



欧洲委员会科学咨询机制 (SAM)

开放环境中 塑料的生物可降解性

首席科学顾问小组 (SAM)
科学意见第10号, 2020年12月

独立
专家
报告



科研与创新

欧洲委员会

首席科学顾问小组——科学咨询机制，欧洲科学与新技术伦理小组
为政策制定所提交的独立科学意见

开放环境中 塑料的生物可降解性

首席科学顾问小组
科学意见第 10 号， 2020 年 12 月
(由欧洲科学院政策科学顾问委员会 8 号报告提供信息)

2020 年 12 月 14 日，布鲁塞尔

科研与创新总司

目录

鸣谢	7
执行摘要.....	8
一、引言和背景.....	10
1.1. 意见背景.....	10
1.2. 塑料污染和生物可降解塑料.....	10
1.3. 政策背景.....	11
1.3.1 《欧洲环境中塑料废弃物战略绿皮书》(2013 年).....	11
1.3.2 《欧洲循环经济中的塑料战略》(2018 年)	11
1.3.3 《塑料循环经济报告》(2019 年).....	12
1.3.4 《循环经济行动计划实施情况报告》(2019 年)	12
1.3.5 《关于减少某些塑料制品对环境影响的指令》(2019 年)	13
1.4. 科学背景.....	13
1.4.1 塑料的定义.....	13
1.4.2 生物可降解塑料和生物基塑料	13
1.4.3 塑料的生物降解.....	14
1.4.4 生物降解的促成因素.....	15
1.4.5 开放环境.....	16
二、建议.....	17
2.0 将生物降解性定义为一个系统属性，并将材料特性和特定的环境条件纳入到考量范围	17
2.1 将生物可降解塑料在开放环境中的使用限定在某些特定场景，即无法被减量使用、重复利用和回收利用的场景.....	17
2.1.1 在考虑生物降解之前，优先考虑塑料的减量使用、重复利用和回收利用 . 17	
2.1.2 限制生物可降解塑料在开放环境中，尤其是在是无法实现回收的开放环境中的使用.....	18
2.1.3 生物可降解塑料不应成为废弃物管理不当或乱扔垃圾的解决方案	18
2.2 支持开发连贯的标准对开放环境中塑料的生物可降解性进行测试和认证	19
2.2.1 支持制定测试和认证计划，评估在特定开放环境中使用生物可降解塑料的实际生物降解情况.....	19
2.2.2 要求进行实验室和模拟环境条件下生物可降解塑料应用的生物降解测试 . 20	
2.2.3 要求评估生物可降解塑料在特定开放环境条件下的生物降解和环境风险 . 20	
2.2.4 支持制定一份材料目录，并注明这些材料在各种环境中的生物降解率... 20	
2.3 向有关用户群体提供准确信息告知生物可降解塑料相关特性、恰当使用及其局限性	21
2.3.1 发动和支持信息宣传，以应对当前生物塑料问题上的混乱局面.....	21
2.3.2 支持制定明确、有效的欧盟标签标准，并将其 a) 提供给最终用户和消费者，以确保在开放环境中正确使用和处理生物可降解塑料；另外，b) 也提供给制造商和供应商，以确保沿着价值链准确地传递信息.....	21

附件 1 – 方法	23
附件 2 – 范围界定文件.....	24
附件 3 -咨询专家和利益攸关方代表名单.....	29
附件 4 - 参考文献.....	31

首席科学顾问小组成员

	Nicole Grobert 主席 牛津大学材料系纳米材料学教授
	Carina Keskitalo 于默奥大学地理系政治学教授
	Éva Kondorosi 塞格德匈牙利科学院英才中心 植物生物学研究所研究主任
	Maarja Kruusmaa (2020年11月16日后) 塔林技术大学(TalTech)仿生机器人学教授, 研究副校长
	Alberto Melloni (2020年11月16日后) 摩德纳雷焦艾米利亚大学基督教史教授, 博洛尼亚大学宗教多元主义与和平系主任
	Nebojsa Nakicenovic (2020年11月16日后) 2050年世界项目(TWI2050)主任, 国际应用系统分析研究所(IIASA)代理所长
	Paul Nurse 副主席 伦敦弗朗西斯-克里克研究所所长

前首席科学顾问小组成员

	<p>Pearl Dykstra（至 2020 年 11 月 15 日） 前副主席 鹿特丹伊拉斯姆斯大学社会学教授</p>
	<p>Elvira Fortunato（至 2020 年 11 月 15 日）新里斯本大学 科技学院材料科学系教授。</p>
	<p>Rolf-Dieter Heuer（至 2020 年 11 月 15 日） 前主席 欧洲核子研究中心（CERN）前总干事</p>

鸣谢

应前欧盟环境、海洋事务和渔业委员卡梅努·维拉（Karmenu Vella）在容克领导的委员会期间提出的请求，首席科学顾问小组通过了此份有关《开放环境中塑料的生物可降解性》的科学意见，并呈交给冯德莱恩委员会的继任者 Virginijus Sinkevičius 委员。

负责编写本意见的科学顾问是 Nicole Grobert（牵头人兼专家组主席）和 Rolf Heuer（前主席）。Pearl Dykstra（前副主席）和 Elvira Fortunato 在 2020 年 11 月之前亦为科学顾问小组成员。科学顾问小组谨此感谢加拿大首席科学顾问 Mona Nemer 对这一主题的合作，这也是双方自 2019 年开始的关于《微塑料污染的环境和健康风险》科学意见持续合作的一部分。

科学顾问小组亦要感谢在编写本科学意见过程中给予我们大力支持和意见的众多人士，他们包括/来自以下机构：

- 欧洲科学院政策科学顾问委员会（SAPEA）提供了一份证据审查报告，该报告是在 SAPEA 工作组主席 Ann-Christine Albertsson 的领导下，由 SAPEA 工作人员 Louise Edwards 提供协助，并在 SAPEA 理事会成员 Ole Pedersen 的鼎力支持下编写完成的；
- 欧洲委员会环境总司（Silvia Forni 和 Werner Bosmans）和联合研究中心（Birgit Sokull-Klüttgen）；
- 欧洲委员会支持小组包括：RTD.03 处（科学咨询机制处）（Alessandro Allegra、Blagovesta Cholova、Jacques Verraes、Ingrid Zegers、Annabelle Ascher、Daniel Braakman 和 Dulce Boavida）及科学咨询机制处其他工作人员；
- 附件 3 列明的所有专家，在工作过程中皆以不同方式提供了咨询或做出了贡献。

执行摘要

有关《开放环境中塑料的生物可降解性》的科学意见旨在支持欧洲委员会环境总司的工作。编写该意见的目的，是为委员会即将出台的有关生物基、生物降解和可堆肥塑料的政策框架提供信息，并帮助确定该领域中主要挑战和所需的政策行动。该意见是在 2019 年发布的[《微塑料污染的环境和健康风险》](#)科学意见中的某些建议的基础上形成的。

2018 年的《欧盟塑料战略》中对生物可降解塑料（BDP）的使用提出了一种审慎的方法。虽然它承认，生物可降解塑料的某些有针对性的使用已经展现出一些好处，但同时也确定了一些挑战，并指出“必须确保向消费者提供清晰准确的信息，并确保生物可降解塑料不会仅被当做一种应对乱扔垃圾问题的方法”。此外，还“应确定具有明显环境效益的使用（以及此类使用的标准），在这种情况下，委员会应考虑采取措施，刺激创新并推动市场朝着正确的方向发展”。

范围界定文件中提出的任务要求首席科学顾问小组调查以下问题：“从科学角度和生命周期角度出发，对于适用于陆地、河流或海洋环境中可生物降解的塑料而言，并考虑到废弃物层级管理和循环经济方法，这种对环境有益的塑料与不可生物降解的塑料相比，有哪些适应的标准和相应的应用？”

以下建议是欧洲科学院联盟根据欧盟“地平线 2020”计划资助的 SAPEA 拨款协议，对科学文献和相关证据进行广泛审查后提出的。在本意见中，塑料的生物降解是指在足够短的时间内，将其所有有机成分转化为二氧化碳（CO₂）（或在无氧条件下转化为二氧化碳和甲烷）、新的微生物量和无机盐，而不会在开放环境中造成持久危害或积累的微生物转换过程。在这里，“开放环境”一词（相对于受控环境）指的是包括农业和城市环境在内，对影响生物降解的条件没有或仅有最低限度控制的任何环境。它不包括有管理的废弃物系统，如工业堆肥设施等。

建议 0:

将生物降解性定义为一个系统属性，并将材料特性和特定的环境因素纳入考量范围。

建议 1:

将生物可降解塑料在开放环境中的使用限定在某些特定领域中，即那些不可以被减量使用、重复利用和回收利用的使用领域。

1.1 在考虑生物降解之前，优先考虑塑料的减量使用、重复利用和回收利用。

1.2 限制生物可降解塑料在开放环境中的使用，尤其是那些无法实现回收的环境中。

1.3 不要将生物可降解塑料作为不当废弃物管理或乱扔垃圾的解决方案。

建议 2:

支持开发开放环境中塑料生物降解的连贯测试和认证标准。

2.1 支持制定测试和认证计划，评估在特定开放环境中使用生物可降解塑料的实际生物降解情况。

2.2 要求进行实验室和模拟环境条件下生物可降解塑料使用的生物降解测试。

2.3 要求评估生物可降解塑料在特定开放环境条件下的生物降解和环境风险。

2.4 支持制定一份材料目录，并注明这些材料在各种环境中的生物降解率。

建议 3:

向有关用户群体提供生物可降解塑料相关特性、恰当使用和处置及其局限性的准确信息。

3.1 发动和支持信息宣传，以应对当前对生物基塑料、可堆肥塑料和生物可降解塑料的错误观念和混乱局面。

3.2 支持制定明确、有效的欧盟标签标准，并将其 a) 提供给最终用户和消费者，以确保在开放环境中正确使用和处理生物可降解塑料；另外，b) 也提供给制造商和供应商，以确保沿着价值链准确地传递信息。

一、引言和背景

1.1. 意见背景

本意见旨在支持欧洲委员会环境总司的政策制定，并通过帮助确定该领域的主要挑战和所需政策行动，为即将出台的欧洲委员会有关生物基、生物降解和可堆肥塑料的政策框架提供信息。委员会赞同我们在 2019 年 12 月发布的范围界定文件中提出的方法（见附件 1）。

本意见重点关注**开放环境**中生物可降解塑料的应用。因此，在受控条件下的可堆肥塑料不在本意见的讨论范围之内。在本意见中，“开放环境”（相对于受控环境）指的是包括农业和城市环境在内，对影响生物降解的条件没有或仅有最低限度控制的任何环境。它不包括受管制的废弃物系统，如工业堆肥设施等。

本意见的内容主要来自欧洲科学院政策科学顾问委员会(SAPEA)的评审报告(SAPEA 2020)，该报告就塑料在开放环境中生物降解性的相关最新科学证据和知识进行了系统和独立地综合评价，并从自然、社会和行为科学等角度进行了归纳。作者们还就塑料在开放环境中生物降解性的具体细节，查阅了进一步文献，以及相关政策和灰色文献，以作为对上述 SAPEA 评审报告的补充。三个方面的科学证据的仍然是稀少和不完整的，这包括 (a) 开放环境中生物可降解塑料相关使用的测试和认证；(b) 对当前和潜在使用情况的评估，以及(c) 用户的态度和行为。因此，我们强调，要制定本科学意见建议所述的生物可降解塑料使用的相关政策，仍然需要进一步的证据和研究。

1.2. 塑料污染和生物可降解塑料

当前，全球对塑料等极为耐用、轻便和用途广泛的材料的需求不断增加，随之而来的是开放环境中塑料废弃物的数量不断增加，从而对陆地和海洋生态系统造成危害和污染(SAPEA, 2020 年, 第 18 页)。例如，最新研究表明，2020 年全球塑料总质量已达 80 亿吨，是当今活生物量的两倍(Elhacham, 2020 年, 第 3 页)。

塑料可能会基于各种原因进入到开放环境中。对于大多数塑料来说，预期的报废情景(end-of-life scenario)应该是在对废弃物管理过程中进行处置，如果情况允许，还可以使其回收或制成堆肥。然而，这些原本应该进入到有管理的废弃物系统中的塑料在其寿命终结时，可能会从这些系统中逃脱，或由于处置不当或乱扔垃圾而进入到开放环境中。

另一方面，对于某些塑料的使用而言（例如农业中用于保护某些作物的塑料），其设计初衷就是在开放环境中使用。损耗可能是由于其使用的内在属性造成的，例如，用于保护渔具的多利绳(dolly rope)的磨损，或烟花在露天燃放后产生的碎片等。最后，还有一些塑料制品（例如渔具）在开放环境中正常使用时，（部分）损耗被认为是不可避免的。虽然从环境中回收再利用或再循环可能更可取，但对于其中一些情况来说，这样做要么根本不可能，要么代价过于高昂（见 2.1.2）。

有人提议，将生物可降解塑料作为解决塑料污染问题的一种潜在方案。然而，与传统塑料相比，其环境效益仍需仔细评估。据报道，2019 年全球生物可降解塑料的产能为 117.4 万吨，仅占约 3.6 亿吨塑料总产能的 0.3% (PlasticsEurope, 2019)。预计在未来几年，生物可降解塑料的产量将继续增加，延续近年来观察到的趋势。

1.3. 政策背景

当前，更好地管理塑料废弃物，以避免其污染陆地和海洋生态系统已成为全球共识。特别是，人们认识到，海洋环境中的塑料垃圾已成为一个全球性问题，需要通过教育、废弃物清理和研究来解决 (G7 峰会, 2015 年, 第 19 页)。同样地，2015 年，联合国发布了一份可持续发展目标清单，强调了改善废弃物管理和回收利用的必要性 (联合国, 2015 年, 第 13 页)。虽然在这一全球背景下，可生物降解和可堆肥塑料的作用尚未完全明确，但欧洲委员会在 2019 年 12 月关于《欧洲绿色新政》的通告中表示，"其将为可生物降解和生物基塑料制定一个监管框架" (COM 2019/640, 第 8 页)。在这一承诺之前，数份文件已对实施生物可降解塑料所涉及的挑战和风险进行了评估，详情如下。

1.3.1 《欧洲环境中塑料废弃物战略绿皮书》(2013 年)

2013 年，欧洲委员会发布了一份《欧洲环境中塑料废弃物战略绿皮书》，该文件重点关注适当的废弃物管理和回收利用 (COM 2013/123)。虽然绿皮书没有提出有关生物可降解塑料的具体政策，但它明确指出了未来政策需要解决的知识漏洞和风险。绿皮书还承认，需要对"可生物降解"一词做进一步解释，因为它可能会引起错误的假设，即生物可降解塑料可以在家中堆肥或扔到自然环境中 (同上, 第 16 页)。

由于这些塑料大多只能在足够高的温度和湿度下，在工业堆肥设施中才能生物降解，绿皮书强调，明确的标识是非常有必要的，以便对工业和家用的堆肥塑料加以区分。此外，文件还指出，在推广生物可降解塑料作为传统塑料污染等相关问题的解决方案之前，需要对生物降解性的说法进行仔细审查，并正确理解报废的各种情景。文件同时指出，生物可降解塑料可能含有对环境有害的添加剂。

绿皮书提出的另一个问题是"生物基"和"生物可降解"塑料之间可能存在的混淆。虽然塑料可以由可再生资源制成，由此而被认为是"生物基"的，但这并不一定意味着它们会在自然环境中降解。消费者需要了解这些区别，以确保正确处置。

1.3.2 《欧洲循环经济中的塑料战略》(2018 年)

因此，2018 年又出台了《欧洲循环经济中的塑料战略》。在这一战略中，欧洲委员会提出要建立"一个智能、创新和可持续发展的塑料工业，在设计和生产中充分尊重再利用、修理和回收利用的概念，为欧洲带来发展和就业机会，并帮助减少欧洲的温室气体排放及降低对进口化石燃料的依赖。" (COM 2018/28, 第 2 页)。

在此背景下，欧洲委员会建议：(a)到 2030 年回收每年产生的塑料废弃物的一半，(b)停止向

非欧盟国家出口未妥善分类的塑料废弃物。应让消费者适当了解再生塑料的好处，并应制定市场激励措施，以增加回收利用部门的商业机会（同上，第 6 页）。

关于生物可降解塑料，作为 2013 年绿皮书的后续行动，2018 年《欧洲塑料战略》强调，需要为具有可生物降解和可堆肥特的塑料建立一整套监管框架。目前市场上的许多生物可降解塑料，只有在特定条件下才能进行生物降解，而这些条件在开放环境中往往无法得到满足。此外，人们还认识到，需要张贴特定标签来对可回收塑料与可堆肥、传统和生物可降解塑料加以区分，因为它们可能会对回收产品的质量产生负面影响，并增加乱扔的垃圾数量（同上，第 12 页）。鉴于缺乏“明确的标签或标识”和“适当的废弃物收集和处理”方案，欧洲委员会目前建议谨慎使用生物可降解塑料，以免加剧乱扔垃圾的问题（同上，第 4 页）。

虽然 2018 年《欧洲塑料战略》明确了这些挑战，但它也承认，有针对性地应用生物可降解塑料已显示出一些积极成果。因此，今后“必须确保向消费者提供清晰准确的信息，并确保生物可降解塑料不会仅被当做一种应对乱扔垃圾问题的解决方法”（同上，第 12 页）。出于这个原因，该欧洲战略建议引入统一的规则和测试计划，将可生物降解和可堆肥塑料的生命周期纳入考量范围，并帮助识别虚假的生物降解性声明。它要求确定具有明显环境效益的应用，并采取适当的刺激措施来推动市场发展。欧盟科研与创新总司还于 2018 年发布了《生物经济战略》的最新版本，建议抓紧对传统基于化石燃料塑料的替代品和代用品的研究和创新（欧盟科研与创新总司，2018 年）。

1.3.3 《塑料循环经济报告》(2019 年)

科研与创新总司还于 2019 年发布了另一份题为“塑料循环经济”的报告，该报告进一步详细阐明了委员会未来应如何避免虚假的生物降解性声明，并促进最终能在接收环境中实际生物可降解塑料的发展（欧盟科研与创新总司，2019 年，第 177 页）。报告建议：

- a) 制定一个法律框架，明确规定生物可降解塑料降解的时间框架和环境，并向消费者和企业适当通报；
- b) 为全欧洲的政策制定者提供如何支持生物可降解塑料研究与创新和基础设施的相关指引；
- c) 扩大适当的基础设施，以确保生物废弃物的收集和处理能力，以处理更多的有机废弃物；
- d) 制定一种方法，比较不同材料和应用的环境、社会和经济影响，并执行相应的监管措施；
- e) 制定和统一标准，考虑材料和产品类别，以及厌氧发酵和废弃物最终将进入的各种环境；

1.3.4 《循环经济行动计划实施情况报告》(2019 年)

2019 年的《循环经济行动计划实施情况报告》再次强调了提升塑料回收和再利用能力的必要性（COM 2019/190）。然而，报告还是提醒委员会，它依旧肩负着这样一个承诺，即“制定一个有关塑料生物降解性的框架，以确保只有在对环境有益、不干扰废弃物管理系统或损害食品安全的情况下，才鼓励开发和使用此类塑料产品”（同上，第 7 页）。

1.3.5 《关于减少某些塑料制品对环境影响的指令》(2019 年)

2019 年 6 月，欧洲议会和理事会发布了《关于减少某些塑料制品对环境影响的指令》(第 2019/904 号指令)，目标是防止和减少塑料对环境的负面影响，同时促进向循环经济的过渡。在该指令的背景下，预计到 2021 年中期将禁止可氧化降解塑料的使用，因为其不会完全分解成二氧化碳、生物质和水，而是碎裂成微塑料。此外，该指令对塑料的定义并未对传统塑料、不可生物降解的塑料和生物可降解塑料加以区分(见 1.4.1)。因此，对某些一次性塑料制品的禁令将适用于任何材料。不过，预计将于 2027 年 7 月之前对该指令进行评估，这包括“评估适用于本指令范围内的相关一次性塑料制品及其一次性替代品在海洋环境中的生物降解性标准或规范的技术进展，以确保后者在足够短的时间内完全分解为二氧化碳(CO₂)、生物质和水，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的积累”。(第 2019/904 号指令，第 15 条)。

1.4. 科学背景

围绕着生物塑料，特别是生物可降解塑料，存在着一些相互矛盾的说法。“生物塑料”一词经常被用来概括描述一系列具有截然不同特性的材料。一般而言，生物塑料包括生物基、生物降解或两者兼有的材料。因此，明确“塑料”、“生物降解”和生物降解过程的定义，对于终结这种混乱，并清晰区分不同类型的塑料及其在开放环境中的生物降解性奠定基础至关重要。

1.4.1 塑料的定义

欧盟 2019 年《关于减少某些塑料制品对环境影响的指令》将塑料定义为“一种由聚合物组成的材料[...]，其中可能添加了添加剂或其他物质，并可作为最终产品的主要结构成分”。(第 2019/904 号指令，第 8 页)。该指令明确排除了未经过化学改性的天然聚合物，如纤维素。该指令提到《欧盟化学品注册、评估、许可和限制条例》(REACH)对聚合物的定义，即“由一种或者多种单体单元按序列组成的物质分子”。(欧盟第 1907/2006 号 (EC) 条例，第 54 页)。

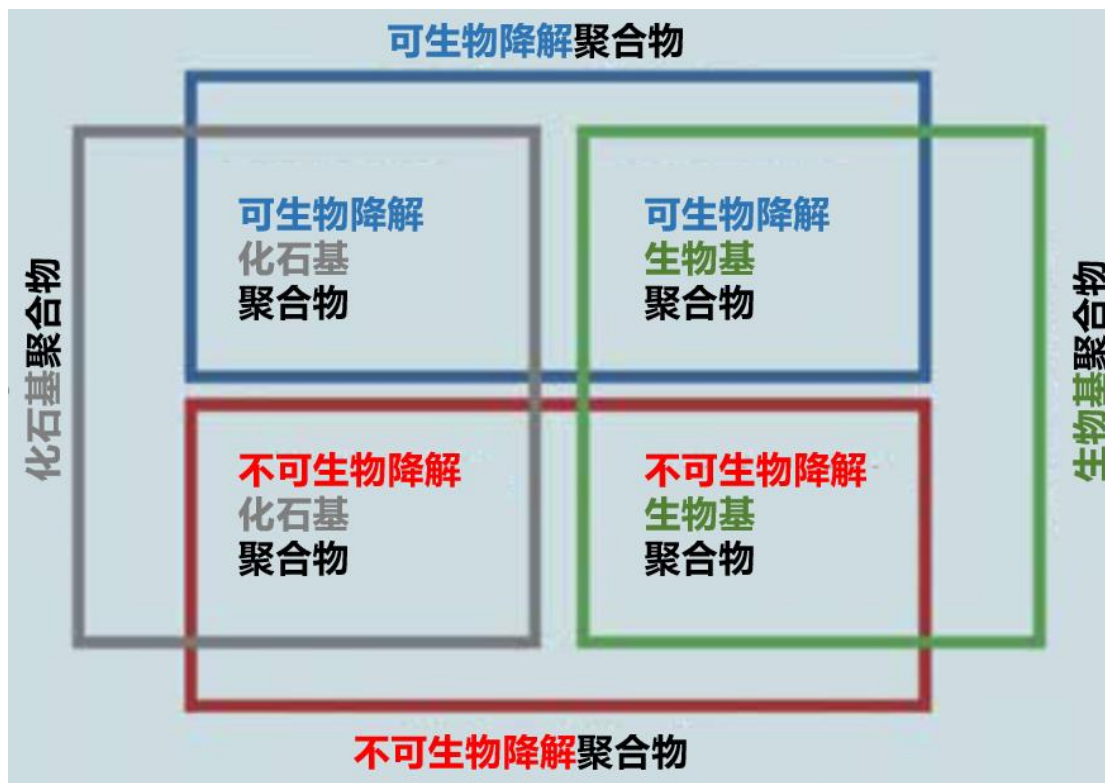
正如上述定义中所阐明的，除了聚合物分子外，塑料材料还经常含有稳定剂、增塑剂、填充剂、增强剂、着色剂和阻燃剂等赋予材料所需特性的添加剂。这些添加剂会影响塑料的生物降解行为，因此在评估塑料的生物可降解性时应予以考虑。

在本意见中，将采用欧盟 2019 年《关于减少某些塑料制品对环境影响的指令》的定义。像上述这样一个包含构成塑料材料所有要素的宽泛定义，不仅对于避免材料本身的混淆，而且对于确定如何对生物降解性进行测试、认证和向用户通报都是至关重要的。

1.4.2 生物可降解塑料和生物基塑料

消费者往往会混淆生物基塑料和生物可降解塑料及其聚合物构成成分，有时还会将其混为一谈，将其统称为生物塑料 (SAPEA, 2020 年，第 152 页)。生物基聚合物 (或生物聚合物)，

如纤维素、淀粉和木质素等，与化石基聚合物不同，它们由源于可再生生物资源（如植物等）的碳组成。然而，这些由生物基物质构成的塑料，并不一定是可生物降解的。生物基和化石基聚合物都可生物降解或不可生物降解。这种区分极为重要，因为正如下图所示，“生物”这个前缀往往会引起混淆。



图表 1- 包括可生物降解和生物基聚合物在内的塑料材料及其相互关系一览 (SAPEA, 2020 年, 第 31 页)

本意见主要关注可生物降解的塑料在开放环境中的影响，而不论其是由生物基还是化石基聚合物组成的。聚合物的来源也会对环境产生重要影响，在全面评估塑料与替代材料相比对环境的总体影响时，应将其纳入考量范围。

1.4.3 塑料的生物降解

塑料的生物降解是一个复杂的过程，它导致生物体对塑料中含碳化合物进行广泛的再加工。我们在此将塑料的生物降解定义为：“在有氧条件下[存在氧气的情况下]，将塑料的所有有机成分转化为二氧化碳(CO₂)、新微生物生物质和矿物盐，或在缺氧条件下[无氧情况下]转化为二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、新微生物生物质和矿物盐的微生物转化过程”。(SAPEA, 2020 年, 第 34 页)。

塑料的生物降解的定义仅适用于塑料材料中的有机成分，即那些含有碳氢键的化合物，这包括有机聚合物本身和塑料中的任何有机添加剂。根据这一定义，完全由无机聚合物组成的塑料不能被视为可生物降解。无机添加剂会影响生物降解过程，因此需要进行专门评估（见 2.2.1）。出于监管目的，塑料的生物降解的定义中需要补充说明在预先确定的时间范围内所

要求的生物降解程度，并考虑生物降解的特定（开放）环境。时间范围必须足够短，不至于像传统塑料那样对破坏环境，也不至于导致其在开放环境中造成有害或持久的积累。

在这一背景下，生物降解与生物变质 (*biodeterioration*) 是两个不同的过程。从广义上说，生物变质是指微生物对塑料特性的影响，而不是按照生物降解的定义对塑料中含碳化合物的化学转化。对生物降解定义的澄清很重要，因为它决定了对生物可降解塑料材料的测试要求和相关标准(见 2.2.1)。

根据上述定义，塑料要进行生物降解，必须经过以下两个关键步骤。

第一步： 聚合物分子(碳氢链)需要通过酶的作用分解成低分子量的较小成分。这第一步在很大程度上取决于生物可降解塑料本身的材料特性和所处环境。在开放环境中，这一分解过程通常需要几周、几个月或几年的时间 (SAPEA, 2020 年, 第 41 页)。

第二步： 这些较小的成分必须由微生物转化为二氧化碳 (或在缺氧条件下转化为二氧化碳和甲烷)和新的微生物生物量(SAPEA, 2020 年, 第 41 页)。第二步特别取决于具体的环境条件 (见 1.4.4)，在开放环境中，通常在几小时或几周内发生 (SAPEA, 2020 年, 第 43 页)。因此，塑料是否具有生物降解性，必须能够证明已成功完成了第二步，这就要求测试条件尽可能地重现塑料最有可能进入的开放环境，在可行的情况下，最好在真实环境中进行(见 2.2.1)。

因此，与国际理论化学和应用化学联合会 (IUPAC) 给出的[塑料]生物降解性的通用定义相比，本意见中采用的塑料生物降解性的定义更为具体和严格：即“在体内或体外酶催化作用下，物质[塑料]的分解” (Vert 等人, 2012 年)。

1.4.4 生物降解的促成因素

影响生物降解过程的因素主要有两类：

1.4.4.1 取决于聚合物结构的因素：化学键、结晶度、表面积——体积比和添加剂。

化学键： 聚合物分子的骨架由小分子链 (即单体) 组成，这些小分子链通过化学反应形成共价键连接在一起。这些链可以只由碳-碳键组成，也可以除氢原子外，还包含氮、氧或磷等非碳原子 (杂原子)。碳-碳共价键是已知的最强化学键。碳-碳共价键不容易被破坏，无论是通过非生物还是酶促方式。因此，只有碳-碳主键的聚合物在开放环境中的分解过程(如步骤 1 所述)将极其缓慢，从而阻碍了二氧化碳、甲烷和新的微生物生物质的转化(步骤 2)。含有杂原子的聚合物通常更容易被分解，例如通过水解酶分解(SAPEA, 2020 年, 方框 2.1, 第 29 页)。

材料的**结晶度**可以影响材料的稳定性。这一情况也适用于生物可降解塑料。例如，可生物降解的聚酯可以包含无定形和微晶区域。虽然聚合物链在无定形区域的纠缠较少，因此更容易分解，但在微晶区域，聚合物链紧紧地挤在一起，需要高温 (在开放环境中并不常见) 才能分解 (SAPEA, 2020 年, 第 46-47 页)。

表面积体积比： 酶促过程只在聚合物表面进行 (“表面侵蚀”)，因此它将取决于表面积体积

比：同较大/较厚的物体相比，较小/较薄的物体更容易被侵蚀。在测试时，这一点很重要。生物降解通常是通过塑料粉末进行测试，这可能会导致结果偏差，因为粉末会导致生物降解率高于实际物体（SAPEA，2020年，第48页）。碎裂成微型和纳米颗粒会增加表面积体积比，从而有可能增强酶变败。

添加剂：许多塑料产品都含有稳定剂等添加剂，这些添加剂会阻碍聚合物链的分解以及随后的生物降解过程。此外，还有一些添加剂声称可以将不可生物降解的塑料转化为可生物降解的塑料。这些添加剂的范围从氧化添加剂到含有生物促进剂、酶或其他物质的新技术。

1.4.4.2 取决于环境的因素：温度、存在微生物降解物等

温度：随着温度的升高，大多数非生物和生物反应也会增加，导致生物降解过程加快（Deroine 等人，2014年；Dilkes-Hoffman 等人，2019年；Volova 等人，2007年）。只要不改变其他条件，较高的温度将增强生物降解过程（例如，增加湿度或引发酶的热失活）。但是，仍需要进一步研究，以证明和测量温度变化对不同类型聚合物生物降解的直接影响。

存在微生物降解物：温度也决定了在这些特定条件下生长的特定微生物。它们的存在和活动可以催化塑料的分解。因此，所有影响这些微生物活动的环境因素都会对生物降解过程产生影响：温度、湿度、是否存在基本营养物质和电子受体、pH 值和盐度等（Ahmed 等人，2018年；Bonifer 等人，2019年；Deroine 等人，2015年；Dilkes-Hoffman 等人，2019年；Ho 和 Pometto，1999年；Pischedda 等人，2019年；Volova 等人，2007年；SAPEA，2020年，第50页）。

1.4.5 开放环境

鉴于不同开放环境中温度和微生物降解物的情况差异极大，生物降解发生的具体环境在这一过程中起着关键作用。这与工业堆肥设施不同，后者的生物降解过程是在受控条件下进行的。开放环境由土壤和水（包括海洋和河流）等一系列广泛的环境构成，其条件千差万别，在有机体、温度和化学成分等方面差异非常大。开放环境由各种生态系统组成，涵盖了一系列非生物和生物条件，这些条件在很大程度上影响着实现生物降解所需的塑料分解和微生物转化。因此，对塑料生物降解的讨论和评估必须始终明确提及具体的（接受）环境。开放环境的差异不仅需要在测试和认证过程中加以考虑（见 2.2.1），还需要在每个产品的标签上明确说明，以确保正确的处置（见 2.3.2）。因此，对确实能生物降解的生物可降解塑料应用所发生的具体环境加以界定，对于限制塑料污染、防止仅仅依据在受控条件下测试某些形式的生物降解聚合物而做出毫无根据地声明，都是至关重要的。

在本意见中，“对环境有益”是指材料能在较短的时间内完全分解为二氧化碳（或在缺氧条件下分解为二氧化碳和甲烷）、生物质和矿物盐，且不会对开放环境形成持久危害或积累。

二、建议

2.0 将生物降解性定义为一个系统属性，并将材料特性和特定的环境条件纳入到考量范围

如上所述，塑料物品是否会生物降解不仅取决于材料本身的特性，还取决于发生生物降解的接收环境的具体条件。从 SAPEA 的证据审查报告中可以看出，仅仅将塑料的生物可降解性作为一种材料属性来对待，不仅忽视了影响塑料生物降解的环境条件的重要性，也忽视了特定塑料在开放环境中不同接收系统的生物降解速度和程度上的巨大差异(SAPEA, 2020 年, 第 33 页)。

因此，生物降解性应被定义为一种系统属性，它描述了塑料的特定材料属性与发生生物降解的特定接收环境条件之间的相互作用。例如，储存在冰箱中的食物比储存在较高温度下的食物（例如厨房柜台上）寿命更长。同样地，许多生物可降解塑料在较低温度下的生物降解速度会缓慢一些。

2.1 将生物可降解塑料在开放环境中的使用限定在某些特定场景，即无法被减量使用、重复利用和回收利用的场景

要评估开放环境中使用生物可降解塑料相较于其替代品的潜在环境收益，需要采取一种系统的方法，考虑到其社会收益和在废弃物层级管理中的位置、其可能的报废情景，以及生物降解聚合物本身和生物可降解塑料产品对具体接收环境的影响等等。这种方法也应应用于不可生物降解替代材料系统当中，以评估生物可降解塑料最终可能带来的相对利益。因此，我们建议，只有在具有明显潜在环境效益的少数特定应用中，才考虑使用生物可降解塑料。这些应用包括从环境中收集塑料具有一定难度，以及将塑料从其他废弃物中分离出来具有一定挑战性的那些情况。对于目前使用生物可降解塑料的某些场景，由于其环境效益不甚明显，应考虑采用其他策略。

2.1.1 在考虑生物降解之前，优先考虑塑料的减量使用、重复利用和回收利用

2018 年《欧盟塑料战略》为新的塑料循环经济奠定了基础，在循环经济中，材料应尽可能长时间保持使用。在“废弃物层级管理”方法中，首要任务是减少塑料的使用，其次是在可能的情况下，重复利用和回收塑料物品（即弥补我们经济中的循环缺口）。如果产品可以在确保循环经济的情况下进行处置，那么替代性的用后方案（如开放环境中的生物降解方案）就不应当被视为主要方案。因此，应将生物可降解塑料视为废弃物层级管理制度的一部分，在这当中，减量使用、回收利用和重复利用才是首选方案。

塑料使用的社会效益在评估中应被视为核心部分。某些塑料的使用，如农业和渔业中的使用，

在促进粮食生产方面有明显的好处。而另一些塑料的使用，如一次性手提袋，则可能不会带来多少附加价值，它们往往只有一些短期效益，但报废期却很长。具体而言，在考虑将生物可降解塑料用于某些应用之前，首先要考虑该是否有必要使用，或者是否可以采用替代材料。对于只有某种短期效益的一次性物品和/或只具有有限社会效益的物品，采取减量战略可能更显合适。

2.1.2 限制生物可降解塑料在开放环境中，尤其是在是无法实现回收的开放环境中的使用

如果产品在适合于完全生物降解的环境中使用或结束其使用寿命，那么与传统塑料相比，生物可降解塑料的应用将带来最大的环境效益。评估哪些情况可以从使用生物可降解塑料中获益，重要的是要考察在产品终结和停留的特定接收环境中，对该产品的控制程度。因此，我们不仅应当考虑产品达到其设计、测试和认证的报废情景的可能性，还应考虑产品或产品碎片抵达错误环境后不能充分生物降解的风险。另外，我们还必须考虑生物可降解塑料产品由于不当使用或处置，或在不同环境间的迁移，在已被证明可生物降解的环境以外的开放环境中逃逸和累积的风险。重要的评估标准还包括：生物可降解塑料进入环境的速度高于其生物降解速度时的累积率，以及与累积相关的任何生态影响的严重程度。目前对塑料（包括生物可降解塑料）的环境风险评估方法还不够完善，因此有待进一步开发（见 2.2.3）。

出于上述考量，我们建议仅当特定应用显示出明显的潜在环境收益时，才考虑使用生物可降解塑料。对于那些有意或不可避免地将释放到开放环境中，而回收和再利用或循环使用在逻辑上和/或经济上不可行的情况，或使用传统塑料将产生持久的、不可复原的碎片或微塑料的情况（如多利绳或烟花），与传统塑料相比，生物可降解塑料还是可以提供一些环境效益。这样的例子包括农用薄膜。对于这些情况来说，如果在已被证明的可以在适当的时间范围内在接受环境中可以进行生物降解，并且不会对环境产生不利影响时，则生物可降解塑料也许可以成为一个选择。对于水果标签和可堆肥食物包装袋等情况，塑料和有机废弃物将不可避免地混合在一起，不容易分离，则使用在受控堆肥条件下可进行生物降解的塑料，或可以防止塑料垃圾的污染。然而，如果这些塑料流入开放环境的风险很高，那么是否应使用这些生物可降解塑料，还应视其在不同潜在接收环境中分别进行的评估情况而定。

2.1.3 生物可降解塑料不应成为废弃物管理不当或乱扔垃圾的解决方案

对于某些情况来说，使用生物可降解塑料的潜在好处并不那么明显。例如，塑料包装，主要是一次性的包装材料约占传统塑料生产的 40%（欧洲塑料制造商协会，2019 年）。包装材料中有时会使用到生物可降解塑料。然而，对于诸如手提袋和一次性包装等原本不打算在开放环境中使用的产品，以及开放环境并非计划报废（根据上述标准）的产品，使用生物可降解塑料的好处则不甚明确。对于这些产品，向开放环境的转移通常是由于废弃物管理不当或乱扔垃圾引起的，而这是无法管控的。这种缺乏管控的情况意味着产品有很高的风险会进入不适宜的接收环境，而在这种环境中，生物降解受到限制或无法发生，从而增加了环境累积的可能性。此外，在此类应用中使用生物可降解塑料可能会产生意想不到的效果，即鼓励乱扔垃圾，影响传统塑料的适当处置和回收，令消费者感到更大的困惑。虽然不时有人提出，生

物可降解塑料可以在减少乱扔垃圾对环境的负面影响方面发挥作用，但我们仍须非常谨慎地权衡其使用对传统塑料的收集和回收利用可能产生的不利影响，以及增加乱扔垃圾行为和环境累积的风险。鉴于此类应用的社会价值相对较低，另外也存在可重复利用的替代品，所以减量使用应是首要战略，而乱扔垃圾的问题可以通过加强对消费者的教育和适当的废弃物管理来加以解决。

2.2 支持开发连贯的标准对开放环境中塑料的生物可降解性进行测试和认证

只有当生物降解性能够得到适当的审查和认证时，使用包括生物可降解在内的塑料才能带来环境效益。开放环境下的生物降解评估已经有了专门的标准，但目前复制开放环境的条件仍然存在一定难度，环保部门也承认，制定这类标准很有必要“‘开放环境’标准中必须包含所关注地点各项条件的内容”（环保署网络，2019年）。欧盟可以与利益攸关方协商，进一步支持标准化的国际进程。

在没有适当测试和认证制度的情况下，“生物降解性”一词有可能被滥用或误解。此外，如果没有有关生物降解测试的适当和明确的数据，我们就无法对环境风险进行充分评估。因此，适当的测试和认证计划是实现上述潜在利益的先决条件。此外，测试和认证计划对于验证生物降解性声明，对其进行情景化考量，以及支持标签和用户信息工作都是非常必要的。这些计划需要涵盖那些有意识地将塑料带入开放环境的场景（如地膜）、具有较高的有意和无意损耗风险的场景（如烟花、捕鱼装置等），以及因使用而带来自然损耗的场景（如多利绳）。

2.2.1 支持制定测试和认证计划，评估在特定开放环境中使用生物可降解塑料的实际生物降解情况

在测试聚合物和全面评估生物可降解塑料的使用时，必须仔细考虑实验室中和实际环境中的“生物降解性”之间的区别。生物降解性是指聚合物在特定条件下的生物降解倾向。生物可降解塑料在可能的接收环境中的实际生物降解必须在该环境的特定条件下，作为一个过程进行测试和观察。针对实际生物降解情况的测试，是验证生物可降解塑料在应用中是否具备声称的生物降解性的关键环节。

生物可降解塑料的生物降解必须在实际环境中应用的背景下，而不是仅仅在实验室环境中对材料进行测试和测量。添加剂和其他化学品，如粘合剂、颜料、油墨、印品、涂料等，属于上文讨论的塑料定义范围（见 1.3.1），它们可能会影响生物降解过程，需要对其影响加以评估。即使生物可降解塑料应用中的所有成分都能单独生物降解，也必须对最终产品的生物降解性进行评估，这样才能可靠地验证特定应用在特定环境下是否具有生物降解性，包括无累积性和无毒性。对于含有不可生物降解（无机）添加剂的塑料，重要的是要确定它们不会对环境造成危害。

对生物可降解塑料应用的生物降解率的测试和认证需要考虑影响整个开放环境生物降解的各种条件的变化，并要求测试条件尽可能地与发生生物降解的条件相匹配。这就需要评估可能的接收环境的具体条件，无论是否有意为之。由于温度变化对生物降解过程的多重影响（见 1.3.4），测试方法需要考虑潜在的变化，并在不同温度下测试最终产品的生物降解情况，而不是在实验室条件下测试后再推断温度的影响（SAPEA，2020年，第 35 页）。还需要在

标签上注明生物降解测试的具体环境。

2.2.2 要求进行实验室和模拟环境条件下生物可降解塑料应用的生物降解测试

生物降解评估必须采取多步骤的办法。初步评估包括单独对生物可降解塑料进行实验室测试，以确定其生物降解特性，随后再在开放环境的模拟条件下进行测试。实验室测试最好是通过对应用中生物可降解塑料的所有成分的生物降解性逐一进行直接测试。要确认一个产品的生物降解性，其出发点应是测试其是否在预计会发生生物降解的特定接受环境中是否具备生物降解性。在产品测试阶段，必须考虑到这种环境的基质情况（土壤、水、水生沉积物等）。在实验室测试的同时，还应进行罐式测试（围隔测试），在受控环境下模拟开放环境中的条件，并在可能的情况下进行开放环境测试。

2.2.3 要求评估生物可降解塑料在特定开放环境条件下的生物降解和环境风险

了解生物可降解塑料在环境中持久性的时间框架对于其生命周期分析和环境影响评估至关重要。在实验室条件下，二氧化碳的释放量是一个明确的指标，它显示了生物可降解塑料的生物降解情况。在开放环境中，二氧化碳的释放量是无法捕捉和测量的，因此，如果在实验室和隔离环境条件下的生物降解已经得到证明，则生物可降解塑料的分解可以被视为是对开放环境中生物降解的间接测定。应制定更准确的评估和测试方法。对分解的测量可以从质量损失或侵蚀率上得到，然后可以用其来模拟一个完整的生物降解过程（生命周期）。应对“相关接收环境中的生命周期/持久性”（如土壤、淡水、海洋系统）建模，以支持对实际状况的测试。

我们应站在有机体和生态系统的层面上，通过风险评估、生命周期分析和生命周期影响分析，评估滞留时间、恢复时间和影响强度等方面，来研究生物可降解塑料相较于传统塑料和其他材料对环境的相对影响和冲击。应将这些影响与生物可降解塑料将取代的材料的影响进行比较，以评估相对收益。传统的毒性测试可以评估有机体层面的影响，但生态系统层面的毒性评估还有待开展。尽管具有挑战性，但我们仍然可以考虑针对传统塑料和生物可降解塑料制定此类方法。鉴于并非所有塑料物品都能在所有环境条件下进行测试，SAPEA 工作组制定了一个拟议的流程图来指导评估工作（SAPEA，2020 年，第 111-114 页）。对于开放环境的应用而言，有必要证明最终存在于生物可降解塑料中的无机成分和聚合物不会产生负面的生态毒理学影响，而对于无机聚合物来说，应证明其不会在环境中持续存在，而是很容易发生反应，形成低分子量的无机化合物和盐类。

2.2.4 支持制定一份材料目录，并注明这些材料在各种环境中的生物降解率

出于为风险评估、生命周期评估和生命周期影响评估提供信息的目的，需要开展进一步研究，以确定不同材料在各种环境中的生物降解率。正如 SAPEA（2020 年）所确认的那样，目前

仍存在着一些知识空白，例如：仍然缺乏有系统的基准研究，以比较一组排列一致的聚合物在各类环境下的生物降解情况。这些数据是比较不同环境下的生物降解率和生物降解程度所必须的。考虑到存在极大的可变性，制定和维护不同材料在各类环境条件下生物降解率的综合目录，将有助于测试、认证和监管。

2.3 向有关用户群体提供准确信息告知生物可降解塑料相关特性、恰当使用及其局限性

为了实现使用生物可降解塑料带来的潜在环境效益，必须在适合生物降解的环境中使用它们，或结束其使用寿命。用户行为在确定应用的报废情景时往往很重要。例如，如果一种生物可降解塑料应用可能被一特定最终用户群体所使用，而后者又将受益于生物降解的话（例如：农民使用生物可降解塑料地膜），那么与不直接受益于其生物降解的广大用户所使用的应用相比，生物可降解塑料应用得到正确处置的机会可能更大。

2.3.1 发动和支持信息宣传，以应对当前生物塑料问题上的混乱局面

目前，最终用户/消费者对生物基塑料、生物可降解塑料和可堆肥塑料的含义仍然普遍存在混淆。这些误解，再加上开放环境中生物可降解塑料使用的检测和标签都缺乏明确标准，可能会导致它们被错误处置。关于什么是生物可降解塑料，以及如何区分生物基塑料、生物可降解塑料和可堆肥塑料等方面的准确信息，需要通过标签以及信息和教育活动向消费者和最终用户进行传达。产业界在这方面可发挥关键作用，因为在产品上贴上可生物降解标签或使用相关术语，往往可以推广其“绿色”资质。

2.3.2 支持制定明确、有效的欧盟标签标准，并将其 a) 提供给最终用户和消费者，以确保在开放环境中正确使用和处理生物可降解塑料；另外，b) 也提供给制造商和供应商，以确保沿着价值链准确地传递信息

对于某些生物可降解塑料，最终用户应正确地使用和处置它们，以使其能够到达设计应到达的、经测试可以实现生物降解的环境。标签对于最终用户和消费者能够就生物可降解塑料的性质、来源和影响以及如何处置作出知情决定非常重要。更为重要的是，由于生物降解性只能针对特定的用途、环境和处置进行认证，因此必须以便捷和直接的方式向用户传达这一信息。标签应注明预计使用环境、明确的处置说明、使用的具体生物可降解塑料以及完全生物降解的时间和条件等信息，以避免消费者误认为生物降解性是一种普遍的性质，会在各类环境中出现。不同形式的标签的泛滥可能会加剧混乱，阻碍行为的改变，因为消费者可能会忽视这些标签。

我们建议针对生物可降解塑料应用制定明确的欧洲标签标准，其有可能为国际标准的制定设

定标杆。必须认真评估标签方案在传达适当和明确的指引方面的有效性。这就需要评估相关信息是否已经准确地传达给目标用户群体，以及他们是否有可能遵循这些信息。成员国的废弃物管理系统的发展和绩效水平各不相同，而且消费者对标签的反应的大多数相关证据都是在西欧和美国收集到的，在这两个区域，消费者已经有了废弃物分类和不同处置和收集方案的相关经验。

附件 1 – 方法

继之前的工作——特别是“海洋食品”¹和“微塑料污染的环境和健康风险”²相关工作之后，首席科学顾问小组（简称“科学顾问们”）计划就生物可降解塑料的应用问题提供科学建议。

该问题的范围规划工作包括开展（灰色）文献检索，并通过咨询科学专家和专业从业者，辅之以有限的网络搜索和一个范围规划研讨会。在此基础上，经与委员团协商，编写了一份范围界定文件（附件 1），提出了征求意见的要求。科学顾问们同意按照（2019 年 12 月的）范围界定文件所述内容开展工作。小组的两名成员 Nicole Grobert 和 Rolf-Dieter Heuer 代表首席科学顾问小组领导了科学意见的编写工作。

科学顾问们得到了欧洲科学院政策科学顾问委员会（SAPEA）³的协助，该委员会提供了支持科学意见的证据。为此，成立了一个专家工作组，以同行评审的证据审查报告的形式收集和综合了包括专家知识在内的相关科学证据。SAPEA 的证据审查报告中的证据以及更进一步的学术和“灰色”文献，采用专家启发（expert elicitation）的方式得到补充，参与这一过程的专家包括学术专家、政策专家和专业从业者（见附件 3）。SAPEA 还组织了一次有独立科学专家参加的专家研讨会。

欧洲委员会科学咨询机制（SAM）秘书处协助科学顾问们组织了一次与欧洲委员会政策专家就科学证据和政策相关性的讨论，以及一次关于科学意见草案的“专家意见征询会议（sounding board meeting）”。

最后，欧洲委员会科学咨询机制秘书处还协助科学顾问们组织了一次利益攸关方会议，会上，SAPEA 工作组和科学顾问们分别介绍了 SAPEA 证据审查报告的初步成果和科学意见的审议领域。

因此，本科学意见获得了各种证据来源的支持，特别是：

1. 《开放环境中塑料的生物可降解性》范围界定文件（SAM，2019 年）。
2. 《开放环境中塑料的生物可降解性》范围界定研讨会（SAM，2019 年）。
3. SAPEA 对《开放环境中塑料的生物可降解性》相关科学文献的审查（SAPEA，2020 年），又称为 SAPEA 审查。
4. 2020 年 9 月召开的 SAPEA 专家研讨会
5. 2020 年 11 月召开的专家意见征询会议
6. 2020 年 11 月召开的利益攸关方会议

会议报告或总结说明已在网上公布。

¹ https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/strategy/support-policy-making/scientificsupport-eu-policies/group-chief-scientific-advisors/food-oceans_en

² https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/strategy/support-policy-making/scientificsupport-eu-policies/group-chief-scientific-advisors/environmental-and-health-risks-microplasticpollution_en

³ <https://www.sapea.info/>

附件 2 – 范围界定文件



欧洲委员会科学咨询机制
首席科学顾问小组

范围界定文件

开放环境中塑料的生物可降解性

2019 年 12 月 11 日

《开放环境中塑料的生物可降解性》范围界定文件

1. 所涉问题

在当今塑料的线性经济⁴中，持久性的塑料污染无处不在，这是一个造成环境退化、社会经济成本提高的重大问题。2018年的《欧盟塑料战略》⁵为新的塑料循环经济奠定了基础，所谓循环经济，就是通过推广重复利用和修理、再制造、循环使用以及防止产生塑料废弃物⁶等方式，尽可能长久地保持材料的循环流通。因此，不论在任何时候，只要能够确保以循环经济的方式使用材料进行，就绝无任何理由采用其他的用后选择方案，即不得采用无法确保循环经济的选择方案。

但是，某些塑料产品，因为其自身的性质或其所使用的环境，造成它们在使用之后可能难以回收或者根本无法回收。因此，这些产品最后会产生很高的环境风险。在此类特定情况下，可以研究以生物降解性作为可能的补救措施。

一些人提出以可生物降解聚合物和添加剂作为塑料污染问题解决方案的一部分。而另一些人则警告称：可生物降解聚合物可能导致更高能源消耗或资源消耗的制造路径，且最终形成的材料也可能造成意想不到的后果。

为了避免广泛应用生物可降解塑料造成的任何意想不到的后果，需要更进一步的深刻理解，包括对发展中国家情况的深刻理解，从而让社会、消费者、企业和政策制定者了解可能的风险以及预防风险的方式。

生物降解在下列不同条件下存在明显的差别：

- 受控条件，即工业堆肥；
- 一定程度上的受控条件，即家庭堆肥；
- 非受控条件，即开放环境（土地、淡水和苦咸水、海水、深海）。

还要评估生物可降解塑料在不同条件下的环境影响，包括非受控的环境条件下。生物降解性可能有助于纠正“不可避免”的丢弃，但其本身并不能解决乱扔垃圾问题。根据一些人的看法，它甚至可能造成问题加剧，因为如果将产品标为“可生物降解”，可能导致消费者更倾向于随意丢弃（消费者行为），在未说明降解实际发生的条件或者降解时间的情况下，情况可能更加严重⁷。

⁴ 这里的“塑料”应该指的是包含 1907/2006 号（EC）法规第 3 条第 5 点中定义的聚合物的材料，其中可能加入添加剂或其他物质，塑料可以用作最终产品的主要结构组件，未经化学改性的天然聚合物除外（参见欧洲议会和欧洲理事会 2019 年 6 月 5 日发布的关于减少某些对环境影响的塑料制品的（EU）2019/904 号指令第 3 条第（1）款。官方公报 L155，2019 年 6 月 12 日，第 1-19 页）。

⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516265440535&uri=COM:2018:28:FIN> 尤其参见关于“针对具有生物降解性的塑料建立明确监管制度”的章节。

⁶ 这符合欧盟立法和政策中定义的废物层级管理，尤其是欧洲议会和欧洲理事会 2008 年 11 月 19 日发布的关于废弃物的 2008/98 号（EU）指令第 4 条（废弃物框架指令）。官方公报 L312，2008 年 11 月 22 日，第 3 页 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&ft~om=EN> - (a) 防止；(b) 为重复利用做准备；(c) 循环利用；(d) 其他回收，例如能量回收；和 (e) 处理。

⁷ 参见联合国环境规划署报告和欧盟塑料战略随附的委员会人员工作文件（参见脚注 2）。

尽管欧盟已出台工业可堆肥包装的包装标准（也适用于塑料包装），但目前尚未形成将家庭可堆肥塑料涵盖在内的欧洲标准。同样地，针对开放环境中塑料的生物可降解性，也没有通用的标准。某些情况下，这会导致一定的混淆。例如，某些情况下，国家立法禁止可生物降解包装，但却允许可堆肥包装，包括消费者可家庭堆肥的材料。

正确的塑料处理可能导致消费者的混淆，从而可能造成废弃物流的交叉污染。当通常难以循环使用⁸的生物可降解塑料与非生物降解的可循环使用塑料混在一起时，就可能发生此种交叉污染。消费者很难甚至无法评估塑料的类型，因此，正常塑料也可能最终进入生物废弃物流。

考虑到上述情况，我们必须基于具体的应用，考虑解决方案组合中生物可降解塑料的作用。例如，符合欧洲标准的可在土壤中生物降解的农用地膜，因为可循环利用的塑料膜根本无法回收，其成本也难以承受。此种情况下，需要考虑土壤质量以及雨水将生物可降解塑料冲入河流的可能性。

2. 欧盟政策背景

2018年的《欧盟塑料战略》⁹提出一个审慎使用生物可降解塑料的方式。尽管其承认特定情况下使用生物可降解塑料展现出了积极的结果，但也指出了不少挑战：“必须确保向消费者提供清晰准确的信息，并确保生物可降解塑料不会被用来当做应对乱扔垃圾的方法之一”。此外，还“应确定具有明显环境效益的应用(以及此类应用的标准)，在这种情况下，委员会应考虑采取措施，刺激创新并推动市场朝着正确的方向发展。”

2019年《循环经济行动计划执行报告》¹⁰确认了上述方式。尤其是，其中重申“委员会承诺制定关于塑料生物降解性的框架，以确保仅在对环境有益，且既不会干涉废弃物管理体系，也不会危及食品安全的情况下，才鼓励此类塑料产品的开发和使用”。

2019年欧洲委员会关于“塑料循环经济”的报告¹¹提出以下政策建议：

制定规制堆肥性和生物降解性法规框架的政策文件，就不同的用后路径及其互补性提供明确的信息和业务指引。

产品的生物可降解声明可能会被滥用，因为声明中并未说明某些物质是在特定时间框架内完全可生物降解还是仅部分可生物降解，也未说明其预期使用的具体环境。因此，根据同一份报告，产品声明应该足够具体，例如其中要提及具体的环境生境，且要以经第三方验证的适当信息为基础，即通过第三方认证。总而言之，仅可生物降解并不足以作为一种解决方案，它始终要与整体的环境安全相挂钩。

还应该注意到不论是关于一次性塑料制品和渔具的指令（“SUP指令”）¹²，还是关于修订包

⁸ 尽管有些聚合物的固有性质让其既生物可降解，又可循环利用，但还需要考虑现实条件和成本效率问题。

⁹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516265440535&uri=COM:2018:28:FIN> 尤其参见关于“针对具有生物降解性的塑料建立明确监管制度”的章节。

¹⁰ https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/report_implementation_circular_economy_action_plan.pdf 尤其参见关于“系统方式：循环经济中的欧盟塑料战略”。

¹¹ <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/33251cf9-3b0b-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-87705298>

¹² 欧洲议会和理事会于2019年6月5日发布的关于减少某些对环境影响的塑料制品的2019/904号(EC)指令。官方公报 L155, 2019年6月12日, 第1-19页。

装和包装废弃物指令¹³的“塑料袋”指令¹⁴等其他相关立法，都没有区分传统的非生物可降解塑料和生物可降解塑料。不论塑料的性质如何，都适用关于特定一次性塑料制品的禁令。对 SUP 指令的评估（将于 2027 年执行）将包括“评估与海洋环境中生物降解性标准相关的科学和技术进步——即适用于此指令范围内一次性塑料制品及其一次性替代品的标准，确保塑料能在足够短的时间范围内完全分解成二氧化碳（CO₂）、生物质和水，既不会危害海洋生命，也不会导致塑料在环境中的累积”。SUP 指令也禁止了所有含氧可降解塑料¹⁵。

包装和包装废弃物指令要求通过关于标记可堆肥及生物可降解塑料购物袋的实施法案，为消费者提供正确的信息。针对这一点，设计了针对家庭可堆肥塑料购物袋的单独标准。

最新版的《生物经济战略》¹⁶旨在推广研究与创新，采取具体行动致力于开发化石基塑料的替代品，即生物基、可回收利用且具有海洋生物降解性的产品。它为相关活动提供支持，这些活动应有利于细化欧洲标准化委员会¹⁷就海洋环境中生物降解性提出的标准。

关于微塑料，应委员会的请求，欧洲化学品管理局于 2019 年 1 月 30 日¹⁸发布了《化学品注册、评估、授权和限制》（REACH）的限制档案，指出鉴于有意添加的微塑料所造成的健康和环境风险，在整个欧盟范围内施加禁令是合理的做法。欧洲化学品管理局科学委员会正在审核该档案；若达成协议，欧盟范围内的限制可能在 2021 年中付诸实施。在可用的情况下，可生物降解替代物可免于遵守该等限制¹⁹。因此，基于已经处于编制流程的文件，该等在产品中有意添加的微塑料将被排除在当前要求的范围之外。但是，非故意添加的微塑料（例如轮胎磨损、纺织品）以及大规格塑料（macroplastics）破碎造成的微塑料属于此要求的范围之内。

3. 向欧洲委员会首席科学顾问小组提出的要求

在此背景下，我们特此要求欧洲委员会首席科学顾问小组在 2020 年 10 月底之前，提供支持框架编制的科学观点，即针对塑料生物降解性的通用规则集。

在开放环境中，目标是确定针对哪些情况（如有），生物可降解塑料相比非生物可降解塑料，可能更有益于环境，应考虑废弃物层级管理²⁰和循环经济方式。这里的“有益于环境”应该指的是材料能在足够短的时间范围内完全分解成二氧化碳（CO₂）、生物质和水，既不会伤害环境，也不会导致（微）塑料在环境中的累积²¹。

在不违背首席科学顾问工作的前提下，有益的应用可能包括因其本身性质（丢弃倾向）或具体的使用情景（例如农用地膜），而可能难以在其生命周期终止时被回收的产品。这会导致它们最终进入环境的高风险，因此，我们建议主要关注开放环境中的生物降解性，以此作为

¹³ 欧洲议会和理事会于 1994 年 12 月 20 日发布的关于包装和包装废弃物的 94/62/EC 号指令。官方公报 L365，1994 年 12 月 31 日，第 10 页。

¹⁴ 欧洲议会和理事会于 2015 年 4 月 29 日发布的关于修正‘关于减少轻型塑料购物袋消费的 94/62/EC 号指令’的 2015/720 号（EU）指令（与欧洲经济区相关的文本）。官方公报 L115，2015 年 5 月 6 日，第 11-15 页。

¹⁵ 参见委员会向欧洲议会和理事会呈交的关于使用含氧可降解塑料（包括含氧可降解塑料购物袋）对环境的影响的报告 16.1.2018 COM（2018）35 最终版。

¹⁶ https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/updated-bioeconomy-strategy-2018_en

¹⁷ 欧洲标准化委员会（CEN，法语：Comite Europeen de Normalisation）

¹⁸ <https://echa.europa.eu/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18244cd73>

¹⁹ <https://echa.europa.eu/documents/10162/0724031f-e356-ed1d-2c7c-346ab7adb59b> .附录 15 限制卷宗段落 2.2.1.6 中讨论了生物可降解标准。

²⁰ 参见脚注 3。

²¹ 欧洲议会和理事会于 2019 年 6 月 5 日发布的关于减少某些对环境影响的塑料制品的（EC）2019/904 号指令第 15 条（脚注 9）。

补救措施。

但是，即便是确定了应用并制定了针对该等应用的标准，现实条件下生物可降解塑料的使用依然充满挑战，因为不同环境之间的现实条件存在着巨大差异（例如针对海洋生物降解性，波罗的海和地中海的差异，或者海滩、表面、深水和海床之间的差异等）。

家庭堆肥的标准化程度不如工业堆肥，其真实使用的环境条件更贴近开放环境，因此应纳入分析之中。工业堆肥不属于当前分析的范围。

因此，首席科学顾问小组要回答的主要问题将是：

从科学角度和生命周期角度出发，对于适用于陆地、河流或海洋环境中可生物降解的塑料而言，并考虑到废弃物层级管理和循环经济方法：

这种对环境有益的塑料与不可生物降解的塑料相比，有哪些适应的标准和相应的应用？

附件 3 - 咨询专家和利益攸关方代表名单

Almeida	Felipe	欧洲化学工业委员会 (CEFIC) - Cefic aisb	*
Alvarez	Helena	Oceana (海洋环保组织)	*
Bergmann	Melanie	阿尔弗雷德-魏格纳极地与海洋研究所	
Bonten	Christian	斯图加特大学	
De Los Llanos	Carlos	CITEO (法国环保企业)	
De Wilde	Bruno	OWS (比利时的城市固废处理公司)	
Degli Innocenti	Francesco	欧洲生物塑料协会	*
Farmer	Andrew	欧洲环境政策研究所 (IEEP)	*
Grefenstein	Achim	欧洲塑料加工工业协会 (EuPC)	*
Hauschild	Michael Zwicky	丹麦技术大学	
Haut	Gaelle	冲浪者基金会	*
Malinconico	Mario	生物可降解塑料协会 (Assobioplastiche)	*
Marshall	Shawn	加拿大环境和气候变化部科学顾问	
Mukherjee	Anindya	PHA 全球组织 (GoPHA)	*
Narancic	Tanja	都柏林大学学院	
Navazas	Alejandro	欧洲回收工业联合会 (EURIC)	*
Nemer	Mona	加拿大首席科学顾问	
Newman	David	生物基和生物可降解工业协会	*
Nony	Jean-Marc	CEN TC 261 SC4	*
Sander	Michael	苏黎世联邦理工学院	
Schlegel	Katharina	欧洲塑料制造商协会	*
Shawn	Marshall	加拿大环境和气候变化部的科学顾问	
Simon	Jordi	西班牙可堆肥和生物可降解塑料协会	*
Simpson	Peter	欧洲化学品管理局 (ECHA)	*

Thompson	Richard	普利茅斯大学	
Tonin	Elisabetta	欧洲废弃物管理和环境服务联合会 (FEAD)	*
Van Der Zee	Maarten	瓦格宁根大学	

附件 4 - 参考文献

- Ahmed, T., Shahid, M., Azeem, F., Rasul, I., Shah, A., Noman, M., Hameed, A., Manzoor, N., Manzoo, I., Muhammad, S. (2018)。塑料的生物降解：环境安全的当前情景和未来前景。环境科学和污染研究, 25(8), 7287-7298。
- Bonifer, K.S., Wen, X.F., Hasim, S., Phillips, E.K., Dunlap, R.N., Gann, E.R., DeBruyn, J.M., Reynolds, T.B. (2019)。短小芽胞杆菌 B12 可以降解聚乳酸, 降解受营养条件变化的影响。微生物学前沿, 10。
- COM 2013/123。《欧洲环境中塑料废弃物战略绿皮书》, 1-20。来源: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0123&from=EN>
- COM 2015/614。欧洲委员会致欧洲议会、理事会、欧洲经济和社会委员会和地区委员会的通讯。《闭环——欧盟循环经济行动计划》, 1-21。来源: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF
- COM 2018/28。欧洲委员会致欧洲议会、理事会、欧洲经济和社会委员会和地区委员会的通讯。《循环经济中的欧洲塑料战略》, 1-18。来源: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF
- COM 2019/190。欧洲委员会就《循环经济行动计划》实施情况致欧洲议会、理事会、欧洲经济和社会委员会和地区委员会的报告, 1-12。来源: https://ec.europa.eu/commission/sites/betapolitical/files/report_implementation_circular_economy_action_plan.pdf
- COM 2019/640。欧洲委员会致欧洲议会、理事会、欧洲经济和社会委员会和地区委员会的通讯。《欧洲绿色新政》, 1-24。来源: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF
- Deroiné, M., Le Duigou, A., Corre, Y.M., Le Gac, P.Y., Davies, P., César, G.和 Bruzaud, S. (2014年)。蒸馏水中聚羟基丁酸戊酯的加速老化和寿命预测。聚合物测试, 39, 70-78。
- 欧盟科研与创新总司 (2018年)。欧洲可持续生物经济: 加强经济、社会和环境之间的联系, 1-107。来源: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/edace3e3-e189-11e8-b690-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-149755478>
- 欧盟科研与创新总司 (2019年)。塑料循环经济——从研究和创新中获得洞察力, 为政策和融资提供知情决策, 1-244。来源: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/33251cf9-3b0b-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-87705298>
- Dilkes-Hoffman, L. S., Lant, P. A., Laycock, B., & Pratt, S. (2019年)。有关海洋环境中聚羟基烷酸酯 (PHA) 生物塑料的生物降解率的一项元研究。海洋污染公告, 142, 15-24。
- 第 2019/904 号指令。欧洲议会和理事会于 2019 年 6 月 5 日发布的指令。来源: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/904/oj>
- Elhacham, E., Ben-Uri, L., Grozovski, J., Bar-On, Y.M., Milo, R. (2020年)。全球人造质量超过所有活生物量。《自然》, 1-13。来源: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5>

环保署网络（2019 年）。生物可降解塑料——环保署网络十六个成员的方法和经验。来源：
https://epanet.eea.europa.eu/reports-letters/reports-and-letters/igplastics_working-paper_biodegradableplastics.pdf/@download/file/IG%20Plastics_Working%20paper_Biodegradable%20plastics.pdf

七国集团首脑峰会（2015年）。七国集团首脑宣言，2015年6月7日至8日，1-23。来源：
[https://www.g7germany.de/Content/EN/_Anlagen/G7/2015-06-08-g7-](https://www.g7germany.de/Content/EN/_Anlagen/G7/2015-06-08-g7-abschluss-eng_en___blob=publicationFile&v=3.pdf)

[abschluss-eng_en___blob=publicationFile&v=3.pdf](https://www.g7germany.de/Content/EN/_Anlagen/G7/2015-06-08-g7-abschluss-eng_en___blob=publicationFile&v=3.pdf)

Ho, K. L. G.和 Pometto III, A. L.（1999 年）。温度对实验室呼吸仪中聚乳酸塑料土壤矿化的影响。环境聚合物降解期刊，7（2），101-108。

欧盟关于化学品注册、评估、许可和限制条例的第 1907/2006 号(EC)条例 (REACH)，1-849。

来源：<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1907&from=EN>

Pischedda, A., Tosin, M., 和 Degli-Innocenti, F. (2019 年)。塑料在土壤中的生物降解：温度的影响。聚合物降解和稳定性，170，109017。

欧洲塑料协会(2019 年)。塑料——2019 年事实。欧洲塑料生产、需求和废弃物数据分析，1-42。来源：<https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>

SAPEA（2020 年）。开放环境中塑料的生物可降解性。来源：
<https://www.sapea.info/topics/biodegradability-of-plastics/>

联合国（2015年）。《改变我们的世界——2030年可持续发展议程》，1-41。来源：
[https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Ag](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf)

[enda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf)

Vert, M., Doi, Y., Hellwich, K. H., Hess, M., Hodge, P., Kubisa, P., ... & Schué, F. (2012 年)。生物相关聚合物及应用术语（2012 年国际理论化学和应用化学联合会建议）。理论与应用化学，84(2)，377-410。

Volova, T. G., Gladyshev, M. I., Trusova, M. Y. 和 Zhila, N. O.（2007 年）。富营养化水库中多羟基烷酸盐的降解。聚合物降解和稳定性，92（4），580-586。

联系欧盟

登门

欧盟境内有数百个“直通欧洲”（Europe Direct）信息中心。您可以从以下网址，找到离您最近的中心地址：

https://europa.eu/european-union/contact_en

电话或电子邮件

“直通欧洲”服务能回答您关于欧盟的问题。您可以通过以下方式使用这项服务：

- 通过免费电话：**00 800 6 7 8 9 10 11**（某些运营商可能会对此电话收费）。
- 或请拨打以下标准号码：**+32 22999696**，或
- 通过电子邮件：https://europa.eu/european-union/contact_en

搜索欧盟信息

在线

可在 Europa 网站上以欧盟所有官方语言查询有关欧盟的信息：https://europa.eu/european-union/index_en

欧盟出版物

你可以从以下网址下载或订购免费和付费的欧盟出版物：

<https://op.europa.eu/en/publications> 可通过“直通欧洲”服务或当地信息中心（见 https://europa.eu/european-union/contact_en）获得多份免费出版物。

欧盟法律和相关文件

要获取欧盟法律信息，包括 1952 年以来所有欧盟法律的所有语言版本，请访问 EUR-Lex 网站：<http://eur-lex.europa.eu>

欧盟公开数据

欧盟开放数据门户(<http://data.europa.eu/euodp/en>) 提供了对欧盟数据集的访问。数据可以免费下载和重新使用，无论是用于商业还是非商业目的。

本科学意见审视了对环境有利的生物可降解塑料应用的相关条件和标准，并为社会、消费者、企业和决策者的知情决策提供了建议。塑料在全球的使用量不断增长，导致了环境中塑料废弃物的持续增加，这对陆地和海洋生态系统带来了污染和危害。生物可降解塑料可以部分解决这一问题，但同时也带来了一些挑战。生物降解性不仅取决于塑料材料本身的特性，亦受环境条件的制约。许多可生物降解的塑料产品实际上只能在某些特定环境或在工业堆肥设施中，而非在更普遍的开放环境中进行生物降解。

本意见中，我们建议将生物可降解塑料在开放环境中的使用限定在某些特定应用领域中，即那些不可以被减量使用、重复利用和回收利用的应用领域。不应将生物可降解塑料当做废弃物管理不当或乱扔垃圾的解决方案。为了实现相较于传统塑料的潜在环境效益，建议支持开发连贯的标准测试和认证开放环境中塑料的生物降解性。我们还建议向有关用户群体提供生物可降解塑料相关特性、恰当使用和处置及其局限性的准确信息。

研究和报告

