

生物降解地膜对土壤微生物丰度、活性及群落结构的影响

李铭轩, 吉德昌, 王政宇, 徐英德, 贾照杰, 李诗彤, 常艺, 冯良山, 张哲, 冯晨, 丁凡

引用本文:

李铭轩, 吉德昌, 王政宇, 徐英德, 贾照杰, 李诗彤, 常艺, 冯良山, 张哲, 冯晨, 丁凡. 生物降解地膜对土壤微生物丰度、活性及群落结构的影响[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(8): 1758–1767.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1413>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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

农业环境科学学报. 2020, 39(11): 2569–2577 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0476>

PBAT型全生物降解地膜对新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>

渭北旱塬不同覆膜农田土壤微生物群落和酶活性的差异

于亚军, 张浩, 张子豪, 王聪, 王凯, 蒋锐

农业环境科学学报. 2020, 39(11): 2578–2586 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0670>

中国地膜产品塑化剂特点及风险评价

丁伟丽, 刘琪, 刘秋云, 严昌荣

农业环境科学学报. 2021, 40(5): 1008–1016 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1331>

山西旱作区不同类型地膜对谷子产量影响及降解性能研究

杨振兴, 周怀平, 解文艳, 刘志平, 何文清, 刘琪, 王悦

农业环境科学学报. 2022, 41(6): 1307–1315 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1275>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李铭轩, 吉德昌, 王政宇, 等. 生物降解地膜对土壤微生物丰度、活性及群落结构的影响[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(8): 1758–1767.

LI M X, JI D C, WANG Z Y, et al. Effects of biodegradable plastic film mulching on soil microbial abundance, activity, and community structure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(8): 1758–1767.



开放科学 OSID

生物降解地膜对土壤微生物丰度、活性及群落结构的影响

李铭轩¹, 吉德昌¹, 王政宇^{1,2}, 徐英德¹, 贾照杰¹, 李诗彤¹, 常艺¹, 冯良山³,
张哲³, 冯晨³, 丁凡^{1*}

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110866; 2. 辽宁农业职业技术学院, 辽宁 营口 115009; 3. 辽宁省农业科学院耕作栽培研究所, 沈阳 110161)

摘要:为明确生物降解地膜对土壤微生物的影响情况, 推动生物降解地膜在农业上的应用和推广, 本研究基于2018年在辽宁阜新和海城建立的地膜覆盖玉米定位试验(试验设计相同, 包含透明、黑色生物降解地膜和透明、黑色塑料地膜覆盖, 以及不覆膜处理), 测定了2019年春季土壤呼吸速率和春秋两季的土壤水解酶(β -葡萄糖苷酶、半纤维素酶、N-乙酰葡萄糖苷酶、亮氨酸氨基肽酶和酸性磷酸酶)活性、微生物生物量碳含量、微生物生物量氮含量、磷脂脂肪酸(PLFA)含量。结果表明:地膜短期覆盖对土壤可溶性有机碳、酶活性、微生物生物量碳氮及PLFA含量无显著影响。对于两个试验地点, 覆盖生物降解地膜土壤呼吸速率均高于塑料地膜, 说明生物降解地膜有提高微生物活性的潜力。研究表明, 生物降解地膜的应用在短期内没有对土壤微生物活性产生负面影响, 但不同类型地膜对土壤的长期影响仍需要进一步监测和综合评价。

关键词:地膜覆盖; 聚己二酸-对苯二甲酸丁二酯; 土壤呼吸; 土壤酶; 磷脂脂肪酸

中图分类号: X71; S154.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2022)08-1758-10 doi:10.11654/jaes.2021-1413

Effects of biodegradable plastic film mulching on soil microbial abundance, activity, and community structure

LI Mingxuan¹, JI Dechang¹, WANG Zhengyu^{1,2}, XU Yingde¹, JIA Zhaojie¹, LI Shitong¹, CHANG Yi¹, FENG Liangshan³, ZHANG Zhe³, FENG Chen³, DING Fan^{1*}

(1. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. Liaoning Agricultural Technical College, Yingkou 115009, China; 3. Institute of Cultivation and Culture, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract: To ensure the effect of biodegradable film mulching (BFM) on soil microorganisms, which limits the application of BFM in agriculture. In 2018, the conducted a field experiment in Fuxin and Haicheng (Liaoning Province, China) to test five different treatments: clear and black biodegradable film mulching, clear and black traditional plastic film mulching, and no mulching. The soil respiration rate, hydrolytic enzyme activity, microbial biomass, and phospholipid fatty acid (PLFA) levels were measured in the spring and autumn of 2019. The results showed that short-term plastic film mulching had no effect on soil dissolved organic carbon, enzyme activity, microbial biomass, or PLFA. However, the soil respiration rate was higher under BFM than under traditional plastic film mulching at both sites, suggesting that BFM could enhance soil microbial activity. The long-term effects of biodegradable film mulching on soil microorganisms were desirable, but short-term biodegradable film mulching did not negatively impact soil microorganisms.

Keywords: film mulching; poly(butyleneadipate-co-terephthalate); soil respiration; soil enzyme; phospholipid fatty acid

收稿日期: 2021-12-06 录用日期: 2022-04-27

作者简介: 李铭轩(1996—), 辽宁沈阳人, 硕士, 从事土壤肥力与耕地保育研究。E-mail: syausoillmx@163.com

*通信作者: 丁凡 E-mail: dingfan1985@syau.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(41807388, 42071069); 兴辽英才计划项目(XLYC2007041)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China(41807388, 42071069); The Revitalization Scientific Research Project of Liaoning Province, China(XLYC2007041)

农用塑料地膜具有增温、保墒、防病、抗虫和抑制杂草等作用^[1]。然而,塑料地膜在自然条件下难以降解,常年覆膜会导致土壤残膜及微塑料的大量累积,严重影响土壤孔隙度和透气性,破坏土壤结构,影响作物出苗、营养吸收及根系的生长发育^[2-4]。生物降解地膜可以起到与塑料地膜相当的增温保墒、提高作物产量的效果^[5-6],且在使用后无需回收,能够在微生物与环境共同作用下完全被降解为CO₂和H₂O^[7],有望在源头上解决塑料地膜农业应用所带来的环境污染问题^[8]。

生物降解地膜应用于农田后可以直接作为土壤微生物的碳源,也可以通过改变微气候而间接影响土壤微生物群落及酶活性,从而引起土壤微生物群落的变化^[9-10]。据报道,生物降解地膜能显著降低塑料际(即塑料与土壤之间的界面)土壤真菌的多样性,甚至能招募特定植物病原菌形成生物膜^[11]。但也有研究发现在番茄、玉米、马铃薯等作物上覆盖生物降解地膜并不改变土壤理化性质、酶活性以及氮循环微生物^[12-13]。除了覆盖生物降解地膜产生的变异外,地膜颜色也是影响土壤微生物群落的重要因素。有报道认为,地膜颜色可以通过调控土壤温度影响作物对土壤养分的消耗,进而调控土壤微生物群落结构^[14]。但MORENO等^[15]对种植番茄的土壤覆膜进行研究时发现,覆盖黑色、绿色或棕色地膜没有改变土壤微生物生物量碳含量。以上研究说明,覆盖生物降解地膜对土壤微生物性质的影响尚不清楚。因此,很有必要系统开展不同颜色的生物降解地膜与塑料地膜的对比试验^[16],探究生物降解地膜对土壤微生物活性、丰度和群落结构的影响。

聚己二酸-对苯二甲酸丁二酯(PBAT)是一种良好的生物降解材料,而且具有良好的机械和热性能,已被用于新型生物降解地膜的生产。本文通过大田试验研究黑色和透明的生物降解地膜(PBAT材质)和传统塑料地膜(聚乙烯材质)覆盖对微生物活性(土壤呼吸)、丰度(微生物生物量碳氮)和群落结构[磷脂脂肪酸(PLFA)]及土壤水解酶活性[β -葡萄糖苷酶(β G)、半纤维素酶(CB)、N-乙酰葡萄糖胺糖苷酶(NAG)、亮氨酸氨基肽酶(LAP)和酸性磷酸酶(AP)]的影响差异,为评价生物降解地膜的环境效应及其未来广泛应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验在沈阳农业大学海城试验基地与辽宁省

农科院作物栽培所阜新试验基地两个地点同时进行。沈阳农业大学海城试验基地位于辽宁省海城市(40°58′42″N,122°43′41″E),属温带大陆性季风气候,海拔高度13 m,年均温10.4℃,年降水量721.3 mm,土壤类型为潮棕壤。试验前耕层土壤(0~20 cm)基本理化性状:土壤容重1.14 g·cm⁻³,pH值5.11,有机碳含量19.4 g·kg⁻¹^[6]。辽宁省农科院作物栽培所阜新试验基地位于辽宁省阜新市(42°06′36″N,121°42′00″E),属温带大陆性季风气候,海拔高度213 m,年均温6.9℃,年降水量565.6 mm,土壤类型为褐土。试验前耕层土壤(0~20 cm)基本理化性状:土壤容重1.43 g·cm⁻³,pH值7.02,有机碳含量14.6 g·kg⁻¹。

1.2 试验设计

本试验于2018年春季设立,为大田试验,玉米品种为郑单958,耕作方式为垄作连作,一年一熟。采用随机区组设计,共计5个处理,分别为:不覆膜(CK)、透明生物降解地膜(BC)、黑色生物降解地膜(BB)、透明聚乙烯塑料地膜(PC)、黑色聚乙烯塑料地膜(PB)。每个处理设置4次重复,共20个小区。地膜厚度为8~9 μ m。PB和PC的生产厂家为喜丰塑业有限公司,其主要成分为聚乙烯;BB和BC的生产厂家为巴斯夫(中国)有限公司,其主要成分为PBAT。海城试验小区面积为86.4 m²(12 m×7.2 m),种植密度约为56 000株·hm⁻²;阜新试验小区面积为60 m²(10 m×6 m),种植密度约为60 000株·hm⁻²。玉米播种后覆盖地膜,并取垄沟处土壤压实地膜两侧及中央。玉米收获后,塑料地膜进行人工回收,生物降解地膜不进行回收,直接翻耕。玉米施肥信息、播种及覆膜日期见表1。

表1 玉米施肥量以及种植和覆膜日期

Table 1 Maize fertilizer amount, and sowing and mulching dates

地点 Position	施肥量 Fertilizer amount/(kg·hm ⁻²)			播种及覆膜日期 Sowing and mulching date
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
海城	75	0	180	2019-04-26
阜新	112.5	112.5	112.5	2019-04-27

1.3 土壤采集及指标测定

2019年春季播种前(4月末)和秋季收获后(10月初),用直径3.5 cm的土钻采集表层土壤(0~20 cm),每个小区随机取5钻混合。土样立即带回实验室挑出根系后,分成3份,风干,分别在4℃和-20℃条件下保存,用于测定土壤基础理化指标、微生物生物量

碳氮及土壤呼吸速率、酶活性和PLFA含量。

土壤铵态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)和硝态氮($\text{NO}_3^-\text{-N}$)含量用1 mol·L⁻¹ KCl溶液浸提后(土液比为1:10),使用连续流动分析仪(Brawn Lubby,德国)测定。土壤微生物生物量碳氮含量采用氯仿熏蒸和 K_2SO_4 溶液提取后(土液比1:4)^[17],使用总有机碳分析仪(Element high TOC II,德国)测定,未熏蒸土壤浸提液中的碳含量代表土壤可溶性碳含量。

土壤呼吸速率采用 CO_2 释放量法测定,本试验仅测定了两个地区的春季土壤。称取相当于10 g干土质量的4℃保存的土壤,转入250 mL的棕色瓶中,调节土壤含水量至60%田间持水量,于20℃密闭条件下预培养7 d。然后,打开一次性橡胶软塞,将培养瓶放于通风处1 h以便空气完全交换。重新调节含水量,将培养瓶放入恒温(20℃)培养箱中正式培养7 d,培养期内每天用注射器抽取约20 mL气体,然后换气、密闭重新培养,待测气体中的 CO_2 浓度利用EGM-4全自动 CO_2 测定仪(PP SYSTEMS,美国)测定。

土壤 βG 、CB、NAG、LAP、AP活性采用荧光标记底物法测定^[18]。将微孔板置于20℃黑暗条件下培养2(βG 和AP)、3(CB和NAG)、20 h(LAP)后,利用多功能酶标仪(Spectra Max M2,美国)测定。发射波长设为365 nm,激发波长为450 nm,每个样品设置8个平行。

土壤微生物群落结构测定采用磷脂脂肪酸法,利用美国MIDI公司开发的Sherlock Microbial Identification System(MIS)4.5系统进行脂肪酸的比对鉴定。以i15:0、a15:0、i16:0、i17:0、a17:0表征革兰氏阳性菌微生物生物量;以16:1 ω 7c、17:1 ω 8c、cy17:0 ω 7c、18:1 ω 7c、cy19:0 ω 7c表征革兰氏阴性菌微生物生物量;以14:0、16:0、17:0表征非特异性细菌群落微生物生物量;以15:0DMA表征厌氧菌群落微生物生物量;以18:2 ω 6c、18:1 ω 9c表征真菌群落微生物生物量;以16:1 ω 5c表征丛枝菌根真菌(AM真菌)群落微生物生物量;以10Me 16:0、10Me 17:1 ω 7c、10Me 17:0、10Me 18:0表征放线菌微生物生物量;同时以所有微生物PLFAs总和表征总微生物生物量^[19-20]。

1.4 数据处理

土壤微生物生物量碳的计算公式如下:

$$C_{\text{MBC}} = (C_{\text{F}} - C_{\text{nf}}) / K_{\text{EC}} \quad (1)$$

式中: C_{MBC} 为各时间段土壤微生物生物量碳含量,mg·kg⁻¹; C_{F} 为熏蒸条件下 K_2SO_4 提取液中的可溶性有机碳含量,mg·kg⁻¹; C_{nf} 为未熏蒸条件下 K_2SO_4 提取液中的可溶性有机碳含量,mg·kg⁻¹; K_{EC} 为振荡过滤后的提取液

中有机碳转换成土壤微生物生物量碳的转换系数,0.45。

土壤总累积呼吸量和呼吸速率的计算公式如下:

$$C_{\text{total}} = \sum_{i=1}^7 [\rho_{\text{CO}_2} \times (F_{\text{s}} - F_{\text{b}}) \times V / m_{\text{s}}] \times 10^{-3} \quad (2)$$

式中: C_{total} 为总累积呼吸量,mg·g⁻¹; ρ_{CO_2} 为 CO_2 的密度,g·cm⁻³; F_{s} 和 F_{b} 分别为第*i*次测气时处理和空白土壤样品测定的 CO_2 浓度, $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$; V 为土壤培养瓶体积,L; m_{s} 为土壤烘干土质量,g。

$$R_{\text{soil}} = \rho_{\text{CO}_2} \times (F_{\text{s}} - F_{\text{b}}) \times V / (m_{\text{s}} \times t) \quad (3)$$

式中: R_{soil} 为土壤呼吸速率, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$; t 为培养时间,h。

试验数据利用SPSS 20.0进行方差分析,Sigma-Plot 12.5绘制图表。多重比较采用Duncan法,显著性水平设为0.05。土壤微生物群落PLFA数据利用CANOCO 4.5进行主成分分析并制图。

2 结果与分析

2.1 土壤可溶性有机碳、铵态氮、硝态氮含量和酶活性

土壤可溶性有机碳和铵态氮、硝态氮分别为容易被微生物同化利用的碳源和氮源。与不覆膜相比,覆盖不同颜色和材质的地膜均未显著改变土壤可溶性有机碳、铵态氮和硝态氮的含量($P>0.05$,表2)。

土壤酶反映养分的获取能力,是物质循环和能量流动中最活跃的生物活性物质^[21]。阜新春季黑色生物降解地膜处理下LAP活性显著高于其他覆膜及不覆膜处理($P<0.05$,表3),此外,其他的酶活性在不同处理间均没有显著差异。春季的土壤酶活性普遍高于秋季。

2.2 土壤微生物生物量碳氮含量

土壤微生物生物量碳氮一定程度上反映了土壤微生物的丰度。海城春季透明生物降解地膜条件下微生物生物量碳含量显著高于其他处理($P<0.05$),分别比不覆膜、黑色生物降解地膜、透明塑料地膜、黑色塑料地膜处理高80%、77%、104%和105%(图1)。在海城秋季,不覆膜处理下微生物生物量碳含量最高,4种地膜处理中只有透明塑料地膜处理的微生物生物量碳含量显著高于黑色生物降解地膜($P<0.05$)。与微生物生物量碳不同,海城试验站微生物生物量氮含量在各处理之间没有显著差异。阜新试验站所有覆膜处理之间微生物生物量碳氮含量均没有显著差异。

2.3 土壤呼吸速率及累积呼吸量

土壤呼吸速率可以用来表征微生物的活性。结果表明(图2),在两个试验站均表现出生物降解地膜

表2 不同覆膜处理春秋两季的土壤可溶性有机碳、
铵态氮和硝态氮含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 2 Soil dissolved organic carbon, NH_4^+-N and NO_3^--N
concentrations under different mulching treatments in
spring and autumn ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

地点 Site	季节 Season	处理 Treatment	可溶性有机碳 DOC	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N
海城	春季	CK	940.3±161.4a	1.9±0.2a	34.6±7.0a
		BC	848.0±49.2a	1.6±0.2a	31.0±5.5a
		BB	767.5±39.2a	1.9±0.2a	28.4±5.2a
		PC	805.4±35.8a	2.4±0.8a	24.5±8.6a
		PB	780.4±22.2a	1.7±0.1a	16.7±3.0a
		均值 Mean	828.3±34.8B	1.8±0.2B	27.0±2.8A
海城	秋季	CK	730.5±45.6a	2.1±0.3a	17.0±3.9a
		BC	796.2±49.6a	1.7±0.2a	20.0±2.7a
		BB	847.4±34.5a	2.2±0.2a	10.3±2.0a
		PC	694.6±47.6a	2.1±0.3a	27.2±8.6a
		PB	705.0±91.8a	1.9±0.4a	20.9±2.9a
		均值 Mean	754.8±26.4BC	2.0±0.1B	33.2±3.0A
阜新	春季	CK	682.4±61.9a	4.6±0.9a	33.4±8.0a
		BC	680.0±19.7a	20.2±8.4a	37.6±5.3a
		BB	729.0±21.0a	17.3±6.0a	39.5±8.6a
		PC	646.1±45.7a	8.6±4.9a	24.9±3.2a
		PB	653.0±41.6a	13.2±5.1a	31.0±7.6a
		均值 Mean	678.1±17.7C	12.7±2.6A	19.1±2.2B
阜新	秋季	CK	896.2±23.3a	1.3±0.2a	9.5±0.7a
		BC	1 140.5±85.8a	2.0±0.7a	7.2±1.2a
		BB	1 097.7±39.1a	1.6±0.5a	11.2±2.4a
		PC	1 043.8±201.6a	3.8±1.9a	11.7±4.7a
		PB	1 063.6±192.2a	2.9±0.8a	13.4±0.9a
		均值 Mean	1 048.1±60.3A	2.3±0.5B	9.0±1.0C
P 值 P value					
处理 Treatment(T)			0.634	0.441	0.818
时空 Space-time(S)			<0.001	<0.001	<0.001
T×S			0.784	0.313	0.245

注:表中数据为平均值±标准误,不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示不同时空差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Data represent mean value ± SE. Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ($P<0.05$), and different uppercase letters indicate significant differences among spaces and times ($P<0.05$). The same below.

处理的土壤呼吸速率高于塑料地膜处理的趋势,这说明,相对于覆盖塑料地膜,覆盖生物降解地膜有提高微生物活性的趋势。只有阜新土样在培养第1天各处理之间有显著差异($P<0.05$,图2b),其他时间的呼吸速率及累积呼吸量在处理之间差异不显著($P>0.05$)。

2.4 土壤微生物群落结构

海城和阜新两季的不同覆膜处理均未显著改变

土壤的总磷脂脂肪酸丰度($P>0.05$,表4),但季节和地点显著影响了土壤总磷脂脂肪酸含量,即海城春季的土壤总磷脂脂肪酸含量高于秋季,阜新土壤的总磷脂脂肪酸含量显著低于海城土壤(表4)。同时,除海城春季各处理土样的放线菌相对丰度表现出差异外,其他群落微生物的相对丰度均没有显著差异(图3)。

主成分分析表明,海城春、秋与阜新春、秋两季累计解释量分别为81.4%、81.6%与85.8%、89.0%(图4)。无论在海城试验站还是在阜新试验站,以及春季或秋季,微生物群落的分布都没有随覆膜处理而分开,表明地膜材料和颜色对土壤微生物群落结构没有显著影响。分别对海城和阜新试验站的春、秋两季的数据进行主成分分析,发现第一主成分将不同季节的土壤样品完全分开(图4e、图4f),表明季节是影响土壤微生物群落结构的主要因素。

3 讨论

3.1 覆膜对土壤可溶性有机碳、铵态氮和硝态氮的影响

土壤可溶性有机碳是土壤活性有机质,是评价土壤质量的重要指标^[22],土壤铵态氮及硝态氮含量是衡量土壤肥力水平的重要指标^[23]。有研究报道,覆膜可能通过阻挡降水来减少可溶性有机碳、铵态氮和硝态氮的淋溶^[24],从而增加土壤可溶性有机碳、铵态氮和硝态氮的含量。但是本研究表明短期生物降解地膜覆盖没有增加土壤可溶性有机碳、铵态氮和硝态氮含量(表2)。这可能有两方面原因:一是在本研究中,传统塑料地膜在秋季收获后被回收,而生物降解地膜经过一个生长季后破碎严重,所以整个冬季各处理地块均处于裸露状态,这可能减弱了覆膜阻挡可溶性碳氮淋溶的效果;此外,一项基于覆盖传统塑料地膜28a的试验研究表明,地膜覆盖不改变土壤养分含量及土壤化学计量学^[25],这意味着短期试验所造成的影响将更为有限。尽管本试验中生物降解地膜也会因为土壤微生物降解而产生可溶性含碳化合物,但生物降解地膜含碳量比土壤碳库小得多^[9-10],而且地膜短期内不能完全降解从而充分地参与土壤碳循环,故降解产生的可溶性含碳产物几乎可以忽略不计,难以影响土壤可溶性有机碳含量。BROWN等^[26]也报道,PBAT塑料大田添加在短期内不改变土壤pH、铵态氮和硝态氮等土壤基础理化性质,这也进一步支持了本试验结果。

3.2 覆膜对土壤微生物生物量及其活性的影响

土壤酶活性及土壤呼吸速率作为微生物活性指标,对评价土壤有机质稳定性和土壤肥力状况具有重

表3 不同覆膜处理春秋两季的土壤水解酶活性(μmol·g⁻¹·h⁻¹)

Table 3 Soil hydrolytic enzyme activities under different mulching treatments in spring and autumn(μmol·g⁻¹·h⁻¹)

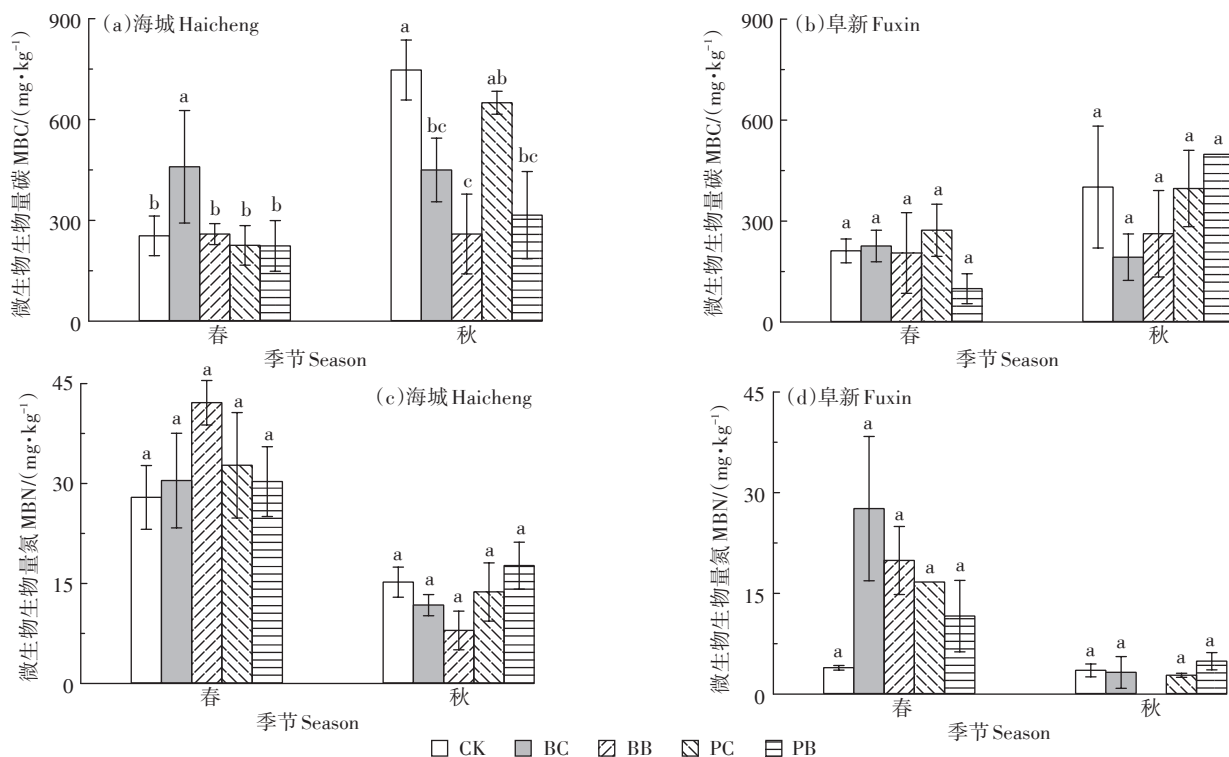
地点 Site	季节 Season	处理 Treatment	β-葡萄糖苷酶 BG	半纤维素酶 CB	乙酰葡萄糖胺糖苷酶 NAG	亮氨酸氨基肽酶 LAP	酸性磷酸酶 AP
海城	春季	CK	13.1±2.8a	11.8±10.0a	22.5±3.5a	8.5±5.7a	36.7±13.1a
		BC	36.1±15.2a	18.8±13.9a	25.6±3.7a	4.6±0.1a	46.7±2.4a
		BB	11.8±1.1a	4.7±0.9a	31.2±12.5a	4.6±0.9a	30.7±7.6a
		PC	11.0±1.5a	2.7±0.3a	16.8±8.5a	3.7±1.3a	46.9±12.1a
		PB	24.5±11.4a	4.4±0.6a	32.0±10.9a	3.2±10.7a	51.7±9.0a
		均值 Mean	19.3±4.1A	8.5±3.3A	25.7±3.7A	4.9±1.1A	42.3±4.1A
海城	秋季	CK	6.8±1.3a	2.6±0.4a	1.9±0.5a	0.3±0.1a	29.1±5.8a
		BC	6.8±1.7a	2.4±0.6a	2.5±0.5a	0.4±0.1a	29.6±6.4a
		BB	6.0±1.4a	1.4±0.3a	2.0±0.3a	0.3±0.1a	17.2±2.4a
		PC	7.4±1.8a	1.2±0.6a	3.3±1.0a	0.9±0.6a	22.6±5.0a
		PB	7.8±1.8a	2.1±0.5a	2.3±0.2a	0.3±<0.1a	23.2±6.0a
		均值 Mean	6.9±0.7B	1.9±0.2B	2.4±0.2C	0.4±0.1B	24.3±2.4B
阜新	春季	CK	14.7±3.6a	2.2±0.4a	18.2±6.1a	1.5±0.5b	30.1±9.7a
		BC	23.2±9.4a	2.8±0.7a	7.0±2.3a	3.1±1.0ab	28.8±2.1a
		BB	35.2±17.3a	2.5±0.3a	13.0±4.2a	6.1±1.2a	40.7±6.6a
		PC	10.8±1.2a	2.8±0.6a	15.3±2.3a	1.8±1.0b	38.5±6.1a
		PB	13.7±1.9a	3.4±0.4a	17.8±5.2a	3.3±0.6ab	36.6±5.0a
		均值 Mean	19.5±4.1A	2.7±0.2B	14.3±1.9B	3.2±0.6A	35.0±2.8A
阜新	秋季	CK	3.6±0.6a	2.1±0.6a	1.6±0.4a	0.1±0.0a	10.0±3.6a
		BC	2.8±0.7a	2.5±1.3a	1.3±0.3a	0.2±0.0a	4.1±2.8a
		BB	2.7±0.2a	1.7±0.9a	1.6±0.4a	0.2±0.0a	12.2±4.7a
		PC	2.6±0.4a	2.6±1.5a	1.2±0.3a	0.2±0.1a	5.0±1.8a
		PB	3.3±0.3a	1.4±0.3a	1.5±0.2a	0.2±<0.1a	7.6±2.7a
		均值 Mean	3.0±0.1B	2.1±0.5B	1.4±0.1C	0.2±<0.1B	7.3±1.3C
P 值 P value							
处理 Treatment(T)			0.323	0.570	0.728	0.775	0.905
时空 Space-time(S)			<0.001	0.042	<0.001	<0.001	<0.001
T×S			0.264	0.792	0.819	0.512	0.521

表4 不同覆膜处理下春秋两季的土壤微生物群落
总磷脂脂肪酸丰度(nmol·g⁻¹)

Table 4 Soil microbial community abundance(PLFA) under
different mulching treatments in spring and autumn(nmol·g⁻¹)

处理 Treatment	海城Haicheng		阜新Fuxin	
	春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn
CK	13.0±2.1a	9.1±1.2a	6.9±2.6a	6.9±0.4a
BC	12.6±1.5a	9.2±1.6a	7.2±0.9a	6.8±0.5a
BB	13.2±1.6a	9.7±0.9a	6.2±1.1a	8.0±1.4a
PC	12.4±1.4a	9.6±0.4a	6.0±1.2a	7.5±0.4a
PB	11.4±0.5a	11.7±0.3a	5.1±0.9a	9.7±1.5a
均值Mean	12.5±1.3A	9.9±1.0B	6.3±1.3C	7.8±1.1C
处理Treatment(T)		时空Space-time(S)		T×S
P值 P value	0.944	<0.001	0.730	

要意义^[27-28]。本试验中,覆膜未显著影响微生物生物量碳氮、土壤呼吸强度,以及绝大多数覆膜条件下与土壤碳、氮、磷循环相关的土壤酶活性(图1、图2、表3),这可能是因为大田试验开展时间较短,不足以影响土壤微生物活性。值得注意的是,覆盖生物降解地膜的土壤呼吸速率有高于未覆膜及覆盖塑料地膜处理的趋势,这可能是因为生物降解地膜在作物生长期开始破碎,其残留在土壤中以及在分解过程中的中间代谢产物增强了土壤呼吸强度^[29]。同时,前人研究发现多年覆盖传统塑料地膜可以通过调节土壤水热状况增强微生物活性^[30-31]。生物降解地膜兼顾了传统塑料地膜保温保墒的特性,结合其对土壤呼吸速率的增强趋势,其可能对土壤微生物活性产生促进作用,因此有必要开展长期试验验证覆盖生物降解地膜

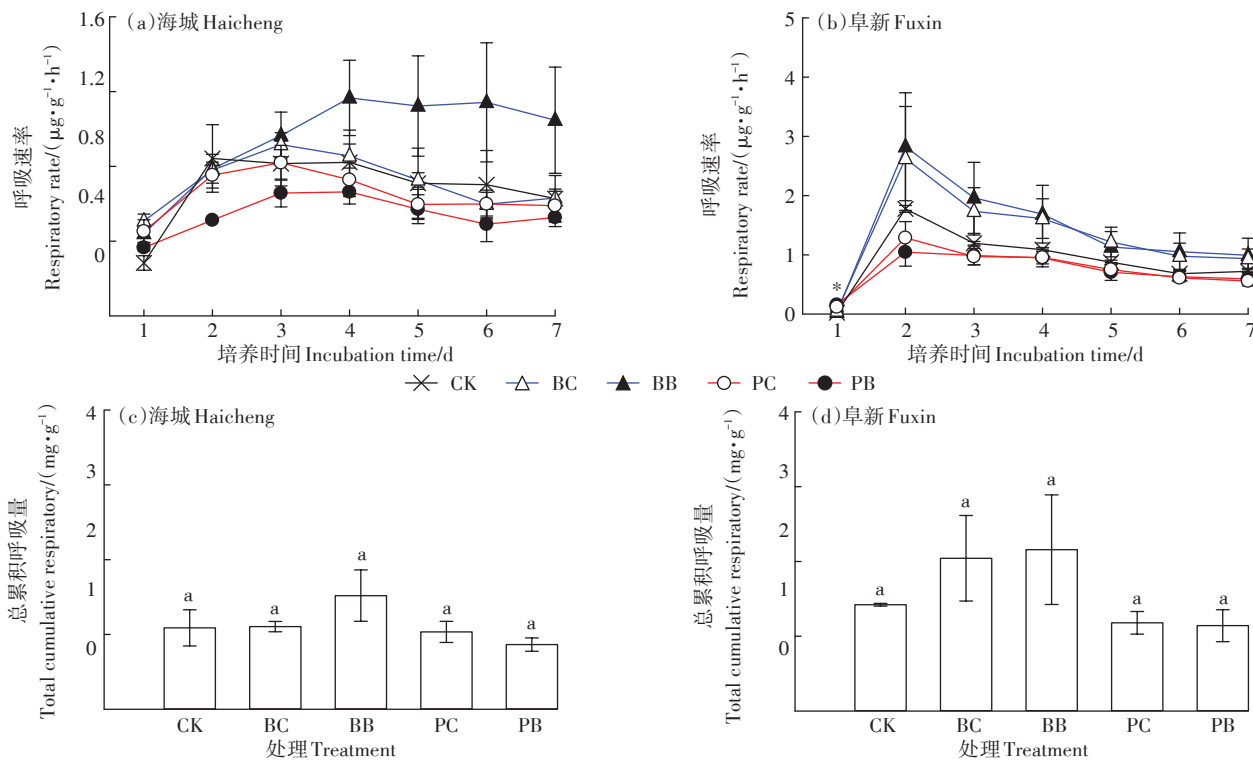


图中数据为平均值 $\pm$ 标准误,不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同

Data represent mean value $\pm$ SE. Different letters indicate significant differences among the treatments ($P<0.05$). The same below

图1 不同覆膜处理下春秋两季的土壤微生物生物量碳氮含量

Figure 1 Soil microbial biomass carbon (MBC) and nitrogen (MBN) under different mulching treatments in spring and autumn



折线图内“*”号代表该时间点处理间差异显著($P<0.05$)

* represents significant difference among different treatments at the same time point within the line chart ($P<0.05$)

图2 不同覆膜处理下春季土壤呼吸速率及总累积呼吸量

Figure 2 Soil respiration rate and total cumulative respiration under different mulching treatments in spring

对土壤呼吸的影响。

3.3 覆膜对土壤微生物群落结构的影响

不同颜色地膜覆盖处理对土壤总磷脂脂肪酸含量和微生物群落结构无显著影响(表4、图3)。本课题组前期的研究表明^[6],透明地膜和黑色地膜的地温只在玉米生长前期比不覆膜田块高4℃左右,且透明地膜的增温效果更明显。而在玉米生长中后期,郁闭度的提高严重削弱了透明地膜、黑色地膜相对于不覆膜地块的增温效果。因此,生长后期的作物对土壤温度的调控有可能是地膜颜色对土壤微生物群落结构影响微弱的原因。

覆盖生物降解地膜也没有改变除海城春季土壤放线菌外的微生物群落结构,这可能是因为当季覆膜量只有约140 kg·hm⁻²,短期内土壤中无大量残膜积累,没有产生对土壤微生物群落结构的遗留效应^[32]。与本研究结果相似,MUROI等^[11]通过室内微宇宙试验发现,以0.6%质量比例添加PBAT地膜无法改变土壤微生物群落结构。近期研究发现^[8,33],添加地膜虽然不改变土壤整体的微生物群落结构,但有可能改变塑料际相关微生物群落结构^[11]和相关基因丰度。

ZHOU等^[34]向土壤中添加聚羟基脂肪酸酯(PHA)后,发现塑料际的微生物活性增强,特定微生物(酸杆菌门和疣状菌门)的相对丰度也随之增加。这些研究表明塑料际微生物群落的改变有助于揭示更具体的生物降解地膜降解和土壤响应的微观机制,未来研究要结合高通量测序等手段进一步获取更为全面的土壤微生物群落信息。

本试验中,海城年均温及年降水量、土壤有机质等均高于阜新,其环境更有利于微生物生长,故其总磷脂脂肪酸丰度也相对较高(表4)。同时,结合主成分分析结果(图4)共同说明,季节和空间因素是影响土壤微生物群落结构的重要因素,这意味着未来的研究应在关注地膜效应的同时注意时空效应对土壤微生物群落结构的影响^[35]。

4 结论

(1)生物降解地膜覆盖两年未显著改变土壤可溶性有机碳、酶活性、微生物生物量碳、氮及微生物群落结构,但覆盖生物降解地膜处理下土壤呼吸强度有增强的趋势。

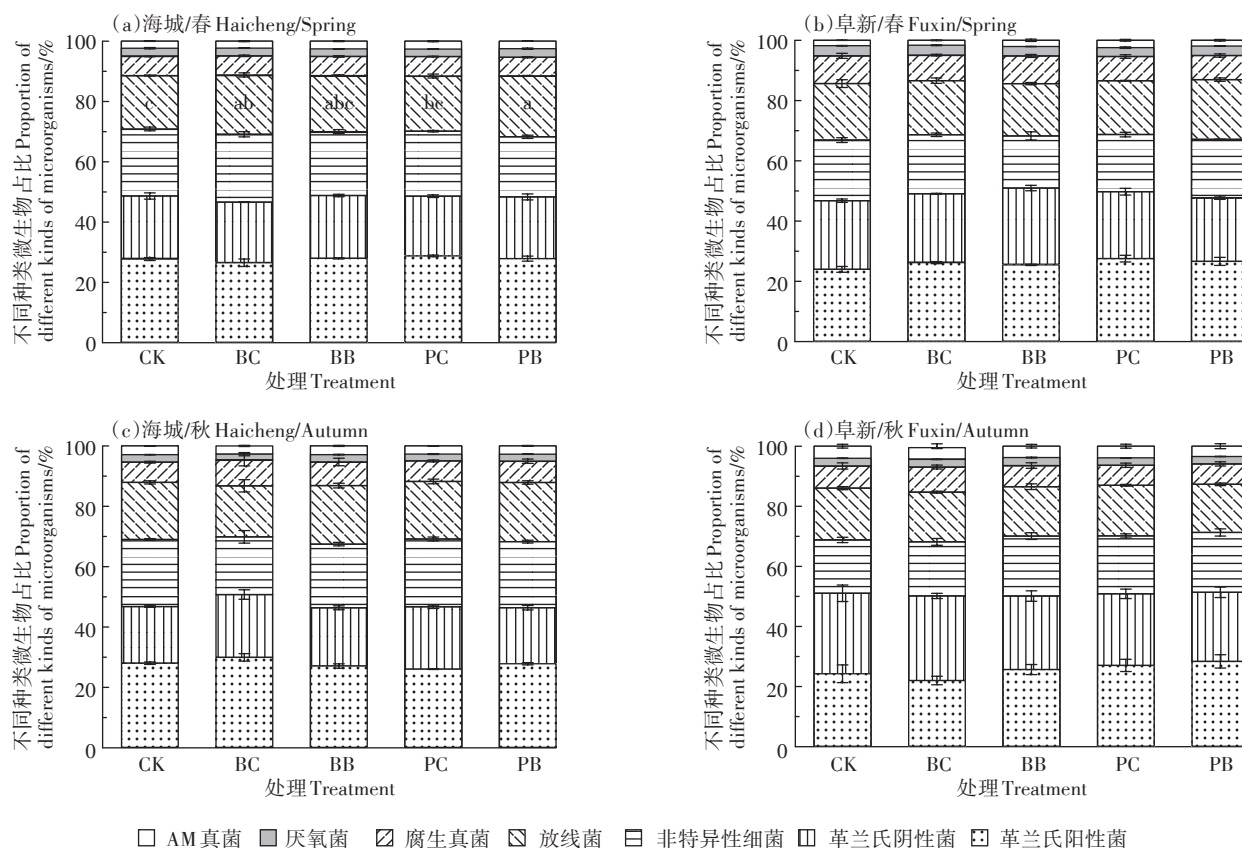


图3 不同覆膜处理下春秋两季的土壤不同微生物群落结构

Figure 3 Soil microbial community structure under different mulching treatments in spring and autumn

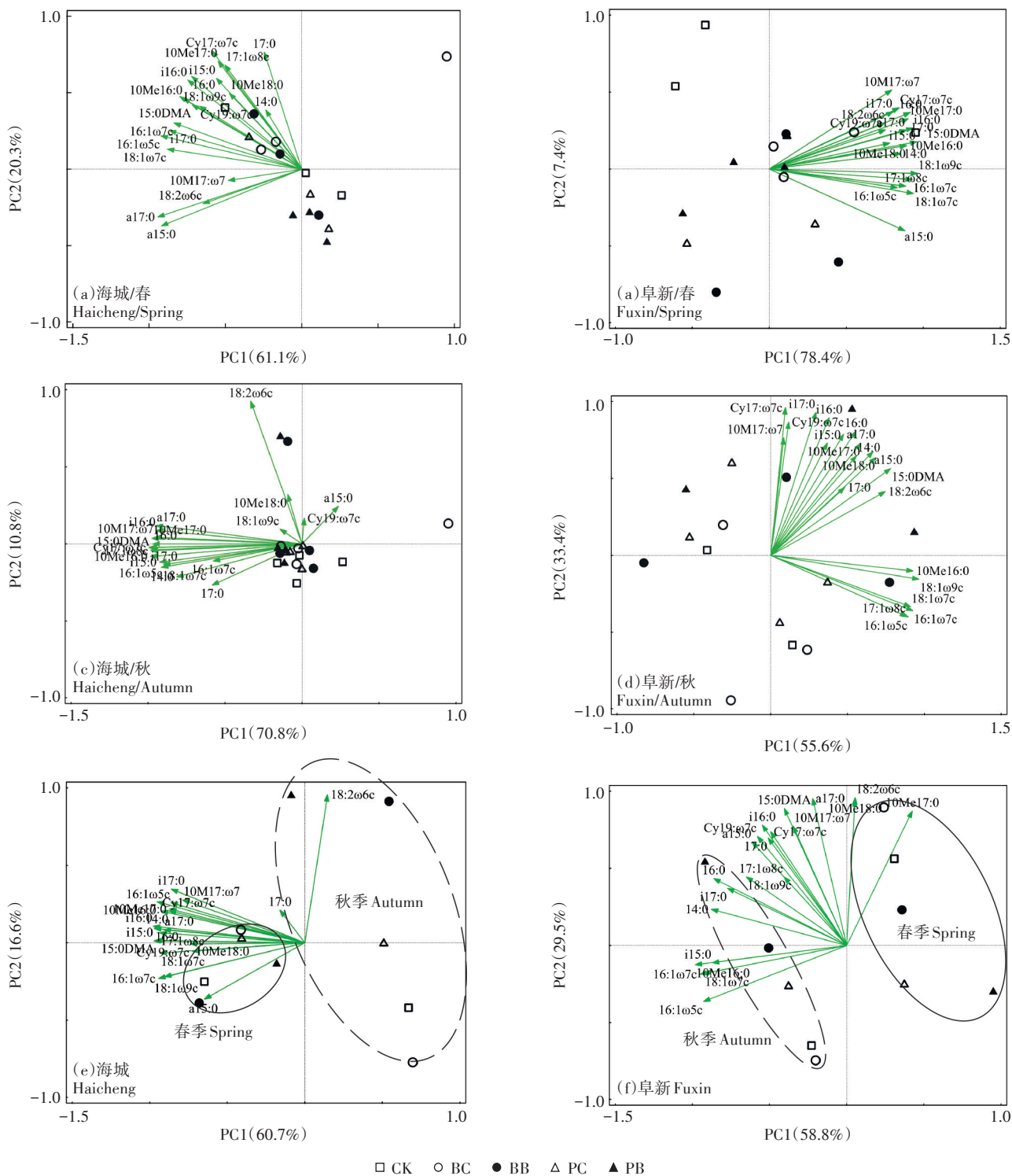


图4 土壤微生物群落主成分分析

Figure 4 PCA analysis for soil microbial community

(2) 季节及空间因素在土壤健康变化中可能更为重要,在评价生物降解地膜效用时应予以关注。

(3) 由于生物降解地膜可为微生物提供碳源(虽然微弱),长期使用生物降解地膜可能会影响土壤微生物丰度和群落。因此,需要通过长期定位试验进一

步评估覆膜对土壤微生物的影响。

参考文献:

- [1] 严昌荣, 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 C R, LIU

- E K, SHU F, 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] BRAUNACK M V, JOHNSTON D B, PRICE J, et al. Soil temperature and soil water potential under thin oxodegradable plastic film impact on cotton crop establishment and yield[J]. *Field Crops Research*, 2015, 184:91-103.
- [3] 李开宇, 肖继兵, 杨宁, 等. 不同可降解地膜对土壤水热变化和玉米产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(5):194-199. LI K Y, XIAO J B, YANG N, et al. Effect of different degradable mulching film on soil water content and temperature and yield of corn[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2019(5):194-199.
- [4] 丁凡, 吕军, 刘勤, 等. 我国棉花主产区变化与地膜残留污染研究[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(6):60-67. DING F, LÜ J, LIU Q, et al. Migration of cotton planting regions and the residual pollution of mulch film in China[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2021, 40(6):60-67.
- [5] 宗睿, 马玉诏, 高超, 等. 不同地膜覆盖对夏玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(12):31-35. ZONG R, MA Y Z, GAO C, et al. Effect of different film mulchings on yield and water use efficiency of summer maize[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2017, 36(12):31-35.
- [6] WANG Z Y, LI M X, FLURY M, et al. Agronomic performance of polyethylene and biodegradable plastic film mulches in a maize cropping system in a humid continental climate[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 786:147460.
- [7] IMMIRZI B, MALINCONICO M, ROMANO G, et al. Biodegradable films of natural polysaccharides blends[J]. *Journal of Materials Science Letters*, 2003, 22:1389-1392.
- [8] ZHU D, MA J, LI G, et al. Soil plastispheres as hotpots of antibiotic resistance genes and potential pathogens[J]. *The ISME Journal*, 2021, 16:521-532.
- [9] BANDOPADHYAY S, MARTIN-CLOSAS L, PELACHO A M, et al. Biodegradable plastic mulch films: Impacts on soil microbial communities and ecosystem functions[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2018, 9:106031.
- [10] DING F, FLURY M, SCHAEFFER S M, et al. Does long-term use of biodegradable plastic mulch affect soil carbon stock? [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, 175:105895.
- [11] MUROI F, TACHIBANA Y, KOBAYASHI Y, et al. Influences of poly (butylene adipate-co-terephthalate) on soil microbiota and plant growth[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2016, 129:338-346.
- [12] 林青, 曾军, 王斌, 等. 聚对苯二甲酸-己二酸丁二酯生物降解膜对土壤氨氧化和反硝化微生物变化的影响[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(7):1306-1314. LIN Q, ZENG J, WANG B, et al. Responses of soil ammonia oxidizers and denitrifiers to poly (butylene adipate-co-terephthalate) - degrading mulch[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2019, 56(7):1306-1314.
- [13] 林青, 曾军, 史应武, 等. 聚对苯二甲酸-己二酸丁二酯生物降解膜对土壤酶活性的影响[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(1):125-132. LIN Q, ZENG J, SHI Y W, et al. Effect of poly (butylene adipate-co-terephthalate) - biodegradable mulch film on soil enzyme activity[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2021, 58(1):125-132.
- [14] 于亚军, 张浩, 张子豪, 等. 渭北旱塬不同覆膜农田土壤微生物群落和酶活性的差异[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(11):2578-2586. YU Y J, ZHANG H, ZHANG Z H, et al. Effects of different plastic film mulching treatments on soil microbial communities and enzyme activities in the Weiwei drylands of the Loess Plateau[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(11):2578-2586.
- [15] MORENO M, MORENO A. Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop [J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 116:256-263.
- [16] 丁凡, 李诗彤, 王展, 等. 塑料和可降解地膜的残留与降解及对土壤健康的影响: 进展与思考[J]. 湖南生态科学学报, 2021, 8(3):83-89. DING F, LI S T, WANG Z, et al. Residue and degradation of plastic and degradable mulch in cropland and their effects on soil health: Progress and perspective[J]. *Journal of Hunan Ecological Science*, 2021, 8(3):83-89.
- [17] VANCE E D, BROOKES P C, JENKINSON D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, 19:703-707.
- [18] JING X, CHEN X, FANG J Y, et al. Soil microbial carbon and nutrient constraints are driven more by climate and soil physicochemical properties than by nutrient addition in forest ecosystems[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2020, 141:107657.
- [19] TAVI N M, MARTIKAINEN P J, LOKKO K, et al. Linking microbial community structure and allocation of plant-derived carbon in an organic agricultural soil using $^{13}\text{C}_2$ pulse-chase labelling combined with ^{13}C -PLFA profiling[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2013, 58:207-215.
- [20] XU Y D, SUN L J, LAL R, et al. Microbial assimilation dynamics differs but total mineralization from added root and shoot residues is similar in agricultural Alfisols[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2020, 148:107901.
- [21] 郑琪, 王小东, 卜文圣, 等. 模拟氮沉降与外源养分和碳源耦合对杉木林土壤碳氮转化的后期影响[J]. 生态学杂志, 2021, 40(7):1-11. ZHENG Q, WANG X D, BU W S, et al. Late effects of nitrogen deposition and its coupling with exogenous nutrients and carbon sources on soil carbon and nitrogen transformation in *Cunninghamia lanceolata* plantations[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40(7):1-11.
- [22] USELMAN S M, QUALLS R G, LILIENTFEIN J. Contribution of root vs. leaf litter to dissolved organic carbon leaching through soil[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2007, 71:1555-1563.
- [23] 王秀康, 李占斌, 邢英英. 覆膜和施肥对玉米产量和土壤温度、硝态氮分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4):884-897. WANG X K, LI Z B, XING Y Y. Effects of mulching and fertilization on maize yield, soil temperature and nitrate - N distribution[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2015, 21(4):884-897.
- [24] 刘国顺, 位辉琴, 杨兴有, 等. 不同覆膜期限对烟田土壤含水率及氮、磷、钾含量的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4):72-76. LIU G S, WEI H Q, YANG X Y, et al. Effect of different duration of film-

- mulching on content of water, nitrogen, phosphorus, and potassium in flue-cured tobacco field[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(4):72-76.
- [25] 王庆鲁, 祝鹏飞, 丁凡. 地膜覆盖和有机肥施用对农田土壤和作物C、N、P化学计量学的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(4):1191-1197. WANG Q L, ZHU P F, DING F. Effects of plastic film mulching and organic manure application on C, N, P stoichiometry of soil and crop[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(4):1191-1197.
- [26] BROWN R W, CHADWICK D R, THORNTON H, et al. Field application of pure polyethylene microplastic has no significant short-term effect on soil biological quality and function[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2021, 165:108496.
- [27] SAINJU U M, CAESAR-TONTHAT T, LENSSEN A W, et al. Tillage and cropping sequence impacts on nitrogen cycling in dryland farming in eastern Montana, USA[J]. *Soil & Tillage Research*, 2009, 103:332-341.
- [28] 薛菁芳, 高艳梅, 汪景宽, 等. 土壤微生物生物量碳氮作为土壤肥力指标的探讨[J]. 土壤通报, 2007, 38(2):247-250. XUE J F, GAO Y M, WANG J K, et al. Microbial biomass carbon and nitrogen as an indicator for evaluation of soil fertility[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(2):247-250.
- [29] RETH S, GÖCKEDE M, FALGE E. CO₂ efflux from agricultural soils in Eastern Germany: Comparison of a closed chamber system with eddy covariance measurements[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2005, 80:105-120.
- [30] LIU X E, LI X G, HAI L, et al. Film-mulched ridge-furrow management increases maize productivity and sustains soil organic carbon in a dryland cropping system[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2014, 78:1434-1441.
- [31] WANG Y P, LI X G, HAI L, et al. Film fully-mulched ridge-furrow cropping affects soil biochemical properties and maize nutrient uptake in a rainfed semi-arid environment[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2014, 60(4):486-498.
- [32] MASUI A, IKAWA S, FUJIWARA N, et al. Influence for soil environment by continuing use of biodegradable plastic[J]. *Journal of Polymers and the Environment*, 2011, 19(3):622-627.
- [33] HAN Y, TENG Y, WANG X, et al. Soil type driven change in microbial community affects poly(butylene adipate-co-terephthalate) degradation potential[J]. *Environmental Science & Technology*, 2021, 55:4648-4657.
- [34] ZHOU J, GUI H, BANFIELD C C, et al. The microplastisphere: Biodegradable microplastics addition alters soil microbial community structure and function[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2021, 156:108211.
- [35] BANDOPADHYAY S, SINTIM H Y, DEBRUYN J M. Effects of biodegradable plastic film mulching on soil microbial communities in two agroecosystems[J]. *Peer J*, 2020, 8:e9015.

(责任编辑:宋潇)