

环境条件对麻纤维地膜降解及其土壤微生物量和酶活性的影响

龙世方^{1,2}, 朱奇宏², 周建利¹, 黄道友², 刘波^{1,2}, 吕光辉², 段明梦²

(1. 长江大学农学院, 湖北 荆州 434025; 2. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125)

摘要: 通过设置不同土壤 pH、施氮量、季节和作物种植的土壤环境条件, 采用盆栽埋袋试验方法研究麻纤维地膜的降解规律变化, 并分析其与土壤微生物生物量及酶活性的关系。结果表明: 麻纤维地膜的降解过程均服从 Olson 衰减模型 ($R^2 = 0.689 \sim 0.996$, $P < 0.05$)。施氮量和使用季节对麻纤维地膜的降解产生显著影响, 在秋冬季节施氮量增加和种植小白菜呈抑制地膜降解的趋势, 夏季地膜降解速率显著高于秋冬季, 但土壤 pH (5.80~8.34) 对地膜的降解速率影响较弱。不同土壤环境条件下, 试验末期麻纤维地膜的降解率与土壤微生物生物量碳、氮 (MBC、MBN)、纤维素酶及过氧化氢酶活性呈显著正相关关系 ($P < 0.05$)。因此, 土壤环境条件改变导致的土壤微生物生物量及酶活性变化可能是其影响麻纤维地膜降解速率的重要原因。

关键词: 麻纤维地膜; 降解规律; 季节; 土壤 pH; Olson 衰减模型

中图分类号: S563

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)02-0214-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.02.034

Effects of Environmental Conditions on the Degradation of Bast Fiber Mulch Film, Soil Microbial Biomass and Enzymes Activities

LONG Shifang^{1,2}, ZHU Qihong², ZHOU Jianli¹,

HUANG Daoyou², LIU Bo^{1,2}, LÜ Guanghui², DUAN Mingmeng²

(1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025; 2. Key Laboratory of Agro-ecological

Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125)

Abstract: The pot buried experiments were conducted to study the effects of soil pH, nitrogen application, seasons and pakchoi planting on the degradation of bast fiber mulch film (BFMF) and the changes in soil microbial biomass and enzymes activities. The results showed that the degradation process of BFMF obeyed the Olson attenuation model ($R^2 = 0.689 \sim 0.996$, $P < 0.05$). The application of nitrogen and planting of pakchoi during the autumn-winter season significantly inhibited the degradation of BFMF ($P < 0.05$). Further, the degradation rate of BFMF was significantly higher during summer than autumn-winter season ($P < 0.05$). While, limited effect of soil pH (5.80~8.34) on the degradation of BFMF was observed ($P > 0.05$). Moreover, there were significantly positive relationships between the degradation rates of BFMF and the soil microbial biomass carbon, nitrogen (MBC, MBN), cellulose and catalase activities at the end of the experiments periods ($P < 0.05$). These results indicated that the different degradation characters of BFMF might be due to the changes in soil microbial biomass and enzymes activities under different soil environment conditions.

Keywords: bast fiber mulch film; degradation; season; soil pH; Olson attenuation model

地膜覆盖栽培技术作为一项农业增产的重要措施, 极大地促进农业的快速发展^[1], 但也带来了严重的“白色污染”问题^[2]。可降解地膜的研发是解决这一问题的有效途径^[3], 近年来已取得重要进展和应用成效^[4-6]。麻纤维地膜是以麻类植物纤维为主要原料制成的一种可降解地膜, 具有与普通塑料地膜相当的保温、保湿、增产和防杂草等功能^[7], 其降解后具有降低土壤容重、增加

孔隙度、改善土壤三相比例、增加土壤养分、提高土壤微生物数量及培肥土壤的能力^[8], 在白菜^[9]、辣椒^[10]和棉花^[11]等作物上的应用均取得了良好的增产效果。

可降解地膜在土壤中的降解特征及其对环境条件的响应规律, 直接关系到其在农业生产中的应用。何文清等^[12]研究指出, 土壤温度和水分等环境条件及受其影响的土壤微生物活性是决定可降解地膜降解速率的重

要因素;Ma等^[13]认为,土壤酶活性也对可降解地膜的降解过程有重要影响;宋建龙^[7]以失重率和残留地膜机械强度为指标研究发现,土壤肥力和pH均是影响麻纤维地膜降解的重要环境因素,较高肥力和弱碱性土壤条件有利于麻纤维地膜的降解。然而,麻纤维地膜在不同土壤环境条件下的降解规律及其对土壤微生物和酶活性变化的响应研究还有待加强。为此,通过埋袋试验,研究麻纤维地膜在不同土壤pH、应用季节、氮肥施用以及小白菜种植等环境条件下的降解规律,并探讨其与土壤微生物量和酶活性变化的关系,以期为麻纤维地膜的推广应用提供支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验用麻纤维地膜由中国农业科学院麻类研究所麻产品加工项目组提供,100%苧麻纤维制成,产品为白色。该项目组测定结果^[7]显示,供试麻纤维地膜单位面积重量29 g/m²,厚度0.32 mm,抗拉强力687.2 N/m,伸长率29.95%,透光率49.9%,保温率13.7%。

供试土壤为发育于花岗岩母质的麻沙泥,采集自湖南省长沙县北山镇。土壤pH 5.80,有机质含量33.29 g/kg,全氮含量1.80 g/kg,全磷含量1.05 g/kg,全钾含量42.59 g/kg,碱解氮含量84.65 mg/kg,速效磷含量53.53 mg/kg,速效钾含量80.05 mg/kg。

1.2 试验设计

本试验于耕地重金属污染长期定位观测试验中心站盆栽场进行。该站位于湖南省长沙县北山镇,属亚热带季风气候,年平均气温为16~20℃。前期预备试验结果显示,麻纤维地膜直接埋入土壤,附着在地膜上的土壤颗粒难以清除,造成地膜降解率不能准确定量,因此采用盆栽埋袋试验的方法开展研究。试验设置土壤pH、季节、施氮量及作物种植4个环境因素。土壤pH条件是用生石灰将土壤pH调为5.80,7.68,8.34,每个处理设18盆(供6次取样);施氮量条件是以尿素为氮肥施入土中,使施氮量分别为0,0.15,0.30,0.60 g/kg,每个处理设24盆(供8次取样);季节设置秋冬季和夏季2个处理,每个处理设24盆(供8次取样);作物种植设置为种小白菜和不种小白菜2个处理,每个处理设24盆(供8次取样)。土壤pH、氮肥施用及作物种植试验于2017年10月10日至12月21日进行(秋冬季节),夏季处理于2018年6月9日至8月20日进行。试验用聚乙烯塑料盆上口直径24 cm,高16 cm,每盆装风干土2.5 kg。将麻纤维地膜烘干后裁成15 cm×15 cm大小,称重后装入300目尼龙网袋,再埋入试验盆土壤约8 cm深处,放置在自然光下,随机排列。在试验开展过程中,通过每天测定土盆重量补充水分,使土壤含水

量保持在25%。在地膜埋入后的第15,30,37,44,51,58,65,72天采集地膜样品,各处理每次取3个重复,并在最后1次取样时分别采集土壤样品。每次取样后的地膜样品,用去离子水清洗干净后,放于60℃烘箱中烘48 h后称重,用于计算地膜降解率。土壤样品采集后,采用四分法平均分为2部分:一份鲜样直接过2 mm筛,装入聚乙烯塑料袋用于测定土壤微生物量碳、氮;另一份样品风干后过0.42 mm筛,装入聚乙烯塑料袋用于测定土壤酶活性。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤微生物量的测定 土壤微生物量碳、氮采用氯仿熏蒸—K₂SO₄提取法测定^[14]。提取液中的碳采用水体总有机碳分析仪(Smartchem 140,AMS意大利)测定,氮采用流动注射仪(AA3,SEAL德国)测定。微生物量碳、氮的换算系数均为0.45。

1.3.2 土壤酶活性的测定 土壤酶活性分别采用南京建成生物科技有限公司生产的土壤脲酶、土壤蔗糖酶、土壤酸性磷酸酶、土壤过氧化氢酶和土壤纤维素酶活性试剂盒进行测定。土壤脲酶活性采用苯酚钠—一次氯酸钠比色法测定,以产生NH₃—N μg/g(37℃,24 h)表示;土壤蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定,以产生葡萄糖mg/g(37℃,24 h)表示;土壤酸性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定,以释放酚含量μmol/g(37℃,24 h)表示;土壤过氧化氢酶活性采用容量法测定,以催化H₂O₂ μmol/g(25℃,24 h)表示;土壤纤维素酶活性采用蒽酮比色法测定,以产生葡萄糖mg/g(37℃,24 h)表示^[15]。均采用多功能酶标仪(Infinite M200 PRO,TECAN瑞士)测定。

1.3.3 计算方法 麻纤维地膜降解率=(M₀—M_t)/M₀×100%。式中:M₀为麻纤维地膜的初始质量(g);M_t为时间t时麻纤维地膜残留干重(g)。采用描述枯落物分解常用的Olson衰减模型计算麻纤维地膜降解速率:Y=exp^{-kt}。式中:Y为麻纤维地膜残留率(%);k为降解常数;t为降解时间(d)。麻纤维地膜残留率(Y)=M_t/M₀×100%。由降解模型可得麻纤维地膜降解的半衰期(50%降解率)计算式:t_{0.5}=ln 0.5/(-k);完全降解时间(95%降解率)计算式为:t_{0.95}=ln 0.05/(-k)。

1.4 数据处理

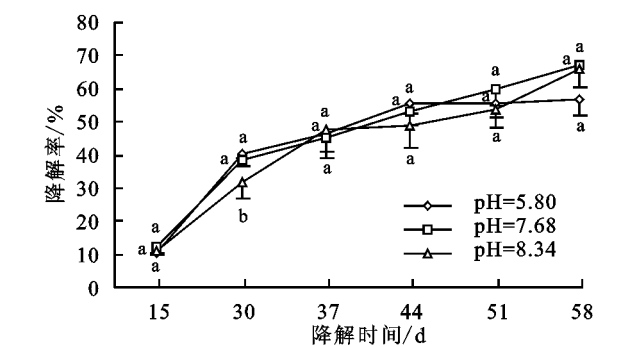
采用Excel 2010软件进行数据统计分析,采用DPS 7.5软件LSD法进行差异显著性分析,Pearson法进行相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同土壤环境条件下的麻纤维地膜降解规律

2.1.1 不同土壤pH条件下麻纤维地膜的降解规律 在3种土壤pH条件下,麻纤维地膜的降解率均随时间延长而升高(图1)。土壤pH 5.80时,麻纤维地膜

前期(15~44 天)快速降解,降解率由 10.6%提升至 55.7%,随后缓慢上升;土壤 pH 7.68 和 8.34 时,麻纤维地膜降解率变化规律相似,在整个试验周期内(58 天)呈逐步上升的变化趋势,分别由第 15 天的 12.1%和 11.0%上升至 67.3%和 66.0%。但是,在地膜埋入后的各取样时间节点(除第 30 天外),3 个土壤 pH 条件下麻纤维地膜降解率无显著差异($P>0.05$)。



注:图中不同字母表示处理间差异达显著水平($P<0.05$)。下同。

图 1 不同土壤 pH 条件下麻纤维地膜降解率的动态变化

供试 3 个土壤 pH 条件下,麻纤维地膜降解过程均服从 Olson 指数衰减模型(表 1),其 R^2 达到 0.911~0.996,根据该模型求得麻纤维地膜降解系数 k 值分别为 pH 7.68(0.022 3) $>$ pH 8.34(0.020 9) $>$ pH 5.80(0.017 3)。说明在 58 天的试验期内,麻纤维地膜在弱碱性土壤中降解较快。

表 1 不同土壤 pH 条件下麻纤维地膜降解率及其降解常数

土壤 pH	Olson 负指数方程	R^2	降解常数	半降解时间/d	95%降解时间/d
5.80	$Y=1.0615e^{-0.0173t}$	0.9107 **	0.0173	40.1	173.2
7.68	$Y=1.2333e^{-0.0223t}$	0.9960 **	0.0223	31.1	134.3
8.34	$Y=1.2322e^{-0.0209t}$	0.9565 **	0.0209	33.2	143.3

注:Y 为麻纤维地膜残留率(%);t 为降解时间(d);** 表示方程在 $P<0.01$ 水平上差异显著;* 表示方程在 $P<0.05$ 水平上差异显著。下同。

2.1.2 不同施氮量条件下麻纤维地膜的降解规律

在 4 种施氮量条件下,麻纤维地膜的降解率存在明显差异(图 2)。在施氮量为 0 的条件下,麻纤维地膜在埋入土壤后的 15~44 天时快速降解,降解率由 10.6%上升至 55.7%,随后缓慢上升;施氮量 0.15 g/kg 时,其快速降解期为 15~30 天,随后上升趋势趋缓;施氮量为 0.3,0.6 g/kg 的条件下,其降解率在 72 天的培养时间内呈稳步升高的变化趋势。在地膜埋入后的各取样时间节点中施氮量为 0 处理的麻纤维地膜降解率均显著高于施氮量 0.15(除第 15,58,65 天外),0.3,0.6 g/kg 处理($P<0.05$)。在 72 天的培养时间内施氮量为 0.3,0.6 g/kg 条件下的麻纤维地膜降解率均无明显差异($P>0.05$),但显著低于 0.15 g/kg 处理($P<0.05$)。

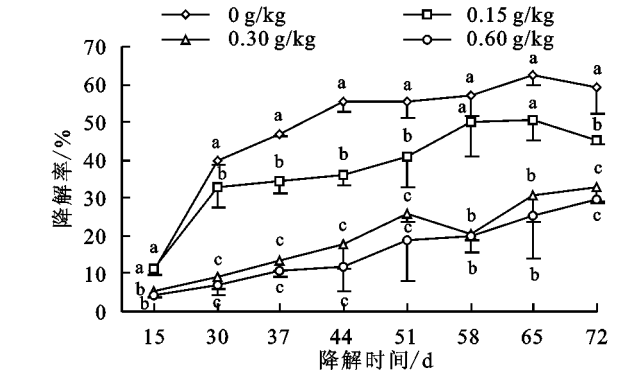


图 2 不同施氮量条件下麻纤维地膜降解率的动态变化

不同施氮量条件下,麻纤维地膜降解率均呈现出指数衰减过程(表 2),利用 Olson 模型求得麻纤维地膜降解系数 k 大小分别为施氮量 0(0.013 7) $>$ 0.15(0.009 3) $>$ 0.30(0.006 2) $>$ 0.06(0.005 6)g/kg。说明在 72 天的试验期内,氮肥施用明显抑制麻纤维地膜的降解。根据模型,可算出在土壤施氮量 0,0.15,0.30,0.60 g/kg 条件下,麻纤维地膜半降解时间分别为 50.6,75.3,111.8,123.8 天,完全降解需要时间则依次为 218.7,322.1,483.5,535.0 天。

表 2 不同施氮量条件下麻纤维地膜降解率及其降解常数

施氮量/ (g·kg ⁻¹)	Olson 负指数方程	R^2	降解常数	半降解时间/d	95%降解时间/d
0	$Y=0.9397e^{-0.0137t}$	0.8564 **	0.0137	50.6	218.7
0.15	$Y=0.9445e^{-0.0093t}$	0.8475 **	0.0093	75.3	322.1
0.30	$Y=1.0689e^{-0.0062t}$	0.9125 **	0.0062	111.8	483.2
0.60	$Y=1.0873e^{-0.0056t}$	0.9362 **	0.0056	123.8	535.0

2.1.3 不同季节下麻纤维地膜的降解规律

由图 3 可知,在各个取样时间节点,夏季麻纤维地膜的降解率均显著高于秋冬季($P<0.05$)。夏季时,麻纤维地膜埋入土壤 15 天后,其降解率达到 50.0%以上,30 天时快速升高至 73.3%,到试验末期(72 天)其降解率达 80.0%以上;秋冬季时,地膜在埋入土壤的前 44 天快速降解(达 55.7%),随后降解率缓慢上升。

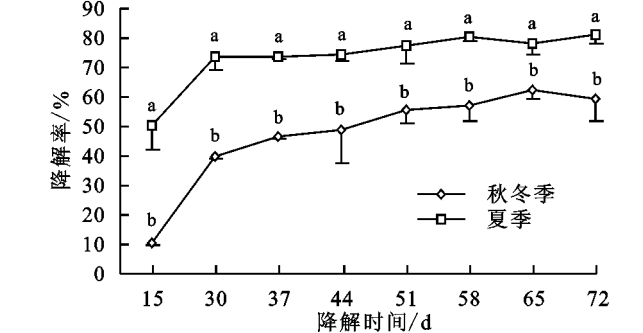


图 3 不同季节下麻纤维地膜降解率的动态变化

不同季节温度条件下,麻纤维地膜降解率均呈现出指数衰减过程(表 3),利用 Olson 模型求得麻纤维地膜降解系数 k 大小分别为夏季(0.014 4) $>$ 秋冬季(0.013 7)。说明在温度较高的季节麻纤维地膜降解

速率更快。

表 3 不同季节条件下麻纤维地膜降解率及其降解常数

季节	Olson 负 指数方程	R^2	降解 常数	半降解 时间/d	95%降解 时间/d
秋冬季	$Y=0.9397e^{-0.0137x}$	0.85642 **	0.0137	50.6	218.7
夏季	$Y=0.4941e^{-0.0144x}$	0.79812 **	0.0144	48.1	208.0

2.1.4 种植作物对麻纤维地膜降解规律的影响 以小白菜为供试作物,研究不种植作物和种植作物条件下麻纤维地膜的降解规律(图 4)。在种植和不种植小白菜的条件下麻纤维地膜的降解率随时间变化的规律相似,均在前 44 天快速降解,然后趋缓。但除第 15 天外的其他取样时间节点,麻纤维地膜降解率在不种小白菜的处理高出种植小白菜处理 11.4~20.6 个百分点,其中在第 30,37,72 天两者间差异达到显著水平($P<0.05$)。

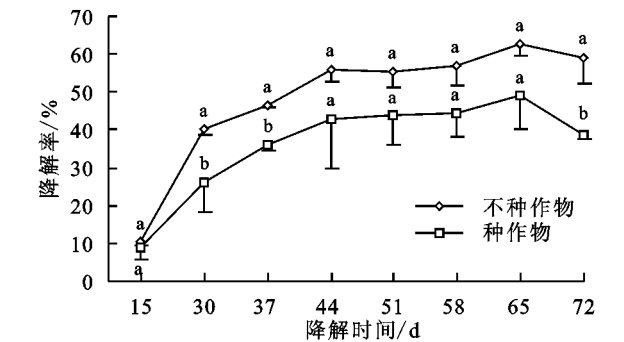


图 4 作物种植与否麻纤维地膜降解率的动态变化

相比于种植小白菜($P<0.05$),Olson 模型能更好地模拟不种植小白菜条件下麻纤维地膜的降解过程($P<0.01$)。其降解系数 k 大小分别为不种植小白菜(0.013 7) $>$ 种植小白菜(0.008 2)(表 4)。说明在 72 天的试验期内,在不种植小白菜的条件下,麻纤维地膜降解速率更高。根据模型可以计算出在不种植和种植小白菜的条件下,麻纤维地膜半降解时间分别为 50.6, 84.5 天,完全降解则分别需要 218.7,365.3 天。

表 4 作物种植与否麻纤维地膜降解率及其降解常数

作物种植	Olson 负 指数方程	R^2	降解 常数	半降解 时间/d	95%降解 时间/d
不种小白菜	$Y=0.9397e^{-0.0137x}$	0.8564 **	0.0137	50.6	218.7
种植小白菜	$Y=0.9204e^{-0.0082x}$	0.6886 *	0.0082	84.5	365.3

2.2 不同环境条件下土壤微生物量和酶活性的变化

2.2.1 不同环境条件下土壤微生物量变化 在地膜降解试验最后 1 次采样时,测定了土壤微生物生物量和土壤酶活性指标(表 5、表 6)。由表 5 可知,不同土壤环境条件下,土壤微生物生物量碳(MBC)、氮(MBN)及微生物量碳氮比(MBC/MBN)均受到显著影响。在土壤 pH 处理中,pH 7.68 条件下的 MBC 和 MBN 含量较高,其中 MBC 含量显著高于 pH 8.34($P<0.05$),与 pH 5.80 无显著性差异($P>0.05$),MBN 含量显著

高于 pH 5.80($P<0.05$),与 pH 8.34 无显著性差异($P>0.05$);MBC/MBN 在 pH 5.80 条件下显著高于 pH 7.68 和 pH 8.34 处理($P<0.05$)。在施氮量处理中,MBC、MBN 及 MBC/MBN 在施氮量为 0 条件下均显著高于其他施氮处理($P<0.05$),且呈现出随施氮量的增加而降低的变化趋势。秋冬季温度条件下的 MBC 和 MBN 均显著高于夏季($P<0.05$),但 MBC/MBN 无显著性差异($P>0.05$)。不种植作物条件下的 MBC、MBN 均显著高于种植作物条件($P<0.05$),但 MBC/MBN 未呈现显著性差异($P>0.05$)。

表 5 不同土壤环境条件下土壤微生物量变化

处理	水平	MBC/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	MBN/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	MBC/ MBN
土壤 pH	5.80	787.64 $\pm$ 74.11a	46.86 $\pm$ 4.05b	16.71 $\pm$ 1.52a
	7.68	807.79 $\pm$ 63.63a	64.46 $\pm$ 11.57a	11.95 $\pm$ 1.58b
	8.34	670.45 $\pm$ 107.63b	61.57 $\pm$ 11.94a	9.89 $\pm$ 0.85b
施氮量	0 g/kg	958.60 $\pm$ 157.13a	52.64 $\pm$ 8.02a	18.40 $\pm$ 2.52a
	0.15 g/kg	489.74 $\pm$ 83.06b	49.06 $\pm$ 12.82a	10.32 $\pm$ 1.78b
	0.30 g/kg	323.55 $\pm$ 28.91b	32.27 $\pm$ 6.09b	9.91 $\pm$ 1.46b
	0.60 g/kg	84.65 $\pm$ 43.85c	14.22 $\pm$ 5.75c	8.46 $\pm$ 2.06b
季节	秋冬季	958.60 $\pm$ 157.13a	52.64 $\pm$ 8.02a	18.40 $\pm$ 2.52a
	夏季	449.10 $\pm$ 78.02b	27.11 $\pm$ 13.36b	14.75 $\pm$ 3.26a
作物种植	不种白菜	958.60 $\pm$ 157.13a	52.64 $\pm$ 8.02a	18.40 $\pm$ 2.52a
	种植白菜	661.60 $\pm$ 87.39b	32.92 $\pm$ 4.62b	17.47 $\pm$ 4.14a

注:表中数据为平均值 $\pm$ 标准差;同列不同小写字母表示处理内差异显著($P<0.05$)。下同。

2.2.2 不同环境条件下土壤关键酶活性变化 从表 6 可以看出,在土壤 pH 处理中,土壤过氧化氢酶和脲酶活性均随土壤 pH 提高而升高,土壤酸性磷酸酶反之,土壤蔗糖酶活性和土壤纤维素酶活性在处理间均无显著差异($P>0.05$)。在施氮量处理中,土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶和纤维素酶活性均随施氮量的增加而降低,但土壤蔗糖酶和酸性磷酸酶活性未呈现显著性差异,土壤脲酶活性则呈现出随施氮量的增加而升高的趋势。在季节处理中,夏季温度条件下的脲酶活性和纤维素酶活性显著高于秋冬季($P<0.05$),而蔗糖酶活性和酸性磷酸酶活性显著低于秋冬季($P<0.05$),过氧化氢酶活性在秋冬季和夏季条件下无显著差异($P>0.05$)。不种植作物处理中的纤维素酶活性显著高于种植作物处理($P<0.05$),而土壤脲酶活性显著低于种植作物处理($P<0.05$),土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶活性在作物处理中均无显著性差异($P>0.05$)。

2.3 麻纤维地膜降解率与土壤微生物量及酶活性的相关关系

最后 1 次取样时各处理麻纤维地膜降解率与土壤微生物量及土壤酶活性的相关分析表明,麻纤维地膜的降解率与土壤微生物生物量碳(MBC)和土壤纤

纤维素酶活性呈极显著正相关关系($P<0.01$),相关系数分别为 0.461 和 0.553;并与土壤微生物生物量氮(MBN)和土壤过氧化氢酶活性呈显著正相关关系($P<0.05$),相关系数分别为 0.426 和 0.432;而与土

壤微生物量碳氮比(MBC/MBN)(相关系数 0.285)、蔗糖酶(相关系数-0.123)、酸性磷酸酶(相关系数-0.307)及脲酶活性(相关系数 0.238)无显著相关关系($P>0.05$)。

表 6 不同土壤环境条件下土壤酶活性变化

处理	水平	过氧化氢酶活性/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$)	蔗糖酶活性/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$)	酸性磷酸酶活性/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$)	脲酶活性/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$)	纤维素酶活性/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$)
土壤 pH	5.80	21.25±0.97b	11.29±1.14a	32.49±1.87a	459.45±28.33b	4.67±0.92a
	7.68	28.78±4.23a	10.54±0.93a	21.46±0.46b	518.91±46.90ab	4.81±0.65a
	8.34	32.80±4.44a	13.44±3.77a	10.36±0.73c	543.12±20.47a	4.23±0.60a
施氮量	0 g/kg	22.33±1.67a	11.5±3.36a	34.07±0.56a	521.40±8.77b	6.48±0.29a
	0.15 g/kg	18.84±0.90b	10.58±2.47a	34.44±0.81a	547.11±6.17ab	5.57±0.89ab
	0.30 g/kg	17.98±1.34b	9.66±2.44a	30.83±4.71a	579.22±38.4a	5.21±0.90b
	0.60 g/kg	15.32±0.48c	8.21±3.19a	29.95±3.66a	572.36±28.65a	3.64±0.67c
季节	秋冬季	22.33±1.67a	11.50±3.36a	34.07±0.56a	521.40±8.77b	6.48±0.29b
	夏季	17.86±3.31a	4.05±0.51b	29.52±1.59b	773.63±3.22a	45.96±5.51a
作物种植	不种小白菜	22.33±1.67a	11.50±3.36a	34.07±0.56a	521.40±8.77b	6.48±0.29a
	种小白菜	22.76±1.31a	15.33±0.8a	34.19±2.79a	570.12±13.07a	5.03±0.78b

3 讨论

王兴文等^[16]通过填埋试验得出,经过马铃薯整个生育期后(5个月),麻纤维地膜失重率达到73.5%;Tan等^[17]研究表明,3种以苕麻和棉花纤维为主体的生物降解地膜埋入土壤1个月后失重率达到16.0%~53.7%。本试验结果也显示,在秋冬季节麻纤维地膜埋入土壤后30天,降解率约为20%~40%(除高量氮肥处理外),夏季可达50%以上,麻纤维地膜降解过程均服从Olson衰减模型。根据模型测算,不同土壤环境条件下麻纤维地膜半降解所需时间为31.1~123.8天,完全降解则需要134.3~535.0天。可见麻纤维地膜使用后,可以在较短的时间内被降解。而麻纤维地膜在供试试验条件下均表现为前期较快,后期较慢的变化规律,与徐波等^[18]和Aponte等^[19]研究的凋落物降解规律一致。这可能是由于在土壤微生物和酶的作用下,前期麻纤维地膜中可溶性和易分解组分得到快速降解,而后期随着难降解组分的不断累积,导致其降解速率变缓^[20]。

宋建龙^[7]指出,弱碱性土壤更有利于麻纤维地膜的降解,并指出与土壤放线菌数量增多有关。本试验结果也呈现类似变化,但处理间差异更小,这可能是供试土壤的差异造成的。何文清等^[12]研究发现,3种生物降解地膜(淀粉、树脂、油脂等成分)在温度更高和水分更充裕的河北地区降解速率均高于在新疆地区。在相同水分条件下,麻纤维地膜在温度更高的夏季降解速率显著高于秋冬季节。本试验得出,施氮量增高会抑制麻纤维地膜的降解,这与韩雪等^[21]和向元彬等^[22]在研究凋落物降解时的规律一致。这可能是由于施氮量的增加抑制土壤微生物量,施用氮肥能显著提高碱性土壤微生物量,但抑制酸性土壤微

生物数量和活性^[23],其效应取决于土壤有机碳含量和pH等条件^[23-24]。Demoling等^[25]研究表明,施氮肥(100 kg/(hm²·a))使挪威云杉(*Piceaabies*)林土壤微生物数量降低40%,微生物活性降低30%。造成微生物量降低的原因有:首先,外源氮的增加会导致微生物缺乏有效碳,使得土壤微生物数量和活性降低^[24];其次,可能由于氮素增加后,氮会在土壤中富集,降低土壤氧化酶活性,导致其生产力和分解效率的改变,进而限制土壤微生物生物量^[26]。土壤微生物在有机物料降解过程扮演着至关重要的角色^[27-29],纤维素酶则是纤维素降解的直接作用者,过氧化氢酶作为土壤中的氧化还原酶类,在有机物的降解中也起着重要的作用^[30],而土壤微生物和酶活性对土壤环境条件的变化较为敏感。本试验中,土壤微生物量碳、氮以及纤维素酶和过氧化氢酶活性与麻纤维地膜降解率间的正相关关系($P<0.05$),可能说明麻纤维地膜在不同土壤环境条件下的降解速率差异与其导致土壤微生物量和酶活性变化有关。而种植小白菜对麻纤维地膜降解的抑制作用,则可能是小白菜种子萌发和生长过程中需要大量养分和水分,进而造成土壤微生物养分库的释放,导致土壤微生物量降低^[31],以及地膜降解所需水分供应的不足,在玉米秸秆田间腐解过程中也观测到类似抑制现象^[32]。

4 结论

麻纤维地膜进入土壤后,能够较快降解,其降解过程服从Olson衰减模型($P<0.05$)。施氮量和使用季节对麻纤维地膜的降解产生显著影响,施氮量的增加和种植小白菜均呈抑制麻纤维地膜降解的趋势,夏季地膜降解速率显著高于秋冬季,但土壤pH

(5.80~8.34)对地膜的降解速率影响较弱。不同土壤环境条件下,麻纤维地膜的降解速率与土壤微生物量碳、氮和土壤纤维素酶、过氧化氢酶活性变化呈显著正相关关系($P<0.05$),说明土壤环境因素导致的土壤微生物量及酶活性变化,是影响麻纤维地膜降解速率差异的重要原因。

参考文献:

- [1] Ammala A, Bateman S, Dean K, et al. An overview of degradable and biodegradable polyolefins[J]. *Progress in Polymer Science*, 2011, 36(8): 1015-1049.
- [2] 袁海涛,于谦林,贾德新,等. 氧化—生物双降解地膜降解性能及其对棉花生长的影响[J]. *棉花学报*, 2016, 28(6): 602-608.
- [3] 山立,韩冰. 可降解农用地膜国内外研究推广进程与存在问题[J]. *陕西农业科学*, 2015, 61(12): 73-77.
- [4] 龚双凤,杨涛,陈宝燕,等. 地膜降解与土壤温度和含水量的关系及其对棉花产量的影响[J]. *西北农业学报*, 2015, 24(4): 62-68.
- [5] 唐文雪,马忠明. 地膜降解特征对土壤水热效应和玉米产量的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2018, 37(1): 114-123.
- [6] 李仙岳,彭遵原,史海滨,等. 不同类型地膜覆盖对土壤水热与葵花生长的影响[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(2): 97-103.
- [7] 宋建龙. 麻地膜降解特性及对土壤和作物的效应研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2009.
- [8] 王朝云,许香春,易永健,等. 麻地膜降解对土壤性质和作物产量影响的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(1): 84-92.
- [9] 尚瑞广,王朝云,易永健,等. 麻地膜覆盖保温特性及对白菜生长和产量的影响[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(16): 255-260.
- [10] 杨媛茹,王朝云,易永健,等. 大棚内麻地膜覆盖栽培下辣椒的营养生长和产量研究[J]. *中国农学通报*, 2017, 33(25): 64-69.
- [11] 谢丕江,邹如戈,李玉华,等. 苎麻地膜在桃源县棉花上的应用试验[J]. *棉花科学*, 2017, 39(5): 24-26.
- [12] 何文清,赵彩霞,刘爽,等. 全生物降解膜田间降解特征及其对棉花产量影响[J]. *中国农业大学学报*, 2011, 16(3): 21-27.
- [13] Ma Z, Ma Y, Qin L, et al. Preparation and characteristics of biodegradable mulching films based on fermentation industry wastes[J]. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2016, 111: 54-61.
- [14] 吴金水. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京:气象出版社, 2006.
- [15] 乔文静,戴银月,张伟,等. 黄土丘陵区撂荒恢复过程中植物群落组成与土壤养分及酶活性变化的关系[J]. *环境科学*, 2018, 39(12): 5687-5698.
- [16] 王兴文,侯贤清,李文芸,等. 旱作区环保型材料覆盖对马铃薯生长的影响及其降解特性[J]. *干旱地区农业研究*, 2018, 36(3): 86-112.
- [17] Tan Z, Yi Y, Wang H, et al. Physical and degradable properties of mulching films prepared from natural fibers and biodegradable polymers[J]. *Applied Sciences*, 2016, 6(5): 147-158.
- [18] 徐波,朱忠福,李金洋,等. 九寨沟自然保护区4个典型树种叶片凋落物在林下及高山湖泊中的分解及养分释放特征[J]. *植物生态学报*, 2016, 40(9): 883-892.
- [19] Aponte C, García L V, Marañón T. Tree species effect on litter decomposition and nutrient release in Mediterranean Oak forests changes over time[J]. *Ecosystems*, 2012, 15(7): 1204-1218.
- [20] 洪慧滨,林成芳,彭建勤,等. 磷添加对中亚热带米槎和杉木细根分解及其酶活性的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(1): 136-146.
- [21] 韩雪,王春梅,蔺照兰. 模拟氮沉降对温带森林凋落物分解的影响[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(9): 1503-1508.
- [22] 向元彬,周世兴,肖永翔,等. 模拟氮沉降和降雨对华西雨屏区常绿阔叶林凋落物分解的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(2): 455-463.
- [23] Geisseler D, Scow K M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms: A review[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 75: 54-63.
- [24] 张娟霞,刘伟刚,宁媛,等. 长期秸秆还田与施氮后土壤活性碳、氮的变化[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(3): 212-217.
- [25] Demoling F, Nilsson L O, Baath E. Bacterial and fungal response to nitrogen fertilization in three coniferous forest soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(2): 370-379.
- [26] 尉建埔,张洁,王文娜,等. 施氮肥对东北帽儿山云杉人工林土壤微生物生物量和群落结构的影响[J]. *东北林业大学学报*, 2016, 44(5): 52-56.
- [27] 焦有宙,高赞,李刚,等. 不同土著菌及其复合菌对玉米秸秆降解的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(23): 201-207.
- [28] 王志信,朱娇娇,谢敏杰,等. 腐植酸可降解地膜的生物降解性研究[J]. *中国农业科技导报*, 2017, 19(5): 92-99.
- [29] 李红亚,李术娜,王树香,等. 解淀粉芽孢杆菌 MN-8 对玉米秸秆木质纤维素的降解[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(5): 1404-1410.
- [30] 梁琼,王婵,刘杰,等. 设施菜地土壤有机碳及酶活性特征[J]. *北京农学院学报*, 2018, 33(1): 43-48.
- [31] 冯龙,张崇玉,陶雯,等. 不同施肥处理对大白菜土壤酶和微生物量碳、氮含量的影响[J]. *山地农业生物学报*, 2018, 37(4): 45-50.
- [32] 徐健程,王晓维,朱晓芳,等. 不同绿肥种植模式下玉米秸秆腐解特征研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(1): 48-58.