

不同地膜覆盖对土壤环境及芋艿生长的影响

白娜玲, 张海韵, 张翰林, 郑宪清, 李双喜, 张娟琴, 何宇, 吕卫光

引用本文:

白娜玲, 张海韵, 张翰林, 等. 不同地膜覆盖对土壤环境及芋艿生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(11): 2569–2577.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0476>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

PBAT型全生物降解地膜对南疆棉花和玉米产量及土壤理化性质的影响

王斌, 万艳芳, 王金鑫, 孙九胜, 王新勇, 槐国龙, 孔立明

农业环境科学学报. 2019, 38(1): 148–156 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0259>

地膜残留污染防控技术现状及发展趋势

薛颖昊, 曹肆林, 徐志宇, 靳拓, 贾涛, 严昌荣

农业环境科学学报. 2017, 36(8): 1595–1600 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0298>

降解地膜对南疆棉田土壤水热及棉花产量的影响

吴凤全, 林涛, 祖米来提·吐尔干, 邓方宁, 尔晨, 何文清, 汤秋香

农业环境科学学报. 2018, 37(12): 2793–2801 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0740>

地膜降解特征对土壤水热效应和玉米产量的影响

唐文雪, 马忠明

农业环境科学学报. 2018, 37(1): 114–123 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0500>

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

李瑾, 周涛, 张扬, 李留标, 李崇霄, 曹靖

农业环境科学学报. 2020, 39(8): 1767–1773 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0038>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

白娜玲, 张海韵, 张翰林, 等. 不同地膜覆盖对土壤环境及芋艿生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(11): 2569–2577.

BAI Na-ling, ZHANG Hai-yun, ZHANG Han-lin, et al. Effects of different mulching films on soil environment and taro growth[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(11): 2569–2577.



开放科学 OSID

不同地膜覆盖对土壤环境及芋艿生长的影响

白娜玲^{1,2,3,4}, 张海韵^{1,3,4}, 张翰林^{1,2,3,4}, 郑宪清^{1,2,3}, 李双喜^{1,3,4}, 张娟琴^{1,2,3}, 何宇⁵,
吕卫光^{1,2,3,4*}

(1. 上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海 201403; 2. 农业农村部上海农业环境与耕地保育科学观测试验站, 上海 201403; 3. 上海市农业环境保护监测站, 上海 201403; 4. 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海 201403; 5. 上海海洋大学海洋生态与环境学院, 上海 201306)

摘 要:为探讨不同地膜覆盖对作物生长及土壤地力、污染物残留的影响,应用3种不同地膜覆盖处理(普通白色非降解地膜F、黑色全生物降解地膜H、棕色全生物降解地膜Z)及无地膜对照(CK)种植芋艿,对苗期土温、芋艿产量和土壤中养分、微塑料、邻苯二甲酸酯(PAEs)类塑化剂等进行分析研究。结果表明:不同地膜覆盖处理均可提高芋艿产量10.20%~29.61%,顺序为F>H>Z>CK;收获期时,F处理地膜剩余量最高,Z处理中地膜崩解较H处理快;不同地膜覆盖处理均存在微塑料和PAEs残留,但差异不显著,微塑料含量为260~393个·kg⁻¹(干质量),PAEs含量为0.87~1.17 mg·kg⁻¹。研究表明,全生物降解地膜能有效减少土壤白色污染,且黑色全生物降解地膜增产效果优于棕色全生物降解地膜。

关键词:全生物降解地膜;覆盖;产量;微塑料;塑化剂

中图分类号:S632.3 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2020)11-2569-09 doi:10.11654/jaes.2020-0476

Effects of different mulching films on soil environment and taro growth

BAI Na-ling^{1,2,3,4}, ZHANG Hai-yun^{1,3,4}, ZHANG Han-lin^{1,2,3,4}, ZHENG Xian-qing^{1,2,3}, LI Shuang-xi^{1,3,4}, ZHANG Juan-qin^{1,2,3}, HE Yu⁵,
LÜ Wei-guang^{1,2,3,4*}

(1. Eco-Environmental Protection Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; 2. Shanghai Agri-Environmental and Cultivated Land Conservation of Scientific Observation and Experiment Station, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201403, China; 3. Shanghai Agri-Environmental Protection Monitoring Station, Shanghai 201403, China; 4. Shanghai Key Laboratory of Horticultural Technology, Shanghai 201403, China; 5. Faculty of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to investigate the effects of different mulching films on crop growth, soil fertility, and pollutant residues, three different mulching treatments (white non-degradable mulching, F; black degradable mulching, H; brown degradable mulching, Z) and non-mulching (CK) were applied to taro plants. Surface soil temperature at the seedling stage, taro yield, and nutrient, microplastic, and phthalate ester (PAE) content of soil were analyzed. The results showed that the application of mulching film increased taro yield by 10.20%~29.61%, in the order of F>H>Z>CK. The residue of mulching film was the highest in F treatment. Moreover, the disintegration rate in Z treatment was

收稿日期:2020-04-26 录用日期:2020-06-28

作者简介:白娜玲(1989—),女,河北保定人,博士,助理研究员,从事土壤微生态研究。E-mail: bainaling@saas.sh.cn

*通信作者:吕卫光 E-mail: lvweigang@saas.sh.cn

基金项目:上海市青年科技英才扬帆计划项目(18YF1420900);上海市农业科学院卓越团队建设计划项目[农科创2017(A-03)];上海市科委科研计划项目(19DZ1204705)

Project supported: Shanghai Sailing Program, China(18YF1420900); The SAAS Program for Excellent Research Team[Nong Ke Chuang 2017(A-03)]; The Scientific Research Program of Shanghai Science and Technology Commission(19DZ1204705)

faster than that in H treatment. Both microplastic and PAE residues were detected in all mulching treatments, but the difference across treatments was not significant. Microplastic and PAE content was in the range of 260~393 $n \cdot \text{kg}^{-1}$ (dry weight) and 0.87~1.17 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. In conclusion, biodegradable mulching films can effectively reduce white pollution of soil. Black degradable mulch is better than brown degradable mulch in terms of increasing taro yield.

Keywords: biodegradable mulching film; cover; production; microplastic; plasticizer

地膜覆盖栽培是常见的农艺措施,具有增温保墒、防治病虫害、促进作物早熟增产的效果。20世纪70年代,农用地膜覆盖技术被引入中国并迅速推广应用,成为农业生产中最重要的物质生产资料之一。地膜覆盖技术能使粮食作物增产20%~35%,经济作物增产20%~60%^[1]。地膜覆盖还有利于土壤微生物的繁殖,对具有生态防控和促生功能的有益细菌具有积聚效果^[2]。目前,我国地膜覆盖面积和用量均居世界第一,地膜使用量约占世界总量的90%。山东、新疆、河南、四川等地区地膜用量大且使用强度高,上海、天津、北京等地由于耕地少导致地膜使用强度也很大^[3]。

传统地膜在自然条件下降解性能极差,且我国地膜回收率不到60%。大量残膜存留于耕地中,可能会:(1)破坏土壤结构,影响农作物的种植与生长;(2)残膜回收困难,劳动强度大;(3)影响后续农田生产作业;(4)影响秸秆再次资源化利用;(5)焚烧地膜会释放有害气体,威胁人类健康。地膜残留会导致土壤水分下渗和上渗系数降低,不利于根系对土壤深层水的吸收利用,从而造成减产^[4]。姜益娟等^[5]通过棉田土壤残膜状况调查及田间微区试验、盆栽模拟试验,发现残膜使株龄数减少0.8~1.0个,棉花产量降低7.3%~21.6%。马辉^[6]指出地膜残膜对玉米形态产生影响,尤其是早期玉米的生长发育。发展残膜回收技术与装备后续的推广应用难度较大,因此,污染物阻控技术是从源头保障生态质量的重要措施。发展可降解地膜成为解决“白色污染”的重要途径。调整可降解地膜材料配比,可在保证作物产量的同时,达到地膜随作物生育期同步降解的效果^[7]。此外,生物可降解地膜在持续崩解过程中可为土壤微生物提供养分,促进微生物碳代谢、生物多样性、作物高产,且在降雨少的年份效果尤为明显^[8]。但也有研究指出,与普通白色地膜相比,黑色地膜、生物可降解地膜处理下花生产量分别减少17%和9%^[9]。由于作物种类、区域气候条件、地膜特性等差异,可降解地膜对作物的影响也不尽相同^[10]。

以往的研究重点大多在于地膜覆盖过程中的保温保墒、土壤养分、增产效果等^[11-13],较少关注到该过程中微塑料及塑化剂污染残留问题。该类污染衍生的环境效应具有一定的滞后性;但是随时间长期累积于土壤中,将对后续生产及农业生态安全造成威胁。农用地膜破碎已成为土壤中微塑料的重要来源^[14],不仅会对土壤团聚体结构稳定性造成不利影响^[15],且导致土壤-食用性作物中微塑料积累。李连祯等^[16]发现微塑料(如0.2 μm 聚苯乙烯微球)可被生菜根部大量吸收和富集,并从根部迁移到地上部,积累和分布在可被直接食用的茎叶中。微塑料还能够吸附持久性有机污染物如多环芳烃、多氯联苯、有机氯农药等,从而对人类健康造成直接或间接危害^[17]。此外,为了使地膜具有良好的稳定性、柔韧性、透明度,人们常在其中添加超过40%的塑化剂,如邻苯二甲酸酯(PAEs)^[14]。PAEs与塑料分子之间仅为范德华力的物理性结合,在长时间暴露下,可迁移进入土壤和环境造成污染。黄少辉等^[9]指出,使用由生物降解母料与塑料粒子母料混合生产而成的可降解地膜存在PAEs污染风险。Gao等^[18]指出,PAEs显著影响小麦幼苗的生长发育,影响顺序为根部形态>芽的伸长>发芽率,特别是在浓度较高的情况下,会引起氧化损伤。PAEs具有稳定性、持久性、生物累积性,可通过食物链逐步危害人类健康^[19]。因此,有必要在研究地膜增产效果的同时重视土壤中微塑料残留及PAEs污染,以防生态与食物链风险。

本试验以芋艿(崇明香酥芋 *Colocasia esculenta*)为种植对象,采用普通白色非降解地膜及全生物降解地膜(黑色、棕色)进行覆盖栽培,探讨不同地膜对芋艿产量、土壤理化性质、土壤中微塑料残留及PAEs污染情况的影响,为芋艿生产及全生物降解地膜的推广应用提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验地点位于上海市农业科学院庄行综合试验

站(30° 53' N, 121° 23' E)。站内年平均气温为15.8℃,年平均降水量为1 178 mm。试验田地势平坦,地力均匀,土壤为砂壤土,0~20 cm耕层土壤总有机碳(SOC)13.69 g·kg⁻¹,总氮(TN)1.70 g·kg⁻¹,pH 8.08。供试对象为崇明香酥芋 *Colocasia esculenta*,该品种为早熟普通型芋艿,叶柄、叶脉绿色,叶柄基部为粉红色,上市初期为中秋节前后,直至翌年2月,产量15~25 t·hm⁻²。

试验设置:CK-无地膜;F-普通白色非降解地膜;H-黑色全生物降解地膜;Z-棕色全生物降解地膜,每个处理设置3次重复。试验小区采用完全随机区组设计,每个小区面积36 m²。在芋艿整个生育期(2—10月),除覆盖地膜处理不同外,其他田间管理措施均相同。芋艿生长期间共施肥4次,前3次施用水溶性复合肥(N:P₂O₅:K₂O为15:15:15)375 kg·hm⁻²,最后1次施用尿素150 kg·hm⁻²,肥料溶于水后进行多次根部浇灌。本试验使用的全生物降解地膜由生物降解树聚对苯二甲酸/己二酸丁二醇酯(PBAT)、聚乳酸(PLA)、生物基材料木质素复合而成,厚度0.012 mm、宽度1.2 m(可调)。普通非降解地膜厚度0.012 mm、宽度1.2 m。地膜由上海昶法新材料有限公司提供。

1.2 测定项目和方法

1.2.1 芋艿苗期株高、土温及产量测定

每个小区选取长势一致连续的植株5株,用直尺测量株高。采用地温计测量土壤温度(土下深度5 cm),时间固定为上午9:30—10:00,重复5次。绘制不同处理下的温度变化曲线,比较不同处理的保温效果。收获期按小区测定芋艿实际产量,分别称量地上部(茎叶部)鲜质量和地下部(果实)鲜质量。

1.2.2 土壤理化性质测定

在芋艿苗期及收获期,依据梅花形采样法采集0~20 cm土壤样品,共采集4组处理×3个重复=12个样品,带回实验室进行土壤养分含量测定。具体测定方法:碱解氮(AN)用碱解扩散法,速效磷(AP)用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,速效钾(AK)采用中性醋酸铵提取-火焰光度计法,SOC采用重铬酸钾氧化-外加热法^[20]。

1.2.3 地膜降解强度统计

地膜降解分级指标为:0级,未出现裂纹;1级,开始出现裂纹;2级,田间25%地膜出现细小裂纹;3级,地膜出现2~2.5 cm裂纹;4级,地膜出现均匀网状裂纹,无大块地膜存在;5级,垄面上基本无地膜存在^[21]。

根据分级指标,定期记录地膜降解情况。芋艿收获时,收集小区的全部地膜残膜,并带回实验室分析。小心清洗残膜,随后再次低功率超声清洗残膜上紧附的泥土,自然阴干后称质量,测定不同地膜残留量。

1.2.4 微塑料收集及测定

收获季采集土样,测定不同地膜处理中微塑料分布。微塑料分离提取参考饱和NaCl-H₂O₂消解法^[22],并略有改动,该过程中尽量避免使用塑料制品。称取1 500 g土样70℃烘干24 h,过100目筛。分别称取相同质量土样至500 mL锥形瓶中,加入饱和NaCl溶液至没过液面50 mL以上,振荡30 min,静置沉淀24 h,重复3次。上清液过5 μm和10 μm滤膜,滤膜留用。下层土样过150目筛,洗去泥土,将筛网及滤膜上残留物转入新的锥形瓶中,加入100 mL H₂O₂。样品于60℃摇床消解96 h,消解完毕后,过5 μm滤膜真空抽滤,将滤膜放在玻璃培养皿中,利用光学显微镜进行初步观察和鉴定,记录微塑料的类型(纤维状、膜状、碎片状、颗粒状等)、大小和颜色。随后将滤膜上微塑料挑出放到新的滤膜上,采用傅里叶变换红外显微镜(8700, SBE-16, Thermo Fisher Scientific, 美国)测定样品化学组分。

1.2.5 土壤中PAEs测定

收获季采集土样,测定不同地膜处理中PAEs分布。称取10~15 g土壤样品于研磨容器内,加入10 g硅藻土充分混匀、脱水,反复研磨成细小颗粒,直至散粒状,全部转移至加压流体萃取池中进行萃取。萃取条件为:载气压力0.8 MPa;加热温度100℃;预加热平衡5 min;静态萃取5 min;循环次数2次。将土壤样品以二氯甲烷+丙酮混合试剂提取后,收集到接收瓶中。将提取液过无水Na₂SO₄脱水,并用2~3 mL溶剂重复润洗接收瓶2~3次后转移至过滤装置内,收集所有滤出液。将收集的提取液采用KD装置接大三球、小三球,浓缩至0.5 mL,定容至1 mL。将完成浓缩的液体转移至2 mL进样小瓶,加入内标后采用气质联用仪(7010B, Agilent, 美国)测定。其中,邻苯二甲酸二甲酯(DMP)、邻苯二甲酸二乙酯(DEP)、邻苯二甲酸丁苄酯(BBP)、邻苯二甲酸(2-乙基己基)酯(DEHP)、邻苯二甲酸二辛酯(DNOP)和邻苯二甲酸二正丁酯(DBP)检测限分别为0.07、0.3、0.2、0.1、0.2 mg·kg⁻¹和0.1 mg·kg⁻¹。

1.3 统计分析

试验数据采用SPSS 16.0进行统计分析,应用单因素方差分析法(ANOVA)及最小显著差异(LSD)多重比较法对不同处理进行差异分析。

2 结果与分析

2.1 地膜覆盖对土温、株高及产量的影响

土壤温度是反映地膜保温效果的重要指标。由表1可知,在芋艿苗期,地膜覆盖处理(F、H、Z)的土温均显著高于无覆膜对照CK($P<0.05$),说明地膜对土壤具有显著的保温作用。在外界温度较低时,F处理保温效果要好于H和Z处理($P<0.05$),这可能与全生物降解地膜透光性能有关。5月中旬,外界温度明显上升,CK处理土壤温度亦明显上升,并显著高于覆膜处理。在全生物降解地膜处理下,前期Z处理的土壤温度显著高于H处理($P<0.05$),随着外界温度回升,二者之间差异逐渐不显著。

株高是作物生长的重要指标。4月中旬,地膜覆盖处理(F、H、Z)芋艿幼苗的株高均显著高于CK($P<0.05$),且3种地膜处理间无显著差异(表2)。随着外界环境温度回升,芋艿株高逐渐增加。5月中旬,不同处理芋艿幼苗株高顺序为 $H>Z>CK>F$;且F处理的芋艿株高显著低于其他3组处理($P<0.05$),全生物降解地膜处理(H和Z)下芋艿株高增长速率高于非降解

地膜处理(F)。收获期,不同处理间地上茎叶部鲜质量差异不显著(表3)。F和H处理下芋艿的产量最高,分别为 $66.80\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $66.17\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,较CK分别增产29.61%和23.00%,但两处理之间无显著差异。Z处理芋艿增产10.20%,其产量与其他3个处理相比差异不显著。

2.2 地膜覆盖对土壤养分的影响

在芋艿苗期,各处理0~20 cm土层土壤的AN、AP、AK、SOC含量高于收获期(表4),这与前期施肥促进芋艿生长发育有关。F处理的AK含量在各时期均低于其他3种处理。在芋艿苗期或收获期,不同处理的AN、AP和SOC含量间无显著差异。虽然有研究指出覆膜处理可以提高土壤肥力,但本研究中并未观察到类似现象,推测可能与地膜材质及地膜崩解速率等有关。

2.3 地膜降解情况

覆膜后20 d,全生物降解地膜开始裂解出细小孔洞;50 d时大量地膜残片黏附于土壤表面;在作物收获时已达到5级水平,土壤表面基本无明显的地膜碎片。而普通非降解地膜在作物收获时,仍有大量变

表1 不同地膜覆盖对芋艿苗期土壤温度的影响(℃)

Table 1 Effects of different mulching on soil temperature at taro seedling stage(℃)

日期 Date	CK	F	H	Z	外界气温 Temperature/℃
2019-04-08	13.00±0.10d	22.50±0.10a	19.60±0.09c	20.00±0.11b	15
2019-04-15	12.50±0.10d	18.50±0.11a	16.50±0.10c	17.90±0.11b	11
2019-05-06	17.70±0.20c	19.60±0.10a	18.50±0.10b	18.90±0.11b	11
2019-05-13	22.94±0.26a	22.96±0.09b	21.50±0.35c	21.76±0.25bc	16

注:CK,不覆盖地膜;F,普通白色非降解地膜;H,黑色全生物降解地膜;Z,棕色全生物降解地膜。表中数据为平均值±标准偏差。不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: CK-no cover; F-ordinary white non-degradable mulch; H-black biodegradable mulch; Z-brown biodegradable mulch. The data in the table are average±standard deviation. Different lowercase letters indicate significant differences among treatments($P<0.05$). The same below.

表2 不同地膜覆盖对芋艿苗期株高的影响(cm)

Table 2 Effect of different mulching on plant height at taro seedling stage(cm)

日期 Date	CK	F	H	Z
2019-04-15	10.00±2.31b	18.83±5.78a	16.50±2.35a	19.00±3.22a
2019-05-13	29.80±3.28b	26.25±1.89c	33.20±1.79a	32.60±2.51ab

表3 不同地膜覆盖对芋艿产量的影响

Table 3 Effects of different mulching on taro production

项目 Items	CK	F	H	Z
地上部鲜质量 Fresh weight of overground/(kg·株 ⁻¹)	1.79±0.63a	1.91±0.40a	2.34±0.63a	2.04±0.23a
芋艿产量 Taro biomass/(kg·株 ⁻¹)	2.16±0.59b	2.80±0.10a	2.77±0.50a	2.38±0.08ab
芋艿产量 Taro production/(t·hm ⁻²)	51.54±14.14b	66.80±2.43a	66.17±12.06a	56.80±1.83ab
增产 Increased production/%	—	29.61	23.00	10.20

表4 不同地膜覆盖对土壤养分的影响
Table 4 Effects of different mulching on soil nutrients

项目 Items	苗期Seedling stage				收获期Harvest stage			
	CK	F	H	Z	CK	F	H	Z
碱解氮 AN/(mg·kg ⁻¹)	180.38±6.44a	146.92±11.76a	265.91±83.16a	157.41±46.20a	81.18±12.30a	92.41±2.56a	93.13±5.64a	83.35±<0.01a
速效磷 AP/(mg·kg ⁻¹)	153.02±30.30a	103.30±20.59a	121.82±43.83a	137.21±17.36a	107.67±12.06a	108.29±9.41a	100.60±2.65a	113.70±14.71a
速效钾 AK/(mg·kg ⁻¹)	545.00±77.78ab	380.00±70.71c	645.00±35.36a	480.00±14.14bc	380.00±70.71a	255.00±7.07a	320.00±84.85a	280.00±56.57a
总有机碳 SOC/(g·kg ⁻¹)	19.76±3.66a	14.26±2.50a	19.26±0.08a	16.68±1.57a	16.26±0.10a	17.24±1.68a	18.24±0.52a	15.94±0.23a

薄、变绵软的地膜存在。在芋艿发棵期及结薯期,全生物降解地膜崩解至小块碎片,甚至很多不明显的小块碎片;普通非降解地膜老化、延展度变差,但崩解仍不明显。在本试验中,Z 剩余量最低,其次是 H(表 5),F、H、Z 处理地膜剩余量分别为 89.50%、17.70% 和 7.72%。普通非降解地膜的损失量为 10.50%,这可能由于地膜变薄变软以及人工回收误差等造成的。

2.4 土壤中微塑料含量分析

本试验结果表明不同地膜覆盖土壤中均存在微塑料残留,总体含量为 260~393 个·kg⁻¹(干质量)。观察到的微塑料主要类型为纤维类、碎片类、膜状(图 1),未观察到颗粒状微塑料。其中纤维类微塑料数量最多,占比为 69.23%~86.00%(表 6);而碎片类和膜状微塑料所占比例很小。从颜色划分来看,主要为红色、蓝色和黑色,总计占微塑料总量 67.80%(F)、87.18%(H)和 66.00%(Z)。从粒径分布上来看,<1 000 μm 的微塑料占比 99.24%~100.00%,其中 1 000~200 μm 和 200~100 μm 的微塑料分别占比 21.92%~55.22% 和 35.63%~60.06%,而<100 μm 的微塑料占比最小。通过测定微塑料的类型(图 2),发现聚酯纤维最多,其次为乙烯丙烯共聚物、聚丙烯共聚物、人造纤维。

2.5 土壤中 PAEs 含量分析

F、H 和 Z 处理中 PAEs 总量分别为 0.87、1.13、1.17 mg·kg⁻¹(表 7),其中 Z 处理土壤中 PAEs 含量最高,F 处理中 PAEs 含量最低,但 3 种处理之间无显著差异。此外,研究还发现在 3 种地膜覆盖的土壤中仅检测到 DEHP、DNOP 和 DBP。DEHP 和 DBP 之和所占比例分别为 100.00%、94.00% 和 87.27%;DEHP 在

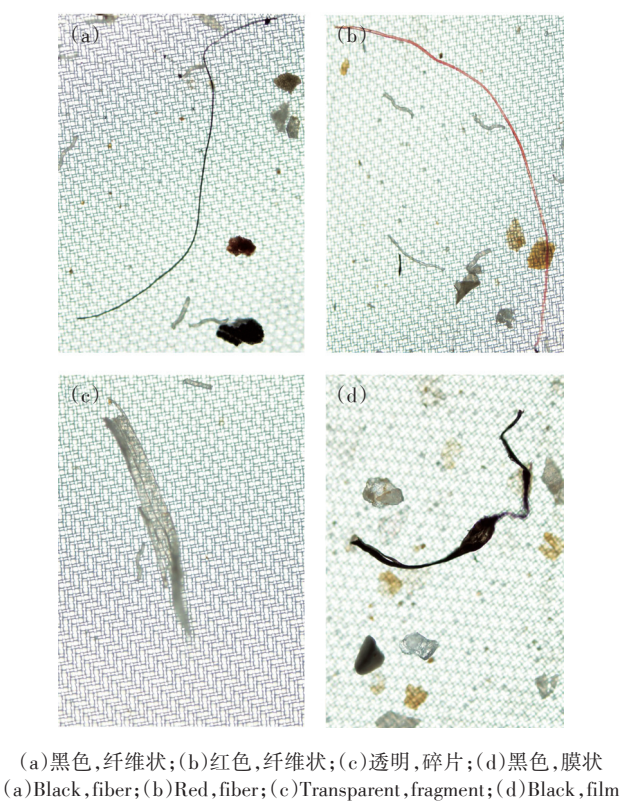


图1 土壤中微塑料类型及颜色(×40倍)
Figure 1 Types and colors of microplastics in soil(×40 times)

F、H 和 Z 处理土壤中所占比例分别为 42.53%、47.00% 和 48.18%,DBP 所占比例为 57.47%、47.00% 和 39.09%。而 DMP、DEP、BBP 等可能由于含量低于检测限而未能检测到(<0.07 mg·kg⁻¹、<0.3 mg·kg⁻¹、<0.2 mg·kg⁻¹)。

表5 不同地膜降解强度
Table 5 Degradable degrees of different films

处理 Treatments	初始地膜量 Original film/g	最终地膜量 Ultimate film/g	地膜剩余量 Film residues/%	地膜损失量 Film mass loss/%
F	300.53	277.93	89.50	10.50
H	280.00	43.96	15.70	84.30
Z	280.00	21.61	7.72	92.28

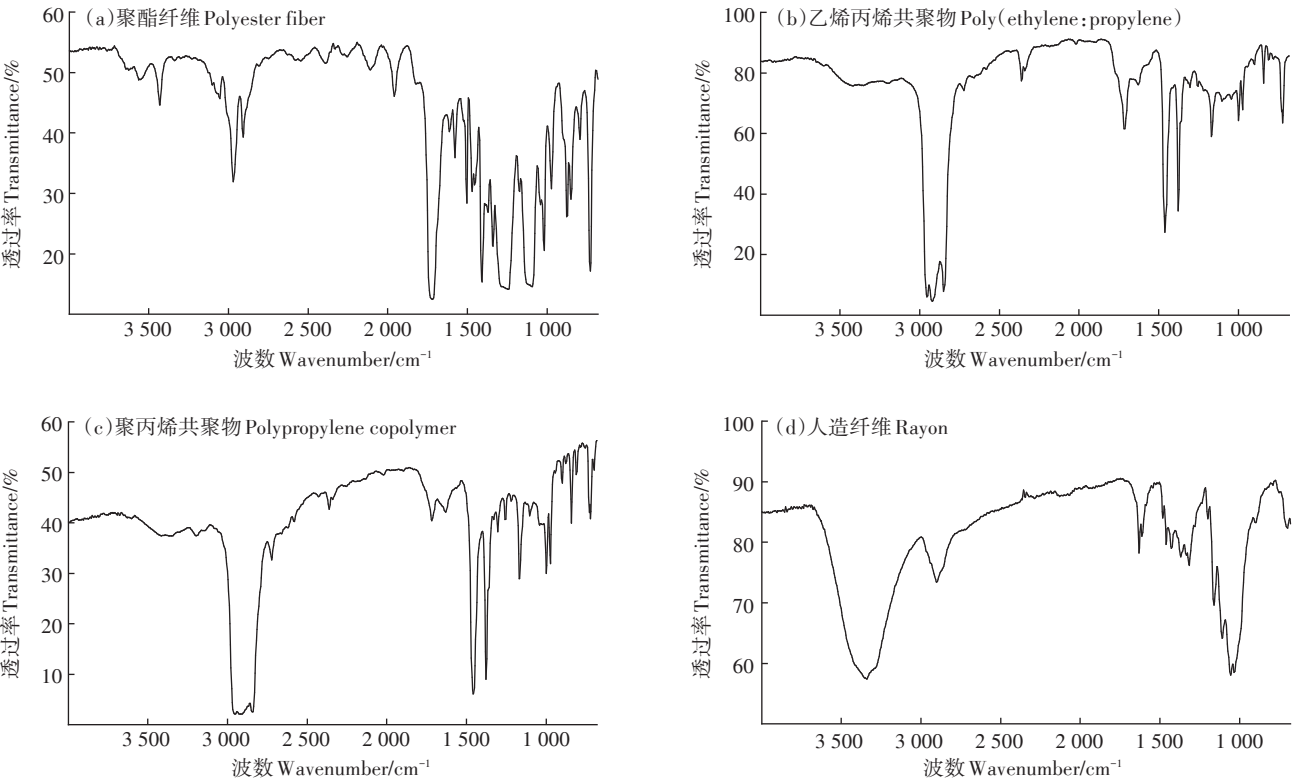


图2 土壤中微塑料的红外光谱图

Figure 2 Images of microplastics in soil by micro-fourier-transform infrared spectrometer

表6 不同覆膜处理土壤中微塑料分布情况(个·kg⁻¹干质量)

Table 6 Distribution of microplastics in soil with different mulching treatments(*n*·kg⁻¹ dry weight)

处理 Treatments	总量 Total amount	类型 Type			颜色 Color				粒径 Sizes				粒径范围 Size range/μm
		纤维 Fiber	碎片 Debris	膜状 Membrane	红色 Red	蓝色 Blue	黑色 Black	其他 Others	>1 000 μm	1 000~200 μm	200~100 μm	<100 μm	
F	393a	327	33	33	40	133	93	127	3	217	140	33	41.99~1 140.06
H	260a	180	60	20	7	60	160	33	0	87	113	60	61.67~555.11
Z	333a	287	33	13	67	127	93	46	0	73	200	60	32.74~696.06

3 讨论

3.1 不同地膜覆盖对芋艿生长及土壤养分含量的影响

地膜是我国农业生产的重要物质资料之一,对保障粮食丰收做出了重大贡献。本试验中,覆膜的保温效果在外界温度较低时表现显著,但随着环境温度回升,各处理间土壤温度差异逐渐减小。同时,苗期芋艿发芽情况顺序为F>Z>H>CK,无地膜覆盖处理芋艿发芽情况明显滞后,可见土温显著影响了芋艿的出芽率。同样地,杨玉姣等^[23]发现覆盖地膜可提高土温,减少水分蒸发,出苗率高且整齐。但也有研究指出地膜覆盖对土壤温度无显著影响^[8],推测可能与外界温度高低有关。段义忠等^[24]指出,玉米降解淀粉材料制

表7 不同地膜覆盖土壤中PAEs的含量(mg·kg⁻¹)

Table 7 The content of PAEs in soil covered with different mulch(mg·kg⁻¹)

处理 Treatments	DMP	DEP	BBP	DEHP	DNOP	DBP	PAEs
F	ND	ND	ND	0.37	ND	0.50	0.87±0.15a
H	ND	ND	ND	0.47	0.20	0.47	1.13±0.17a
Z	ND	ND	ND	0.53	0.20	0.43	1.17±0.35a

注:ND表示低于检测限。
Note:ND refers to below the detection limit.

备的可降解地膜提高了土壤养分含量(SOM 2.51 g·kg⁻¹、AN 7.24 mg·kg⁻¹、AP 16.05 mg·kg⁻¹、AK 9.68 mg·kg⁻¹),减少土壤营养物质的流失;但是生物降解塑料聚酯制备的全生物降解地膜效果不显著。而刘苹

等^[13]研究发现,覆膜处理在棉花蕾期显著提高了表层土壤中AN、AP和AK含量,且降解地膜效果高于普通地膜处理,但均对SOM含量无明显影响。本试验中并未观察到土壤养分含量的明显提升,说明覆膜处理对土壤养分含量的影响不尽相同,推测可能与取样时间、地膜类型和作物种类有关。但是地膜处理均提高了芋艿产量(10.20%~29.61%),表明地膜覆盖可提高芋艿产量。全生物降解地膜结合了农用废弃物(淀粉、木质素、秸秆等)和普通地膜的优势:补充土壤部分养分,提高土壤微生物活性,为植物的生长提供更加有利的环境条件^[13],从而达到增产的效果。

3.2 不同地膜覆盖对土壤环境改变的影响

全生物降解地膜的降解速率是其应用性的重要指标。降解速率过快,起不到保温保墒的功能,影响作物生长发育;降解速率过慢,导致大量的残膜留存于土壤中。地膜降解期适中,能够较好地控温控水,维持良好土壤微环境,促进作物增产和品质提升。孙涛^[7]指出,当淀粉比例为15%时,PBAT生物降解地膜降解周期与花生生育期吻合性较好,在收获期的垄面上已无明显地膜存在。地膜降解速率主要取决于聚合物自身结构、诱导期长短和外界环境条件等。本试验中,H和Z处理中的地膜在芋艿收获期时已基本崩解完全,而F处理的残膜剩余量最高,可见全生物降解地膜能有效减少土壤白色污染。但需要指出的是,全生物地膜处理组(H和Z)在发棵期时即有大量残片附于土壤表面,与芋艿生长周期及其他文献报道相比,本试验中的全生物降解地膜的降解速率较快。因此,仍需要对地膜材质及降解速率进行优化研究。Z处理增产幅度较低,推测与该地膜崩解速率较快有关。

近来,地膜应用可能带来的系列污染问题已成为农业可持续发展的重要议题。地膜的广泛应用成为农业生态系统中微塑料的重要来源之一^[25]。微塑料会影响土壤中养分含量及形态和作物品质^[26]。微塑料还是有毒有害化学污染物的载体,并可迁移扩散,影响污染物的全球分布。从活体实验和体外模型研究结果看,微(纳米)塑料对动物及人体健康存在潜在影响^[27-28]。刘亚菲^[15]调查发现云南滇池南部柴河流域土壤样品中均检出微塑料,平均含量为19 660个·kg⁻¹,且纤维状微塑料占微塑料总量的92.69%。Liu等^[29]以上海郊区20个农田为对象,对土壤中的微(中)塑料进行了研究,发现<1 mm的微(中)塑料在浅层(0~3 cm)和深层(3~6 cm)土壤中分别占48.79%和59.81%;表层土壤比深层土壤含有更高浓度和更大

尺寸的微(中)塑料;微塑料的主要类型有纤维、碎片和薄膜,多为黑色或透明色,材质多为聚丙烯(50.51%)和聚乙烯(43.43%)。王志超等^[30]发现,不同土层深度微塑料含量随土层深度增加逐渐减小;随着覆膜年限的增加,土壤中微塑料平均含量显著增加。本研究中不同地膜覆盖处理均有检测到微塑料(260~393个·kg⁻¹干质量),H处理最低,而F处理最高(表6),因此有必要对地膜覆盖可能引入的微塑料污染引起重视。但本试验缺乏芋艿茎叶及可食部分对微塑料的吸附、累积情况的研究。微塑料可通过植物根部富集,并迁移转化,从而对生物体和人类健康产生潜在不利影响^[16]。

PAEs作为新兴的土壤有机污染物,主要来源于废水排放以及塑料温室和塑料地膜的浸出和挥发等。美国环保署规定,6种PAEs化合物DMP、DEP、DBP、BBP、DEHP和DNOP的土壤环境控制标准为0.020、0.071、0.081、1.125、4.350 mg·kg⁻¹和1.200 mg·kg⁻¹,土壤污染的治理标准分别为2.0、7.1、8.1、50.0、50.0 mg·kg⁻¹和50.0 mg·kg⁻¹。本研究中3种地膜覆盖处理土壤中PAEs均未超出控制标准,表明当前环境风险较低。黄少辉等^[9]调查了上述6种PAEs在覆膜土壤中的总含量,顺序为生物可降解地膜>普通黑色地膜>普通白色地膜,且差异显著;其中DMP、DEHP和BBP在生物可降解地膜覆盖土壤中含量最高;且3种地膜覆盖土壤中DEP、DMP和DBP含量均已超过美国土壤污染物控制标准。本试验中,DBP含量为0.43~0.50 mg·kg⁻¹,低于0.081 mg·kg⁻¹的控制标准值。但考虑到本试验仅持续了一季,且该类物质极易吸附于土壤中,因此仍需对土壤中DBP动态变化加以关注。PAEs类污染物在土壤与作物中的累积与迁移转化也是后续研究的重点。

地膜覆盖技术具有保温保墒、提高芋艿产量的效果,全生物降解地膜具有较好的应用前景。但仍需重点关注地膜覆盖可能产生的系列不利影响,如残膜回收、微塑料及塑化剂污染等。该类污染的环境效应相对滞后,对当季作物影响较小,但长期的累积效应及食物链风险不容忽视。

4 结论

(1)不同地膜覆盖处理均提高了芋艿苗期土壤温度,但对收获期土壤养分(碱解氮、速效磷、速效钾、总有机碳)无显著影响。

(2)棕色全生物降解地膜的后期崩解效果好于黑

色全生物降解地膜;普通白色非降解地膜处理中残膜剩余量最高。

(3)与无膜对照相比,普通白色非降解地膜和黑色全生物降解地膜增产效果明显,二者之间无显著差异;而棕色全生物降解地膜的增产效果不显著。

(4)地膜覆盖处理都存在微塑料和PAEs残留问题,3种处理间差异不显著,需对覆膜技术可能引起的环境风险进行后续深入研究。

参考文献:

- [1] 闫昌荣,刘恩科,舒帆,等.我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J].农业资源与环境学报,2014,31(2):95-102.
YAN Chang-rong, LIU En-ke, SHU Fan, et al. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2014, 31(2):95-102.
- [2] 刘岳飞,吴人敏,张传进,等.地膜对植椒土壤生物学特性和细菌多样性的影响[J].土壤学报,2019,56(4):986-993.
LIU Yue-fei, WU Ren-min, ZHANG Chuan-jin, et al. Effects of film mulching on soil biological properties and bacterial diversity in pepper fields[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2019, 56(4):986-993.
- [3] 吕欣欣,丁雪丽,张彬,等.长期定位施肥和地膜覆盖对棕壤团聚体稳定性及其有机碳含量的影响[J].农业资源与环境学报,2018,35(1):1-10.
LÜ Xin-xin, DING Xue-li, ZHANG Bin, et al. Effects of long-term fertilization and plastic-mulching on the stability and organic carbon contents of brown soil aggregates[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(1):1-10.
- [4] Steinmetz Z, Wollmann C, Schaefer M, et al. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation?[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 550:690-705.
- [5] 姜益娟,郑德明,朱朝阳.残膜对棉花生长发育及产量的影响[J].农业环境保护,2001,20(3):177-179.
JIANG Yi-juan, ZHENG De-ming, ZHU Chao-yang. Effects of remnant plastic film in soil on growth and yield of cotton[J]. *Agro-environmental Protection*, 2001, 20(3):177-179.
- [6] 马辉.典型农区地膜残留特点及对玉米生长发育影响研究[D].北京:中国农业科学院,2008:22-30.
MA Hui. Study on the characteristics of film residue and its effect on maize growth and development in typical agricultural areas[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008:22-30.
- [7] 孙涛.有色和生物降解地膜覆盖对花生产量形成与土壤微环境的影响[D].泰安:山东农业大学,2015:47-49.
SUN Tao. Effects of covered with colored and biodegradable films on the soil condition and yield formation in peanut field[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2015:47-49.
- [8] Zhang K P, Xing Y, Wang G Y, et al. Ridge-furrow with film mulching practice ameliorates soil microbial metabolic activity and carbon utilization in rhizosphere soil of rapeseed (*Brassica napus* L.)[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2019, 19(6):2764-2776.
- [9] 黄少辉,李俊良,金圣爱.不同材质地膜对花生产量及土壤中增塑剂含量的影响[J].作物杂志,2015(3):139-141.
HUANG Shao-hui, LI Jun-liang, JIN Sheng-ai. Effects of different mulch films on peanut yield and PAEs pollution in soils[J]. *Crops*, 2015(3):139-141.
- [10] 窦巧巧,汤秋香,吴凤全,等.基于降解地膜覆盖的新疆棉花生长发育及效益分析[J].农业资源与环境学报,2019,36(5):649-655.
DOU Qiao-qiao, TANG Qiu-xiang, WU Feng-quan, et al. The impacts of different degradable plastic mulches on growth and yield of Xinjiang cotton[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(5):649-655.
- [11] 杨相昆,魏建军,张占琴,等.可降解地膜对棉田土壤温湿度的影响[J].西南农业学报,2015,28(4):346-351.
YANG Xiang-kun, WEI Jian-jun, ZHANG Zhan-qin, et al. Effect of degradable films on cotton soil temperature and humidity[J]. *South-west China Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 28(4):346-351.
- [12] 战勇,魏建军,杨相昆,等.可降解地膜的性能及在北疆棉田上的应用[J].西北农业学报,2010,19(7):202-206.
ZHAN Yong, WEI Jian-jun, YANG Xiang-kun, et al. Characteristics of degradable plastic film and application in north Xinjiang cotton field[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2010, 19(7):202-206.
- [13] 刘苹,仲子文,王丽红,等.可降解地膜覆盖对土壤养分和棉花产量的影响[J].山东农业科学,2014,46(8):81-83.
LIU Ping, ZHONG Zi-wen, WANG Li-hong, et al. Effects of degradable plastic film mulching on soil nutrient and cotton yield[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2014, 46(8):81-83.
- [14] 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.
LUO Yong-ming, ZHOU Qian, ZHANG Hai-bo, et al. Pay attention to research on microplastic pollution in soil for prevention of ecological and food chain risks[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(10):1021-1030.
- [15] 刘亚菲.滇池湖滨农田土壤中微塑料数量及分布研究[D].昆明:云南大学,2018:13-37.
LIU Ya-fei. Quantity and distribution of microplastics in farmland soil of lake shore in Dianchi Lake[D]. Kunming: Yunnan University, 2018:13-37.
- [16] 李连祯,周倩,尹娜,等.食用蔬菜能吸收和积累微塑料[J].科学通报,2019,64(9):928-934.
LI Lian-zhen, ZHOU Qian, YIN Na, et al. Uptake and accumulation of microplastics in an edible plant[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2019, 64(9):928-934.
- [17] 邹亚丹,徐擎擎,张贺,等.微塑料与农药污染的联合毒性作用研究进展[J].生态毒理学报,2017,12(4):25-33.
ZOU Ya-dan, XU Qing-qing, ZHANG He, et al. Review on the joint toxicity of microplastics and pesticide pollution[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2017, 12(4):25-33.
- [18] Gao M L, Dong Y M, Zhang Z, et al. Growth and antioxidant defense responses of wheat seedlings to di-n-butyl phthalate and di(2-ethyl-

- hexyl) phthalate stress[J]. *Chemosphere*, 2017, 172:418-428.
- [19] Martino-Andrade A J, Chahoud I. Reproductive toxicity of phthalate esters[J]. *Molecular Nutrition and Food Research*, 2010, 54(1):148-157.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1999:146-195.
- LU Ru-kun. Analytical methods of soil agricultural chemistry[M]. Beijing:China Agricultural Science Technology Press, 1999:146-195.
- [21] 杨惠娣, 唐赛珍. 降解塑料试验评价方法探讨[J]. 塑料, 1996, 2:16-22.
- YANG Hui-di, TANG Sai-zhen. Evaluating methods for testing of degradable plastics[J]. *Plastics*, 1996, 2:16-22.
- [22] Lv W W, Zhou W Z, Lu S, et al. Microplastic pollution in rice-fish co-culture system: A report of three farmland stations in Shanghai, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 652:1209-1218.
- [23] 杨玉姣, 黄占斌, 闫玉敏, 等. 可降解地膜覆盖对土壤水温和玉米成苗的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(增刊):10-14.
- YANG Yu-jiao, HUANG Zhan-bin, YAN Yu-min, et al. Effects on temperature and moisture of soil and seedling of maize to biodegradable film coverage[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29 (Suppl):10-14.
- [24] 段义忠, 张雄. 生物可降解地膜对土壤肥力及马铃薯产量的影响[J]. 作物研究, 2018, 32(1):23-27.
- DUAN Yi-zhong, ZHANG Xiong. Influence of biodegradable membrane on soil fertility and potato yield[J]. *Crop Research*, 2018, 32(1):23-27.
- [25] 任欣伟, 唐景春, 于宸, 等. 土壤微塑料污染及生态效应研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(6):1045-1058.
- REN Xin-wei, TANG Jing-chun, YU Chen, et al. Advances in research on the ecological effects of microplastic pollution on soil ecosystem[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(6):1045-1058.
- [26] Liu H F, Yang X M, Liu G B, et al. Response of soil dissolved organic matter to microplastic addition in Chinese loess soil[J]. *Chemosphere*, 2017, 185:907-917.
- [27] 杨婧婧, 徐笠, 陆安祥, 等. 环境中微(纳米)塑料的来源及毒理学研究进展[J]. 环境化学, 2018, 37(3):383-396.
- YANG Jing-jing, XU Li, LU An-xiang, et al. Research progress on the sources and toxicology of micro (nano) plastics in environment[J]. *Environmental Chemistry*, 2018, 37(3):383-396.
- [28] 康恺, 杨丹, 黄至诚, 等. 微塑料对小鼠生长和小肠结构的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(2):256-262.
- KANG Kai, YANG Dan, HUANG Zhi-cheng, et al. Effects of microplastics on the growth and structure of the mouse small intestine[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(2):256-262.
- [29] Liu M T, Lu S B, Song Y, et al. Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 242A:855-862.
- [30] 王志超, 孟青, 于玲红, 等. 内蒙古河套灌区农田土壤中微塑料的赋存特征[J]. 农业工程学报, 2020, 36(3):204-209.
- WANG Zhi-chao, MENG Qing, YU Ling-hong, et al. Occurrence characteristics of microplastics in farmland soil of Hetao Irrigation District, Inner Mongolia[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(3):204-209.