

光解地膜降解产物对大豆的影响

唐永金^{1,2}, 刘俊利¹

(1. 西南科技大学 农学院, 四川 绵阳 621010; 2. 西南科技大学 生物质材料教育部工程研究中心, 四川 绵阳 621010)

摘要:针对光解地膜的裂解产物和分解产物对作物的影响进行研究, 为以聚乙烯为原料的光降解地膜的研制和推广提供理论依据。用 7×5 、 4×5 和 1×5 cm² 的光解地膜碎片、线性低密度聚乙烯 (LLDPE) 和低分子量聚乙烯 (LMWPE), 模拟光解地膜的降解产物; 以 7, 70, 140, 210, 280 和 350 g · m⁻² 模拟残留量, 以无降解产物处理为对照; 盆栽试验, 6 次重复, 研究光解地膜降解产物和残留量对大豆生长中期土壤养分和大豆农艺性状的影响。结果表明: (1) 光解地膜各种降解产物对大豆生长中期土壤 pH 略有增加作用, 而对有机质含量、碱解氮、有效磷和速效钾有不同程度的降低作用; (2) 光解地膜降解产物对大豆株高、株有效荚数、株粒数、百粒重、株粒重有增加的作用, 但不同降解产物和残留量的作用大小不同。因此, 光解地膜降解产物可以促进大豆生长期间土壤养分的分解和吸收, 可在一定程度上提高大豆单株产量。

关键词: 光解地膜; 降解产物; 土壤; 大豆

中图分类号: S565.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.11861/j.issn.1000-9841.2015.01.0103

Effects of Degradation Products of Light - degradable Film on Soybean

TANG Yong - jin^{1,2}, LIU Jun - li¹

(1. Agronomy College, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China; 2. Biomass Materials of Ministry of Education Engineering Center, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: The effects of degradation products of light - degradable film on crop were researched to provide support for the development and popularization of polyethylene - based degradable mulching film theoretically. Taking 7×5 , 4×5 and 1×5 cm² scraps of light - degradable film, LLDPE and low molecular weight polyethylene (LMWPE) as 5 degradation products and 7, 70, 140, 210, 280 and 350 g · m⁻² as amount of residue, and 0 g · m⁻² as control, the effects of the degradation products on nutrient content in the soil during the middle growing period of soybean and agronomic traits of soybeans were investigated. The results were the following: (1) All the degradation products made pH level of the soil a little increase, but the content of organic matters, available N, P and K decrease during the middle growing period of soybean; (2) All the degradation products made the yield of soybeans higher than CK. Therefore, the degradation products can promote nutrient decomposed and absorbed in the soil and raise soybean yield.

Keywords: Light - degradable film; Degradation products; Soil; Soybean

聚乙烯 (PE) 为原料添加光敏剂的光降解地膜, 因成本低、强度大而得到广泛应用。可降解聚乙烯地膜经过一定的时间, 可降解为碎片、粉末和低分子量化合物。人们对可降解地膜碎片对土壤和作物的影响有少量研究^[1-2], 对聚乙烯粉末和低分子化合物对土壤养分有何影响, 目前较少报道。为此, 现开展光解地膜的裂解产物和分解产物对土壤和作物的影响研究, 以期以聚乙烯为原料的光降解地膜的研制和推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验土壤: 紫色壤土, pH 7.5 (土: 水 = 1: 1), 有机质含量 31.6 g · kg⁻¹, 全氮磷钾依次为 2.57, 0.985, 17.9 g · kg⁻¹, 碱解氮、有效磷和速效钾分别

为 302, 33, 288 mg · kg⁻¹。土壤晒干整细过 1.4 cm 筛, 装盆。

大豆品种为晚熟的冬豆 (四川地方品种)。

1.2 试验设计

采用二因素试验设计, A 因素为模拟地膜裂解及降解产物, 5 个水平: 7×5 cm² 光解地膜, 4×5 cm² 光解地膜, 1×5 cm² 光解地膜, 线性低密度聚乙烯 (LLDPE, 生产可降解地膜的原料) 和 3 000 Da 聚乙烯。前 3 个模拟光解地膜裂解的碎片, 第 4 个模拟降解的粉末, 第 5 个模拟降解的低分子化合物。光解地膜是西南科技大学研制, 由促降物质与葡甘聚糖混合后加入聚乙烯生产的生物质辅料光解地膜。B 因素为用量或残留量, 6 个水平: 7, 70, 140, 210, 280 和 350 g · m⁻², 分别模拟 1, 10, 20, 30, 40 和 50 年残留量 (我国 21 世纪初地膜覆盖用量大致为 7 g · m⁻², 假设全部残留到土壤)。以不使用降解产物为对照。每个处理重复 6 次, 共计 31

收稿日期: 2014 - 03 - 21
基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划 (2007BAE42B04); 西南科技大学项目 (13zxbk04)。
第一作者简介: 唐永金 (1958 -), 教授, 主要从事作物栽培生态与生态修复研究。E - mail: tangyj758@sohu.com。

个处理。

1.3 试验方法

盆栽试验(塑料盆内高 26 cm,内口径 29.4 cm,装土距盆口 3 cm,每盆土壤表面积为 0.064 m²)。根据每盆土壤面积和各聚乙烯降解产物设计用量,计算各处理 6 盆用量。用燃烧法测定土壤干重,计算出每盆装干土 16.08 kg,按照每 10 kg 干土拌 100 g油枯粉和 50 g 复合肥,保证肥料供应。

试验在西南科技大学农场进行。大豆于 2011 年 4 月 16 日播种,出苗 30 d 后每盆定苗 1 株,各处理浇水等管理一致,未追肥。在 2011 年 7 月 12 日大豆生长中期,用自制的直径 3 cm 的土壤取样管取 0~15 cm 深的土,每盆 2 管,按处理混合均匀,在室内风干 60 d 后,送西南大学土壤农化与生命元素分析试验室分析有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量和 pH。2011 年 10 月 27 日收获大豆。大豆收获风干后,分重复测定农艺性状。

2 结果与分析

2.1 降解产物对大豆生长中期土壤养分的影响

从表 1 可见,LLDPE 残留 140 g·m⁻²,3 000 Da 聚乙烯处理的 210,280,350 g·m⁻²的有机质含量略

有增加,其他组合均不同程度降低;7×5 cm² 农膜残留 210 g·m⁻²,4×5 cm² 农膜残留 7 280 g·m⁻²,3 000 Da 聚乙烯残留 210 g·m⁻²,对碱解氮有增加作用,其他组合表现为降低作用;;7×5 cm² 农膜残留 350 g·m⁻²,3 000 Da 聚乙烯残留 7,280 g·m⁻²,对有效磷有增加作用,其他组合多有降低作用;LLDPE 残留 70,140,210,280 g·m⁻²,3 000 Da 残留 70,210,350 g·m⁻²,对速效钾有增加作用,其他组合多有降低作用。

归类平均,不同降解产物和不同残留量作用大小不同。就降解产物而言,4×5 cm² 碎片对有机质和碱解氮,1×5 cm² 碎片对有机质和有效磷,7×5 cm² 碎片对速效钾的降低作用较大。就残留量而言,对有机质和碱解氮降低作用大的是 70 g·m⁻²,对有效磷降低作用大的是 210 g·m⁻²,对速效钾降低作用大的是 280 g·m⁻²。

整体平均,光解地膜降解产物使土壤有机质含量、碱解氮、有效磷和速效钾分别降低了 4.70%、5.50%、7.79% 和 3.40%。大豆生长中期土壤各养分含量的降低,说明降解产物促进了土壤养分的分解和大豆对土壤养分的吸收,有利于大豆的生长发育和产量形成。

表 1 光解地膜降解产物对大豆生长中期土壤养分的影响

Table 1 The influence of degradation products of light-degradable film on soil nutrients

降解产物 Degradation products	残留量 Residue amount/g·m ⁻²	pH	有机质 Organic matter /g·kg ⁻¹	碱解氮 Available N /mg·kg ⁻¹	有效磷 Available P /mg·kg ⁻¹	速效钾 Available K /mg·kg ⁻¹
CK	0	7.5	23.4	149	86	300
7×5 cm ² 农膜	7	7.6	21.7	149	83	292
7×5 cm ² film	70	7.8	21.7	147	77	258
	140	7.6	22.7	141	85	279
	210	7.7	21.9	150	78	271
	280	7.8	21.3	143	79	283
	350	7.8	23.3	149	88	275
4×5 cm ² 农膜	7	7.7	23.1	155	82	296
4×5 cm ² film	70	7.7	21.7	75	84	296
	140	7.7	21.6	143	79	271
	210	7.7	20.8	144	76	254
	280	7.7	21.7	152	76	258
	350	7.8	21.9	138	77	296
1×5 cm ² 农膜	7	7.7	20.8	137	72	300
1×5 cm ² film	70	7.7	20.9	149	71	279
	140	7.7	22.5	146	79	271
	210	7.7	21.6	137	71	279
	280	7.7	22.8	144	65	275
	350	7.6	22	135	83	300

续表 1

降解产物 Degradation products	残留量 Residue amount/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	pH	有机质 Organic matter $/\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	碱解氮 Available N $/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	有效磷 Available P $/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效钾 Available K $/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
LLDPE	7	7.6	22.0	144	83	300
	70	7.6	22.4	143	81	317
	140	7.7	23.6	146	82	308
	210	7.6	21.2	138	79	313
	280	7.6	21.2	134	76	308
	350	7.6	23.1	135	79	296
	3 000 Da 聚乙烯	7.6	23.0	132	88	292
3 000 Da polyethylene	70	7.5	22.3	146	86	321
	140	7.5	22.6	140	71	300
	210	7.5	24.2	159	79	313
	280	7.7	23.7	137	88	288
	350	7.6	24.9	137	81	304

2.2 光解地膜降解产物对大豆农艺性状的影响

光解地膜降解产物对大豆株高、株有效荚数、株粒数、百粒重、株粒重有增加的作用。不同降解产物和残留量的组合对大豆农艺性状的影响不同,从表 2 可知,3 000 Da 聚乙烯残留 280 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 的株粒重最大,7 \times 5 cm^2 农膜残留 140 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 的株粒重次之。方差分析表明,残留产物种类和残留量对大豆株有效荚、株粒数和

株粒重的影响没有显著差异;残留产物之间对百粒重的影响差异显著($P=0.012\ 1$)。

归类平均分析表明,1 \times 5 cm^2 碎片增加株高、有效荚数的作用最大,3 000 Da 聚乙烯增加株粒数、百粒重和株粒重的作用最大;210 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 残留量增加株高的作用最大,140 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 残留量增加单株有效荚数、单株粒数、百粒重和单株粒重最多。

表 2 光解地膜降解产物对大豆农艺性状的影响

Table 2 The influence of degradation products of light - degradable film on agronomic traits of soybean

降解产物 degradation products	残留量 Residue amount $/\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	株高 Plant height $/\text{cm}$	单株有效 荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	百粒重 100 - seed weight $/\text{g}$	单株粒重 Seed weight per plant/ g
CK	0	81.87	69.00	126.72	20.19	25.59
7 \times 5 cm^2 农膜 7 \times 5 cm^2 film	7	80.78	86.50	167.21	19.96	33.37
	70	83.88	123.50	219.79	21.75	47.81
	140	81.80	148.67	257.01	21.70	55.77
	210	85.20	99.33	180.61	19.80	35.76
	280	82.20	106.67	203.29	20.81	42.31
	350	85.07	128.67	244.03	19.86	48.47
4 \times 5 cm^2 农膜 4 \times 5 cm^2 film	7	82.67	134.67	222.43	20.63	45.88
	70	82.72	101.67	170.33	19.59	33.37
	140	83.08	114.50	198.52	19.78	39.26
	210	79.75	134.17	222.05	20.56	45.66
	280	80.50	112.67	193.43	20.78	40.20
	350	81.43	129.33	221.95	20.84	46.26
1 \times 5 cm^2 农膜 1 \times 5 cm^2 film	7	85.67	131.83	221.06	20.25	44.77
	70	87.50	130.67	223.49	21.37	47.77
	140	82.00	147.67	235.17	23.24	54.66
	210	91.08	104.50	190.48	21.86	41.64
	280	87.08	110.17	206.10	20.41	42.07
	350	82.32	114.33	204.67	21.24	43.47

续表 2

降解产物 degradation products	残留量 Residue amount /g · m ⁻²	株高 Plant height /cm	单株有效 荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	百粒重 100 - seed weight /g	单株粒重 Seed weight per plant/g
LLDPE	7	83.97	128.17	213.33	21.81	46.52
	70	87.27	131.83	237.86	21.31	50.70
	140	84.93	121.00	214.17	21.88	46.86
	210	80.58	131.00	221.09	20.44	45.20
	280	82.20	118.33	212.17	20.28	43.02
	350	80.85	76.17	151.37	18.71	28.32
3 000 Da 聚乙烯 3 000 Da polyethylene	7	75.87	97.33	177.98	22.26	39.61
	70	75.42	123.83	214.66	21.70	46.58
	140	81.60	110.83	203.67	21.95	44.7
	210	84.13	121.33	207.78	22.17	46.06
	280	85.57	142.67	258.75	23.36	60.45
	350	81.38	125.17	221.27	21.97	48.61

3 结论与讨论

可降解地膜是地膜发展的重要方向,地膜降解后的碎片和低分子化合物对作物和土壤有何影响,这是人们十分关心的问题,也直接影响可降解地膜的研制和推广使用。在可降解地膜中,聚乙烯为原料的光解地膜因成本低、强度大等原因受到人们的欢迎。Telmo 等^[3]研究表明,在线性低密度聚乙烯(LLDPE)中加入促氧化剂的塑料袋,曝光 1 年后进入土壤中 3 个月,由于微生物的作用和氧气的侵入,聚乙烯分子量下降,有 12.4% 被矿化。金维续等^[4]研究表明,光降解膜与普通地膜都具有保温保湿的效果,但光解地膜在阳光照射下,最后降解成粉末,进入土壤后能被微生物降解。与非降解地膜相比,线性低密度聚乙烯(LLDPE)光解地膜曝光后,伸长率降低、熔点降低、羟基积累增加、结晶度增加,这些物理化学性质的变化促进了光解地膜的降解^[5]。Fontanella 等^[6]认为,影响光解地膜降解的主要因素是促氧化剂(Mn + Fe 或 Mn + Fe + Co)的性质,环境基质有少量的影响。

残膜对作物的危害主要是影响土壤水分和空气的运动、影响作物根系的伸展。有研究表明,小于 0.5 × 0.5 cm² 残膜在砂壤、轻壤和重壤土中,含量小时无明显影响,含量在 0.2% 以上可以降低土壤容重、增加通气性和渗水性能^[1]。光解地膜碎片在 4 × 4 cm² 以下,对作物无明显影响,不会导致作物减产^[2]。甚至有研究认为,当光解地膜的碎片在 6 × 6 cm² 以下,积累量达土壤重量的千分之一,对土壤容重和作物产量也不会产生明显的影响^[7]。王

星^[8]认为,玉米根系的穿透能力强,16 × 16 cm² 以下的残膜,对玉米生长也没有明显影响。本研究表明,7 × 5 cm² 及其以下光解地膜的碎片,对大豆生长中期土壤 pH 有所增加,土壤有机质和 N、P、K 的含量有所降低。

可降解地膜降解成碎片,将要进一步降解成粉末或低分子化合物。这些粉末和低分子化合物对土壤和作物有何影响,也是人们关注的问题。赵萍等^[9]用线型低密度聚乙烯(LLDPE)、5 000 分子量聚乙烯降解产物研究表明,聚乙烯降解产物对小麦生长中期土壤有机质、有效磷、速效钾和水分含量多有增加作用,对碱解氮含量多有降低作用。曾峰等用光解地膜的主要原料-线性低密度聚乙烯(LLDPE)模拟降解粉末,用 5 000 分子量聚乙烯模拟降解后的低分量聚乙烯,研究它们对油菜出苗和幼苗生长的影响,表明土壤中的聚乙烯降解产物,可以促进发芽出苗,促进幼芽生长,但含量过高会抑制根系生长,甘蓝型油菜和芥菜型油菜表现不同^[10]。在土壤中施用 LLDPE 和 2 000,3 000,5 000,7 000 低分子量聚乙烯分析表明,蚕豆株高、复叶数及土壤酶活性显著高于 CK^[11]。程桂荪等^[1]研究表明,0.5 × 0.5 cm² 的光解地膜碎片,可使小麦百粒重增加 12.5%,产量增加 27.6%;可使大白菜鲜重增加 219.0%。本研究表明,光解地膜地膜降解成 5 × 7 cm² 以下的碎片、粉末和低分子量聚乙烯对大豆均有一定增产作用,增产原因可能与以下因素的变化有关:(1)土壤容重减轻,土壤空气含量增加。程桂荪的研究表明,土壤残留光解地膜碎片,可使土壤容重减少 13.4%,渗透量增加 39%^[1];(2)土壤空气含量增加,土壤酶活性增加。曹小卫等^[11]研究表

明,土壤添加低分子量聚乙烯后,土壤过氧化氢酶含量可增加21.1%,蔗糖酶含量可增加12.07%,脲酶含量可增加11.2%;(3)土壤空气和酶含量增加,促进了土壤养分的分解和植物吸收。本研究在大豆生长中期测定土壤养分,降解产物使土壤有机质含量降低4.70%,高的达6.84%;碱解氮降低5.50%,最多降低9.73%;有效磷降低7.79%,最多降低14.54%,速效钾降低3.40%,最多降低7.90%。在8月25日~9月26日大豆开花结荚期的30 d内,测定的叶片叶绿素相对含量比对照高7.69%~13.15%。说明这些减少的养分多被大豆吸收,用来增加植物叶绿素含量、促进营养体、花芽分化和开花结荚。

因此,光解地膜降解产物,可以促进大豆生长期间土壤养分的分解和吸收,促进大豆的生长发育,增加大豆的叶绿素含量,主要增加了大豆的有效荚数和单株粒数,从而提高了大豆单株产量。由于本研究采用的是晚熟大豆品种,在盆栽单株下试验,光解地膜降解产物对其他大豆品种、其他作物以及在田间条件下是否具有类似作用,还需进一步研究。同时,少数处理的土壤养分与大豆株粒数变化的关系不完全吻合,其原因也值得进一步研究。

参考文献

[1] 程桂荪,刘小秧,高松. 光降解地膜小残片积累量对土壤性质和作物产量的影响[J]. 土壤肥料,1993(2):14-17. (Cheng G S, Liu X Y, Gao S. Effects of debris accumulation of light-degradable film on soil properties and crop yield[J]. Soil and Fertilizer, 1993(2):14-17.)

[2] 程桂荪,刘小秧,刘渊君,等. 农田地膜残片允许值的研究[J]. 土壤肥料,1991(5):27-30. (Cheng G S, Liu X Y, Liu Y J, et al. Study on the allowed values of film debris in farmland[J]. Soil and Fertilizer, 1991(5):27-30.)

[3] Ojeda T F M, Dalmolin E, Forte M C, et al. Abiotic and biotic degradation of oxo-biodegradable polyethylenes[J]. Polymer Degradation and Stability, 2009, 94:965-970.

[4] 金维续,张文群,程桂荪,等. 光降解地膜的农业效果与降解过程(H)—土壤污染研究及环境评价[J]. 农业环境保护,1995, 14(5):219-223. (Jin W X, Zhang W Q, Cheng G S, et al. Degradation process and agricultural effects of light-degradable film (I)[J]. Protection of Agricultural Environment, 1995, 14(4):162-166.)

[5] Kyrikou I, Briassoulis D, Hiskakis M, et al. Analysis of photo-chemical degradation behaviour of polyethylene mulching film with pro-oxidants[J]. Polymer Degradation and Stability, 2011, 96:2237-2252.

[6] Fontanella S, Bonhomme S, Koutny M, et al. Comparison of the biodegradability of various polyethylene films containing pro-oxidant additives[J]. Polymer Degradation and Stability, 2010, 95:1011-1021.

[7] 罗大刚. 可降解膜农业应用的初步研究[J]. 农业环境保护, 1996, 15(2):86-88. (Luo D G. A preliminary study of biodegradable film for agricultural application[J]. Protection of Agricultural Environmen, 1996, 15(2):86-88.)

[8] 王星. 可降解地膜的降解特性及其对土壤环境的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2003. (Wang X. Degradable films' degradation characters and their effects on soil environment[D]. Yangling: Northwest Agricultural and Forestry University, 2003.)

[9] 赵萍,唐永金,江世杰. 聚乙烯降解产物对小麦生长中期土壤养分、水分和pH值的影响[J]. 湖南师范大学学报(自然科学版),2012,35(4):91-94. (Zhao P, Tang Y J, Jiang S J. Effects of degradation products of polyethylene on the nutrients, moisture and pH of the soil during mid-period of wheat growth[J]. Journal of Hunan Normal University (Natural Science), 2012, 35(4):91-94.)

[10] 曾峰,赵前钱,周威,等. 土壤聚乙烯含量对油菜发芽出苗及幼苗生长的影响[J]. 湖北农业科学,2011,50(14):2835-2837, 2854. (Zeng F, Zhao Q Q, Zhou W, et al. Influence of soil polyethylene content on rape's emergence and seeding growth[J]. Hu-bei Agricultural Sceinces, 2011, 50(14):2835-2837, 2854.)

[11] 曹小卫,陶宗姬,罗学刚,等. 蚕豆生长及土壤酶活性对低分子量聚乙烯的响应[J]. 中国生态农业学报,2011,19(6):1379-1385. (Cao X W, Tao Z Y, Luo X G, et al. Response of *Vicia faba* growth and soil enzyme activity to low molecular polyethylene added in soil[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(6):1379-1385.)