

贺兰山东麓葡萄种植区土壤微塑料赋存特征及源解析

王萌露^{1*} 张艺婧² 杨刚¹

1 宁夏葡萄酒与防沙治沙职业技术学院

2 宁夏回族自治区核地质调查院

DOI:10.32629/as.v9i6.4089

[摘要] 为探究西北典型生态脆弱区葡萄种植土壤中微塑料的赋存特征与来源,本研究以宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄产区为研究对象,系统采集26个表层土壤样品(0~20 cm),采用密度分离与消解前处理方法提取微塑料,结合体视显微镜观察与傅里叶变换红外光谱(ATR-FTIR)对其进行形态、粒径、颜色及聚合物类型分析,并运用正定矩阵因子分解法(PMF)解析其可能来源。结果表明,研究区土壤中微塑料平均丰度为1963个/kg,变化范围为703~2633个/kg;粒径分布较为均匀,<0.1 mm与1~5 mm粒径段占比较高。微塑料形态以片状(45.3%)和纤维状(43.6%)为主,块状仅占11.1%。黑色片状微塑料占比较高,与广泛使用黑色地膜密切相关;纤维状微塑料主要来源于灌溉用水、葡萄绑缚材料及日常生活活动。聚合物类型共检出5种,其中聚乙烯(PE)占比最高(76.5%),其次为聚丙烯(PP)、聚氨酯甲酸酯(PU)、聚氯乙烯(PVC)及聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)。PMF源解析进一步识别出三个主要来源因子:农业用品输入(彩色塑料)、农业用水输入(条状纤维)及地膜残留输入(黑色片状塑料)。本研究揭示了贺兰山东麓葡萄种植区土壤微塑料的污染特征与主要来源,为该区域微塑料污染风险评估及地膜科学使用提供了基础数据与理论依据。

[关键词] 微塑料; 葡萄种植区; 赋存特征; 源解析

中图分类号: S436.631 文献标识码: A

Occurrence Characteristics and Source Apportionment of Microplastics in Vineyard Soils of the Eastern Foothills of Helan Mountain

Menglu Wang^{1*} Yijing Zhang² Gang Yang¹

1 Ningxia Technical College of Wine and Desertification Prevention

2 Ningxia Nuclear Geological Survey Institute

[Abstract] To investigate the occurrence characteristics and sources of microplastics in vineyard soils within a typical ecologically vulnerable region of Northwest China, this study systematically collected 26 surface soil samples (0–20 cm) from the wine grape producing area at the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia. Microplastics were extracted using density separation and digestion pretreatment methods, followed by morphological, particle size, color, and polymer type analysis via stereomicroscopy and attenuated total reflection Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR). Positive matrix factorization (PMF) was employed to apportion the potential sources of microplastics. The results showed that the average abundance of soil microplastics in the study area was 1963 items/kg, ranging from 703 to 2633 items/kg. The particle size distribution was relatively uniform, with <0.1 mm and 1–5 mm fractions accounting for relatively high proportions. Microplastics were predominantly fragment-shaped (45.3%) and fiber-shaped (43.6%), while granular microplastics accounted for only 11.1%. The high proportion of black fragments was closely related to the widespread use of black plastic mulch. Fiber-shaped microplastics mainly originated from irrigation water, vine binding materials, and daily human activities. A total of five polymer types were detected, with polyethylene (PE) being the most abundant (76.5%), followed by polypropylene (PP), polyurethane (PU), polyvinyl chloride (PVC), and polyethylene terephthalate (PET). PMF source apportionment further identified three majorsource factors: agricultural material input (colored plastics), agricultural water input (fibrous materials),

and plastic mulch residue input (black fragments). This study reveals the pollution characteristics and major sources of microplastics in vineyard soils of the eastern foothills of Helan Mountain, providing baseline data and a theoretical basis for microplastic pollution risk assessment and scientific use of plastic mulch in this region.

[Key words] microplastics; vineyard area; occurrence characteristics; source apportionment

1 引言

微塑料(Microplastics, MPs)作为一种新兴环境污染物,已在全球土壤生态系统中广泛检出,其长期累积与潜在生态风险受到日益关注^[1-3]。农田土壤是微塑料的重要“汇”,农用地膜残留、污泥土地利用、大气沉降及农业灌溉等活动是其主要输入途径^[2-3]。其中,地膜残留量直接决定土壤微塑料丰度,高残留量下微塑料颜色与形态发生显著变化,颗粒状逐渐成为优势形态,污染风险急剧升高^[4]。微塑料的存在会改变土壤pH、电导率及团聚体稳定性,显著影响碳氮组分循环与微生物群落结构^[5-8],并可能通过吸附污染物及干扰植物营养吸收产生复合生态毒性效应^[9]。

宁夏坐落于中国西北地区,贺兰山东麓地处干旱-半干旱过渡带,气候与立地条件优越,是我国重要的优质酿酒葡萄特色产区。该地区长期采用覆膜栽培以保墒控草,同时配合滴灌等节水灌溉措施^[10,11]。葡萄园覆膜年限长、地膜残留量高,加之干旱、风蚀、干湿交替及季节性冻融等环境因子的耦合作用,可能显著影响土壤微塑料的赋存特征、老化过程与垂向分布^[2,3]。然而,目前针对贺兰山东麓葡萄种植区土壤微塑料的系统研究十分有限,该区域微塑料的丰度水平、聚合物类型、粒径组成及空间分布规律均不清楚,微塑料积累是否已对土壤健康和葡萄生产构成潜在风险也缺乏科学评估。

为此,本文以宁夏贺兰山东麓典型葡萄种植区为研究对象,系统调查该区域土壤中微塑料的赋存特征,分析其空间分布与可能来源。研究结果可为该区域微塑料污染风险评估及葡萄园地膜科学使用提供基础数据与理论依据。

2 材料与方法

2.1 研究区概况

本研究区于宁夏回族自治区贺兰山东麓共布设26个采样点,研究区域范围见图1。产区属典型大陆性气候,光照充足,昼夜温差大,降水稀少,配合以淡灰钙土和砂砾土为主的贫瘠土壤,有利于葡萄根系深扎及风味物质积累。目前,该区域酿酒葡萄种植面积超过60万亩,占全国近40%,是中国最大的集中连片产区,也是重要的葡萄酒地理标志保护区域。

2.2 样品采集

根据《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618-2018)和《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004)等相关要求,本次采样采用系统布点方式,网格规格为200 m×200 m。在每个网格内,按照梅花五点法选取四个顶点及中心位置进行取样,并将各点样品混合,采样深度控制在0~20 cm。混合后的样品通过四分法缩分至2.0 kg,并按照样品总数10%的比例设置平行样。采样全程禁止使用塑料材质的工具,同时按要求

采集现场空白样。采集到的样品经自然风干、剔除杂质、研磨并过150 μm尼龙筛后统一保存,以备后续分析测试。

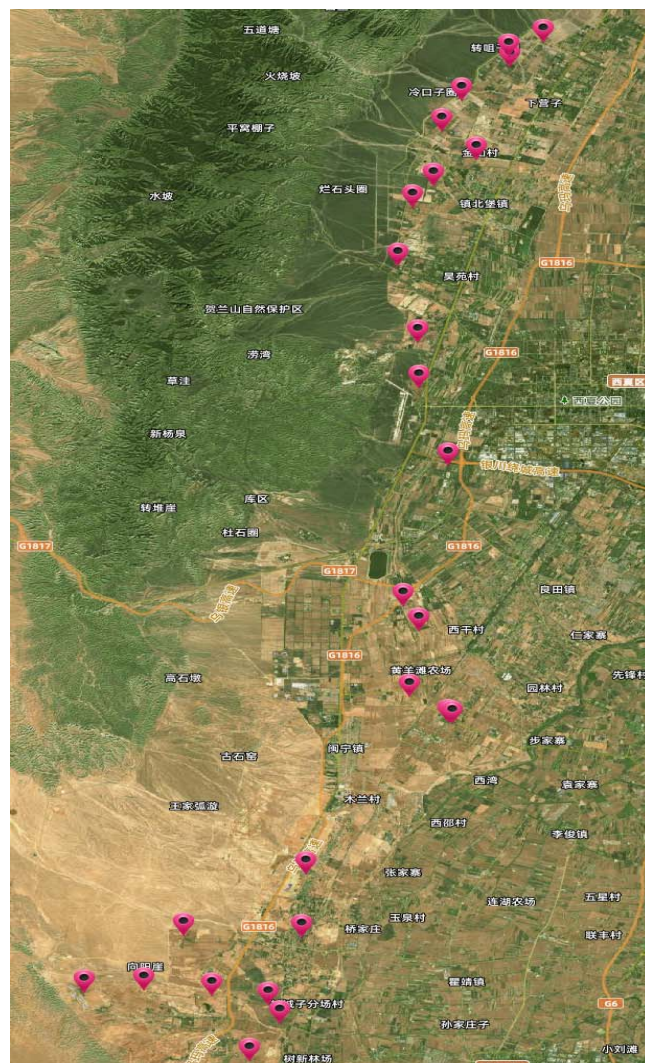


图1 采样点布设图

2.3 样品处理

本研究采用密度分离法提取土壤中的微塑料。所有操作均在洁净环境中进行,实验人员穿着棉质实验服,所有玻璃器皿均经去离子水多次清洗,不使用时用锡纸密封;所用试剂在使用前均经0.45 μm玻璃纤维滤膜过滤预处理,全程禁止使用塑料材质的器具。

准确称取经风干并过5 mm不锈钢筛的土壤样品50 g,置于250 mL玻璃烧杯中,加入25 mL 30%(w/w)过氧化氢(H₂O₂)消解液,用锡纸封口后放入60 ℃恒温烘箱中持续消解48 h,以彻底去除样品中的有机物质。消解完成后,取出烧杯,超声处理30 min。

向烧杯中加入饱和氯化锌(ZnCl_2)溶液至总体积约200 mL,磁力搅拌10 min,使微塑料充分悬浮。将混合液在5000 r/min下离心10 min,收集上清液,并通过5 μm 玻璃纤维滤膜真空抽滤。将滤膜放入25 mL饱和 ZnCl_2 溶液中,超声分散30 min,使截留的微塑料释放。取出滤膜,用饱和 ZnCl_2 溶液反复冲洗至无微塑料残留,合并冲洗液与原液。将上述溶液再次离心(5000 r/min, 10 min),收集上清液,并用同规格的5 μm 玻璃纤维滤膜真空抽滤,同时用去离子水冲洗滤膜3次。最后,将滤膜置于玻璃培养皿中,在60 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中干燥24 h,待后续检测分析。

样品分析采用配备电子目镜的体视显微镜,对滤膜上的微塑料进行目视识别与计数,并根据其形态、颜色及尺寸进行分类。对不同尺寸区间的微塑料,分别使用傅里叶变换衰减全反射红外光谱仪进行化学组成鉴定,以确认其聚合物类型。

3 结果和分析

3.1 微塑料丰度分布

研究区土壤微塑料平均丰度为1963个/kg,平均丰度从最低值703个/kg到最高值2633个/kg,其中7号和22号采样点的土壤微塑料丰度偏低,均值在1000个/kg以下,而4、12、20、25点位的土壤微塑料丰度相对较高,均值均达到2000个/kg以上(图2所示)。

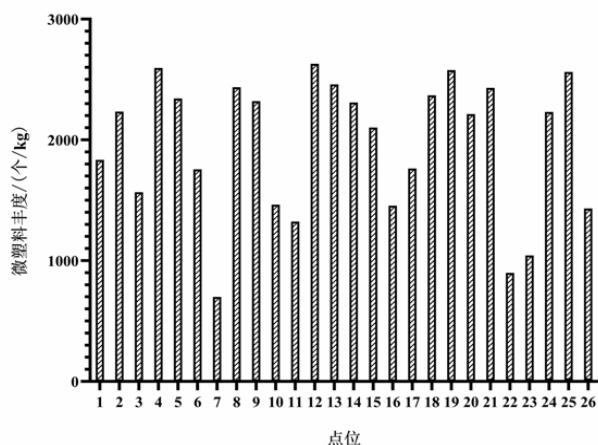


图2 土壤微塑料丰度分布图

葡萄种植区土壤微塑料的粒径分布比例见图3。总体来看,各粒径范围的微塑料分布较为均匀。其中,<0.1 mm的粒径占比为15%~32%,0.1~0.5 mm的占比为17%~33%,0.5~1 mm的占比为15%~31%,1~5 mm的占比为18%~34%。在多数采样点位中,粒径<0.1 mm和1~5 mm的微塑料占比较高,构成主要部分。具体而言,粒径<0.1 mm的微塑料占比最高的点位为24,最低的点位为11。粒径在0.1~0.5 mm范围内的微塑料,占比最低的点位为17,该点位各粒径分布相对均匀;占比最高的点位为16。

3.2 微塑料形态特征

对26个点位的葡萄种植区土壤中微塑料的形态特征进行分析,结果显示,微塑料主要呈现为片状、纤维状和块状和三种类型(图4和图5)。从形态分布来看,片状微塑料的占比最高,达到45.3%;其次是纤维状微塑料,占比为43.6%;块状微塑料的占比

相对较低,为11.1%。已有研究指出,纤维状与片状是我国农用地土壤中微塑料的主要存在形态^[12]。在本研究中,片状微塑料,尤其是黑色片状微塑料,表现出较高的相对丰度。这一现象可能与葡萄种植区广泛采用的塑料覆膜农业实践密切相关。塑料地膜在长期使用过程中,因机械破损、紫外线辐射及微生物降解等作用逐渐老化、碎裂,进而形成大量片状微塑料进入土壤环境。需要指出的是,块状微塑料虽然占比较小,但其存在亦不容忽视,可能来源于其他类型塑料废弃物的破碎。

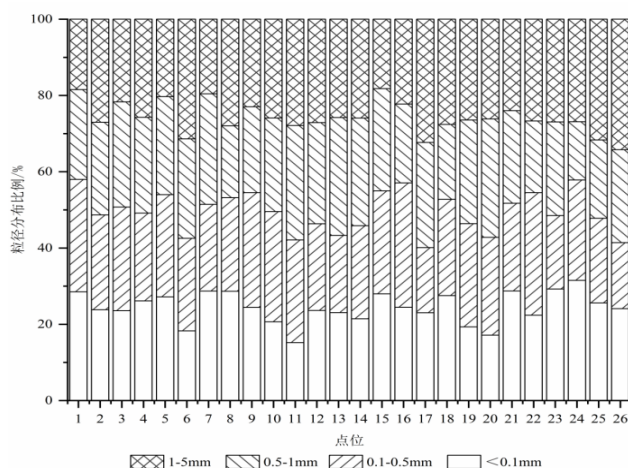


图3 葡萄种植区土壤微塑料粒径分布比例

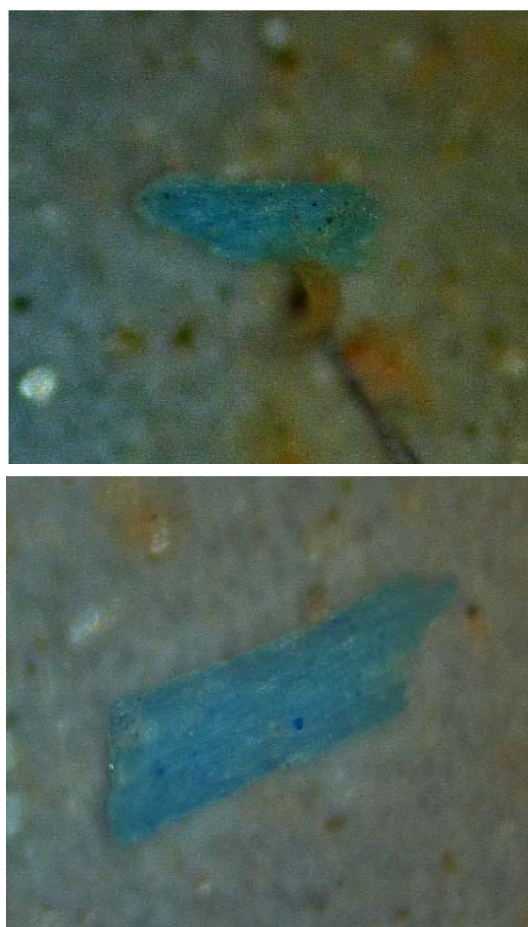




图4 片状及块状微塑料体视显微镜图

与片状微塑料相比,纤维状微塑料在本研究区域中的占比亦较高,达到43.6%。推测纤维状微塑料占比较高的原因,主要可归纳为以下三个方面。第一,灌溉水源中普遍含有塑料纤维,这些纤维可能来源于输水管道的老化脱落、地表径流携带的纤维污染物,或水源地本身的微塑料污染。在灌溉过程中,这些纤维随水体进入土壤,并在长期灌溉作用下逐渐累积。第二,葡萄种植过程中特有的农事操作亦不可忽视,尤其是在葡萄藤与葡萄架固定捆绑环节,常使用聚丙烯等材质的纤维绳,这些纤维材料在风吹日晒及机械拉伸下逐渐老化、断裂,进而形成纤维状微塑料进入土壤。第三,人类日常活动也是纤维状微塑料的重要来源。例如,衣物洗涤过程中脱落的合成纤维、化纤制品的使用与磨损,以及农业劳作中所穿服装的纤维释放,均可产生大量微塑料纤维,通过大气沉降或直接接触进入土壤环境^[13]。上述三类来源所产生的纤维,通过灌溉、降水、大气沉降或人为耕作等方式,不断汇入葡萄种植区土壤,成为纤维状微塑料的重要组成部分。综上所述,葡萄种植区土壤中微塑料形态组成的差异,与区域农业管理方式(特别是地膜使用)及人为活动强度密切相关。

3.3 微塑料成分统计及源解析

经聚合物类型检测,共测出5种成分的微塑料,分别为聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氨基甲酸酯(PU)、聚氯乙烯(PVC)及聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)。其中PE的占比最高,达76.5%。

PE为由全饱和碳氢化合物构成的聚合物,凭借其高稳定性、较大拉伸强度及优良的耐低温性能,已成为当前应用最为广泛的农用地膜材料^[14]。然而,PE难以在自然环境中降解,导致其在农田土壤中持续残留并累积,其在土壤中的长期累积可对土壤生态功能产生不利影响^[2]。研究显示,PE微塑料会显著降低土壤团聚体的几何平均直径,改变土壤结构,同时,还会降低细菌香农指数并改变微生物群落组成^[15]。除PE外,PP、PET及PU等其他类型的微塑料在我国农用地土壤中亦被多次检出^[16]。其中,PU微塑料已被证实可显著抑制番茄等作物种子的早期发芽率,并通过改变土壤理化性质和微生物群落结构对土壤生态系统及农作物安全构成潜在威胁^[17]。



图5 条状纤维微塑料体视显微镜图

本研究采用正定矩阵因子分解法(PMF)研究区域土壤中微塑料的可能来源。PMF模型共解析出3个代表微塑料潜在来源的因子。因子1与有色塑料材质相关。彩色微塑料主要源于农业活动中所使用的塑料制品,例如部分彩色农药包装袋、塑料瓶等废弃物,在老化破碎后可形成彩色微塑料颗粒。此外,在葡萄种植等农业生产过程中,常使用彩色扁丝绳进行藤蔓捆绑及棚架搭建,该类材料在日晒雨淋及机械拉伸作用下逐步老化、破碎,释放大量纤维状微塑料进入土壤环境。基于上述特征,因子1被判定为农业用品材料的输入。因子2以条状纤维材质为主要特征。已有研究普遍表明,合成纤维纺织品的洗涤过程是环境中纤

维状微塑料的最主要来源之一。此外,采用含有微塑料的再生水进行农业灌溉,亦被证实为农田土壤中纤维状微塑料的重要输入途径。综合上述来源特征,因子2可归因于农业用水输入。因子3以黑色片状塑料材质为主要特征。实地调查结果显示,葡萄种植区普遍存在地膜使用情况,采样过程中亦观察到大量地膜残留,且其颜色以黑色为主。地膜在经历破损与老化过程后,其形态多转变为片状。基于上述特征,因子3被判定为地膜残留输入。

4 结论

本研究在宁夏贺兰山东麓26个葡萄种植点位的表层土壤中检出微塑料,其平均丰度为1963个/kg(703~2633个/kg),粒径分布均匀,以<0.1mm和1~5mm为主,表明土壤中微塑料经历了破碎与累积。微塑料形态以片状(45.3%)和纤维状(43.6%)为主,块状仅占11.1%;黑色片状与地膜使用密切相关,纤维状主要源于灌溉、绑缚材料及人类活动。聚合物以聚乙烯(PE)占绝对优势(76.5%),与其地膜来源及难降解性一致。PMF源解析识别出三个因子:彩色塑料(农业用品输入)、条状纤维(农业用水输入)及黑色片状(地膜残留输入),其中地膜残留贡献最大。综上,该区域土壤微塑料丰度较高,PE片状占主导,建议加强地膜管理、推广可降解地膜并控制灌溉水源输入,以降低对葡萄园土壤健康及产业可持续发展的风险。

[基金项目]

宁夏回族自治区教育厅高等学校科学研究项目(NYC-2024-381)。

[参考文献]

- [1]张师蕊,梁银秀,邓文芳,等.土壤和沉积物中微塑料迁移行为研究进展[J/OL].环境科学,1-21[2026-06-22].
- [2]张照森,罗晓晓,曾烁瀚.微塑料污染:来源、生态影响与迁移机制[J/OL].广州航海学院学报,1-8[2026-06-22].
- [3]张蓓,余心泽,郝敏彤,等.农田土壤微塑料环境行为、风险与污染防治研究进展[J/OL].农业资源与环境学报,1-22[2026-06-22].
- [4]刘地,杨燕玲,孙晓阳,等.地膜残留量对新疆灰漠土棉田土壤微塑料赋存特征的影响[J/OL].农业环境科学学报,1-16[2026-06-22].
- [5]孙晓阳,刘佳乐,刘地,等.微塑料对盐渍化土壤活性有机碳组分的影响[J/OL].农业环境科学学报,1-14[2026-06-22].
- [6]崔翠雪,胡晓钧,张娟琴,等.可降解地膜对土壤理化性质

及微生物群落结构的影响[J/OL].农业资源与环境学报,1-19[2026-06-22].

[7]杨蕊,艾顺轩,王雅蕾,等.微塑料对玉米生长和土壤理化性质的影响[J/OL].农业环境科学学报,1-25[2026-06-22].

[8]杨宇翔,田永生,杨焯,等.不同类型微塑料对土壤特性、微生物群落和作物生长的影响[J/OL].环境科学,1-14[2026-06-22].

[9]王发园,张莘,陈保冬.土壤微塑料与丛枝菌根真菌的相互作用[J].植物生态学报,2026,50(3):612-624.

[10]李昭楠.戈壁葡萄滴灌节水机理及灌溉制度模式研究[D].甘肃农业大学,2012.

[11]李银芳,潘伯荣,阿迪力·吾彼尔,等.葡萄种植行向对覆膜越冬膜下温度的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(2):240-246+288.

[12]TANGK.H.D.MicropasticsinagriculturalsoilsinChina:sources, impacts and solutions[J].Environmental Pollution,2023,322:121235.

[13]YANG J.,LI R.J.,ZHOU Q.,et al.Abundance and morphology of microplastics in an agricultural soil following long-term repeated application of pig manure[J].Environmental Pollution,2021,272:116028.

[14]WU J.Y.,GAO J.M.,PEI Y.Z.,et al.Micropastics in agricultural soils:a comprehensive perspective on occurrence, environmental behaviors and effects[J].Chemical Engineering Journal,2024,489:151328.

[15]关恩,张之钰,高洁,等.微塑料对玉米生长、土壤团聚体和氮转化微生物组成的影响[J].土壤与作物,2026,15(1):43-52.

[16]张彦,窦明,郝松泽,等.中国农田土壤微塑料赋存特征研究进展及展望[J].灌溉排水学报,2024,43(12):11-20.

[17]JLIJ.S.,WANGD.R.,CHEN T.G.,ZHOU W.H.,ZHAN X.H.Risks of microplastics from polyurethane and polyethylene-polycarbonate coated fertilizers to soil-crop system[J].Journal of Hazardous Materials,2025,140181.

作者简介:

王萌露(1989--),女,回族,宁夏银川人,硕士,讲师,主要从事生态环境学研究,wangmenglu802@163.com,宁夏葡萄酒与防沙治沙职业技术学院。