

羊毛和碳循环

羊毛是由大气中的碳构成的

碳是生命的核心元素，也是我们每天使用的许多产品的重要组成部分。许多纺织品和纤维由碳基产品制成，但只有一些（例如羊毛）由大气中的碳构成。此外，羊毛是天然可生物降解的。羊毛被弃置后会充当起肥料的作用，将养分和碳缓慢释放回土壤中。

相比之下，聚酯纤维、腈纶等主要合成纤维中的碳是从化石燃料中提取而来的，即将数百万年前封存的碳释放出来。





羊毛生命周期中的光合作用



羊毛中的碳来自大自然

有机碳占羊毛重量的 50%，高于有机碳在棉花 [40%] 和人造丝、粘胶纤维、竹纤维等木浆纤维 [42%] 中所占比重。羊毛中的碳来自绵羊对植物物质的消化。羊毛，特别是澳大利亚羊毛，出产于非集约化牧场体系，以牧草和其它牧场植物为主。这些植物从大气中吸收碳，并通过光合作用将碳转化为有机化合物（地球上大部分生命赖以生存的方式）。这意味着新剪羊毛中所含的大部分碳是在过去 1-2 年里才从大气中去除的，是自然可再生系统的一部分。

羊毛对碳循环的重要意义

羊毛会将大气中的碳短期储存起来，在服装的使用寿命内以坚韧耐用的形式将碳封存。通过储存温室气体二氧化碳 (CO₂)，羊毛可防止所储存的气体在服装使用寿命内对气候变化造成影响。换算成二氧化碳当量 (CO₂-e)，1 公斤洗净羊毛相当于 1.8 公斤二氧化碳当量。以此类推，2016/17 财年澳大利亚的羊毛产量相当于在相应的洗净毛中有超过 4.19 亿公斤的二氧化碳当量。在羊毛纤维从在绵羊身上生长到羊毛产品的使用，再到该产品被废弃和生物降解的整个生命周期的各个阶段里，羊毛纤维都在去除这些二氧化碳。对许多羊毛服装而言，由于羊毛被用于或循环利用于各种纺织品 (例如地毯和家居产品)，而这些纺织品的使用寿命要比许多羊毛服装的使用寿命更长，因此大大延长了二氧化碳的储存期。在主要的服装用纤维中，羊毛是重复使用率和循环利用率最高的纤维，可转换为新的耐久产品，例如服装、床垫和室内装饰品。虽然羊毛仅占原生纤维供应量的 1.2%，但调查显示，在捐赠给慈善机构的所有衣物中，羊毛衣物占了大约 5%。



后续如何：羊毛中的碳将何去何从？

羊毛不仅是自然碳循环的一部分，还会在其生命周期结束时自然分解并返回土壤里，而不是像合成纤维那样只能堆积在垃圾填埋场。由于羊毛由可生物降解的天然蛋白质 (类似于人类头发中的蛋白质) 构成，它在弃置后会充当肥料的作用将养分和碳缓慢释放回土壤中。相比之下，聚酯纤维、腈纶等合成纤维都来自化石燃料，是不可再生系统的一部分。这些人造纤维不可生物降解，是垃圾填埋场里垃圾的重要来源。



羊毛是可生物降解的

羊毛可以在短至三到四个月内完成生物降解，但降解速率因土壤类型及条件、气候和羊毛特性而异。有研究发现，羊毛在被埋入土壤仅仅四周后就开始更快地降解。这一生物降解过程中会释放出氮、硫和碳等基本元素，并回归土壤中，供生长中的植物吸收利用。

研究表明，染色、防缩等加工处理会影响羊毛在土壤中的生物降解速率，会造成羊毛织物起初的抗降解性增强。但这种影响是短期的，通常不会持续超过八周。

欲了解更多信息，请参阅[“羊毛可生物降解”](#)情况说明书。



在被掩埋六个月后，尼龙平面针织物 (左图) 相对保持不变，而羊毛平面针织物 (右图) 则已明显生物降解了。

参考文献

羊毛可以在短至三到四个月内完成生物降解，但降解速率因土壤、气候和羊毛特性而异：

- Hodgson A., Collie S. (December 2014). *Biodegradability of Wool: Soil Burial Biodegradation*. Presented at 43rd Textile Research Symposium in Christchurch – AWI Client Report.
- 羊毛在生物降解时会将氮、硫、碳等基本元素释放回土壤中，供植物在生长过程中吸收：
- McNeil et al. (2007). *Closed-loop wool carpet recycling. Resources, conservation & recycling* 51: 220-4.
- 换算成二氧化碳当量 (CO₂-e), 1 公斤洗净毛相当于 1.8 公斤二氧化碳当量：1 个碳原子代表了 27.3% 的 CO₂ 分子量 (1 x C 原子 (mwt 12) + 2 x O 原子 (mwt 2 x 16 = 32))——由此得出 $12/(12+32) = 12/44 = 0.273$ 。因此，要推导出 1 公斤洗净毛的二氧化碳当量，只需将 1 公斤洗净羊毛乘以 0.5 以转换为纯碳，然后除以 0.273 以转换为二氧化碳当量。
- 在主要的服装用纤维中，羊毛是世界上重复使用率和循环利用率最高的纤维：Russell SJ et al. Review of wool recycling and reuse. Proceedings of 2nd International Conference on Natural Fibers, 2015, 4.
- 有机碳占羊毛重量的 50%：
- Simmonds, D. *Proceedings of the International Wool Textile Research Conference*, International Wool Textile Research Conference. Melbourne, Australia: CSIRO Publishing, 1956, C65.
- Hawkesworth, A., *Australasian Sheep and Wool: A Practical and Theoretical Treatise: From Paddock to Loom. From Shearing Shed to Textile Factory*, 1948: p. 91.
- von Bergen, W., *Wool Handbook: A Text and Reference Book for the Entire Wool Industry*. Vol. 1. 1963, New York: John Wiley and Sons Inc. 315-450.
- Casuarano, H.J., et al., *Soil organic carbon sequestration in cotton production systems of the southeastern United States*. *Journal of Environmental Quality*, 2006. 35(4): p. 1374-1383.
- 有机碳占棉花重量的 40%：Casuarano, H.J., Franzluebbers, A.J., Reeves, D.W., Shaw, J.N. (2006), *Journal of Environmental Quality*, 35, 1374-1383.
- 有机碳占粘胶纤维等木浆纤维重量的约 42%：粘胶纤维 C₁₈H₃₂O₁₆ 是纤维素黄原酸钠的聚合物，由纤维素与碱和二硫化碳反应制得：Open Chemistry Database, *Compound*

Summary for CID 440950, 2018, p.1.

2016/17 财年澳大利亚的羊毛产量相当于在对应的洗净毛中有超过 4.19 亿公斤的二氧化碳当量：

- Hawkesworth, A., *Australasian Sheep and Wool: A Practical and Theoretical Treatise: From Paddock to Loom. From Shearing Shed to Textile Factory*, 1948: p. 91.
- AWTA Key Test Data, 2016-17.
- 在主要的服装用纤维中，羊毛是重复使用率和循环利用率最高的纤维：Russell SJ et al. Review of wool recycling and reuse. Proceedings of 2nd International Conference on Natural Fibers, 2015, 4s.
- 虽然羊毛仅占原生纤维供应量的 1.2%，但调查显示，在捐赠给慈善机构的所有衣物中，羊毛衣物占了大约 5%：
- Y Chang, H. L Chen, and S Francis, *Market Applications for Recycled Postconsumer Fibres Family and Consumer Science* 1999. 27(3): p. 320.
- G. D. Ward, A. D. Hewitt, and S. J. Russell, Proceedings of the ICE. *Fibre composition of donated post-consumer clothing in the UK*. 2012 166(1): p. 31.
- Red Book 2016: *Long term global supply/demand update*. PCI Wood Mackenzie.

聚酯纤维、腈纶和尼龙都是由从化石燃料中直接提取的碳氢化合物或丙烯制成，因此是不可再生循环的一部分。这些纤维也是不可生物降解的：

- Russell, I., *Combined insect-resist and rot resist treatments of wool insulation*. 1992, CSIRO Division of Wool Technology: Australia.
- Szostak-Kotowa, J., *Biodeterioration of textiles International biodeterioration & biodegradation*, 2004. 53(3): p. 165-170.
- 有些研究发现，羊毛在被埋入土壤仅仅四周后就开始更快地降解，其重量明显减轻：Hodgson A, Leighs SJ, van Koten C. Compostability of wool textiles by soil burial. *Textile Research Journal*. 2023;93(15-16):3692-3702.
- 结果表明，羊毛织物的化学处理确实会影响生物降解的速率（以土壤掩埋的方式）。短期影响通常表现为织物最初的抗降解性增强，但织物的可降解性并没有因此而减弱：
- Hodgson A, Leighs SJ, van Koten C. Compostability of wool textiles by soil burial. *Textile Research Journal*. 2023;93(15-16):3692-3702