

老化轮胎磨损颗粒对生菜的毒性研究

夏文豪 廉菲*

河北工业大学

DOI:10.12238/eep.v8i1.2447

[摘要] 轮胎磨损颗粒(TWPs)已成为环境微塑料的主要来源之一,其对生态系统构成的潜在威胁受到了越来越多的关注。然而,目前仍缺少关于老化TWPs增强生物毒性作用机理的研究。基于此,本研究旨在深入考察不同老化程度的TWPs对生菜生长发育和氧化应激反应的影响。研究表明,相较于未老化的TWPs,老化TWPs对生菜的毒性显著增强。老化15天的TWPs使生菜的鲜重分别降低了18%和35%,而根长则分别缩减了14%和25%。与此同时,老化后的TWPs对生菜产生了更加严重的氧化损伤。综上所述,本研究揭示了TWPs在老化过程中毒性显著增强的现象,这为评估农田中微塑料污染的潜在风险提供了重要的科学依据。

[关键词] 轮胎磨损颗粒; 持久性自由基; 老化; 植物毒性; 活性氧

中图分类号: J522.3 **文献标识码:** A

Toxicity of Aging Tire Wear Particles to Lettuce

Wenhao Xia Fei Lian*

Hebei University of Technology

[Abstract] Tire wear particles (TWPs) have become one of the main sources of environmental microplastics, and the potential threat they pose to the ecosystem has received increasing attention. However, there is still a lack of research on the mechanism of the enhanced biotoxicity of aged TWPs. Based on this, this study aims to thoroughly investigate the effects of TWPs with different degrees of aging on the growth and development and oxidative stress response of lettuce. The research results show that, compared with unaged TWPs, the toxicity of aged TWPs to lettuce is significantly enhanced. TWPs aged for 15 days reduced the fresh weight of lettuce by 18% and 35% respectively, and the root length was reduced by 14% and 25% respectively. At the same time, the aged TWPs caused more severe oxidative damage to lettuce. In conclusion, this study reveals the phenomenon that the toxicity of TWPs is significantly enhanced during the aging process, which provides an important scientific basis for evaluating the potential risks of microplastic pollution in farmland.

[Key words] tire wear particles; aging; phytotoxicity; reactive oxygen species

引言

由于回收和处置措施不足导致的塑料垃圾管理不善,使得微塑料(MP; 尺寸小于5毫米的塑料颗粒)污染激增。在众多类型的微塑料中,轮胎磨损颗粒(TWPs)备受关注,约占陆地环境中现存微塑料的45%。轮胎与道路之间的摩擦会产生轮胎磨损颗粒,因为磨损的轮胎胎面与路面颗粒结合,每年产生约140万公吨的轮胎磨损颗粒。据统计,每年全球有超过600万吨的TWPs会通过大气沉降和径流等方式渗入农田,从而对作物安全和土壤健康构成隐患^[1]。虽然有几项研究探讨了TWPs对土壤健康的影响,但一个基本问题仍未得到解答:老化或原始的TWPs是否对土壤生物表现出更大的毒性。这种知识差距至关重要,因为释放到环境中的TWPs会发生各种转变,例如氧化、风化、光降解和生物降

解。这些过程中的每一个都可以统称为老化,它们都会显著改变TWPs的结构、质地和大小^[2]。尽管有这些见解,但仍然缺乏对老化TWPs如何影响植物整体性能和土壤健康的清晰理解。

考虑到人们对老化TWPs引起的植物毒性的研究较少,选择广泛种植和消费的叶类蔬菜生菜(*Lactuca sativa* L.)来研究老化TWPs的毒性。以往的研究已经表明,化学毒性以及由此引发的氧化应激均可能抑制植物的正常生长,但不同老化程度下这种抑制作用的关系需要进一步的研究^[3]。目前工作的总体目标是(1)比较原始和老化TWPs对生菜生长的影响;(2)比较原始和老化TWPs对生菜抗氧化系统的毒性影响。

1 材料与方法

1.1 TWPs及土壤

TWPs从中国四川的一家橡胶公司购买,通过40目(425 μm)和150目(100 μm)的筛网进行筛选,以获得不同粒径的TWPs,分别称为T40和T150。土壤样是从中国天津宁河区一块农田的地表20厘米土层中采集的。这些土壤样本经过风干、均质化处理,并使用2mm的筛网过筛。

1.2 TWPs的老化

将原始TWPs暴露于10%浓度的双氧水中,并在常温下下分别老化7天和15天。对老化的TWPs立即进行表征并用于植物暴露实验。

1.3 生菜暴露实验

选取大小相近的莴苣种子,用0.02%NaClO水溶剂消毒20min,将等分试样(15g)的TWPs与500g风干土均匀混合,使TWPs在土壤达到3%(w/w)浓度。将TWPs与土壤均匀混合,主要考虑TWPs因老化而在土壤剖面垂直迁移^[4]。将土壤含水量调整至60%最大持水量,室温下平衡3天。植物栽培试验主要包括4个处理(n=3): (1)CK,不含TWPs的土壤; (2)T40-0,原始T40的土壤; (3)T40-7, T40老化7天的土壤; (4)T40-15, T40老化15天的土壤; (5)T150-0,原始T150的土壤; (6)T150-7, T150老化7天的土壤; (7)T150-15, T150老化15天的土壤。将处理后的生菜种子均匀播种在各处理的土壤表面并覆盖一层薄薄的土壤,然后将所有处理组置于人工气候室内。设置光周期16h/8h(光照/黑暗),昼夜温度 $23\pm 1^\circ\text{C}$ / $18\pm 1^\circ\text{C}$,相对湿度 $60\pm 5\%$ / $40\pm 5\%$ 。通过称重法控制土壤含水量为田间持水量的60%。

1.4 生菜生长评估和生化分析

培养60天后收获植株进行后续测量,通过测量株高、鲜重和根长来评估莴苣的生长状况。使试剂盒测定了超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD),以及丙二醛(MDA)的含量。

2 结果与讨论

2.1 TWPs对生菜的影响

为了探究原始和老化TWPs的植物毒性差异,评估了生菜的生长指标。如图1所示,与原始TWPs处理组相比,老化TWPs处理组的生菜生长受到了显著的影响。其中,特别值得关注的是暴露于老化15天小粒径TWPs的生菜样本。具体而言,与原始TWPs处理的生菜相比,暴露于T40-15处理组的生菜,其鲜重减少了18%,茎长缩短了4%,根长缩短了14%;而暴露于T150-15处理组的生菜,鲜重减少幅度高达35%,茎长减少12%,根长减少25%。这些具体的数据变化直观地反映出不同老化程度和粒径的TWPs对生菜生长影响的差异。综上所述,相较于原始TWPs,老化的TWPs对生菜的生长产生了更为不利的影响,尤其是老化15天的小粒径TWPs,其对生菜生长的各项指标表现出了显著的抑制作用。

2.2 TWPs诱导的氧化应激反应

进一步分析了TWPs诱导的氧化胁迫,测定了生菜中MDA的含量以及POD和SOD活性。与CK相比, TWPs的暴露显著($p < 0.05$)增加了生菜根部MDA的含量,其顺序为T150-15>T150-7>CK。T40的处理也呈现出相同的趋势。同时,与T40-0和T150-0相比, T40-15

和T150-15中MDA的平均含量分别增加了29%和31%,增幅高于T40-7(16%)和T150-7(20%)。这些结果表明,老化的TWPs对生菜造成更严重的氧化损伤,尤其是老化15天的较小尺寸的TWPs。同时,原始TWPs的存在增加了SOD的活性,而在老化TWPs的处理中观察到显著的抑制作用(在T40-15中下降了29%,在T150-15中下降了33%)。同样,POD活性在暴露于TWPs时表现出类似的趋势。值得注意的是,老化7天的小粒径组(T40-7)即表现出显著毒性效应,表明小粒径的TWPs可能会穿透植物表皮屏障,引发毒性响应。先前的研究指出,在较低的胁迫环境中,抗氧化防御机制通常会被激活,而在较高的胁迫水平下受到抑制^[5]。由于TWPs老化过程中可能会产生更多的EPRs,进而诱导活性氧(ROS)的产生。因此,观察到的现象可能是由于外源ROS和体内ROS的过度积累,导致抗氧化系统失调^[6]。综上所述,老化TWPs可能会破坏生菜的抗氧化防御系统,削弱其清除ROS的能力并导致氧化损伤。

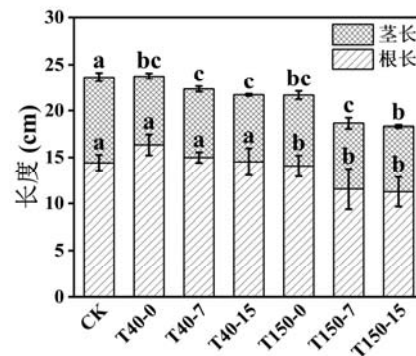
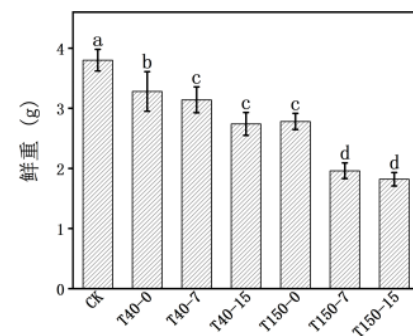
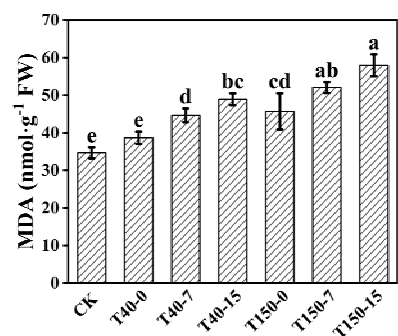


图1 TWPs对生菜鲜重和根长以及茎长的影响



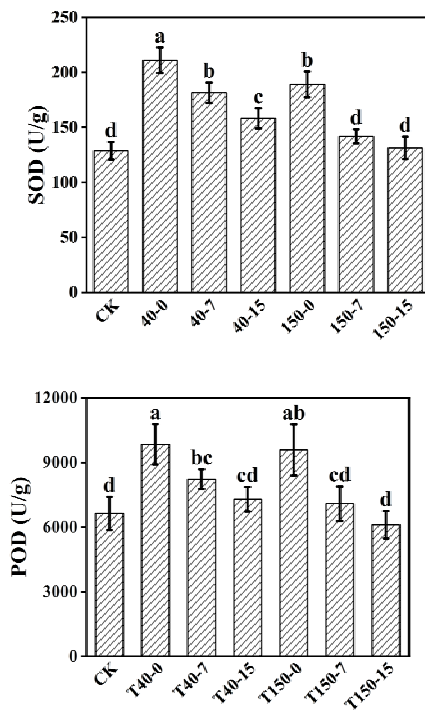


图2 TWP对生菜MDA、SOD和POD的影响

3 结论

本研究强调了陆地生态系统中TWP和植物之间相互作用。与原始TWP相比,老化TWP表现出更强的毒性。相比之下,老化TWP对植物的抗氧化防御显示出更明显的负面影响,突出了其潜在的生态风险。具体来说,与原始TWP相比,老化TWP显著减少了生菜鲜重、根长及茎长,并且T150处理组的抑制作用比T40更强。生菜的生化检测表明,老化的TWP显著提高了生菜根部MDA的含量并抑制了抗氧化酶(SOD和POD)的活性。这可能是由于老化的TWP会诱导ROS的产生,从而引起生菜的氧化应激,并致

使抗氧化系统受损。总体而言,这些发现有助于填补关于TWP在陆地环境中的环境归宿和影响的关键知识空白,并将为未来关于自然老化TWP长期影响的研究提供重要见解。

[参考文献]

[1] DING J, LV M, ZHU D, et al. Tire wear particles: An emerging threat to soil health[J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2022, 53(2): 239–57.

[2] ALI N, LIU W, ZEB A, et al. Environmental fate, aging, toxicity and potential remediation strategies of microplastics in soil environment: Current progress and future perspectives[J]. *Science of The Total Environment*, 2024, 906: 167785.

[3] NG E L, LWANGA E H, ELDRIDGE S M, et al. An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 627: 1377–88.

[4] BOOTS B, RUSSELL C W, GREEN D S. Effects of Microplastics in Soil Ecosystems: Above and Below Ground[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(19): 11496–506.

[5] ZHOU X, JOSHI S, PATIL S, et al. Reactive Oxygen, Nitrogen, Carbonyl and Sulfur Species and Their Roles in Plant Abiotic Stress Responses and Tolerance [J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2022, 41(1): 119–42.

[6] ZEB A, LIU W, ALI N, et al. Integrating metabolomics and high-throughput sequencing to investigate the effects of tire wear particles on mung bean plants and soil microbial communities[J]. *Environmental Pollution*, 2024, 340.

作者简介:

夏文豪(1999--),男,汉族,临沂人,河北工业大学,研究生,研究方向:微塑料毒性研究。