

全生物降解地膜对南疆玉米产量及土壤理化性质的影响

王斌*, 王金鑫, 孙九胜, 孙晨, 槐国龙, 崔磊

新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 新疆 乌鲁木齐

Email: *wbx_wm@126.com

收稿日期: 2021年2月15日; 录用日期: 2021年3月16日; 发布日期: 2021年3月24日

摘要

为研究全生物降解地膜对南疆农业生产中玉米农艺性状及土壤理化性质的影响,采用PBAT(中文名称:聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯)型聚酯全生物降解地膜(以下简称:降解膜)为处理、普通农用聚乙烯PE地膜为对照(简写:CK),研究全生物降解地膜对南疆玉米种植区土壤养分、水分、温度以及玉米产量等相关试验因子的影响。结果显示:1) 降解膜的破损率表现为在玉米生育期6~8月较小(1.4%~2.0%),进入10月收获期显著增大(49%)。2) 降解膜处理的玉米出苗率、生育时期、生物量(包括秸秆、玉米棒和籽粒以及地上部整株)以及产量与CK之间均无显著差异。3) 玉米生育期内,降解膜膜下5 cm、15 cm和25 cm的平均土壤温度较CK分别低0.67℃、0.54℃和0.50℃,平均土壤含水率较CK分别高11.08%、6.18%和4.02%,但处理间均差异不显著。4) 玉米生育期内,土层0~20 cm和20~40 cm,降解膜和CK间土壤速效NPK、土壤总盐、土壤pH以及土壤容重差异均不显著。在南疆玉米生产中使用PBAT型全生物降解地膜替代普通聚乙烯PE地膜是可行的。

关键词

玉米, 全生物降解地膜, 产量, 土壤理化性质, 南疆

Effects of Biodegradable Mulch Film on Maize Yield and Soil Physical and Chemical Properties in Southern Xinjiang, China

Bin Wang*, Jinxin Wang, Jiusheng Sun, Chen Sun, Guolong Huai, Lei Cui

Institute of Soil Fertilizer and Agricultural Water Saving, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi Xinjiang
Email: *wbx_wm@126.com

Received: Feb. 15th, 2021; accepted: Mar. 16th, 2021; published: Mar. 24th, 2021

*通讯作者。

文章引用: 王斌, 王金鑫, 孙九胜, 孙晨, 槐国龙, 崔磊. 全生物降解地膜对南疆玉米产量及土壤理化性质的影响[J].
农业科学, 2021, 11(3): 221-230. DOI: 10.12677/hjas.2021.113033

Abstract

For the study of fully biodegradable mulch film of maize agronomic traits and soil physical and chemical properties in southern Xinjiang agricultural production, China, PBAT (butylene adipate-co-terephthalate) polyester fully biodegradable mulch film (short for: biodegradable mulch film) and ordinary polyethylene PE mulch film (CK) were chosen as treatments for analysis of degradable mulch film on experimental area soil nutrients, moisture, temperature and the effects of related factors such as maize production. The results showed that: 1) With the growth process of maize, the degradation rate of biodegradable mulch film was smaller in June-August (1.4%~2.0%) and significantly increased in October (49%). 2) There was no significant difference in the emergence rate, growth period, biomass (including straw, corn cobs and seed and whole plant above ground) and yield between the biodegradable mulch film and CK. 3) During the growing period of maize, the average soil temperature of the biodegradable mulch film under 5 cm, 15 cm and 25 cm was lower than CK 0.67°C, 0.54°C and 0.50°C respectively, and the average soil moisture content was higher than CK 11.08%, 6.18% and 4.02% respectively. There was not a significant difference level between two treatments both soil temperature and moisture. 4) During the growing period of maize, there were no significant differences between biodegradable mulch film and CK treatments in soil available NPK, soil total salt, soil pH and soil bulk density between 0~20 cm and 20~40 cm soil layers. It is feasible to use PBAT biodegradable mulch film instead of common polyethylene PE in maize production in Southern Xinjiang, China.

Keywords

Maize, Biodegradable Mulch Film, Yield, Soil Physical and Chemical Properties, Southern Xinjiang

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在我国农业生产中，普通聚乙烯 PE 地膜因具有增温、保墒、抑制杂草生长和提高作物产量等作用而被广泛使用[1] [2]，但随着地膜使用年限的增加，其“结构稳定、不易降解”[3] [4]等特性又对其所使用的环境造成了“白色污染”[5] [6]，形成了负面影响。当前，应用降解膜尤其是完全生物降解膜是解决我国农田土壤“白色污染”的一条重要而有效的途径[7]。

当今，国内关于降解膜在玉米上的应用与研究，主要集中在降解膜材料的性能、组分、降解膜类型对比以及与裸地栽培对比等[8] [9] [10]、降解膜和普通膜的玉米产量对比等领域[11] [12] [13] [14] [15]，对降解膜尤其是完全生物降解膜对南疆玉米大田应用的系统性、整体性研究(尤其是从土壤盐分、土壤养分、土壤 pH 和土壤容重等指标)还较少。本试验以阿克苏拜城农业试验站为研究区，以 PBAT 型全生物降解膜(简称：降解膜)为处理、研究降解膜在玉米生育期的降解率特征以及它对玉米生物量、产量、出苗率、生育期、土壤容重、土壤养分和土壤温湿度等指标的影响。本研究成果将为南疆地区玉米栽培过程中，PBAT 型全生物降解膜的应用与推广提供一定的理论依据和数据支撑。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

试验区位于却勒塔格山北缘山间盆地、天山中部南麓、渭干河上游的阿克苏拜城农业试验站。该区

属于温带大陆性干旱气候，冬季寒冷、夏季凉爽，极端最低与最高温度分别为 -28°C 和 38.3°C ，年均降水量和温度分别为 171 mm 和 7.6°C 、日照时长 2790 h ，无霜期 $133\sim163$ 天。试验区土壤基础性状见表1。本试验为定位观测的第2年，前茬为玉米、覆盖PBAT型全生物降解膜。

Table 1. Basic soil properties**表1.** 土壤基础性状

土壤深度 (cm) Soil depth	pH 值 pH	土壤有机质 (g/kg) Organic matter	土壤速效氮 (mg/kg) Available N	土壤有效磷 (mg/kg) Available P	土壤速效钾 (mg/kg) Available K	土壤总盐 (g/kg) Total salt
0~20	8.36	23.830	110.8	84.4	216	1.4
20~40	8.60	18.650	73.7	49.9	182	1.2

注：土壤为播前采集样品。

Note: Soil sample is the base soil before sowing.

2.2. 试验设计

供试作物为玉米(品种是新玉31)。处理为PBAT型全生物降解地膜(简称：降解膜、购自新疆康润洁环保科技股份有限公司)，普通聚乙烯PE膜为对照(CK)，2处理、3次重复。试验区总面积 0.13 hm^2 ，膜宽 105 cm 、厚度 0.010 mm ；一膜四行、机械覆膜、滴灌灌溉、滴灌带间距 70 cm ，株行距分别为 20 cm 和 35 cm 。试验田间播种方式、施肥量、管理与种植等与当地农业生产一致。2017年4月22日播种、10月15日收获。田间试验灌水时间与用量见表2。

Table 2. Irrigation time and dosage in field experiment**表2.** 田间试验灌水时间与用量

Irrigation times	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
Irrigation time	5-10 May, 10	5-25 May, 25	6-5 June, 5	6-15 June, 15	6-25 June, 25	7-5 July, 5	7-15 July, 15	7-25 July, 25	8-10 August, 10	8-20 August, 20	9-1 September, 1	9-15 September, 15	Total
(m ³ /hm ²) Irrigation	600 m ³ /次	600 m ³ /time											7200

2.3. 测试项目与方法

2.3.1. 地膜降解率(破损率)

每隔15天定位采集试验区地膜图片，用《地膜孔洞面积提取软件V2.0》对采集的地膜图像处理，得到地膜降解率。

2.3.2. 测产

每处理随机选取5个点测定玉米产量。

2.3.3. 土壤温湿度

采用土壤温度水分记录仪(上海发泰L99-TWS-3型)测定并记录膜下 5 cm 、 15 cm 和 25 cm 的土壤温湿度，间隔 2 h 、24小时连续测定，监测时间段为6月2日到9月22日。

2.3.4. 土壤理化性质

玉米播前及生育期按照 $0\sim20\text{ cm}$ 与 $20\sim40\text{ cm}$ 土层取样、3次重复，测定土壤pH、土壤速效N(氮)、土壤速效P(磷)、土壤速效K(钾)、土壤有机质和土壤总盐。

土壤 pH、土壤速效 NPK、土壤总盐和土壤有机质分别用 pH 计电位法、碱解扩散法、0.5 mol/L 碳酸氢钠法、乙酸铵提取火焰光度法、残渣烘干-质量法和重铬酸钾容量-外加热法测定[16]。

2.3.5. 数据处理与分析

试验数据用 Excel 和 SPSS 软件分析和作图，数据比较采用独立样本 T 检验法。

3. 结果与分析

3.1. 地膜降解特征

玉米生育期，降解膜的破损率(降解率)表现为 10 月之前破损较小且变幅不大(6~8 月破损率在 1.4%~2.0%)，而到 10 月收获期破损率显著增大(48.82%) (图 1)，但 CK 一直无显著降解破损现象。这一现象表明南疆 6~8 月玉米生育期内，降解膜因玉米茎秆和叶片遮挡光照而降解缓慢，10 月因遮蔽作用减弱而加速降解膜的膜面破损和降解。

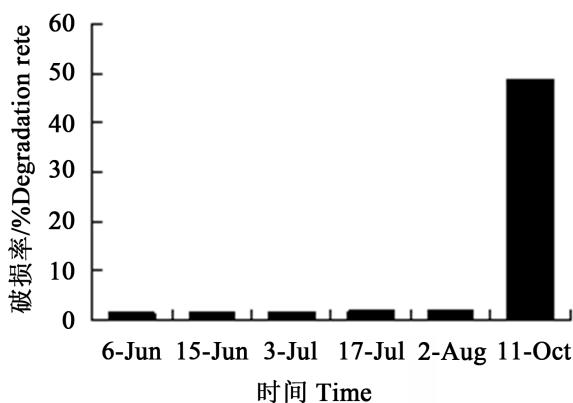


Figure 1. Degradation rate of degradation film in maize growth stages
图 1. 玉米生育期地膜破损率

3.2. 对玉米农艺性状的影响

3.2.1. 出苗率

玉米苗期，虽然降解膜处理的出苗率高于 CK6.46% (表 3)，但处理间未达到显著差异水平。表明降解膜处理对南疆玉米出苗无显著影响。

Table 3. Emergence rate of maize under different treatments

表 3. 不同处理玉米出苗率

处理 Treatments	出苗率(%) The emergence rate	增加量(%) Increase	增加率(%) Increase rate
降解膜 Biodegradable mulch film	78.57 ± 7.14a	5.08	6.46
CK	73.49 ± 5.94a	-	-

注：1) 平均值 ± 标准差；2) 不同字母表示差异显著($P < 0.05$)，下同。

Note: 1) Mean value ± standard deviation; 2) Difference letters indicates significant difference ($P < 0.05$), the same as below.

3.2.2. 生育进程

玉米生育期为 151 天，降解膜与 CK 两处理在玉米不同生育进程中表现一致、无显著差异(表 4)。由此可得，降解膜对南疆玉米不同时期生育进程无显著影响。

Table 4. Growth process of maize under different treatments
表 4. 不同处理玉米生育进程

处理 Treatments	生长进程(播种后天数)/d Growth process (date after sowing)						
	播种日期 Sowing date	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Heading stage	开花期 Flowering stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage
降解膜 Biodegradable mulch film	4月22日 April, 22	15	44	90	104	125	151
CK	4月22日 April, 22	15	44	90	104	125	151

3.2.3. 生物量

由表 5 可以得到, 降解膜处理的玉米地上部分生物量、秸秆量以及玉米棒和籽粒重量均大于 CK, 但二者间均未达到显著差异水平。表明降解膜对南疆玉米地上部秸秆量、玉米棒和籽粒及地上部生物量总和均无显著影响。

Table 5. Maize biomass under different treatments**表 5. 不同处理玉米生物量**

处理 Treatments	地上部分(g/株) Above ground biomass (g/plant)	秸秆(g/株) Straw biomass (g/plant)	玉米棒和籽粒(g/株) Corn cobs and seed biomass (g/plant)
降解膜 Biodegradable mulch film	515.79 ± 17.05a	234.84 ± 24.19a	280.95 ± 30.07a
CK	455.41 ± 10.87a	191.06 ± 13.12a	264.35 ± 21.60a

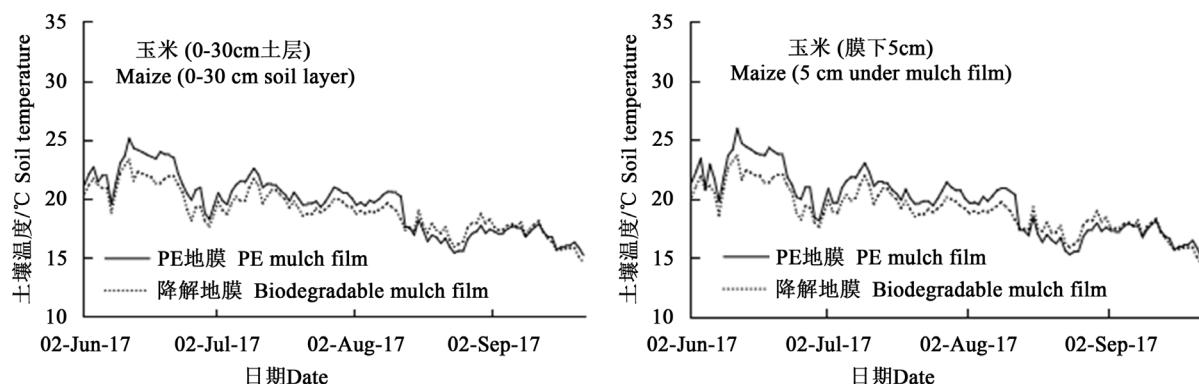
注: 生物量数据均为干重, 测定时间为 2017 年 9 月 26 日。

Note: The biomass data were all corn dry weight, and the determination time was September 26, 2017.

3.3. 对土壤温湿度的影响

3.3.1. 玉米生育期土温变化

降解膜和 CK 两处理在膜下土层 5 cm、15 cm、25 cm 和 0~30 cm 的土壤温度均随玉米生育期变化趋势基本一致(图 2), 即各处理不同土层土壤温度均随玉米生育进程逐渐减小。总体上, 玉米生育期降解膜处理的土壤温度略低于 CK、平均低 0.57°C, 其主要是玉米生育期降解膜裂解破损导致地膜保温效果降低所致。



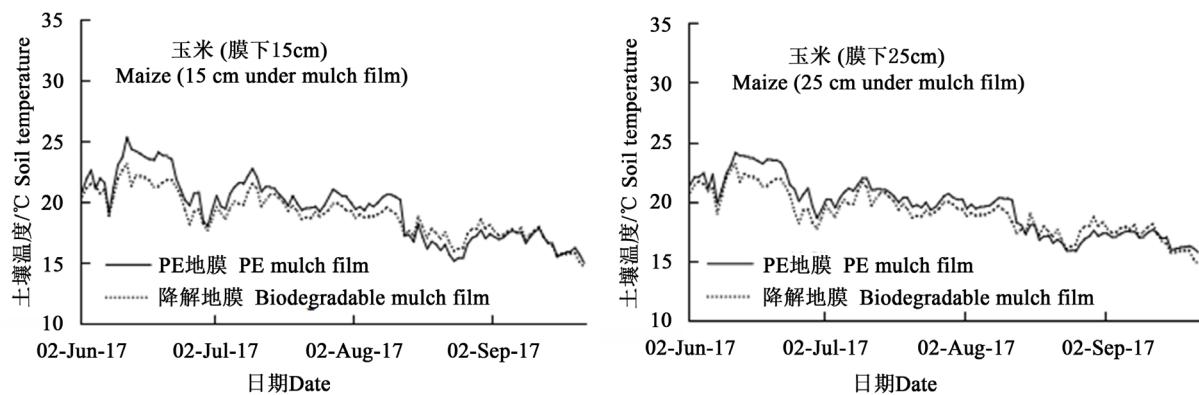


Figure 2. The temperature changes in different soil layers of maize growth period

图 2. 各处理在玉米生育期不同土层的土温变化

3.3.2. 土壤剖面温度变化

降解膜处理在膜下土层 5 cm、15 cm 与 25 cm 的平均土温较 CK 分别低 0.67℃、0.54℃ 与 0.50℃ (图 3)，且处理间温差均未达到显著差异水平。表明降解膜处理对南疆玉米生育期不同土层土温影响不显著。

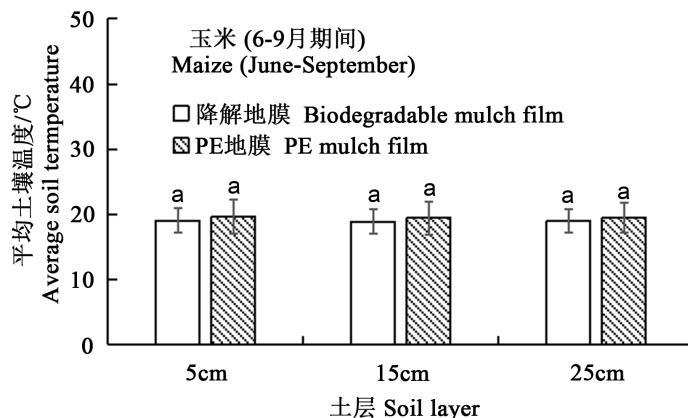


Figure 3. The difference of average soil temperature in different soil layers

图 3. 各处理在不同土层的平均土温差异

3.4. 对土壤水分的影响

3.4.1. 玉米生育期的土壤含水率(水分)变化

降解膜与 CK 两处理在膜下土层 5 cm、15 cm、25 cm 和 0~30 cm 的土壤水分(含水率)随玉米生育期变化趋势较为相似，均表现为降解膜处理大于 CK (平均高 7.09%)；且在生育期内，降解膜处理的平均土壤含水率(水分)变化波动性较大，而 CK 相对较小(图 4)。这可能是降解膜处理在玉米生育期，膜面部分降解破损导致土壤水分随外界环境影响较大的原因。

3.4.2. 土壤垂直剖面水分变化

降解膜处理在膜下土层 5 cm、15 cm 与 25 cm 的平均土壤含水率(水分)均高于 CK，分别高出 11.08%、6.18% 与 4.02% (图 5)，但处理间差异不显著。这应该是玉米生育期降解膜处理的膜面，部分破损降解因而受到外界环境如降雨等影响的结果。

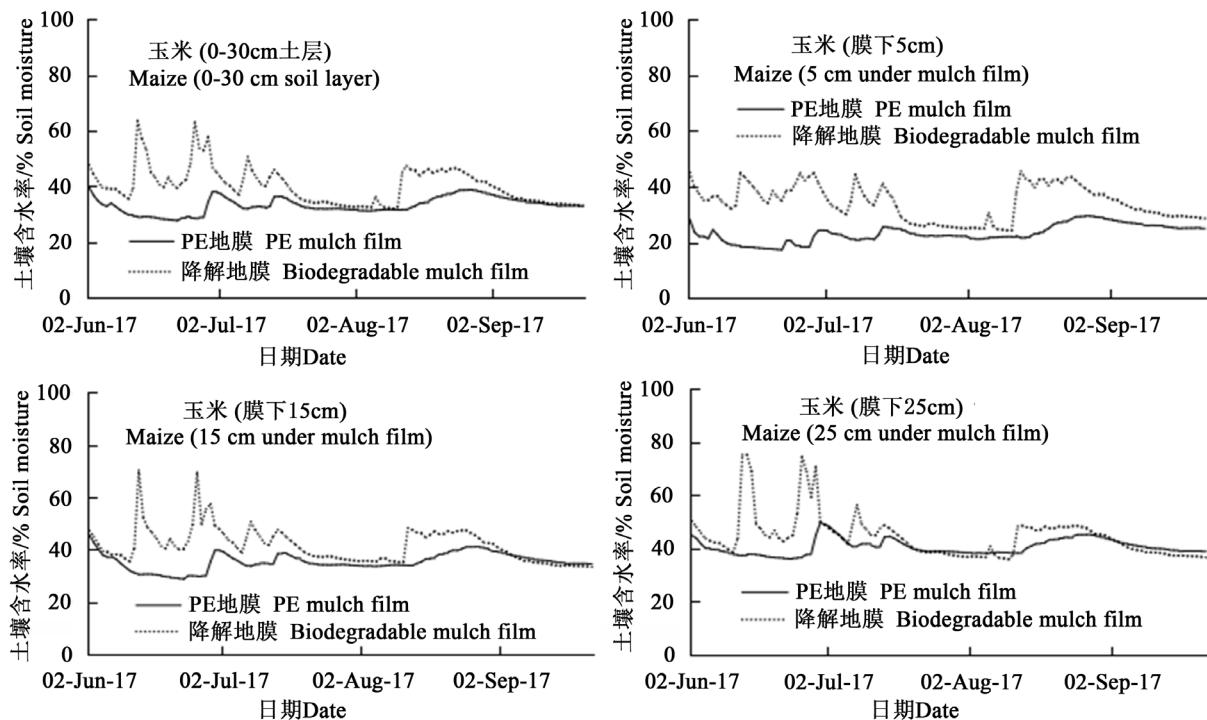


Figure 4. The average soil moisture content of different soil depth in maize growth period was changed by different treatments
图 4. 各处理在玉米生育期不同土层深度的平均土壤含水率变化

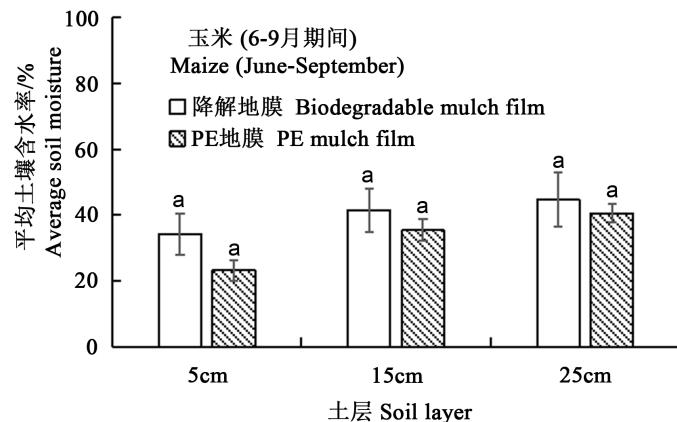


Figure 5. The difference of average soil water content in different soil depth during maize growth period
图 5. 各处理在玉米生育期不同土层深度的平均土壤含水率差异

3.5. 对土壤容重的影响

在玉米生育期内(7月6日和9月26日), 降解膜和CK处理在土层0~20 cm与20~40 cm(9月26日的除外)的土壤容重基本上无显著差异(表6)。表明降解膜处理对玉米生育期的土壤容重指标基本上无显著影响。

3.6. 对土壤养分等指标的影响

从表7中可以看出, 在玉米生育期内, 降解膜与CK两处理在土层0~20 cm与20~40 cm的土壤速效NPK养分、土壤pH与土壤总盐均无显著差异。表明降解膜处理对玉米生育期土壤速效NPK养分、土壤pH和土壤盐分等均无显著影响。

Table 6. Changes of soil bulk density in 0~20 cm and 20~40 cm soil layers under different treatments
表 6. 不同处理在土层 0~20 cm 与 20~40 cm 的土壤容重变化

土层(cm) Soil layers	时间 Time	处理 Treatments	容重(g/cm ³) Bulk density
0~20	7月 6 日 July, 6	降解膜 Biodegradable mulch film	1.43 ± 0.04a
		CK	1.41 ± 0.07a
	9月 26 日 September, 26	降解膜 Biodegradable mulch film	1.53 ± 1.14a
		CK	1.38 ± 0.07a
20~40	7月 6 日 July, 6	降解膜 Biodegradable mulch film	1.48 ± 0.05a
		CK	1.41 ± 0.13a
	9月 26 日 September, 26	降解膜 Biodegradable mulch film	1.64 ± 0.02a
		CK	1.52 ± 0.13b

Table 7. Changes of soil nutrients, salts and pH in 0~20 cm and 20~40 cm soil layers under different treatments
表 7. 不同处理在土层 0~20 cm 和 20~40 cm 的土壤养分、盐分、pH 变化

土层 Soil layer (cm)	时间 Time	处理 Treatments	土壤 pH 值 Value	总盐(g/kg) Total salt	有机质(g/kg) Organic matter	速效氮(mg/kg) Available nitrogen	速效磷(mg/kg) Available phosphorus	速效钾(mg/kg) Available potassium
0~20	3月 24 日 March, 24	基础值 Basic value	8.37	1.40	23.83	110.80	84.40	216.00
	6月 8 日 June, 8	降解膜 Biodegradable mulch film	8.15 ± 0.09a	2.35 ± 0.35a	20.57 ± 0.23a	139.05 ± 4.03a	34.80 ± 0.28a	160.00 ± 26.87a
		CK	8.15 ± 0.27a	1.83 ± 0.50a	22.58 ± 1.92a	95.13 ± 14.49b	34.90 ± 5.36a	198.67 ± 25.01a
	9月 26 日 September, 26	降解膜 Biodegradable mulch film	8.14 ± 0.03a	1.53 ± 0.78a	22.26 ± 1.87a	95.47 ± 15.89a	45.97 ± 6.27a	199.33 ± 65.29a
		CK	8.03 ± 0.12a	1.53 ± 0.42a	20.29 ± 0.78a	77.67 ± 3.08a	47.37 ± 13.53a	153.33 ± 25.17a
	3月 24 日 March, 24	基础值 Basic value	8.60	1.20	18.65	73.70	49.90	182.00
20~40	6月 8 日 June, 8	降解膜 Biodegradable mulch film	8.26 ± 0.08a	1.47 ± 0.25a	18.40 ± 2.90a	80.73 ± 15.25a	24.17 ± 11.80a	129.67 ± 4.62a
		CK	8.27 ± 0.08a	2.10 ± 0.26a	16.83 ± 0.90a	64.13 ± 15.41a	10.23 ± 2.41a	116.33 ± 6.11a
	9月 26 日 September, 26	降解膜 Biodegradable mulch film	8.08 ± 0.21a	1.20 ± 0.53b	15.63 ± 2.25a	66.30 ± 17.06a	18.33 ± 15.44a	135.67 ± 9.02a
		CK	8.12 ± 0.06a	1.33 ± 0.06a	13.76 ± 1.96a	55.13 ± 7.88a	14.87 ± 3.21b	118.00 ± 4.00a

注：取样时间为 2017 年 3 月 24 日(播种前)、6 月 8 日(地膜破损时)和 10 月 11 日(收获期)。

Note: The sampling time are March 24, 2017 (before sowing), June 8 (when the film is damaged) and October, 11 (harvest period), respectively.

3.7. 对玉米产量的影响

降解膜处理跟 CK 比，玉米产量略有增加，增幅达到 9.41% (表 8)，但两处理间无显著差异，表明降解膜处理对玉米产量影响不显著。这应该是南疆玉米生育期间，降解膜处理对玉米出苗率、生育期、地上部生物量、不同层次土壤温度、水分以及土壤养分、盐分、pH、容重均无显著影响的综合结果的反映。

Table 8. Maize yield
表 8. 玉米产量

Treatments	产量(t/hm ²) Yields	增产(t/hm ²) Increase production	增产率(%) Increase production rate
降解膜 Biodegradable mulch film	15.82 ± 0.99a	1.36	9.41%
CK	14.46 ± 0.44a	-	-

4. 讨论

降解膜一般会因材料、应用区域光、温、水、气等因素以及农业生产措施和种植作物类型等而在降解时间上有很大差异。如钱亚光等(2019) [17]在内蒙古喀喇沁旗锦山镇驼店村进行的玉米降解膜试验,光氧化-生物降解膜的降解速度和降解时间比全生物降解膜的要快和早,当覆膜后 65 d 左右时,基本均处于开裂至大裂期,75 d 后基本全部进入大裂期,即玉米封垄后,再无显著地降解现象。而本研究中,降解膜的降解率 10 月前一直较小(1.4%~2.0%),到 10 月收获期后显著增大(49%)。其主要原因是玉米生育期茎秆、叶片遮挡阳光(降解膜处于诱导期),而收获期叶片干枯、萎蔫,阳光直接照射到膜面、降解膜加速分解的结果。

玉米生育期,降解膜与普通膜膜下的土壤温度和湿度对作物产量影响较大。本研究中,降解膜与 CK 在膜下土层 5 cm、15 cm 与 25 cm 的土壤温度与土壤含水率随玉米生育进程变化趋势基本上一致。虽然降解膜在膜下 5~25 cm 的平均土温较 CK 低 0.50℃~0.67℃、平均土壤含水率(水分)较 CK 高出 4%~11%,但两处理间均未达到显著差异水平,所以两处理之间玉米产量也无显著差异。这一结论与李海萍等(2017) [1]、申丽霞等(2012) [2]的一致。降解膜对作物农艺性状和土壤养分、土壤盐分等相关指标的影响,其对作物产量也有较大影响。本试验中,降解膜对玉米出苗率、生育时期、生物量和土壤养分、盐分、pH 以及土壤容重等农艺及土壤理化指标均无显著影响。表明全生物降解地膜对南疆玉米农艺性状和土壤理化性质均无显著影响。在南疆玉米生产中使用全生物降解地膜替代普通聚乙烯 PE 地膜是可行的。这一结论与申丽霞等(2011) [2]、苏海英等(2020) [18]、王斌等(2020) [19]的一致。

5. 结论

在南疆玉米生产过程中,降解膜处理的降解率在 6~8 月较小(1.4%~2.0%)、10 月收获期显著增大(49%)。玉米生育期中,降解膜和 CK 处理的土壤含水率和土温变化趋势基本一致。膜下土层 5 cm、15 cm、25 cm 和 0~30 cm 的平均土温,降解膜处理比 CK 分别低 0.67℃、0.54℃、0.50℃与 0.57℃,而平均土壤含水率比 CK 高 11.08%、6.18%、4.02% 和 7.09%,但处理间土壤含水率和土温两项指标均无显著差异。

玉米不同生育期和不同土层(0~20 cm 与 20~40 cm),降解膜与 CK 在土壤容重、土壤速效 NPK 养分、土壤盐分及土壤 pH 等指标间均无显著差异。玉米的生育期进程、出苗率、生物量(包括秸秆、玉米棒和籽粒)以及产量,两处理间也无显著差异。

基金项目

天山青年计划项目(2017Q006)、自治区重点研发项目(2018B01006-1; 2016B02017-4)。

参考文献

- [1] 李海萍,周杨全,靳拓,等.不同类型地膜降解特征及其对马铃薯产量的影响[J].中国农学通报,2017, 33(24): 36-40.

- [2] 申丽霞, 王璞, 张丽丽. 可降解地膜的降解性能及对土壤温度、水分和玉米生长的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 111-116.
- [3] 朱立邦. PBAT/PLA 生物降解树脂增容改性研究[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
- [4] 赵凌云. 我国生物降解塑料 PBAT 产业化现状与建议[J]. 聚酯工业, 2018, 31(5): 9-11.
- [5] Briassoulis, D. (2006) Mechanical Behaviour of Biodegradable Agricultural Films under Real Field Conditions. *Polymer Degradation and Stability*, **91**, 1256-1272. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.09.016>
- [6] Kyrikou, I. and Briassoulis, D. (2007) Biodegradation of Agricultural Plastic Films: A Critical Review. *Journal of Polymers and the Environment*, **15**, 227-227. <https://doi.org/10.1007/s10924-007-0063-6>
- [7] 王斌, 万艳芳, 王金鑫, 等. 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[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(1): 148-156.
- [8] 尚志强. 可降解地膜对烤烟生长发育及产量质量的影响[J]. 内蒙古农业科技, 2012(6): 29-31.
- [9] 余玉. 玉米应用可降解地膜覆盖的试验分析[J]. 时代农机, 2016, 43(4): 104-105.
- [10] 阎晓光, 李洪, 董红芬, 等. 可降解地膜覆盖对土壤水热及春玉米产量的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(33): 32-37.
- [11] 孙仕军, 张旺旺, 刘翠红, 等. 氧化生物双降解地膜降解性能及其对东北雨养春玉米田间水热和生长的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(1): 72-80.
- [12] 吴杨, 贾志宽, 边少锋, 等. 不同方式周年覆盖对黄土高原玉米农田土壤水热的调控效应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(15): 2872-2885.
- [13] 丁宗江, 李仙岳, 郭宇, 等. 干旱沙区降解膜覆盖的玉米生长与耗水规律[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(11): 1092-1097.
- [14] 李仙岳, 郭宇, 丁宗江, 等. 不同地膜覆盖对不同时间尺度地温与玉米产量的影响[J]. 农业机械学报, 2018, 49(9): 247-256.
- [15] 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.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [17] 钱亚光, 刘宏金, 季凤辉, 等. 可降解地膜在覆膜玉米中的应用效果分析[J]. 北方农业学报, 2019, 47(4): 92-96.
- [18] 苏海英, 宝哲, 刘勤, 等. 新疆加工番茄应用 PBAT 全生物降解地膜可行性[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(4): 615-622.
- [19] 王斌, 万艳芳, 王金鑫, 等. PBAT 型全生物降解地膜对南疆马铃薯产量及土壤温湿度与养分的影响[J]. 西北农业学报, 2020, 29(1): 35-43.