

柳月,李成,霍广元,等.地膜类型和使用方式对土壤中邻苯二甲酸酯累积及土壤理化性质的影响[J].江苏农业科学,2023,51(22):229-236.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.22.031

地膜类型和使用方式对土壤中邻苯二甲酸酯累积及土壤理化性质的影响

柳月¹,李成^{1,2},霍广元¹,王鹏智¹,王娜¹,杨晶¹,刘春敬¹,高志岭¹,谢建治¹

(1.河北农业大学资源与环境科学学院,河北保定 071000; 2.省部共建华北作物改良与调控国家重点实验室,河北保定 071000)

摘要:为探讨地膜类型和使用方式对农田土壤中邻苯二甲酸酯(PAEs)累积及土壤理化性质的影响,本研究选用不同类型(PE普通地膜、PBAT生物降解地膜)地膜,通过采集不同时间土壤样品,比较了不同地膜处理方式(填埋、覆膜)、地膜颜色(黑、白)、地膜厚度(0.008、0.010、0.014 mm)对土壤中PAEs残留的动态变化规律和对土壤理化性质的影响。结果表明,地膜厚度越厚,其释放到土壤中的PAEs含量越高。地膜厚度分别为0.008、0.010、0.014 mm的PE黑地膜覆膜120 d后,土壤中PAEs含量分别为2.95、3.31、3.61 mg/kg,显著高于未覆膜土壤CK(0.82~0.85 mg/kg) ($P<0.05$)。在地膜厚度相同的情况下,黑地膜使用120 d后土壤中的PAEs含量比白地膜高0.25~0.94 mg/kg。在地膜施用方式上,与覆膜处理相比,填埋处理能够显著增加土壤中的PAEs含量($P<0.05$),其增加量为0.10~0.88 mg/kg。在地膜类型上,与PE普通地膜(3.19~3.21 mg/kg)相比,PBAT生物降解地膜使用120 d后显著增加土壤中的PAEs含量($P<0.05$),其含量为3.71 mg/kg。此外,PE普通地膜会提高土壤表层盐分含量,降低土壤有机质含量。而PBAT生物降解地膜对土壤表层盐分影响很小,对土壤物理性质变化的影响较缓和。本研究结果可为PAEs在土壤中的累积风险以及生物可降解地膜的推广应用提供理论依据。

关键词:邻苯二甲酸酯(PAEs);农用地膜;土壤理化性质

中图分类号:TQ414.1;X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)22-0229-08

农用地膜使用能够增温保墒、防病抗虫、抑制杂草,能够促进农作物产量和提高农业效益,被广泛应用于农业生产领域^[1-2]。研究表明,发达国家普遍使用厚度为0.012~0.015 mm的地膜,且使用后进行强制回收,以此避免残膜污染问题。而我国农业地膜普遍较薄,96.7%的地膜厚度集中在0.004~0.008 mm且回收困难^[3-5]。截至2021年,我国农膜使用量已突破260万t^[6-7],地膜使用量不断增加和使用面积不断扩大。虽然地膜能够提高作物产量和农业效益,但由于地膜回收工作开展困难导致农用地膜回收率低^[8-9]。不同类型的地膜覆盖在土壤表面,并随着时间的推移,通过翻耕模式被填埋进土壤里,造成土壤不同程度的污染。

农用地膜是农田土壤中增塑剂邻苯二甲酸酯(PAEs)污染的重要来源。PAEs广泛应用于塑料增塑剂和软化剂,是农用地膜的原料和添加剂,同时也是环境中持久性有机污染物之一,主要以邻苯二甲酸二丁酯(DBP)和邻苯二甲酸二-2-乙基己基酯(DEHP)为主^[10-11]。PAEs可不断从地膜中释出,经过淋溶、挥发和沉降等过程,最终在土壤中累积,破坏土壤结构,造成耕层土壤理化性质恶化^[12-13]。不同类型的地膜通过覆盖在土壤表面或通过翻耕被埋进土壤,导致了PAEs的释放^[14]。据调查,山东寿光^[15]、河北^[16]等地区存在不同程度PAEs污染问题。如寿光镇检测出土壤PAEs总量范围为0.453~1.615 mg/kg,其中DEHP占PAEs总含量的45%~77%,DBP占17%~44%^[15]。

农用地膜对农田土壤理化性质有诸多不良影响,地膜释放的PAEs残留在农田土壤环境中,对农作物食品安全和人体健康造成极大威胁^[17-18]。地膜类型和使用方式是影响土壤PAEs累积和土壤质量的关键因素^[19]。目前常见的地膜类型大多为PE普通聚乙烯地膜和生物降解地膜。常见的PE普通地膜种类繁多,不同厚度和颜色地膜被广泛应用。

收稿日期:2023-01-11

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2015ZX07203-005);国家重点研发计划(编号:2018YFC1800806);河北省高等学校科学技术研究青年基金(编号:QN2016255)。

作者简介:柳月(1997—),女,河北保定人,硕士研究生,主要研究方向为农业环境保护。E-mail:1982266918@qq.com。

通信作者:谢建治,博士,教授,主要研究方向为农业环境保护。

E-mail:xjianzhi@126.com。

与 PE 普通聚乙烯地膜相比,生物可降解地膜通过改变水热条件对土壤微生物数量有着积极作用,对土壤物理性质变化的影响较缓和^[20],具有替代 PE 普通聚乙烯地膜的可行性^[21-25]。然而不同类型地膜在生产中所添加的增塑剂(PAEs)不同,其释放到农业土壤 PAEs 含量还有待研究。因此,本试验选用了不同类型地膜(PE 普通地膜、PBAT 生物降解地膜),通过采集不同时间土壤样品,分析不同地膜处理方式(填埋、覆膜)、地膜颜色(黑、白)、地膜厚度(0.008、0.010、0.014 mm)对土壤中 PAEs 残留的动态变化规律和对土壤理化性质的影响,为深入了解地膜对土壤中 PAEs 累积和土壤理化性质的影响,合理高效地应用地膜,从而减少 PAEs 造成的健康风险提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

PE 普通地膜:不同厚度(0.014、0.010、0.008 mm)、不同颜色(白膜、黑膜)的塑料地膜,共 6 种,均购自江苏润田塑业有限公司。生物可降解地膜:选取 2 种 0.010 mm PBAT 生物降解地膜(黑膜、棕膜),浙江家乐蜜园艺科技有限公司。

供试土壤来自河北省保定市河北农业大学实验基地。土壤样品经风干去除杂物后混匀磨碎,过 2 mm 尼龙筛备用,其基础理化性质如表 1 所示。

表 1 土壤理化性质			
pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
8.12 \pm 0.06	20.58 \pm 0.87	1.08 \pm 0.06	114.44 \pm 8.44

1.2 试验设计

1.2.1 农用地膜覆膜试验 试验在 2021 年 12 月到 2022 年 4 月在河北省保定市河北农业大学实验基地中开展。采用单因素随机区组设计,8 种地膜包括 PE 普通地膜 6 种、生物降解地膜(PBAT)2 种。其中 PE 普通地膜有 0.008 mm 黑地膜和白地膜、0.010 mm 黑地膜和白地膜、0.014 mm 黑地膜和白地膜,生物降解地膜为 0.010 mm 的 PBAT 地膜(黑色、棕色)。对照为未覆膜土壤,共 8 个处理(表 2),每个处理为一个试验小区,随机排列,每个处理 3 次重复。覆膜试验按试验场地进行覆膜,每种地膜覆膜长宽均为 1 m,覆膜期间不种植任何作物,覆膜区域不进行灌溉,用石块对地膜进行固定,以防大风揭膜,确保采样效果。在地膜降解 30、120 d,采集地

膜覆盖及填埋下 0 ~ 20 cm 的表层土样带回实验室分析。

表 2 农用地膜覆膜试验处理

处理	地膜厚度 (mm)	地膜类型
CK	0	无地膜
A1	0.008	PE 黑地膜
A2	0.010	PE 黑地膜
A3	0.014	PE 黑地膜
A4	0.008	PE 白地膜
A5	0.010	PE 白地膜
A6	0.014	PE 白地膜
A7	0.010	PBAT 生物降解黑地膜
A8	0.010	PBAT 生物降解棕地膜

1.2.2 农用地膜填埋试验 将 6 种 PE 普通地膜和 PBAT 生物降解地膜分别裁剪成 1 m \times 1 m 的单层膜片,埋入农田土壤中,装入 20 目防虫网袋中,做好标记埋入 10 cm 土层下,其处理与表 2 一致,每个处理 3 次重复。地膜覆膜试验和填埋试验的农田管理条件相同,试验地点远离田间道路、作物和建筑物,避免遮挡阳光和人为扰动。埋土深度 10 cm,埋土后于 30、120 d 分别取样,观察其表面降解情况。然后利用超声波洗净、浓缩,利用 GC - MS 测定土壤中 PAEs 含量。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 土壤样品中 PAEs 的提取 土壤样品 PAEs 前处理方法参考杨婧等的研究^[26]。具体操作如下:称取 5.0 g 土壤于 100 mL 锥形瓶中,加入 50 mL 正己烷萃取液,然后以 70 Hz 超声提取 60 min。将上清液过滤至圆底烧瓶中,旋转蒸发至 1 ~ 2 mL 收集有机相,提取 1 mL 溶液过 0.22 μm 微孔有机相滤膜净化后转移至色谱瓶待测。

1.3.2 土壤理化性质的测定 采集覆膜处理的土壤(0 ~ 10 cm),风干磨细过 2 mm 筛,测定土壤的 pH 值、有机质含量、全氮含量、电导率值,测定方法均参考鲍士旦的《土壤农化分析》^[27]。

1.4 GC - MS 检测条件

采用气相色谱质谱联用仪(GC - MS)对样品 PAEs 进行测定,其检测条件如下:

GC - MS 色谱条件:Agilent HP - 5MS UI 色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);进样口温度为 270 $^{\circ}\text{C}$;程序升温:起始温 50 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min,以 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 上升至 140 $^{\circ}\text{C}$,以 7 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 上升至

240 ℃,最后以 5 ℃/min 上升至 300 ℃,保持 5 min。载气:氦气,流速 1 mL/min;进样方式:不分流进样;进样量:1 μ L。

GC-MS 质谱条件:电子轰击离子源模式(EI),离子源温度 300 ℃,四极杆温度 150 ℃,MSD 传输线温度 300 ℃,电子能量 70 eV;扫描范围为 50 ~ 550 m/z。

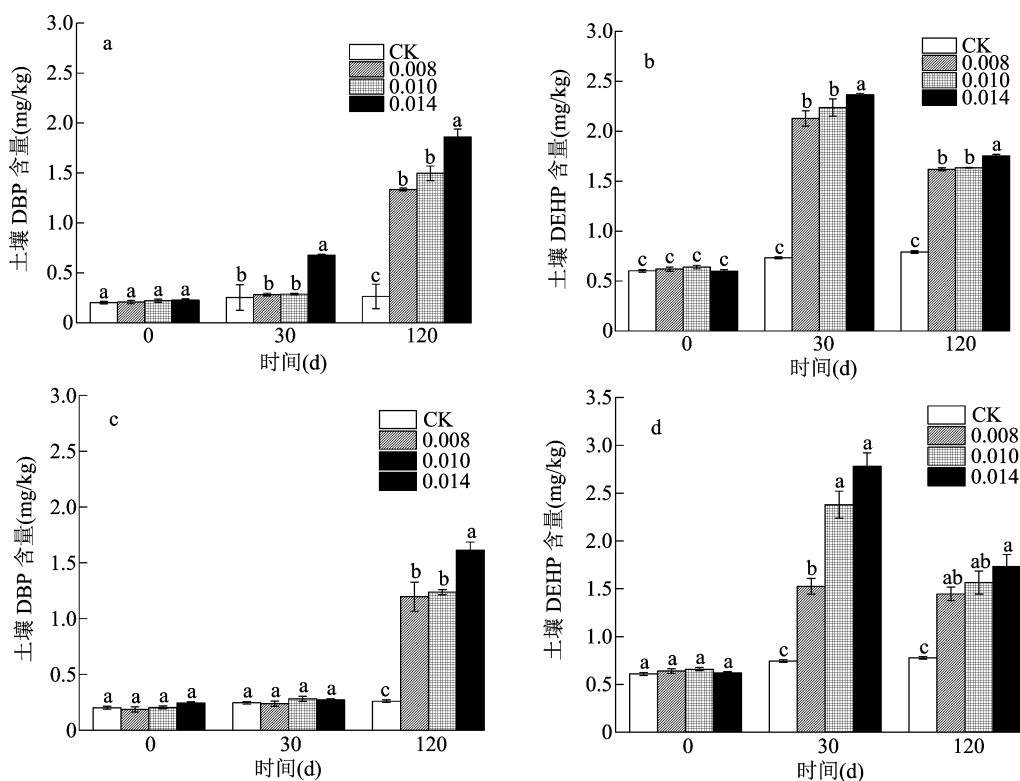
2 结果与分析

2.1 不同厚度 PE 普通地膜对土壤中 PAEs 含量的影响

2.1.1 覆膜处理 PE 黑地膜使用对土壤中 DBP 含量的影响如图 1-a 所示,与 CK(0.20 ~ 0.33 mg/kg)相比,地膜释放到土壤中的 DBP 含量随时间的增加而升高。该环境下土壤微生物的降解速率小于地膜释放的速率。120 d 时,与 0.014 mm 地膜释放到土壤的 DBP 含量(1.86 mg/kg)相比,0.010、0.008 mm 地膜处理土壤中 DBP 含量显著降低($P < 0.05$),其值分别为 1.50、1.33 mg/kg。PE 黑地膜使用对土壤中 DEHP 含量的影响如图 1-b 所示,与 CK(0.60 ~ 0.64 mg/kg)相比,地膜释放到土壤中的 DEHP 含量随时间的延长呈现出先升高后下降的趋

势,即土壤微生物降解地膜释放的速率先升高后下降,但其总体含量均显著高于 CK 处理($P < 0.05$)。同样 120 d 时,与 0.014 mm 地膜释放到土壤的 DEHP 含量(1.75 mg/kg)相比,0.010、0.008 mm 地膜释放到土壤中的 DEHP 含量显著降低($P < 0.05$),其值分别为 1.63、1.62 mg/kg。所以,PE 黑地膜释放到土壤中的 PAEs(DBP、DEHP)含量如图 1-a、图 1-b 所示,与 CK(0.82 ~ 0.85 mg/kg)相比,厚度分别为 0.008、0.010、0.014 mm 的 PE 黑地膜覆膜 120 d 后,均能够显著增加土壤中的 PAEs 含量($P < 0.05$),其值分别为 2.95、3.31、3.61 mg/kg,且采用的地膜厚度越厚,其释放到土壤中 PAEs 含量越高。图 1-c、图 1-d 白地膜处理也验证相同的规律。3 种厚度 PE 白地膜(0.008、0.010、0.014 mm)覆膜 120 d 后,土壤中的 DBP 含量分别为 1.20、1.24、1.61 mg/kg,DEHP 含量分别为 1.45、1.57、1.73 mg/kg。因此,地膜厚度越厚,其释放到土壤中的 PAEs 含量越高。

2.1.2 填埋处理 PE 黑地膜使用对土壤中 DBP 含量的影响如图 2-a 所示,与 CK(0.22 ~ 0.25 mg/kg)相比,地膜释放到土壤中的 DBP 含量随时间的延长而升高。120 d 时,与 0.014 mm 地膜释放到土壤的 DBP 含量(1.99 mg/kg)相比,0.010、0.008 mm



a、b 为 PE 黑地膜处理; c、d 为 PE 白地膜处理; 0.008、0.010、0.014 为地膜厚度(mm), CK 为未使用地膜处理; 图 2 同。不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 下图同

图1 不同厚度 PE 地膜对覆膜土壤中 DBP、DEHP 含量累积的影响

地膜处理土壤中的 DBP 含量显著降低 ($P < 0.05$), 其值分别为 1.51、1.17 mg/kg。PE 黑地膜使用对土壤中 DEHP 含量的影响如图 2 - b 所示, 与 CK (0.54 ~ 0.62 mg/kg) 相比, 地膜释放到土壤中的 DEHP 含量随时间的延长呈现出先升高后下降的趋势。同样 120 d 时, 与 0.014 mm 地膜释放到土壤的 DEHP 含量 (1.88 mg/kg) 相比, 0.010、0.008 mm 地膜处理土壤的中 DBP 含量降低 ($P > 0.05$), 其值分别为 1.63、1.45 mg/kg。所以, 由图 2 - a、图 2 - b 可知,

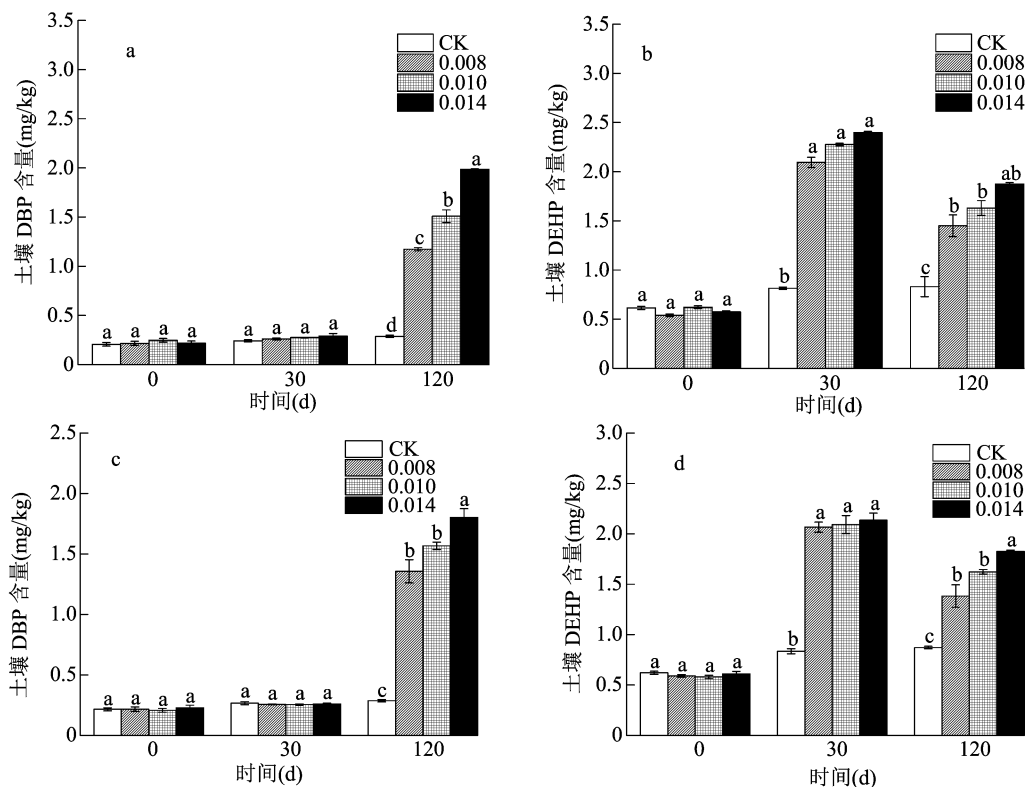


图2 不同厚度 PE 地膜对填埋土壤中 DBP、DEHP 含量累积的影响

2.2 不同颜色 PE 普通地膜对土壤中 PAEs 含量的影响

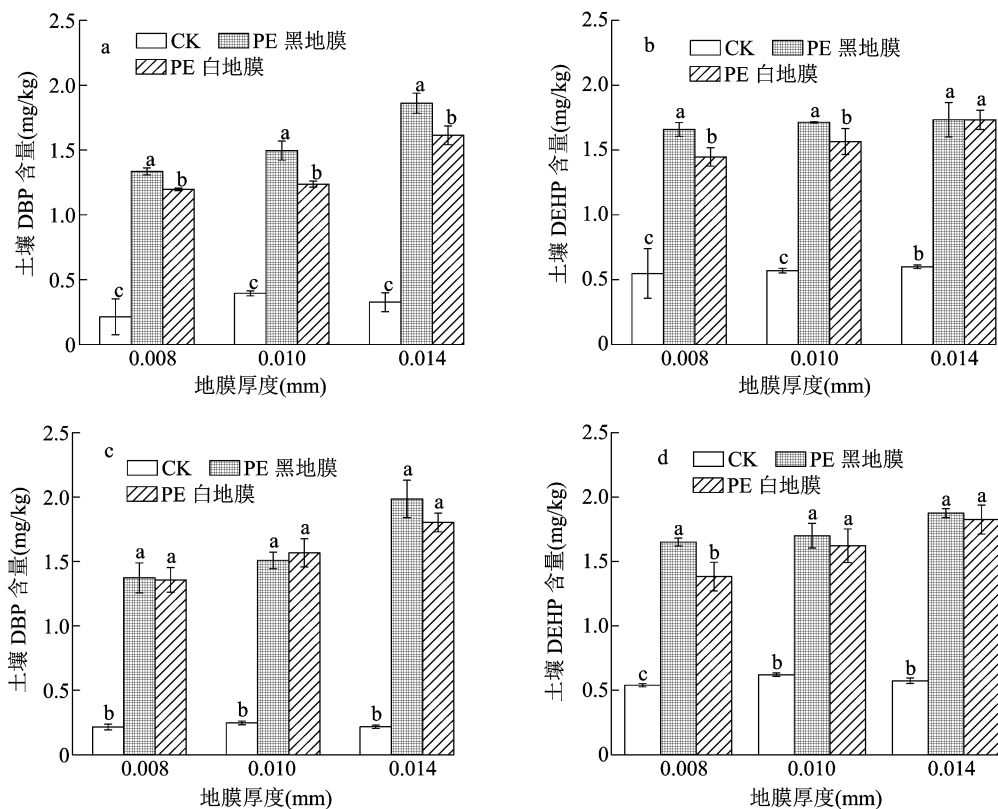
农用地膜颜色也是影响地膜残留下土壤累积 PAEs 的关键因素。PE 黑地膜与 PE 白地膜覆膜 120 d 释放到土壤中的 DBP 含量如图 3 - a 所示, 与 CK (0.21 ~ 0.39 mg/kg) 相比, 无论是 PE 黑地膜还是 PE 白地膜使用都使得土壤中的 DBP 含量显著升高 ($P < 0.05$)。其中, 与 0.014 mm PE 白地膜处理 (1.61 mg/kg) 相比, PE 黑地膜释放到土壤中的 DBP 含量显著增加 ($P < 0.05$), 其值为 1.86 mg/kg。PE 黑地膜与 PE 白地膜覆膜 120 d 释放到土壤中的 DEHP 含量由图 3 - b 所示, 与 CK (0.55 ~ 0.60 mg/kg) 相比, PE 黑地膜和 PE 白地膜使用都使得土壤中 DEHP 的含量显著增加 ($P < 0.05$)。其中,

3 种厚度 (0.014、0.010、0.008 mm) 地膜释放到土壤的 PAEs 含量分别为 3.86、3.20、2.62 mg/kg。而图 2 - c、图 2 - d 白地膜释放到土壤的 DBP 和 DEHP 变化与上述一致, 0.014 mm 地膜填埋 120 d 后, 土壤中累积的 PAEs 含量最高为 3.63 mg/kg。所以, 图 2 填埋处理与图 1 覆膜处理揭示的规律相似, 采用的地膜厚度越厚, 其释放到土壤中的 PAEs 含量越高, 且地膜在填埋处理下, 土壤中累积的 PAEs 更多。

与 0.010 mm PE 白地膜处理 (1.57 mg/kg) 相比, PE 黑地膜释放到土壤的 DEHP 含量显著增加 ($P < 0.05$), 其值为 1.71 mg/kg。由图 3 - a、图 3 - b 可知, PE 黑地膜与 PE 白地膜覆膜 120 d 释放到土壤中的 PAEs 含量范围分别为 2.99 ~ 3.59、2.65 ~ 3.34 mg/kg。同样, 图 3 - c、图 3 - d 地膜填埋 120 d 释放到土壤中的 DBP 和 DEHP 规律与上述相似, 与 0.014 mm 的 PE 白地膜相比, PE 黑地膜释放到土壤中的 DBP、DEHP 含量分别增加了 0.19、0.05 mg/kg。所以, 地膜厚度相同的情况下, 与 PE 白地膜相比, PE 黑地膜释放到土壤中 PAEs 含量较高。

2.3 地膜的处理方式对土壤中 PAEs 含量的影响

土壤 PAEs 的累积量还受地膜处理方式的影响。PE 普通地膜通过覆膜和填埋处理对土壤中

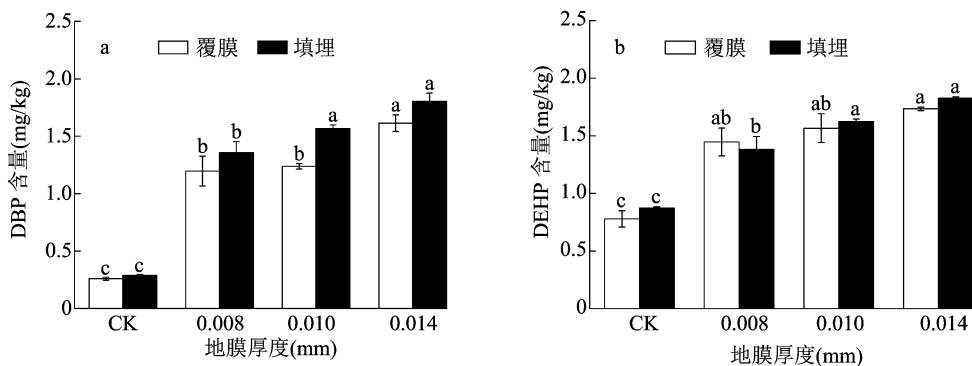


a、b 为覆膜土壤；c、d 为填埋土壤；CK 为未使用地膜处理

图3 PE 黑、白地膜土壤中 DBP、DEHP 含量

PAEs 含量的影响如图 4 所示,与 CK (0.25 ~ 0.87 mg/kg) 相比,覆膜和填埋处理土壤中的 DBP、DEHP 含量均显著增加 ($P < 0.05$)。土壤中 DBP 的含量如图 4-a 所示,当地膜的厚度是 0.010 mm,与覆膜处理 (1.24 mg/kg) 相比,地膜经过填埋处理释放到土壤中的 DBP 含量显著增加 ($P < 0.05$),其增加量为 0.33 mg/kg。土壤中 DEHP 的含量由图 4-b 所示,地膜厚度为 0.010 mm 和 0.014 mm 时,与覆膜

处理 (1.45 ~ 1.73 mg/kg) 相比,地膜经过填埋处理释放到土壤中的 DEHP 含量增加,其值分别为 1.62、1.83 mg/kg。地膜通过覆膜和填埋释放到土壤中的 PAEs 含量如图 4-a、图 4-b 综合所示,其 PAEs 含量范围分别为 2.64 ~ 3.35、2.74 ~ 3.63 mg/kg,即填埋土壤中的 PAEs 含量显著高于覆膜土壤 ($P < 0.05$)。



a 为 DBP 含量；b 为 DEHP 含量

图4 地膜处理的土壤中 DBP、DEHP 含量

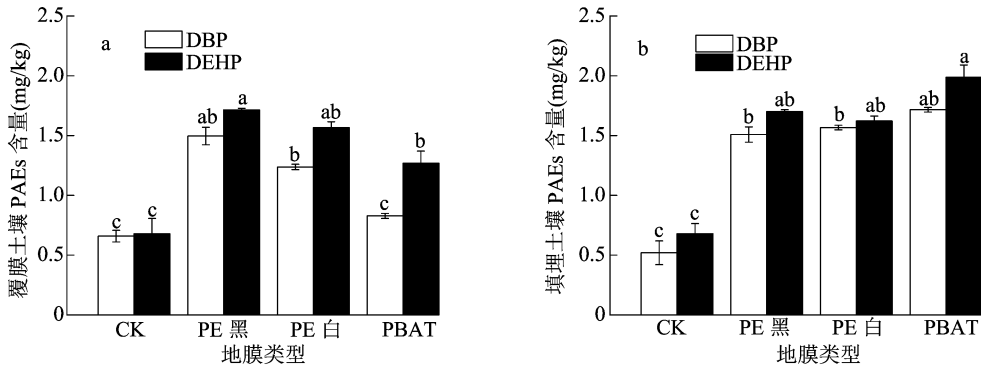
2.4 不同类型地膜对土壤中 PAEs 含量的影响

PE 普通地膜 (黑、白) 和 PBAT 生物降解膜使用

对土壤中 PAEs 含量累积影响由图 5-a、图 5-b 所示,与 CK (0.52 ~ 0.68 mg/kg) 相比,PE 黑、PE 白和

PBAT 生物降解膜释放到土壤中 DBP 和 DEHP 含量均呈升高趋势,除图 5 - a 中 CK 与 PBAT 的 DBP 含量差异不显著,其他组均差异显著($P < 0.05$)。地膜通过覆膜释放到土壤中的 DBP、DEHP 含量如图 5 - a 所示,与 PE 黑、PE 白处理的 DBP (1.24 ~ 1.50 mg/kg) 和 DEHP (1.57 ~ 1.71 mg/kg) 含量范围相比,PBAT 中的 DBP 和 DEHP 含量均降低,其值分别为 0.83、1.27 mg/kg,其中 DBP 含量差异显著($P < 0.05$);地膜通过填埋释放到土壤中的 DBP、

DEHP 含量由图 5 - b 所示,与 PE 黑、PE 白处理中的 DBP (1.51 ~ 1.57 mg/kg) 和 DEHP (1.62 ~ 1.70 mg/kg) 含量相比,PBAT 处理中的 DBP、DEHP 含量升高,其值分别为 1.72、1.99 mg/kg。综上所述,与 PE 黑和 PE 白地膜相比,PBAT 生物降解地膜在覆膜处理下土壤 PAEs 含量显著降低($P < 0.05$),其值分别为 3.21、2.81、2.10 mg/kg。而在填埋土壤中 PAEs 含量显著增加($P < 0.05$),其值分别为 3.21、3.19、3.71 mg/kg。



a 为地膜覆膜处理; b 为地膜填埋处理; CK 为未使用地膜处理
图5 不同类型地膜对覆膜及填埋土壤中 DBP、DEHP 含量累积的影响

2.5 不同地膜的使用对土壤理化性质的影响

不同地膜处理 120 d 后对土壤理化性质的影响如表 4 所示,与 CK 处理相比,A1 ~ A6 (PE 普通地膜) 和 A7 ~ A8 (PBAT 生物降解地膜) 的 pH 值、有机质含量呈降低趋势,pH 值降低范围为 0.04 ~ 0.12,有机质含量降低幅度为 0.09 ~ 1.75 g/kg,全氮含量和电导率值呈升高的趋势,其中,全氮增加范围为 0 ~ 0.23 g/kg。由于地膜处理时间较短,部分差异不显著($P > 0.05$),地膜短时间内对土壤理

化性质值产生影响较小。而与 A1 ~ A6 处理相比,A8 处理的 pH 值增加了 0.04 ~ 0.06,差异显著($P < 0.05$),A7 处理的 pH 值比 A1 ~ A6 处理显著增加了 0.06 ~ 0.08($P < 0.05$)。A7 和 A8 处理的有机质含量显著高于 A1 ~ A6 处理($P < 0.05$),增加了 1.23 ~ 1.66 g/kg。与 A1 ~ A6 处理相比,A7 和 A8 处理的全氮含量与电导率值呈降低趋势,差异显著($P < 0.05$),其中,全氮含量降低了 0.02 ~ 0.23 g/kg,电导率降低了 6.80 ~ 8.08 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

表 4 不同地膜处理对土壤理化性质的影响

处理	时间 (d)	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
CK	120	8.09 \pm 0.05a	19.37 \pm 0.36a	1.13 \pm 0.01e	120.52 \pm 2.30b
A1	120	7.97 \pm 0.01d	17.62 \pm 0.13d	1.30 \pm 0.01b	132.31 \pm 2.23a
A2	120	7.98 \pm 0.01d	17.67 \pm 0.03cd	1.34 \pm 0.01a	132.35 \pm 2.99a
A3	120	7.99 \pm 0.01c	17.70 \pm 0.11bc	1.36 \pm 0.02a	132.24 \pm 1.97a
A4	120	7.97 \pm 0.01d	17.90 \pm 0.06bc	1.26 \pm 0.01c	131.21 \pm 1.85a
A5	120	7.98 \pm 0.01d	17.95 \pm 0.12bc	1.27 \pm 0.02c	131.27 \pm 1.87a
A6	120	7.98 \pm 0.01d	17.97 \pm 0.11b	1.27 \pm 0.01c	132.14 \pm 2.55a
A7	120	8.05 \pm 0.01b	19.28 \pm 0.11a	1.13 \pm 0.01e	124.41 \pm 1.85b
A8	120	8.03 \pm 0.02b	19.20 \pm 0.02a	1.24 \pm 0.02d	124.27 \pm 4.08b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 不同厚度 PE 普通地膜对土壤中 PAEs 含量的影响

在农田土壤 PAEs 的种类组成中, DBP 与 DEHP 具有较高的分子量, 其他 PAEs 组分分子量相对较小, 不易被检测。PAEs 很容易从地膜中渗透出来, 这就表明 PAEs 添加到地膜中的用量将直接影响到向土壤里的迁移^[28]。而地膜厚度越大, 就需要加入更多的 PAEs 来增加地膜的延展性和可塑性。

3.2 不同颜色 PE 普通地膜对土壤中 PAEs 含量的影响

本研究中, 黑地膜比白地膜增加了土壤 PAEs 的累积量。与白地膜相比, 黑地膜吸收了大量的光和热导致 PAEs 与地膜之间的非化学键结合强度降低, 从而向土壤环境中释放更多的 PAEs^[29]。这与李瑾等的研究结果^[30]一致, 即黑膜中 PAEs 的添加量显著高于白膜。

3.3 地膜的处理方式对土壤中 PAEs 含量的影响

土壤样品中检测出的 DBP、DEHP 含量均超过美国土壤 PAEs 化合物控制标准的限量值 (0.08 mg/kg)^[31], 表明地膜通过覆膜和填埋处理释放出的 PAEs 已经不同程度迁移到土壤中, 并在土壤中产生了不同程度的累积特征。覆膜处理可促进地膜的老化, 使 PAEs 挥发到空气中, 土壤表层良好的水热条件也有助于已经迁移的 PAEs 发生生物降解。而地膜在翻耕模式下被埋进土壤, 与土壤充分接触, 不利于 PAEs 的自然挥发, 而且随着土壤深度的增加, 土壤温度和土壤含氧量的变化限制了微生物的活性, 从而减缓了 PAEs 生物降解的发生, 促进 PAEs 厌氧性降解发生, 从而产生更多的有毒降解中间体^[30]。因此, 减少地膜通过翻耕模式被填埋进深层土壤, 是减少增塑剂 PAEs 在土壤中累积风险的有效措施之一。

3.4 不同类型地膜对土壤中 PAEs 含量的影响

由于地膜使用过程中, PE 材料的地膜相对分子质量大且性能稳定, 在自然环境下难以降解, 在土壤中可以残存 200 ~ 400 年^[32]。地膜覆盖在土壤表层, 短时间内 PBAT 生物降解地膜并未完全降解, 覆膜土壤中累积了更多的 PAEs。而 PBAT 生物降解地膜在自然条件下可被微生物分解, 生成环境友好的 H₂O 和 CO₂, 对环境造成的负面影响较小, 故推荐使用 PBAT 生物降解地膜。

3.5 不同地膜的使用对土壤理化性质的影响

研究表明, 土壤中存在的大量地膜会促进土壤有机质的分解, 使土壤有机质腐殖化等过程也受到很大程度的影响^[33-35]。闵文豪等研究表明, PBAT 生物降解地膜可提高土壤全氮含量, 对有机质含量影响较小^[36]。可能是 PBAT 生物降解地膜在覆膜情况下, 土壤微生物利用 PBAT 每个单体的碳来获取能量以此提高土壤碳的库存量, 有利于土壤氮素累积。由于地膜的裸露面积大, 地膜内土壤水分蒸发速率远高于其他处理, 随着水分的蒸发, 大量的盐分积累到土壤表面。PE 普通地膜降解以及累积的过程中, 会提高土壤表层盐分含量, 对土壤酸碱度和可溶性盐含量有一定程度的影响^[37]。而 PBAT 生物降解地膜对土壤表层盐分影响很小, 对土壤物理性质变化的影响较缓和, 可改善土壤水、肥、气、热等肥力因子的变化和供应^[38]。

4 结论

本研究以不同厚度 (0.008、0.010、0.014 mm) 和不同类型地膜, 检测土壤中 PAEs 的累积含量, 研究不同地膜对土壤中 PAEs 的残留及土壤理化性质的影响, 其结果如下: (1) 随着地膜厚度的增加, 所含增塑剂越多, 其释放到土壤中的 PAEs 含量越高 (2.62 ~ 3.86 mg/kg), 且地膜使用时间越长, 土壤中 PAEs 含量越多。同一厚度条件下, 黑膜释放到土壤中的 PAEs 含量比白膜增加了 0.25 ~ 0.94 mg/kg。 (2) 与覆膜土壤相比, 地膜通过翻耕被填埋进土壤里所释放的 PAEs 含量更高, 其增加量约为 0.10 ~ 0.88 mg/kg。因此, 增加地膜厚度以提高地膜回收率, 减少地膜翻耕填埋, 可能是减少白色污染和增塑剂 PAEs 在土壤中累积风险的有效措施之一。 (3) 不同类型地膜处理的土壤中, PBAT 生物降解地膜比 PE 普通地膜土壤中累积了更多的 PAEs, 其增加量为 0.50 ~ 0.52 mg/kg。 (4) 与 PBAT 生物降解地膜相比, PE 普通地膜土壤 pH 值、有机质含量降低, 全氮含量与电导率值有所升高。PBAT 生物降解地膜对土壤表层盐分影响很小, 对土壤物理性质变化的影响较缓和。但即使用 PBAT 生物降解地膜能有效缓解 PE 普通地膜造成的土壤环境污染问题, 建议尽量同时采取地膜回收措施。

参考文献:

[1] Li J. Research progress and application prospects of mulching

- Technology[J]. Agricultural Biotechnology, 2018, 7(4): 142 – 146.
- [2] 邓仁菊, 尹 旺, 张 皓, 等. 5 种地膜覆盖对甘薯产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(4): 51 – 54.
- [3] 赵 岩, 陈学庚, 温浩军, 等. 农田残膜污染治理技术研究现状与展望[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 1 – 14.
- [4] 张 丹, 王洪媛, 胡万里, 等. 地膜厚度对作物产量与土壤环境的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(2): 293 – 301.
- [5] 骆永明, 周 倩, 章海波, 等. 重视土壤中微塑料污染研究 防范生态与食物链风险[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(10): 1021 – 1030.
- [6] Qi R M, Jones D L, Li Z, et al. Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment; a critical review[J]. Science of the Total Environment, 2020, 703: 134722.
- [7] Wang D, Xi Y, Shi X Y, et al. Effect of plastic film mulching and film residues on phthalate esters concentrations in soil and plants, and its risk assessment [J]. Environmental Pollution, 2021, 286: 117546.
- [8] 王 宇, 程子航, 绿春媚, 等. 地膜污染及其防控对策[J]. 现代农业科技, 2021(10): 149 – 150.
- [9] 丁豪杰, 苏奇倩, 李 林, 等. 土壤农用地膜微生物降解研究进展[J]. 中国环境科学, 2021, 41(9): 4231 – 4244.
- [10] 冯艳红, 应蓉蓉, 王国庆, 等. 中国中西部地区土壤和农产品中邻苯二甲酸酯污染特征及评价[J]. 环境化学, 2022, 41(5): 1591 – 1602.
- [11] 刘国强, 顾轩竹, 胡哲伟, 等. 农业土壤有机污染生物修复技术研究进展[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(1): 27 – 33.
- [12] 李玉双, 陈 琳, 郭 倩, 等. 沈阳市新民设施农业土壤中邻苯二甲酸酯的污染特征[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(6): 1118 – 1123.
- [13] Li X X, Li N, Wang C, et al. Occurrence of phthalate acid esters (PAEs) in protected agriculture soils and implications for human health exposure[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2022, 109(3): 548 – 555.
- [14] 徐文君, 程江峰, 余向阳, 等. 多种抑制剂对上海青吸收土壤中邻苯二甲酸二丁酯的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(8): 272 – 276.
- [15] 郑顺安, 薛颖昊, 李晓华, 等. 山东寿光设施菜地土壤 – 农产品邻苯二甲酸酯 (PAEs) 污染特征调查[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(3): 492 – 499.
- [16] Zhou B, Zhao L X, Sun Y, et al. Effects of phthalate esters on soil microbial community under different planting patterns in Northern China; case study of Hebei Province [J]. Chemosphere, 2022, 307: 135882.
- [17] 曹 龙, 张朝升, 陈秋丽, 等. 邻苯二甲酸酯的环境污染和生态行为及毒理效应研究进展[J]. 生态毒理学报, 2018, 13(2): 34 – 46.
- [18] 王 亮, 林 涛, 严昌荣, 等. 不同残膜量和灌溉定额对棉花养分和水分利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 122 – 133.
- [19] 胡庆兰, 杨 凯, 王金贵, 等. 地膜覆盖及不同施肥处理对玉米产量和根际土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(21): 122 – 126.
- [20] 李晓兰, 相吉山, 张艾明, 等. 地膜覆盖对玉米田土壤理化性质和线虫群落组成的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(15): 257 – 260.
- [21] 梁志虎. 不同可降解农用地膜对土壤环境的影响研究[J]. 中国水土保持, 2018(7): 31 – 33, 69.
- [22] Gao Y H, Li Y, Wang Y Z, et al. Effect of different film color mulching on dry matter and grain yield of oil flax in dry – land[J]. Oil Crop Science, 2020, 5(2): 17 – 22.
- [23] Huang Y, Liu Q, Jia W Q, et al. Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment [J]. Environmental Pollution, 2020, 260: 114096.
- [24] 穆晓国, 高 虎, 李梅花, 等. 不同类型地膜覆盖对土壤质量、根系生长和产量的影响[J]. 环境科学, 2023, 44(6): 3439 – 3449.
- [25] Serrano – Ruiz H, Martin – Closas L, Pelacho A M. Biodegradable plastic mulches; impact on the agricultural biotic environment[J]. Science of the Total Environment, 2021, 750: 141228.
- [26] 杨 婧, 郭楚玲, 刘沙沙, 等. 邻苯二甲酸酯降解菌的筛选、降解特性及土壤修复研究[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(5): 933 – 940.
- [27] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [28] Zhang J F, Zhang C N, Zhu Y P, et al. Biodegradation of seven phthalate esters by *Bacillus mojavensis* B1811 [J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2018, 132: 200 – 207.
- [29] 杨世佳, 陈 瑾, 张 毅, 等. 不同颜色地膜覆盖对玉米土壤温度、杂草发生及玉米产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(22): 92 – 96.
- [30] 李 瑾, 周 涛, 张 扬, 等. 地膜对农田土壤及玉米籽粒邻苯二甲酸酯累积状况的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(8): 1767 – 1773.
- [31] 张海光, 孙国帅, 孙 磊, 等. 典型覆膜作物土壤中邻苯二甲酸酯污染的初步研究[J]. 中国环境监测, 2013, 29(4): 60 – 63.
- [32] 薛颖昊, 孙占祥, 居学海, 等. 可降解农用地膜的材料研究与应用现状[J]. 中国塑料, 2020, 34(5): 87 – 96.
- [33] Qi Y L, Beriot N, Gort G, et al. Impact of plastic mulch film debris on soil physicochemical and hydrological properties [J]. Environmental Pollution, 2020, 266: 115097.
- [34] 常芳红. 地膜残留对玉米产量和土壤理化性质的影响[J]. 农业科技与信息, 2017(20): 80 – 82.
- [35] 于淑婷, 万 群, 余向阳, 等. 邻苯二甲酸酯降解真菌的筛选及其降解特性和土壤修复作用[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(3): 660 – 666.
- [36] 闵文豪, 王春丽, 王莉玮, 等. 全生物降解地膜原料颗粒对土壤性质、小麦生长和养分吸收转运的影响[J]. 环境科学, 2022, 43(1): 560 – 568.
- [37] 杨晓庭. 农田土壤中残膜的分布与降解特征及对土壤理化性质影响 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2021.
- [38] 赵 军, 李金海. PBAT 型全生物降解地膜对棉花产量及土壤理化性质的影响[J]. 中国沼气, 2022, 40(3): 43 – 49.