膜覆盖研究》（Mulching studies in greenhouse by using eco- compatible plastic films on fresh tomato crop）。《园艺学报》（Acta Horticulturae），710:415–420

482 Martin-Closas L，Bach A，Pelacho AM等人（2008年）《有机番茄生产系统中的生物降解地膜》（Biodegradable mulching in an organic tomato production system）。《园艺学报》（Acta Horticulturae），767:267–274

483 Cirujeda A，Anzalone A，Aibar J等人（2012年）《在加工用番茄栽培中使用纸地膜对紫色坚果（香附属）进行控制》（Purple nutsedge (Cyperus rotundus L.) control with paper mulch in processing tomato）。《作物保护》（Crop Prot），39:66–71

484 Wortman SE，Kadoma I，Crandall MD（2015年）《纺粘非织造生物降解织物作为番茄和甜椒作物地膜的潜力评估》（Assessing the potential for spun-bond, nonwoven biodegradable fabric as mulches for tomato and bell pepper crops）。《园艺科学》（Sci Hortic），193:209–217

辣椒和茄子	
生长周期	5个月：全年均可在拱棚或温室大棚中生长；它们对温度要求更高，因此需要在从晚春到初夏的时间段内进行移栽。地膜经常被用于促进移栽。
农艺技术	露天/拱棚
当前应用地点	意大利、西班牙、法国、澳大利亚、美国、加拿大
采用生物降解地膜覆盖栽培技术后作物产量与采用低密度聚乙烯地膜相当	澳大利亚采用12微米与15微米MB以及25微低密度聚乙烯地膜对辣椒栽培进行不同地膜性能的对比研究。[485]
采用生物降解地膜覆盖栽培技术后作物产量下降	与裸土相比，Spubond无纺布聚乳酸地膜并没有提升辣椒产量。[486]
其他备注	辣椒植株（直立薄叶）的生长模式增加了生物降解地膜对环境因素的暴露，从而导致与在其他作物（如西红柿）中相比，生物降解地膜在辣椒覆膜栽培使用阶段降解程度更大。[487]
是否适合使用生物降解地膜？	是

生菜	
生长周期	2–3个月
农艺技术	露天
当前应用地点	西班牙、意大利、法国、德国
采用生物降解地膜覆盖栽培技术后作物产量与采用聚乙烯地膜相当	在露天试验中，使用12微米与15微米MB地膜覆盖技术后作物产量与使用25-50微米低密度聚乙烯地膜相当。[488]

485 Olsen JK，Gounder RK（2001年）《聚乙烯地膜替代品，对辣椒（甜椒属）中运输材料的大田评估》（Alternatives to polyethylene mulch film, a field assessment of transported materials in capsicum (Capsicum annuum L.)）。《澳大利亚实验农业杂志》（Aust J Exp Agric），41:93–103

486 Wortman SE，Kadoma I，Crandall MD（2015年）《纺粘非织造生物降解织物作为番茄和甜椒作物地膜的潜力评估》（Assessing the potential for spun-bond, nonwoven biodegradable fabric as mulches for tomato and bell pepper crops）。《园艺科学》（Sci Hortic），193:209–217

487 Martín-Closas, L.，Costa, J.及Pelacho, A.M.（2017年）《马林科尼科地区生物降解薄膜对作物和田间环境的农艺影响》（Agronomic Effects of Biodegradable Films on Crop and Field Environmen）, in Malinconico），M.，（编辑），《用于可持续现代农业的土壤降解生物塑料》（Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture）（2017年）柏林，海德堡：Springer Berlin Heidelberg，第67–104页

488 Minuto G，Pisi L，Tinivella F等人（2008年）《使用生物降解地膜控制蔬菜作物中的杂草》（Weed control with biodegradable mulch in vegetable crops）。《园艺学报》（Acta Horticulturae），801:291–297

采用生物降解地膜覆盖栽培技术后作物产量下降	西班牙夏季温室大棚试验表明，使用低密度聚乙烯地膜覆盖技术的作物叶片发育更多且产量更高——这可能是因生物降解地膜导致土壤升温效应更为明显所致。[489]
是否适合使用生物降解地膜？	是。

草莓	
生长周期	6-12个月；秋季至冬季作物生长周期为9-12个月
农艺技术	配有矮拱棚/拱棚的露天栽培
当前应用地点	意大利、西班牙、比利时、德国、斯堪的纳维亚国家，在这些国家草莓一年一熟
采用生物降解地膜覆盖栽培技术后作物产量与采用聚乙烯地膜相当	意大利的一项早期研究表明，与50微米的低密度聚乙烯地膜相比，使用25-45微米的MB地膜可提高作物产量，促进作物早熟高产。[490] 近期在意大利坎帕尼亚的一项研究中，相比低密度聚乙烯地膜，MB地膜提高了作物的产量和品质。[491] 葡萄牙研究对比了露天栽培和温室大棚栽培：研究结果表明，使用35微米的低密度聚乙烯地膜和使用18微米的MB地膜在作物产量上并无差异[492]
采用生物降解地膜覆盖栽培技术后作物产量下降	葡萄牙的一项研究使用了20-30微米黑白相间的MB地膜，其作物产量比使用低密度聚乙烯地膜低20-37%——这被认为是因为在夏季，与低密度聚乙烯地膜相比，生物降解地膜导致土壤升温效应更加明显。[493]
是否适合使用生物降解地膜？	是，使用最小厚度为18-20微米的黑色地膜 但在铺设地膜前不久，在对作物进行熏蒸时即发现存在问题。

---

489 Lopez-Marin J，Abrusci C，Gonzalez A（2012年）《温室大棚生菜栽培土壤覆盖用降解材料的研究》（Study of degradable materials for soil mulching in greenhouse-grown lettuce）。《园艺学报》（Acta Horticulturae），952:393–398

490 Scarascia-Mugnozza G，Schettini E，Vox G等人（2006年）《实际规模试验中农用生物降解地膜的机械性能衰变和形态行为》（Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment），《聚合物降解和稳定性》（Polymer Degradation and Stability），第91期，第2801–2808页

491 意大利诺瓦蒙特公司（2020年）QAmulch_March_20.pdf

492 Costa, R.、Saraiva, A.、Carvalho, L.和Duarte, E.（2014年）《生物降解地膜在葡萄牙草莓作物栽培中的应用》（The use of biodegradable mulch films on strawberry crop in Portugal），《园艺科学》（Scientia Horticulturae），第173卷，第65–70页

493 Andrade, C.，Palha, M.及Duarte, E.（2014年）《生物降解地膜性能与秋冬季草莓生产》（Biodegradable mulch films performance for autumn- winter strawberry production），《浆果研究杂志》（Journal of Berry Research），第4卷，第193–202页

瓜类作物——甜瓜、西瓜、西葫芦、南瓜、黄瓜	
生长周期	春夏喜温作物对温度的要求比番茄更高——覆盖地膜的主要目的是促进作物早熟。透明地膜最适合此类应用，因为它们透光性好
农艺技术	露天栽培
当前应用地点	西班牙、意大利、希腊 西班牙的甜瓜种植面积达7000公顷——大多数目前并未使用生物降解地膜
采用生物降解地膜覆盖栽培技术后作物产量与采用聚乙烯地膜相当	意大利：采用温室大棚栽培甜瓜，有研究表明，50微米透明低密度聚乙烯地膜和25微米MB地膜使用后产量相当且果实品质相似。 西班牙：露天种植甜瓜，使用透明生物降解地膜（18微米MB地膜）覆盖栽培技术的甜瓜产量与低密度聚乙烯地膜（25微米）相当。[494] 加拿大：哈密瓜，15微米MB地膜和28微米低密度聚乙烯地膜使用后产量相当。透明地膜的作物产量高于黑色地膜。[495]
采用生物降解地膜覆盖栽培技术后作物产量下降	尚无任何研究发现这一问题
是否适合使用生物降解地膜？	是

494 Gonzalez A，Fernandez JA，Martin P等人（2003年）《西班牙东南部露天甜瓜种植中用于覆膜的生物降解薄膜的行为》（Behaviour of biodegradable film for mulching in open- air melon cultivation in South-East Spain）。《农业和园艺业生产中的生物降解材料和纤维复合材料》（Biodegradable materials and fiber composites in agriculture and horticulture）。KTBL-Schrift，达姆施塔特，第71–77页

495 Limpus S，Heisswolf S，Kreymborg D等人（2012年）《生物降解地膜产品与聚乙烯在浇灌类蔬菜、番茄和瓜类作物中的比较》。澳大利亚农林渔业部。《最终报告项目MT09068》（Final report Project MT09068）。澳大利亚园艺有限公司Horticulture Australia Ltd.，悉尼

A.4.2 欧洲、法国及意大利三国生物降解地膜标准的比较

意大利（UNI 11495）、法国（NF U52-001）和欧洲（EN 17033）的地膜标准在很大程度上遵循欧盟EN ISO 17556标准中规定的土壤中塑料材料生物降解性能测试。该测试采用二氧化碳释放量分析法来测定土壤中塑料材料的生物降解性能。内在生物降解性能实际上是生物分解百分率，是通过将二氧化碳的实际释放量与计算出的二氧化碳理论释放量的计算值进行比较而得出的一个百分数。（从测试材料的二氧化碳释放量中减去纤维素对照材料中记录的二氧化碳释放量）。当二氧化碳释放量达到恒定水平并且预计不会进一步生物降解时，该测试即被视为完成。测试周期一般不应超过6个月，但如果未达到平台期，则可延长至不超过24个月。

为了将此测试方法转变为一套标准，以确保被测产品实际上在土壤条件下能够充分生物降解，EN 17556中纳入了有效性标准。测试中记录的生物降解率必须高于某一阈值，并且必须在某一时限内达到并超过该阈值。如果对照材料（纤维素）在平台期或测试结束时生物降解率超过60%，则该测试被视作有效；且被测产品的二氧化碳释放量应在对照材料二氧化碳释放量的20%以内。判断被测产品能否通过测试的阈值由相关标准确定，详见表A4.1。在欧洲和意大利标准中，如果被测产品在24个月内相对于纤维素对照组的相对生物降解率能达到90%或者绝对降解率能达到90%，则认为被测产品*已通过*测试，而法国标准要求在12个月内达到60%。

表A4.1：地膜标准的生物降解性能测试规范

标准编号	参照性测试	有效性标准	温度	土壤指标
EN 17033: 2018（欧洲）	EN ISO 17556	24个月内生物降解率达90%（与纤维素对照组相比的相对降解率或绝对降解率）	保持恒定温度：20-28°C ±2°C，最好为25°C	如ISO 17556所示——使用来自田间或森林的自然土壤，过筛至5毫米以下，最好至2毫米 或“标准土壤”[496]
NF U52-001 2005（法国）	水分—EN ISO 14851或14852 土壤—无参照性测试（附件F） 堆肥—NF EN 14046	对于土壤测试：与纤维素对照组相比，12个月内生物降解率达60%	28°C ±2°C	使用来自田间的自然土壤，过筛至2毫米
UNI 11495 2013（主要基于意大利UNI 11462 2012标准）（意大利）	EN ISO 17556或附录A中所列测试	与纤维素对照组相比，24个月内生物降解率达90%	21-28°C	使用来自田间的自然土壤，过筛至2毫米

法国标准并未参考ISO 17556，但遵循一个非常类似的方法，其微小差别只是在于：法国标准规定，对照组材料6个月后的降解率须达70%，这是一个相对较高的要求。然而，被测材料的有效性要求只规定相对于对照组的相对生物降解率达到60%。

法国标准不同于其他标准，因为它指定了可用于产品测试的三种介质；水、土壤和堆肥，每种介质都有不同的生物降解百分率要求（水中：90%，土壤中：60%，堆肥中：90%）。将产品置于这三种介质中测试后，如果产品能在其中两种介质中达到生物降解性能的最小值，则该产品将可获得该标准的认证。从技术上讲，这意味着产品可以在不超过此阈值的情况下被认证为可在土壤中生物降解；在实践中，水中塑料材料生物降解性能测试可能更难通过，操作起来可能也更复杂。

A4.2：地膜标准中的生态毒性测试

标准	化学品限制	毒性测试			土壤中物质浓度
		植物农艺性状	蚯蚓	微生物	
EN 17033	重金属、高度关注物质浓度不得超过重量0.1%的限量（EN 17294）	幼苗出苗和幼苗生长测试 经合组织208（附件B修订版）	ISO 11268-1（附录C）或ISO 11268-2（附录D）	细菌—硝化抑制测定ISO 15685（附录E）	1%（建议以粉末状进行测试）
NF U52-001	对重金属、多氯联苯及多环芳烃的含量做出限制性规定	植物萌发出苗和生长：ISO 11269 绿藻生长抑制性试验NF T 90-375	FD X 31-251	无	地膜量等于田间使用剂量的100倍。
UNI 11495	对重金属重金属的含量做出限制性规定	种子萌发和植物生长UNI 1078， 水蚤ISO 6341，	ISO 11268-1	无	1%的塑料

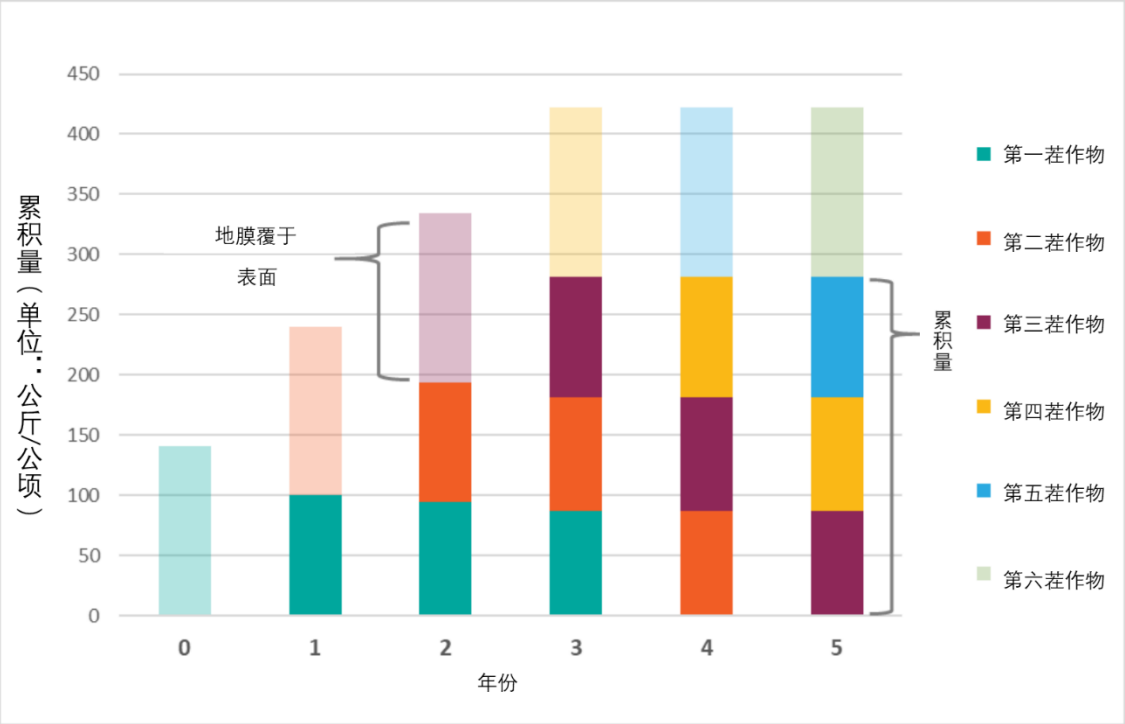
496由工业石英砂、高岭土、自然土壤和成熟堆肥（作为有机碳源）组成

A.4.3 累积量预测

本研究中累积量预测的依据是Ghimire在2016年至2019年间开展的工作。[497] 本研究在四个种植季节中使用了四种不同类型的生物降解地膜，每次通过测定土壤中塑料残留量来计算累积潜力。图A4.1系根据测定结果改编而成，旨在模拟数年内的累积情况。我们假设地膜的平均厚度为15微米，密度为1,250 kg/m³。当田间覆盖率为75%时，每公顷的地膜质量为141公斤（应顺带提及的是，20微米厚的低密度聚乙烯地膜的质量为每公顷139公斤，因为其密度较低）。

Ghimire展示了数种不同薄膜的测试结果，薄膜采样时间分别为春季（即将覆膜之前）和秋季（刚刚随犁翻入土壤之后）。遗憾的是，大部分数据缺乏一致性或难以确定具体趋势，这可能是由于难以对土壤中塑料进行准确采样。因此，仍需为此设计一种稳健且可重复的方法。尽管如此，春季地膜平均残留量的数据的一致性足以让研究人员拟合得到图A4.1中的趋势线。该项研究的关键数据是第一年地膜田间回收率为71%，第二年为50%，第三年为35%。表A4.3显示了检测数据经处理后得到的结果表达——值得注意的是，第二年和第三年数据被调整为三年内100%生物降解性能。

图A4.1：生物降解塑料的累积模型



资料来源：改编自Ghimire等人（2019年）

[497] Ghimire, S.，Flury, M.，Scheenstra, E.J.及Miles, C.A.（2020年）《耕作后田间生物降解塑料地膜和纸地膜的采样和降解》（Sampling and degradation of biodegradable plastic and paper mulches in field after tillage incorporation），《全环境科学》（Science of The Total Environment），第703卷，第135577页

表A4.3：累积量计算方法

（红色=已覆地膜，黄色=土壤中残留物）

	第0年	第1年	第2年	第3年
第一茬作物	141(i)	100(ii)	53 (iv)	
第二茬作物		141 (iii)	100 (v)	53 (vii)
第三茬作物			141 (vi)	100 (viii)
土壤中总残留量		71% (ii/i)	55% (iv+v/i+i)	36% (vii+viii/i+iii=vi)

A.5.0 影响力建模方法总结

我们将在以下章节中介绍用于对拟议政策变化的影响力进行建模的方法。

第A.6.0节阐述了为绘制欧洲农用塑料预计流量基线所采取的方法，该流量涉及从消费点到管理的各个环节。

第A.7.0节描述了特定政策情景影响力模型的建模方法，主要涉及特定政策情景对农用塑料消耗量、废弃物管理、农民成本、生产者成本以及环境影响的影响力。

建模的目的是根据最佳可用信息，展示特定政策情景对不同利益相关者的潜在影响。应当指出的是，本研究所需的大部分数据的详细统计数据上报制度目前仍不够完善。为此，我们必须在仔细斟酌后，对一些基本信息和建模参数进行估算和假设。这些都在本报告中逐一加以说明，并在可能的情况下都已参考已知数据点进行了验证。

A.6.0 设置基线

该基线提供了欧盟28个成员国的农用塑料消耗量、废弃物产生量、收集和管理实践的概述。它已涵盖现有的历史数据和到2040年的未来预测数据。该基线究其本质是一个“无政策变化”情景，即未来趋势建模已涵盖被默认为将继续有效的所有欧盟层面和国家层面的相关政策与措施，包括国家收集计划的影响。此外还涵盖任何具有确定实施日期的国家收集计划的模拟影响。

A.6.1 历史数据

本研究的主要历史数据来源是欧洲农业、塑料与环境协会（APE Europe），该协会为欧盟28国提供了以下农用塑料吨数数据：[498]

- 市场投放量/消耗量（2015年和2019年数据）
- 废弃物产生量（2019年数据）
- 废弃物收集量（2019年数据）
- 废弃物收集量（2019年数据）

表A6.1：基线数据分类法

类别	制品	细分领域	聚合物
薄膜	温室大棚膜	作物生产	低密度聚乙烯
	地膜	作物生产	低密度聚乙烯
	矮拱棚膜	作物生产	低密度聚乙烯
	拉伸膜	畜牧业生产	低密度聚乙烯
	青贮饲料膜	畜牧业生产	低密度聚乙烯
	无纺布网套	作物生产	低密度聚乙烯
网套	防护网	作物生产	高密度聚乙烯
	牧草捆草网	畜牧业生产	高密度聚乙烯
管道	灌溉管	作物生产	低密度聚乙烯
	滴灌带	作物生产	低密度聚乙烯
绳线	绳线	畜牧业生产	聚丙烯
生物/氧化降解薄膜	生物降解地膜	作物生产	-
	农用氧化降解塑料	作物生产	-

498 欧洲农业、塑料与环境协会（2020年）《塑料数据》（Plastics Data）

除上述数据之外，本研究还分析了由欧洲塑料回收商协会（PRE）发回的调查问卷答复中有关产量/损失率的额外数据。

关于其他废弃物管理目的地（填埋、焚烧及再利用）的可用数据甚少。尽管我们已在第2.5.4.2节中定性讨论了关于农用塑料再利用的现有文献，但目前尚无定量的再利用数据可用。

一些农用塑料废弃物并未通过国家收集计划进行收集。在欧洲农业、塑料与环境协会提供的数据中，整个欧洲的废弃物产生量（117.5万吨）和废弃物收集量（75.6万吨）相差41.9万吨。处理这些废弃物的方式多种多样，其中包括：

1) 废弃物收集后，使用本地解决方案进行填埋和回收利用（与国家收集计划无关）；
2) 不当处置方式（如就地焚烧）；
3) 留在环境中。

尽管一些文献针对有限数量的塑料制品类型讨论了环境中的塑料残留量，但关于流向这些目的地的废弃物比例的可用数据十分不足。在我们的研究结果（第8.1节）中，这种“无从统计”的废弃物（即，未通过国家收集计划收集的废弃物）被列为流向一个独特最终目的地。“无从统计”的废弃物包括塑料、比例未知的泥土以及废弃物中存在的任何其他脏污物。

如第2.5.4.5节所述，据估计，在法国，未收集的农用薄膜中有5%被焚烧，15%被用作网套和绳线。我们在模型中使用了这些估计值，以将露天焚烧的废弃物从“无从统计”目的地中剥离出来。应当指出的是，文献中没有关于露天焚烧的更多数据点，因此依赖单个数据点确实会产生很大的不确定性。

A.6.2 前瞻性预测

A.6.2.1 市场投放量/废弃物产生量

我们用以下两种方式之一对未来消耗量变化进行建模：

1) 基于文献中讨论的未来市场预测进行建模；[499]
2) 在无法获得预测数据的情况下，根据2015年至2019年数据的平均增长率进行建模，但增长率不高于同期所有农用塑料的平均增长率（基于欧洲农业、塑料与环境协会）。

这种方法确保顾及专家对市场发展演变的现有观点，并且在这些观点不可用的情况下，这种方法会运用对增长的保守假设，采用恰当方法将反常的高增长率最小化（这可能是数据不确定性的产物）。

我们在从上一年（2019年）至2030年期间使用年增长率。我们认为，将在2030年至2040年期间继续使用增长率会过于投机，因此我们假设农用塑料消耗量在此期间将保持不变。2019年至2030年采用的增长率见表A6.2。

499 Plasteurope（2014年）《农用薄膜》（Agricultural films），https://www.plasteurope.com/news/AGRICULTURAL_FILMS_t228787/

表A6.2：2019年至2030年农用塑料市场投放量/消耗量的模拟年增长率

制品	模拟年增长率
温室大棚膜	-0.5%
地膜	-0.5%
矮拱棚膜	1.5%
拉伸膜	1%
青贮饲料膜	1%
无纺布网套	1.5%
防护网	1.5%
牧草捆草网	1%
灌溉管	1.5%
滴灌带	0%
绳线	1%
生物降解地膜	8%
农用氧化降解塑料	不适用—已于2021年7月被禁用

我们采用比其他塑料制品更高的增长率对生物降解地膜进行建模。这是基于欧洲农业、塑料与环境协会的观点，即，生物降解地膜的份额不应超过地膜总消耗量的10-15%。

氧化降解塑料的情况相对特殊：根据《一次性塑料指令》，欧盟自2021年7月起禁止销售和使用氧化降解塑料。我们的建模结果显示，氧化降解塑料消耗量将呈下降趋势，直至7月达到零点。

我们假设，在2019年可用数据中废弃物产生量与农用塑料市场投放量的比值在未来数年内将保持不变。这反映了这样一种假设，即农用塑料含泥量的平均值将保持相对恒定。

A.6.2.2 收集率

在欧盟层面，目前尚未制定旨在改善农用塑料废弃物管理的目标或其他政策。推动改善废弃物管理（包括农业废弃物）的总体政策是《废弃物框架指令》第11条，该条规定欧盟成员国：[500]

> *应在技术、环境和经济上切实可行且适当的情况下，设立单独的废弃物收集设施，以达到相关回收部门规定的必要质量标准*

如果成员国尚未符合第11条的规定，即在技术、环境和经济上切实可行的情况下，成员国没有为农用塑料废弃物提供单独的收集设施，我们假设生产者责任延伸制计

划会提供一条解决这一问题的途径。此外，欧盟并未针对农用塑料废弃物确立总体收集目标或类似目标，因此，收集率的任何提高都被默认为生产者责任延伸制计划完善的成果。

目前已有六个欧盟国家通过立法实施国家农用塑料收集计划，将使用者、分销商和生产商组织起来协同工作。[501] 英国和西班牙（安达卢西亚）已同意自2020年起实施农用塑料收集计划。

基线预测假定这些计划将持续到未来，并将推动收集率向在表现最佳计划中实现的收集率靠拢。此外，我们还假设强制性生产者责任延伸制计划的回收率将达80%，而自愿性计划的回收率将达70%。做出上述收集率假设的基础是现有计划的当前成果，例如：

- 强制性计划：爱尔兰农膜生产者协会报告称，2019年青贮饲料缠绕膜与青贮料板塑料片的收集率为79%。该计划的一位代表表示，将回收率提高到80%以上是一项极富挑战的任务，因为总会有一小部分农民因各种原因而不参与收集计划；
- 自愿性计划：ADIVALOR报告称，2019年的平均收集率为67%。
- 自愿性计划：ERDE报告称，2019年青贮饲料膜与青贮料板塑料片的收集率为37%（应当指出的是，该计划仅在2013/14年启动）。该计划的目标是到2020年收集率达50%，到2022年收集率达65%。该计划的一位代表认为，2022年目标（65%）过于宏远，自愿性和强制性计划的收集率目标最高应不超过70-75%。
- 与自愿性计划相比，强制性计划中的某些设计特征可能会催生出更高收集率，例如：
- 具有法律约束力的收集目标将有助于计划取得更大成效。
- 最低覆盖率要求可确保所有利益相关者都能方便地参与收集计划。
- 全部处理处置净成本都已包含在生产商费用中，因此无需在收集点向农民收取费用
- 我们假设上述收集率将在与政策情景（见第8.0节）相同的时段内得以实现，即强制性计划将在7年内（截至2027年）实现，自愿性计划将在9年内（截至2029年）实现。在这些时段内，收集率将每年逐年等量增加，即采用等差数列法计算收集率增长。
- 同时应当指出的是，如第2.6节所述，这些收集率仅适用于（并在建模中用于未来情景）收集计划范围内的农用塑料制品。在这些计划的建模中，我们并没有扩大基线的范围，因为现行立法中并无现行或拟议的规定允许我们这样做。
- 在这些生产者责任延伸制计划范围内，农用塑料制品的总体收集率目标被用于模拟单个塑料制品（例如拉伸膜）的收集率。收集率以固定的等差级数增加，且最高不超过95%。此外，我们还假定，目前尚未被回收利用的制品（地膜和牧草捆草网）在未来将继续仅作为残余废弃物处置。

500 欧盟官方公报（2008年）欧洲议会和理事会第2008/98/EC号指令，2008年11月19日，https://eur-lex.europa.eu/legal- content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN

501 法国、德国、爱尔兰、意大利和瑞典都有国家农用塑料收集计划。

A.6.2.3 废弃物管理目的地

我们假定已收集废弃物的塑料含量和含泥量将在未来保持不变。来自欧洲农业、塑料与环境协会的数据显示，在欧盟所有农用塑料废弃物类型中，已收集废弃物的平均含泥量高达41%（即，在所有农用塑料废弃物类型中，平均而言，已收集废弃物中可回收再生比率最多不超过59%）。

已收集的废弃物（包括塑料和泥土组分）要么被送去回收利用，要么被运往垃圾填埋场或焚烧厂进行残余物处置。泥土无法被回收，因此通常采用填埋法处理。对于用于回收的已收集废弃物，在分拣设施和再加工商处理时都会产生损失，因此最终的塑料回收量低于用于回收的已收集塑料量（不包含泥土）。

关于塑料废弃物处理途径的可用数据极度匮乏，而且得出这些数据的方式方法通常也没有被清晰描述。基线中的当前产率（即每吨已收集废弃物所能获得的再生材料的产量百分比）系基于欧洲塑料回收商协会（PRE）调查问卷中报告的数值。

这些数据表明，目前在欧盟已收集的农用废弃物中，温室大棚膜的平均回收利用率为70%、青贮饲料膜的平均回收利用率为50%，拉伸膜的平均回收利用率为30%，而网套、管道和绳线的回收利用率则可忽略不计。

对于从已收集废弃物中获得的再生塑料的未来产率，我们采用与收集率相类似的建模方式进行建模。我们假定，对于已有现行或拟议国家收集计划的欧盟成员国，最佳实践情景下的收集率将在7年内（强制性生产者责任延伸制计划）和9年内（自愿性生产者责任延伸制计划）实现。换言之，如果现行（或拟议）国家收集计划目前将废弃物直接送往残余废弃物处置设施或非最佳分拣和回收工艺，我们将通过建模来对其进行改进，以确保所有已收集的废弃物都将经由分拣和再加工最佳实践工艺进行回收。表A6.3中列出了最佳实践产率。

表A6.3：最佳实践产率的假设，单位：%

农用塑料类型	产率，%
温室大棚膜	30%
地膜	67%
矮拱棚膜	50%
拉伸膜	50%
青贮饲料膜	50%
无纺布网套	55%
防护网	18%
牧草捆草网	100%
灌溉管	25%
滴灌带	25%
绳线	40%
备注：“产率”是指在考虑到在分拣与再加工设施中损失的废弃物量以及直接丢弃至残余废弃物处置设施的废弃物量之后，每吨已收集废弃物所能获得的再生材料的产量百分比。	

资料来源：荷兰CEDO回收公司（欧盟大型塑料回收商）预计的专家意见（见表3-1）；数据由欧洲农业、塑料与环境协会提供

除被回收利用的废弃物之外，其余已收集的废弃物（泥土和塑料“损失”）使用填埋法和焚烧法处理，且两者所占比例相当。

《废弃物框架指令》（修订版）第10条第4款规定：[502]

> *根据第11条第1款和第22条的规定，欧盟成员国应采取措施，确保已分类收集并准备用于回收和再造的塑料废弃物不被焚烧，但根据第4条规定，对于那些通过焚烧可带来最佳环境结果的废弃物，上述规定不覆盖对此类废弃物进行后续处理时所产生的废弃物。*

就温室气体或残留物处置的空气质量折耗成本而言，焚烧不会带来最佳环境结果，因此我们假定残余废弃物将被送去填埋。我们在此基础上进一步假定，根据该条款的要求，被送去焚烧的残余废弃物（来自分类收集方案）的比例将随着时间的推移而逐渐减少，从而在实现最佳收集率目标的同时，废弃物零焚烧的目标也同步达成（见第A.6.2.2节）。

---

[502] 欧盟官方公报（2008年）欧洲议会和理事会第(EU) 2018/851号指令，2008年5月30日，https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=EN

A.7.0 政策情景影响力建模

A.7.1 场景技术参数

场景建模将在第8.0节中描述。

A.7.2 农用塑料物质流建模

我们将在以下章节中描述对农用塑料市场投放量、废弃物产生量、收集率和废弃物目的地进行建模的方法。

A.7.2.1 市场投放量/废弃物产生量

即使是在“照常”（基准）情景（参见第A.6.2.1节）下，可供预测消耗量趋势的数据也十分稀缺，而且几乎没有数据可用于评估进一步引入生产者责任延伸制计划对农用塑料消耗量的可能影响。因此，鉴于缺乏可作为估算依据的可靠数据，我们假定，消耗量的预计趋势不会因本研究所模拟的政策情景而改变（即它们与基线保持一致）。

A.7.2.2 收集率

我们采用与基线相类似的建模方式对预期收集率进行建模。如在“实施年度”推出新的生产者责任延伸制计划，则其对收集率的影响将在翌年开始生效（即如果在2023年引入新的计划，那么我们将从2024年开始对其影响力进行建模）。至于基线，我们以每年等量增加的方式对收集率进行建模，以在“目标年度”达到目标收集率。

我们假定，政策情景下模拟的生产者责任延伸制计划可涵盖塑料制品的全部范围（大多数现行计划仅适用于有限数量的塑料制品）。此外，我们还假定，参照新推行的生产者责任延伸制计划的宽广覆盖范围，预计将继续推行下去的现行生产者责任延伸制计划也会相应扩大其范围。

最后需要指出的是，现行强制性计划永远不会转变为自愿性计划，即，如果对一项自愿性生产者责任延伸制政策措施进行建模，则任何现行强制性计划都将继续推行。我们的假定依然是，如果某项计划尚未覆盖塑料制品的全部范围，则我们能将在该计划的建模中扩大其覆盖范围。

我们假定，强制性生产者责任延伸制计划的推行速度将快于自愿性计划，因为在强制性计划中鼓励生厂商参与和与生产商谈判所需的时间更少（立法要求所有生产商参与）。此外，如果已确立了具有法律约束力的收集与回收目标，生产商则很可能希望迅速动员起来，以确保不会错失实现这些目标的最佳机会。

A.7.2.3 废弃物管理目的地

我们假定，已收集废弃物中的塑料含量和含泥量的相对比例在未来保持不变。尽管农场收集方式的改进可能会降低已收集塑料废弃物的含泥量，但这种变化的程度尚不得而知，此外我们也没有对针对性政策进行建模。

我们采用与基线相类似的建模方式对在分拣与再加工设施中损失的废弃物量进行建模（见第A.6.2.3节），换言之，我们假定，对于已纳入生产者责任延伸制计划的废弃物类型，已收集废弃物的总产率将呈逐年上升态势（即损失量将会减少），并最终达到最佳实践产率。就基线而言，我们假定，改进处置方法的时间跨度将与收集率提升的时间跨度相重叠。为政策情景建模时，我们假定，最大产率将在收集率“目标年度”达成。

我们采用与基线相同的基本原理，对残余废弃物交付焚烧处理与填埋处理的分拆进行建模，即，我们假定，在生产者责任延伸制计划范围内收集并交付残余物处理的废弃物将逐渐从焚烧法处理中移转出来，并在实现最佳收集率目标的同一年实现零废弃物焚烧目标。

此外，我们还对另一个情景进行建模，在该情景中，除实施强制性生产者责任延伸制计划的要求外，政府还明令禁止露天焚烧。就这个情景而言，我们假定，以前使用焚烧法处理的废弃物现在将通过国家收集计划加以收集，即收集率将有所增长，且增长率与以前露天焚烧率相当，而且这种增长是对仅通过强制性生产者责任延伸制计划实现的收集率提升的补充。

A.7.3 经济成本

用于废弃物收集和管理的农用塑料在处理处置时会产生成本。当然，农民也可通过采用不当处置方式（通常属于违法行为），选择部分或完全规避此类成本，例如露天焚烧或倾倒，或将可收集的塑料废弃物留置在环境中。与通过有效推行的国家收集计划进行妥善管理相比，上述处置方式将导致不良环境结果。

在缺失生产者责任延伸制计划的地区，废弃物处理处置管理的成本将完全由农民承担，而生产者责任延伸制计划的功能则是将部分或全部成本转嫁给生产商。生产商当然可以选择通过抬高产品的初始价格，将因生产者责任延伸制费用而产生的部分或全部成本“转嫁给”农民。因此，如果废弃物在处理处置时并不产生额外成本（或者，相对于缺失生产者责任延伸制计划的情景仅产生较低成本，如果生产商费用仅能部分抵补废弃物管理成本——这在现行计划中属于常见情况），则农民更有可能妥善处置废弃物。

出于本研究的目的，我们对现行生产者责任延伸制费用（由生产商承担）和收集费用（由农民承担）进行了审查，以了解废弃物管理的大致净成本。如表A7.1所示，利益相关者提供了生产者责任延伸制度下每一种材料类型的生产商费用（以及在收集点向农民收取的任何费用）的信息。

表A7.1：农用塑料废弃物管理成本的数据来源

来源	所获信息
ADIVALOR	ADIVALOR生产者责任延伸制计划下的生产商费用/农民收集费，具体收费按材料类型分列
AGRA（安达卢西亚农业协会）	安达卢西亚农民处置废旧农用塑料的费用估值，具体估值按材料类型分列（安达卢西亚并未启动生产者责任延伸制计划）
英国农业、塑料与环境协会（APE UK）	英国农民处置废旧农用塑料的费用估值，具体估值按材料类型分列（英国并未启动生产者责任延伸制计划）
Consorzio di Bacino Veronia	意大利农民处置废旧农用塑料的费用估值，具体估值按材料类型分列（意大利并未启动生产者责任延伸制计划）
ECOFLER	意大利农民处置废旧农用塑料的费用估值，具体估值按材料类型分列（意大利并未启动生产者责任延伸制计划）
ERDE	ERDE生产者责任延伸制计划下的生产商费用/农民收集费。未参加生产者责任延伸制计划的德国农民处置废旧农用塑料的费用估值
绿色世界复合物公司	西班牙农民处置废旧农用塑料的费用估值，具体估值按材料类型分列（西班牙并未启动生产者责任延伸制计划）
爱尔兰农膜生产者协会	爱尔兰农用塑料废弃物填埋的费用估值。爱尔兰农膜生产者协会生产者责任延伸制计划下的生产商费用/农民收集费。
MAPLA	西班牙农民处置废旧农用塑料的费用估值，具体估值按材料类型分列（西班牙并未启动生产者责任延伸制计划）

本报告中编制的最终成本反映了农民和生产商在现行生产者责任延伸制计划中所承担的平均成本（表A7.2）

表A7.2：欧洲现行生产者责任延伸制计划下农民和生产商的代表性费用

	农民需支付的废旧塑料收集费，按其收集的农用塑料吨数计费	生产商费用（生产者责任延伸制费用），按其投放市场的农用塑料吨数计费
温室大棚膜	-	€ 30
地膜	€ 155	€ 240
矮拱棚膜	-	€ 120
拉伸膜	€ 58	€ 72
青贮饲料膜	€ 22	€ 67
无纺布网套	-	€ 133
防护网	-	€ 133
牧草捆草网	€ 93	€ 76
灌溉管	-	€ 100
滴灌带	-	€ 100
绳线	€ 1	€ 104
备注：氧化降解/生物降解塑料不予收集，因此不包括在生产者责任延伸制计划/收集费的范畴内。		

这些成本的总和（以简化方法粗略进行梳理）定义了管理一吨废弃物的净成本。在模型中，我们使用以下方法，将这些净成本（作为废弃物处理处置管理费）在农民和生产商（以生产者责任延伸制费用的形式）之间进行分配：

- **如果未制定生产者责任延伸制计划**——则没有生产者责任延伸制费用，因此全部费用由农民承担
- **现行和拟议生产者责任延伸制计划**——如果已经制定或者将在基准情景下实施生产者责任延伸制计划，则采用表A7.2所示的平均成本。
- **全新生产者责任延伸制计划**——对于政策选项建模中引入的全新生产者责任延伸制计划（以及"实施年度"后的现行计划），初期采用表A7.2中所示的费用。然后根据观察到的生产者责任延伸制费用与收集率之间的关系（即生产者责任延伸制费用将随收集率的增加而增加），调整由生产者责任延伸制费用（由生产商承担）中处理处置管理费用的比例。这是由于废弃物收集量增加，因此需生产商支付收集费/管理费的废弃物数量增加。

我们假定，在极高收集率下（即在*推行强制性生产者责任延伸制 + 参与要求*的共同作用下达到95%），废弃物管理的全部成本将由生产者责任延伸制费用支付。之后，我们根据模拟收集率和上述95%目标之间的相对差异，计算了所有时段中和所有情景下的生产者责任延伸制费用。我们应用了类似（但相反）的方法来计算农民承担的费用，即农民承担的费用将随收集率的增加而而降低，并在收集率达至95%时趋向于零。

为了比较参与生产者责任延伸制计划的农用塑料生产商承担的费用与其获得的收益，我们估算了这些生产商在欧盟获得的年收益（见表A7.3）。应当指出的是，这一分析具有很大局限性；其分析依据是一组极其有限的数据点，因此仅供参考。

表A7.3：欧盟农用塑料市场的年收入估算值（2019年）（不包括生物降解/氧化降解材料）

农用塑料类别	平均售价		2019年欧盟年销售量估值（单位：万吨/年）	2019年销售额估值（单位：百万欧元）
	（单位：欧元/吨）	来源		
温室大棚膜	€2,950	阿曼多阿尔瓦雷斯集团（Armando Alverez Group）	12.0	354
地膜	€2,055	阿曼多阿尔瓦雷斯集团、图尔库大学、北极星塑料公司（Polystar Plastics）、意大利种植者联盟（Italian growers workshop）	8.3	171
矮拱棚膜	€1,950	阿曼多阿尔瓦雷斯集团（Armando Alverez Group）	5.6	109
拉伸膜	€2,552	阿曼多阿尔瓦雷斯集团、爱尔兰农膜生产者协会	14.6	373
青贮饲料膜	€1,884	图尔库大学、爱尔兰农膜生产者协会	12.1	228
无纺布网套	€6,546	Agrintech	0.8	52
防护网	€6,546	Agrintech	0.5	33

牧草捆草网	€4,715	TAMA欧洲公司、爱尔兰农膜生产者协会	50	232
灌溉管	€2,500	无数据—估计值	20	50
滴灌带	€2,500	无数据—估计值	20	50
绳线	€1,800	TAMA欧洲公司	80	144
总计				**1,799**
备注：氧化降解/生物降解塑料不包括在生产者责任延伸制计划的范畴内，因此未被纳入本分析数据。				

A.7.4 环境影响

环境影响以气候变化外部成本和空气质量影响外部成本的形式呈现——后者考虑了对人类健康的影响。气候变化影响的外部成本数据均来自德国联邦环境署（UBA），而关于空气质量影响外部成本的假设则源自代表欧洲环境署（EEA）开展的分析。[503] 此外，我们在欧盟统计局为成员国报告的国内生产总值（单位：链式交易量）基础上应用了平减指数，将成本抬高至2020年价格。[504]

与能源使用相关的排放量数据源自于Ecoinvent电热数据库。此外，我们根据欧盟标准中所规定的限值对交通运输影响进行了建模。[505]

模型中已考虑了与产品制造、回收及残余物处理相关的影响。对产品制造和回收的影响源自Ecoinvent数据库（用于初级生产）[506] 和Gu等人的回收利用中所用能源。[507] 能源数据被用于计算回收利用的其他环境影响。

---

503 奥地利环境署（2019年）《环境成本评估方法公约3.0：成本率》（Methodological Convention 3.0 for the Assessment of Environmental Costs: Cost Rates）；欧洲环境署（2011年）《揭示欧洲工业设施造成的空气污染成本》（Revealing the Cost of Air Pollution from Industrial Facilities in Europe）

504 欧盟统计局（2020年）《国民生产总值和主要组成部分（产出、支出和收入）》（GDP and main components (output, expenditure and income)）[nama_10_gdp]，2020年9月24日访问，http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nama_10_gdp&lang=en

505 Ecoinvent数据库访问地址：https://www.ecoinvent.org/ ；交通运输排放数据访问地址：https://dieselnet.com/

506 Ecoinvent数据库访问地址：https://www.ecoinvent.org/

507 Gu F，Guo J，Zhang W，Summers P及Hall P（2017年）《从废旧塑料到工业原材料：基于真实案例研究的机械塑料回收实践的生命周期评估》（From waste plastics to industrial raw materials: A life cycle assessment of mechanical plastic recycling practice based on a real-world case study），《整体环境科学杂志》（Science of the Total Environment），601-602，第1192-1207页

残余物处理产生的排放量源自Eunomia内部处理模型，该模型是在欧洲废弃物参考模型中用来推导这些系统的环境影响的信息来源。[508]

此外，我们还考虑了露天焚烧的影响；我们假定，露天焚烧不会产生与能源相关的裨益。对气候变化的影响也来自Eunomia内部处理模型。露天焚烧对空气质量影响的数据源自各种资料来源。[509]

影响评估已考虑到被认为会加剧气候变化影响的黑碳排放，这些排放被认为会导致气候变化影响。这部分建模的主要数据来源是Bond等人（他们提供了黑碳全球变暖潜能的数据）和Reyna-Bensusan等人（他们提供了露天焚烧不同类型材料所产生黑碳的排放量数据。[510]

---

[508] 欧诺米亚 / CRI（2014年）《废弃物产生与管理建模工具的开发：附录6环境建模》（Development of a Modelling Tool on Waste Generation and Management Appendix 6 Environmental Modelling），为欧盟委员会环境总署编制的报告

[509] Cory Riverside Energy（2018年）《环境影响评估：附录E-BAT评估》（Environmental Impact Assessment: Appendix E BAT Assessment）；Liptak B（1991年）《20世纪90年代城市废弃物处理》（Municipal Waste Disposal in the 1990s）； Park Y，Kim W和Jo Y（2013年）《韩国大都市区露天焚烧生活垃圾时有害空气污染物的释放》（Release of Harmful Air Pollutants from Open Burning of Domestic Municipal Solid Wastes in a Metropolitan Area of Korea），《气溶胶和空气质量研究》（Aerosol and Air Quality Research），第13期，第1365-1372页

[510] Bond等人（2013年）《界定黑碳在气候系统中的作用：科学评估》（Bounding the role of Black Carbon in the Climate System: A Scientific Assessment），《地球物理研究杂志：大气》（Journal of Geophysical Research: Atmospheres），第118期，第5380-5552页；Reyna-Benson N，Wilson D，Davy P，Fuller G、Fowler G及Smith S（2019年）《黑碳排放因子的实验测量：评估无节制焚烧废弃物的全球影响》（Experimental measurements of Black Carbon Emission Factors to estimate the Global Impact of Uncontrolled Burning of Waste），《大气环境》（Atmospheric Environment），第213期，第629-639页

A.8.0 被否决的政策措施

根据更佳监管工具箱（Better Regulation Toolbox）中第17号工具的规定，以下政策措施在初步筛选过程后被否绝。

温室大棚膜租赁模式

温室大棚膜的平均使用寿命为3至4年。在强烈阳光下的过度暴露会导致此类塑料降解，影响其可回收性。该政策措施引入了租赁模式，以便在最佳时间去除温室大棚膜（在薄膜特性仍然有利于作物生长和薄膜特性对回收潜力产生负面影响之间求取平衡）。

该项措施被判出局的依据是对**效益和效率**的评估。进一步研究表明，如果不能每隔几年更换一次温室大棚膜，作物的生长效率和盈利能力就会降低。因此，农民已有强烈动机在温室大棚膜降解超过某个阈值之前更换膜。温室大棚膜对回收商也有有益价值，故而在某些情况下，农民会因为将膜运送到收集点而获得报酬。因此，租赁模式的额外裨益可能很低。

原生塑料生产税

对原生塑料生产征税将增加在农用塑料生产中使用原生塑料的成本，从而有助于激励生产商使用再生材料。该项措施被判出局的依据是**相称原则（proportionality）**。对原生塑料生产征税应适用于范畴更为宽广的材料，而不是仅限于农用塑料。

焚烧禁令或税收

《废弃物框架指令》第10条第4款规定，分类收集的废弃物采用焚烧处理方式。因此，已明令禁止焚烧分类收集的农用塑料。

填埋禁令或税收

明令禁止填埋农用塑料无助于刺激农用塑料收集量的提高。尽管该措施使得残余物处理选项仅剩能量回收一项，但从温室气体的角度来看，从填埋向焚烧的转型并无任何助益。虽然增加处置成本（通过垃圾填埋税）可能会使某些农用塑料的回收利用在经济上更具吸引力，但其有效性应不及建立健全具有收集与回收目标的生产者责任延伸制计划。

颁布新立法，强制要求所有生物降解地膜执行欧盟EN 17033标准

该政策措施通过引入立法，可确保只有通过EN 17033认证的生物降解地膜才能投放市场（因此，可确保所有宣称具有生物降解能力的地膜实际上确实能够生物降解）。该项措施被判出局的依据是**相称原则（proportionality）**。专门为此目的引入新的立法在政治上被认为不具可行性，特别是当有其他旨在实现相同结果但不涉及引入新立法的政策措施存在时。

鼓励使用温室大棚膜的替代材料

对于某些农用塑料（尤其是温室大棚膜），农民可使用替代材料（例如永久性钢结构/玻璃结构）。有鉴于温室大棚膜的收集率和回收利用率已经较高（温室大棚膜对回收商具有价值，因此对其分类收集存在经济诱因），一项旨在鼓励使用温室大棚膜替代材料的政策措施被淘汰出局）。

交流最佳实践和培养专业人士

农民必须意识到未能恰当管理农用塑料对环境的影响，这一点至关重要。此外，农民还应了解在清除和贮存过程中减少污染的最佳实践。
该项措施作为一项独立执行措施而被判出局的依据是**相关性原则（relevance）**；更合乎逻辑的做法应该是将上述信息作为生产者责任延伸制计划（其他拟议政策措施之一）的一部分进行宣传。

再生成分目标

可针对农用塑料设定再生成分目标，但是，此项政策未必会刺激对农用塑料回收物的需求（再生成分可从其他类型的塑料中提取），因此可能不会不会像预期中那样大幅提升对农用塑料的需求。该项措施被判出局的依据是对**效益和效率**的评估。相反，我们建议在农用塑料生产者责任延伸制计划下，再生成分可能是适当的调整标准。

A.9.0 农用塑料生产者责任延伸制计划

经合组织将生产者责任延伸制（EPR）定义为：[511]

> *“一种环境政策制度，它将产品生产者对其产品所负的责任延伸到产品生命周期的消费后阶段”。*

因此，生产者责任延伸制有可能与欧盟法律规定的污染者付费原则相一致。《欧盟运作条约》（TFEU）第191条第2款规定：[1]

> *“考虑到欧盟各地区情况的多样性，欧盟环境政策应以高水平的保护为目标。此类政策应当以预防为主，并遵循以下原则：*

---

511 经合组织（2001年）《生产者责任延伸制：政府指导手册》（Extended Producer Responsibility: A Guidance Manual for Governments）

[1] 欧盟官方公报（2012年）《欧盟运作条约合并版本》（Consolidated Version of The Treaty on the Functioning of the European Union），欧盟官方公报，2012年10月26日，访问地址：http://eur-lex.europa.eu/legal- content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:12012E/TXT&from=EN

应采取防范措施，优先从源头上预防和控制对环境的破坏，并要求污染者承担费用。”[512]

在欧盟成员国和欧盟以外的其他国家，一系列旨在扩大农用塑料生产者责任的措施已经到位。但是生产者责任延伸制计划可采用多种形式，因此可表现出不同的设计特征，并提供不同的绩效水平。有鉴于此，掌握成效显著的计划的特征至关重要。在以下章节中，我们将回顾现行计划的一些重要特点，以厘清关键的设计原则。为此，我们考虑了自愿性和强制性生产者责任延伸制的相对优点，并注意到在自愿性计划框架下实现高收集率的固有挑战。

A.9.1 关键设计原则

A.9.1.1 总成本覆盖范围

在生产者责任延伸制下，原则上，生产商费用应可抵补农用塑料产品生命周期的全部净成本（即收集、运输及处理成本），并且这些成本应预先抵补。我们在表A9.1中审查了四个现行计划中上述预期实现的程度。

表A9.1：总成本覆盖范围[513]

计划	总成本覆盖范围
ADIVALOR	对于大多数产品类型，生产商费用确实反映了生命周期评估管理的全部净成本。地膜/料板塑料片属于例外情况：对于此类塑料废弃物，生产商费用并未设定在一个能够反映真实生命周期评估管理成本的水平，因为人们担心这或可导致投机取巧行为的蔓延滋长。为了弥补资金短缺之困，农民必须在收集点缴纳一项从量计征的税费，税率为每吨地膜/料板塑料片155欧元（但如果农民可以通过科学分析来证明其废弃物的脏污率小于50%，则可享受折扣）。[514] 随着时间的推移，该计划将逐渐提高地膜/料板塑料片的生产商费用，目的是预先抵补全部生命周期管理净成本（见图A9.1）。

512 补充强调
513 对ADIVALOR、ERDE、爱尔兰农膜生产者协会及SvepRetur的采访
514 2020年，折扣率在每吨105欧元至60欧元之间，具体因材料的不同而异。

计划	总成本覆盖范围
ERDE	生产商费用被用于激励业经ERDE认证的独立收集点，收集点每收集和回收一吨合格农用塑料都可获得相应奖励。据估计，这些生产商费用大约涵盖了青贮饲料膜和牧草捆草网的处理处置管理成本的30-40%。 其余60-70%的成本则由收集点向农民收取的费用来弥补。这些费用由收集点自行设定，因此可能会因收集点的不同而异（在某些情况下，收集点将收回薄膜视作其服务的一部分并承担费用）。
SvepRetur	生产商在向农民开具农用塑料销售发票时会向农民征收一笔税费。税款经累积后，会以每年两次的频率转给SvepRetur。该笔税费用于为SvepRetur的管理提供资金并可抵补收集承包商的费用。一旦收集到农用塑料，承包商将保留农用塑料的所有权，并负责其处理处置。该计划不会在收集点向农民收取费用。
爱尔兰农膜生产者协会	生产商需要为其投放市场的农用塑料支付一笔固定费用，费率为每吨140欧元。据估计，生产者缴纳的资金可抵补爱尔兰农膜生产者协会大约70%的成本（管理、营销、收集、运输、回收等）。 其余30%的成本则由农民承担。针对青贮饲料缠绕膜/青贮料板塑料片，废品回收站会向农民收取每吨40欧元的费用，如果前往农居宅院收集，则会向农民收取每吨90欧元的费用。对于网套和绳线，废品回收站会向农民收取每半吨5欧元的费用。[515]

如表A9.1所示，在现行农用塑料生产者责任延伸制计划中，生产商费用并不总能预先完全抵补管理成本。在某些情况下，农民必须在收集点支付从量计征的收集费，以补充生产商费用。其背后的核心驱动力包括：

1) 希望避免生产商因过高的生产商费用而放弃参与该计划（这是自愿性计划所独有的问题，因为在强制性计划中，生产商没有是否参与的选择权）。通过在生产商和农民之间分摊管理成本，可以降低这一风险。
    - 应当指出的是，就农用塑料而言，全部净成本可能占产品价值的很大比重。例如，据爱尔兰农膜生产者协会估计，每吨140欧元的生产商税约占青贮饲料缠绕膜零售价的4-5%，而据ADIVALOR估计，

[515] *常见问题解答*，2020年5月4日访问，https://www.farmplastics.ie/faq/

生产商税最高可占产品零售价的10%（即对于地膜而言）。[516,517] 相比之下，对于包装生产者责任延伸制计划，相对于消费者所购物品（产品+包装）的价值来说，全部净成本通常要低得多。因此，农用塑料生产商可能对生产商费用的数额特别敏感。

2) 在收集点向农民收取从量计征的收集费还可激励农民减少污染，从而降低与后续相关运输/处理成本。自愿性和强制性计划都是如此。

尽管农民必须在收集点支付费用的原因有其合理性，但是这一概念有悖于生产者责任延伸制计划的核心设计原则，即，生产商承担产品后续管理成本，而且这一成本应被预先抵补。在收集点向农民收取费用也有可能成为一种经济上的制约因素，阻碍农民通过该计划交还其农用塑料制品，从而导致管理不善等问题的滋生（例如，就地焚烧农用塑料）。

另一个值得探究的替代方案是，可以考虑实施一种先征后退制度（先征税后返还），将与某一假定脏污程度相关的成本纳入生产商费用中，如果农民所交付塑料废弃物的脏污率低于该阈值，农民就可获得返款。这种机制不需要农民在收集点支付任何费用，因此实际上可以激励农民参与计划（因为如果农民交还的塑料脏污程度较低，他们就有机会获得返款）。但这一替代方案的复杂性在于，我们很难直观地评估任何农用塑料的脏污率（例如，水分含量极高的薄膜也会显得很干净），因此需要进行一定程度的科学分析，但会因此产生额外的成本。ADIVALOR通过将这一责任落在农民身上而解决了这一矛盾，即，如果农民认为其农用塑料低于脏污阈值，他们就有责任要求进行科学分析。如果分析结果表明确实如此，则生产者责任延伸制计划将支付分析费用（并提供返款），但如果分析结果并非如此，则农民应承担分析费用。

A.9.1.2 按农用塑料产品类型划分的成本分摊

原则上，生产商费用应该因产品类型的不同而异，以反映管理成本的变化（例如，地膜管理比温室大棚膜管理要昂贵得多）。这是一种公平的方法，可避免销售一种农用塑料的生产商补贴其他类型农用塑料的管理成本。表A9.2详细列明了现行方案中采用的方法。

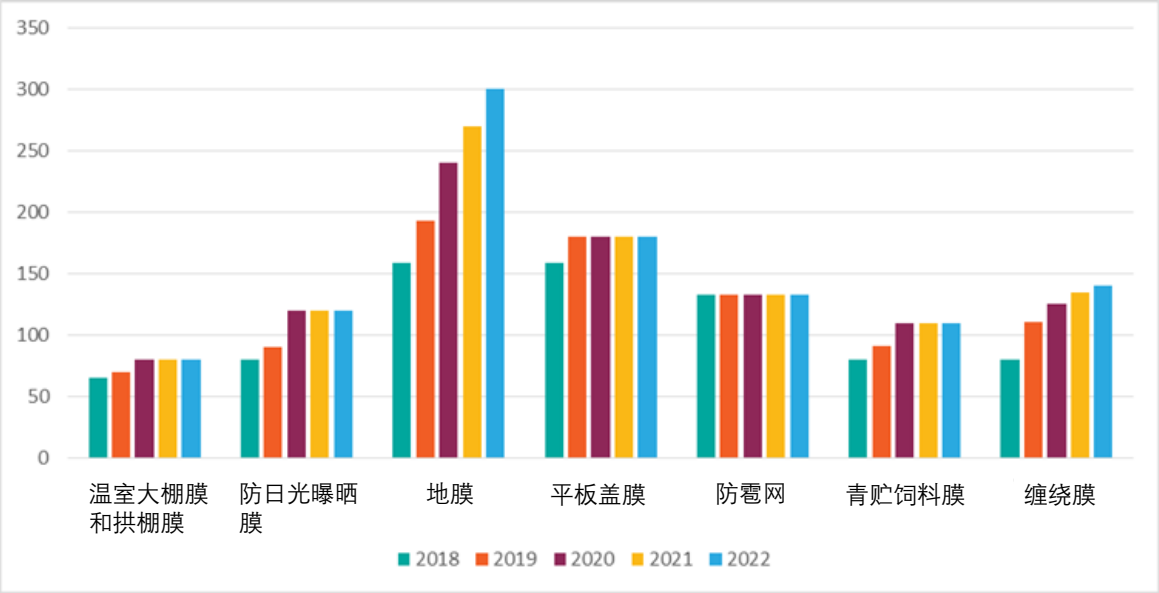
---

516 对IFFPG的采访
517 对ADIVALOR的采访

表A9.2：按产品类型分列的生产商费用变化[518]

计划	费用
ADIVALOR	生产商费用因产品类型的不同而异，以反映最终管理成本。2020年费用从温室大棚膜和拱棚膜的每吨80欧元到地膜的每吨240欧元不等（详见图A9.1 ）。应当指出的是，地膜生产商费用并没有反映全部管理成本——农民还需要在收集点缴纳每吨155欧元的税费。
ERDE	生产商费用因产品类别的不同而异，以反映不同的管理成本。目前有两大产品类别：1）青贮饲料膜和青贮拉伸膜；2）牧草捆草网。
SvepRetur	生产商费用因产品类别的不同而异，以反映不同的管理成本。[519]
爱尔兰农膜生产者协会	生产商费用不会因产品类型的不同而异。目前针对青贮饲料缠绕膜、青贮料板塑料片、网套和绳线征收每吨140欧元的固定费用。爱尔兰农膜生产者协会正在考虑在不久的将来引入不同费用标准，以反映未来的管理成本。

图A9.1：ADIVALOR——生产商费用（2018年至2022年）



资料来源：ADIVALOR

在大多数情况下，现行计划确实会根据产品类型的不同而收取不同的生产商费用，以反映不同的管理成本并避免交叉补贴。值得关注的是，最接近

---

518 对ADIVALOR、ERDE、爱尔兰农膜生产者协会及SvepRetur的采访

519 2020年费用完整列表的访问地址：http://svepretur.se/wp-content/uploads/Recycling-fees-2020- 3.pdf

强制性举措的爱尔兰计划是一种不按产品类别而改变生产商费用的计划，[520] 尽管网套和绳线的处理处置成本远高于青贮饲料缠绕膜/青贮料板塑料片（网套和绳线目前采用焚烧法处理，因为该计划无法找到回收承购商）。爱尔兰《农用塑料条例》仅在2017年进行了修订，将网套和绳线生产商纳入条例；以比青贮饲料缠绕膜/青贮料板塑料片生产商更高的生产商税率将网套和绳线生产商纳入条例被视为一种“强硬推销”手段。此外，由爱尔兰农膜生产者协会收集的网套和绳线量仅占这两类产品市场投放量的约18%，因此生产商税和农民收集费（每半吨袋5欧元）这两项收入足以抵补已收集废弃物的管理成本。随着收集率的提高，爱尔兰农膜生产者协会重新审视网套和绳线废物的融资模式，并正在考虑在未来引入更细化的收费结构。[521]

A.9.1.3 生产者参与度

生产者责任延伸制计划应该以100%生产商参与率为目标。与自愿性计划相比，强制性计划似乎更有可能实现较高参与度。顾名思义，高水平的生产商参与率有助减少投机取巧者的人数（尽管以少报瞒报市场投放商品的方式进行投机取巧的可能性依然存在）。高水平的参与率也有助于实现高质量的数据收集（见第A.9.1.5节）。我们将在表A9.3中概述四个现行计划的生产商参与度。

表A9.3：生产商参与度[522]

计划	生产商参与度
ADIVALOR	据ADIVALOR估计，该计划覆盖了法国农用塑料市场投放量的98%。目前尚不清楚生产商参与率随时间动态演化的情况。
ERDE	据ERDE估计，德国85–95%的拉伸膜/青贮饲料膜生产商[523] 参与了该计划。德国花费数年时间方才达到这一水平；该计划最初只有4家生产商参加，现在已覆盖50家生产商。

520 根据《农用塑料条例》，特定农用塑料的生产商必须通过提供抵押返还方案来直接参与从客户手中回收农用塑料废弃物，或参与爱尔兰农膜生产者协会运营的收集/回收计划。目前所有生产商都选择参与爱尔兰农膜生产者协会。

521 对爱尔兰农膜生产者协会的采访

522 对ADIVALOR、ERDE、SvepRetur及爱尔兰农膜生产者协会的采访

523拉伸膜/硅胶是该计划规管的主要农用塑料产品。

计划	生产商参与度
SvepRetur	据SvepRetur估计，该计划的生产商参与率已接近100%，并且自该计划于2002年启动以来一直如此（瑞典农用塑料市场上的所有大公司都参与了该系统的建立）。
爱尔兰农膜生产者协会	生产商必须参与爱尔兰农膜生产者协会，除非他们选择向其客户提供抵押返还方案。但截至目前，尚无生产商选择抵押返还方案。据估计，合规率在90-95%之间变动（大多数不合规情况发生在边境地区，在那里，从北爱尔兰运来的产品并在没有征收关税的情况下进行销售）。

现行农用塑料生产者责任延伸制计划似乎实现了高参与率。这在“强制性”爱尔兰计划的预料成果，因为所有生产商都必须依法参与计划（如果生产商不能提供抵押返还方案），并且为确保这一点，监管和执法手段均已落实到位。相比之下，如果自愿性计划失败，则自愿性计划实现的高生产商参与率可能与立法实施的威胁至少部分相关。所有自愿性计划都已与政府达成协议，以实现特定的收集/回收利用率目标：

- ADIVALOR已与法国政府签订框架协议，协议内容包括回收利用率目标（塑料薄膜回收利用率为84%；网套和绳线回收利用率为50%）；
- ERDE自愿承诺不断提高青贮饲料膜和拉伸膜的收集率，到2021年达50%，到2022年达65%（已收集的所有青贮饲料膜和拉伸膜都将被回收）。[524]
- ESvepRetur的目标是农用塑料收集率达70%，在农用塑料收集量中回收利用率至少达到30%的水平。

目前尚不得而知，如果没有这些目标并且没有立法实施的威胁，一项自愿性计划将如何实现较高生产商参与率。

自愿性计划倘想实现100%的生产商参与率，很可能会面临更大的挑战，因为自愿性计划通常力求达到更高的收集率（以及更高的回收利用率）。这是因为随着收集率的提高，投放到市场上需要征税但却未被收集并因此对自愿性计划产生零成本的产品比例会越来越小。这些税费基本上贴补了通过该计划交还的材料管理成本，因此随着收集率的提高，生产商费用可能会上涨，从而更接近于真正的处理处置管理成本。

高水平的生产商参与率很重要，因为它能最大限度地防止投机取巧的倾向。在农用塑料生产者责任延伸制计划中，投机取巧的倾向可能很大，

524 https://www.plasteurope.com/news/AGRICULTURAL_FILMS_RECYCLING_t242812/

因为一旦一款农用塑料产品被购买并被使用，通常无法确定该产品来自哪个生产商，因此也无法确定该产品是否已缴纳了税费。这增加了未缴税就投放市场的产品通过该计划收集点被交还的风险。

其他自愿性生产者责任延伸制计划（例如德国针对农药包装和化肥包装推行的PAMIRA计划），已通过在所有参与生产商的产品包装上印制标志，解决了投机取巧问题：收集点仅接收印有此标志的包装。然而，这不一定是农用塑料的解决方案，对于薄膜、网套和绳线尤其如此，因为在这些产品贴上使用后仍易于识别的标志是不切实际的期望。爱尔兰农膜生产者协会采取了不同手段：农民在购买已征税的塑料制品时会收到一个6位数代码，该代码允许农民以超低费率支付收集费。因此，农民有动力避免从北爱尔兰边境购买未征税的塑料制品。

A.9.1.4 农民参与度

理想情况下，农用塑料生产者责任延伸制计划应实现100%的农民参与率。我们在表A9.4中比较了现行计划的农民参与率估算值和收集率。

表A9.4：收集率[525]

计划	农民参与情况	收集率
ADIVALOR	无从统计—假定参与率较高	2019年平均收集率为67%。收集率按产品类型可进一步细分如下： • 农用薄膜：77% • 牧草捆草网和绳线：41% • 防雹网：31% • 柔性灌溉管：76%
ERDE	ERDE没有收集农民参与该计划的百分率。	2019年拉伸膜和青贮饲料膜的回收率约为37%。
SvepRetur	据SvepRetur估计，至少有95%的农民参与了该计划。	据SvepRetur估计，2018年，瑞典农用塑料市场投放量中（包括包装）有大约92.5%被收集。

525 对ADIVALOR、ERDE、SvepRetur及爱尔兰农膜生产者协会的采访

计划	农民参与情况	收集率
爱尔兰农膜生产者协会	据爱尔兰农膜生产者协会估计，爱尔兰65-70%的畜牧业养殖户使用该计划（这并不意味着每位养殖户每年都使用该计划，但农民在已储存足够量塑料时会参与该计划）。 有多个独立收集商独立于爱尔兰农膜生产者协会运作，未参与爱尔兰农膜生产者协会的农民可能使用了这些计划。	2019年收集率按产品类型可进一步细分如下： • 青贮饲料缠绕膜/青贮料板塑料片：79% • 网套和绳线：18%

生产者责任延伸制的一些设计特点可能会增加农民全员参与计划的可能性：

- 确保用生产商费用预先抵补全部净成本，这样农民就无需在收集点支付作出财政捐助。
- 要求农民履行依法强制参与义务。目前正在运作中的所有计划都不强制要求农民参与，农民可以选择使用替代性处理处置管理方案（例如，使用私营废弃物管理公司，但这些公司目前可能会采取填埋法或焚烧法处理塑料）。

A.9.1.5 数据质量

为了有效监察和评估生产者责任延伸制计划的绩效，需要全面收集可交付外部验证的高质量数据。我们在表A9.5中概述了现性生产者责任延伸制计划中数据收集方式和管理方法的详细信息。

表A9.5：数据收集方式和管理方法

计划	数据收集方式和管理方法
ADIVALOR	无从统计

计划	数据收集方式和管理方法
ERDE	ERDE收集以下数据： a) ERDE成员在德国市场的产品投放量：该数据由一家受托公司（在ERDE计划中为税务审计员）负责收集，该公司有义务对所有数据保密。 b) 产品收集量和回收量：所有收集点必须将其收集量信息连同相应文件一起发送给RIGK。该文件包括处理处置管理过程的所有称重记录和最终回收厂的回收声明。ERDE仅接受文件的前提是，收集和回收作业必须在RIGK已知且已审计的欧洲工厂中完成。只有在文件正确且完整的情况下，ERDE才会向收集点支付奖励。
SvepRetur	SvepRetur收集以下数据： • SvepRetur成员在瑞典市场的产品投放量：生产商在一个在线门户网站上申报其每季度销售的产品种类/数量。 • 产品收集量：收集商提供重量信息/货运文件。 • 产品回收量：从回收厂收集回收数据 SvepRetur通过随机走访申报人并检查其记账本来验证数据。此外，SvepRetur还随时监控数据中可能发现的任何异常值。
爱尔兰农膜生产者协会	爱尔兰农膜生产者协会通过要求生产商在其投放市场的每个产品托盘上贴上唯一的标签代码，以收集爱尔兰农用塑料市场的详细信息。此标签代码沿供应链传递给农民。当农民在收集点处如果出示该标签代码，则将有权以更低费率支付收集费。爱尔兰的所有生产商都是爱尔兰农膜生产者协会的成员，因此爱尔兰农膜生产者协会自信地认为，通过该计划，它可以全面了解投放市场的产品和被回收的产品。 对于农民，爱尔兰农膜生产者协会可以识别农民购买的产品，必要时还可识别的产品购买的产品数量。 爱尔兰农膜生产者协会还可以通过将某郡客户数量与中央统计办公室列出的畜牧业养殖户数量进行对比来确定农民服务采用率相对较低的郡。通过更频繁地投放更多广告和设置更多周末废品回收站，它可以利用这些信息来定位这些地区的农民。

对于每一种主要产品类型来说，至少应收集以下数据，以便计算收集率和回收利用率，并评估各项目标的实现情况：

- 市场投放量（吨数）；
- 废弃物收集量（吨数）；
- 废弃物回收利用量（吨数）；

在自愿性生产者责任延伸制计划下，只有参与计划的生产商才有义务申报其农用塑料的市场投放量（吨数）。因此，除非所有生产商都已参与计划，否则就存在低估（或高估）农用塑料市场投放量的风险，从而错误计算废弃物收集率。但是规定所有生产商都必须参与的强制性计划则可将此种风险降至最低。

更详细的数据收集更为可取，而爱尔兰计划即是如此。在理想情况下，应该采用一种有效方法来记录出售给每个农场的农用塑料制品数量和类型以及每个农场交还的农用塑料制品数量和类型（物料平衡法）。这些信息将使生产者责任延伸制计划的运营商能够发现数据中隐藏的趋势，并识别农民似乎没有参与该计划的地区。这些数据还可以为其他政策措施提供支持（例如要求农民参与某项农用塑料收集计划或禁止焚烧农用塑料的禁令）。

A.9.1.6 生产者责任延伸制设计总结

概言之，农用塑料生产者责任延伸制的最佳实践方案应致力于实现/纳入如下各项关键设计原则：

- 生产商费用应可抵补产品生命周期管理的全部净成本（即收集、运输及处理成本），并且这些成本应预先抵补。这样就可以避免在收集点向农民收取额外费用，因为此类收费可能会打消农民参与计划的积极性。
- 在没有向农民收取从量计征的收集费的情况下，需要采用另一种方式来激励农民减少污染。这可以是实施一种先征后退制度（先征税后返还）。这种制度将与某一假定脏污程度相关的成本纳入生产商费用中，如果农民所交付塑料废弃物的脏污率低于该阈值，农民就可获得返款。
- 生产商费用应该因产品类型的不同而异，以反映不同农用塑料之间处理处置及管理成本的差异。此外还应避免出现交叉补贴的情况。
- 生产者责任延伸制计划应该以100%生产商参与率为目标。高水平的参与率对于实现高收集率、最大限度地防止投机取巧倾向（农用塑料生产者责任延伸制计划的特殊风险），以及获得产品市场投放量的准确数据都至关重要。
- 生产者责任延伸制计划应该以100%农民参与率为目标。
- 数据收集工作应努力实现全方位、高质量和历经验证的目标。在理想情况下，应该建立一个有效系统来追踪出售给每个农场的农用塑料制品数量和类型以及每个农场交还的农用塑料制品数量和类型等数据。

A.9.2 生产者责任延伸制计划实施的时间安排

据欧洲农业、塑料与环境协会称，实施一项覆盖所有产品和地区的成熟型农用塑料生产者责任延伸制计划通常需要3至5年时间。我们在图A9.2中概述了该过程所涉及的各个关键阶段——从准备到实施。为此，我们特别援引了英国自愿性生产者责任延伸制计划构建的实例。

图A9.2：ADIVALOR—生产商费用（2018年至2022年）

实施计划的一项关键要素是鼓励利益相关者（生产商、贸易商、合作社）积极参与，从而为计划的实施提供支持。这对于自愿性计划尤其重要，如果没有生产商给予一定程度的支持，自愿性计划就无法成功运作。作为一项概略性指南，英国农业、塑料与环境协会建议，启动国家级农用塑料生产者责任延伸制计划的门槛是参与计划的生产商至少覆盖80%的产品市场投放量（如果覆盖率低于80%，则市场竞争扭曲的风险就会过高）。之前英国曾尝试推行一项自愿性农用塑料生产者责任延伸制计划，但是由于缺乏足够的生产商参与度，最终以失败告终。[526] 应当指出的是，大多数成员国的大型农用塑料生产商都是相同的，因此，随着时间的推移，同时随着生产商对此类计划的熟悉度和接受度愈来愈高，全新国家计划的启动过程有望变得更为顺畅。

526 对英国农业、塑料与环境协会的采访