

不同全生物降解地膜覆盖对日光温室番茄生长及产量的影响

杨星雨¹,刘江飞¹,季托^{1,2,3},李静^{1,2,3},魏珉^{1,3},徐静⁴,杨凤娟^{1,2,3*}

1. 山东农业大学园艺科学与工程学院,山东 泰安 271018
2. 农业农村部黄淮地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室,山东 泰安 271018
3. 山东果蔬优质高效生产协同创新中心,山东 泰安 271018
4. 山东农业大学化学与材料科学学院,山东 泰安 271018

摘要: 本研究以‘圣罗兰 3690’番茄为试材,以 10 μm 厚黑色聚乙烯(PE)地膜为对照(CK),处理 T1、T2 和 T3 分别为 8 μm 、10 μm 和 12 μm 厚黑色 PBAT/PLA 全生物降解地膜,通过分析不同地膜覆盖对番茄生长和产量的影响,筛选适宜日光温室番茄栽培中使用的全生物降解地膜。结果表明:定植后 60 d,株高以 T2 较高,分别比 CK、T1 和 T3 增加 1.7%、4.3% 和 3.3%;不同处理间番茄各器官干重和鲜重无显著性差异。定植后 120 d,番茄茎粗以 T3 较高,较 CK 增加 0.8%;果实鲜重以 T3 较高,较 CK 增加 2.0%;定植后 120 d,T1 根系活力最低,显著低于其它处理,分别比 CK、T2 和 T3 降低 5.5%、6.2% 和 3.3%。番茄第 1 穗、第 3 穗和第 5 穗果实的可溶性糖、番茄红素、维生素 C 和可溶性固形物的含量以 T3 较高,各处理之间无显著性差异;番茄产量以 T3 较高,较 CK 增加 3.3%,其次为 T2,较 CK 增加 2.2%,但各处理之间无显著性差异。地膜土埋试验结果表明,填埋后 30 d,三种厚度降解地膜均接近完全降解。综合考虑收益与成本,日光温室番茄生产宜采用 10 μm 厚黑色 PBAT/PLA 全生物降解地膜。

关键词: 番茄; 日光温室; 全生物降解地膜; 生长; 产量

中图法分类号: S626.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2025)05-0793-08

Different Fully Biodegradable Plastic Film Mulching on the Growth and Yield of Tomato in Solar Greenhouses

YANG Xing-yu¹, LIU Jiang-fei¹, JI Tuo^{1,2,3}, LI Jing^{1,2,3}, WEI Min^{1,3}, XU Jing⁴, YANG Feng-juan^{1,2,3*}

1. College of Horticultural Science and Engineering/Shandong Agricultural University, Taian 271018, China
2. Key Laboratory of Horticultural Crop Biology and Germplasm Innovation in Huanghuai Area/Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Taian 271018, China
3. Shandong Collaborative Innovation Center for High-Quality and High-Efficiency Production of Fruits and Vegetables, Taian 271018, China
4. College of Chemistry and Materials Science/Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

Abstract: This study uses 'Saint Laurent 3690' tomatoes as the test material, 10 μm thick black polyethylene (PE) film as the control (CK), while treatments T1, T2, and T3 are 8 μm , 10 μm , and 12 μm thick black PBAT/PLA fully biodegradable plastic films, respectively. By analyzing the effects of different film mulching on tomato growth and yield, this study aims to identify the most suitable fully biodegradable plastic film for tomato cultivation in solar greenhouses. The results show that 60 days after planting, T2 exhibits the highest plant height, exceeding CK, T1, and T3 by 1.7%, 4.3%, and 3.3%, respectively. No significant differences are observed in the dry or fresh weights of tomato organs across treatments. At 120 days after planting, the stem diameter of T3 tomatoes is the highest, which is 0.8% higher than CK. The fresh weight of T3 tomatoes is also the highest, which is 2.0% higher than CK. The root vigor of T1 is the lowest, significantly lower than that of the other treatments, being 5.5%, 6.2%, and 3.3% lower than CK, T2, and T3, respectively. The contents of soluble sugar, lycopene, vitamin C, and soluble solids in the 1st, 3rd, and 5th cluster are highest in T3, with no significant difference among the treatments. Tomato yield is also highest in T3(3.3% higher than CK) and T2(2.2% higher than CK), with no significant difference among the treatments. Soil burial tests reveal that all three biodegradable films degrade almost completely within 30 days. Considering both benefits and costs, the 10 μm thick black PBAT/PLA fully biodegradable plastic film is recommended for tomato production in solar greenhouses.

收稿日期: 2024-11-12

修回日期: 2025-08-25

基金项目: 山东重点研发计划资助(2021CXGC010810); 山东省蔬菜产业技术体系建设专项(SDAIT-05-11)

第 1 作者简介: 杨星雨(1998-),女,硕士研究生,研究方向:设施蔬菜栽培生理生态。E-mail:1162952501@qq.com

*通讯作者: Author for correspondence. E-mail:beautyfj@163.com

Keywords: Tomato; solar greenhouse; fully biodegradable plastic film; growth; yield

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)是我国设施栽培面积最大的蔬菜,种植面积和产量均居世界首位,据联合国粮农组织统计,2020年我国番茄的种植面积达111.15万 hm^2 ,出口量位居蔬菜第二。

我国农用地膜的使用量和覆盖面积均居世界首位。2017年,我国地膜覆盖面积达1 865.72万 hm^2 [1]。与裸地栽培相比,地膜覆盖能有效提高土壤温度,充分保障番茄等作物生长的温度需求[2]。覆膜对杂草的生长也能起到有效抑制作用,可以减少土壤养分的损失,促进作物的发育,在气候干燥水分蒸发大的地区地膜覆盖带来的提质增产效果尤为显著[3]。但传统地膜在自然条件下很难被降解,残膜积累在土壤里老化变硬,使土壤孔隙减少,降低土壤的通气性和透水性,破坏耕作层土壤结构,影响水分和矿质元素在土壤中的运输,使微生物和土壤动物的活力受到抑制,同时也会阻碍农作物种子发芽、出苗和根系正常生长[4,5]。使用可降解地膜能有效解决这一问题,研究表明,相较于不覆膜栽培,生物降解地膜对番茄的增产效果与PE地膜相当[6]。因此,探索不同栽培条件下的地膜使用类型和使用规格,有助于治理农业面源污染,实现农业可持续发展。

目前可降解地膜在许多作物上已经被证明应用效果较好,但在设施蔬菜栽培中,尤其是生

物降解地膜在日光温室番茄栽培中的研究较少。本研究以三种不同厚度的PBAT/PLA全生物降解地膜为试材,通过分析其对日光温室番茄生长和产量的影响,筛选适宜的生物降解地膜,为设施番茄的可持续生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为‘圣罗兰3690’,购自山东安信种苗股份有限公司。本试验所用普通地膜、全生物降解地膜均购自山东清田塑工有限公司,分别为8 μm (T1)、10 μm (T2)和12 μm (T3)黑色PBAT/PLA全生物降解地膜,对照为10 μm 黑色PE膜(CK)。

1.2 试验设计

本试验于2023年8月至2024年2月在山东农业大学泮河校区园艺实验站内进行。采用高畦双行种植模式,畦顶宽0.5 m,畦底宽0.6 m,畦高0.25 m,大行距1.0 m,小行距0.4 m,株距0.4 m,每处理4畦,东西两侧各设一行作为保护行。番茄幼苗长至五叶一心时定植。缓苗后进行覆膜处理,6穗花开放时打顶,果实全部摘完后拉秧。种植结束将残膜回收剪碎后埋入土壤进行降解性能检测。试验设计详见表1。

表 1 不同处理的地膜参数

Table 1 Parameters of plastic films under different treatments

	CK	T1	T2	T3
材质	PE 普通地膜	PBAT/PLA 全生物降解地膜	PBAT/PLA 全生物降解地膜	PBAT/PLA 全生物降解地膜
厚度/ μm	10	8	10	12

1.3 测定与方法

1.3.1 生长指标测定 株高和茎粗:每个处理选取长势一致的20株番茄挂牌标记,自番茄定植开始,每30 d测量并记录其株高。株高使用卷尺测量番茄茎基部到最新叶的最高处之间的距离;茎粗使用游标卡尺测量植株茎基部的直径。

干鲜重:每30 d取番茄植株将其分为茎、叶、果、根,称其鲜重(单株),之后在105 $^{\circ}\text{C}$ 下杀青30 min,75 $^{\circ}\text{C}$ 烘至恒重,使用电子秤测定其干重(单株)。

根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测

定[7]。称取新鲜的根部0.5 g,放入一个20 mL的试管中。向试管中加入10 mL等体积的0.4% TTC和磷酸缓冲溶液混合液。在无光条件下,在37 $^{\circ}\text{C}$ 下放置4 h。4 h后,向每个试管中加入2 mL 1 mol $\cdot\text{L}^{-1}$ 硫酸以停止反应。15 min后将根部从试管中取出,用吸水纸吸干。再放入另一个装有10 mL 95%乙醇的试管中,放置24 h后于485 nm下比色。

1.3.2 果实品质测定 每穗果成熟时,分别摘取各处理成熟度一致的番茄果实5个,切片后匀浆,用以测定番茄品质。

维生素C含量采用二氯酚靛酚滴定法[8]。

取5 g果样,用2%草酸定容至50 mL,过滤后吸取滤液10 mL,后用标定过的2,6-二氯酚靛酚溶液进行滴定,并记录用量。

可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[8]。取0.3 g鲜样,放入含有10 mL蒸馏水的试管中。封口沸水浴30 min,冷却后再沸水浴30 min,用蒸馏水定容至50 mL。过滤后吸取滤液1 mL,加入蒽酮乙酸乙酯0.5 mL和浓硫酸5 mL,冷却后使用紫外分光光度计在630 nm下比色。

番茄红素含量采用萃取比色法进行测定^[9]。取2 g鲜重,用40 mL无水乙醇分3次进行重复洗涤,最后用2%二氯甲烷石油醚定容至100 mL,在502 nm下进行比色。

可溶性固形物含量使用数显折射仪(BX607-E3,中国)测定。

1.3.3 地膜土壤试验 将不同处理地膜剪至同样大小,用多孔网固定后埋入土壤,埋入后做好标记便于取出,每个处理重复5次。每30 d取一次,观察分析降解效果。

1.3.4 产量统计 待番茄成熟时,每个处理逐穗

进行摘取测定,统计坐果数,计算平均单株结果数,并将果实称重,计算平均单果重。每行作为一个重复,利用株、行距,计算每667 m²的产量。

1.4 数据统计与分析

用Microsoft Excel 2021 进行数据处理,使用Graphpad prism 8.2 软件绘图,用IBM SPSS Statistics 26.0 软件进行方差分析和显著性检验(不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$,Duncan新复极差法)。

2 结果与分析

2.1 不同地膜覆盖对番茄株高和茎粗的影响

由图1可知,随生育期延长(60 d后打顶),番茄株高和茎粗呈逐渐增长趋势。各处理间番茄株高在定植后0~30 d无显著性差异,茎粗在0~90 d无显著性差异;定植后60 d,T2番茄株高较高(图1 A),分别比CK、T1和T3增加1.7%、4.3%和3.3%,显著高于T1;定植后120 d,番茄茎粗以T3较高(图1 B),分别比CK、T1和T2增加0.8%、3.7%和3.3%,显著高于T1。

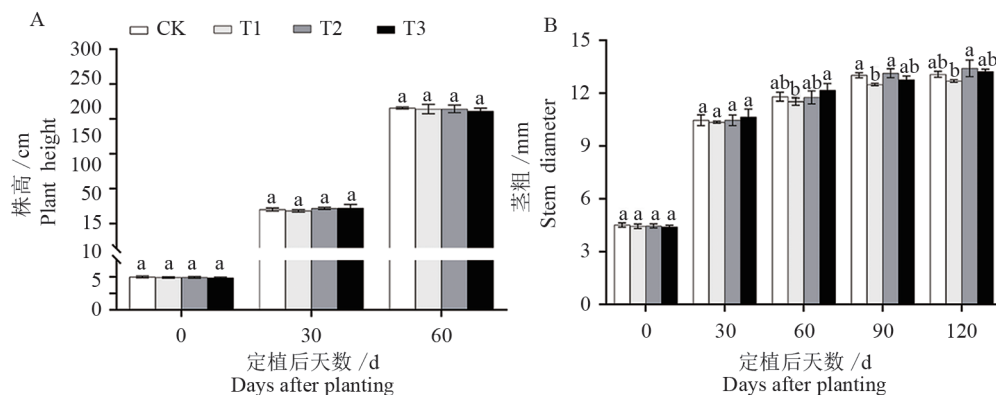


图1 不同地膜覆盖对番茄株高(A)和茎粗(B)的影响

Fig. 1 Different types of plastic film treatments on tomato plant height (A) and stem diameter (B)

2.2 不同地膜覆盖对番茄各器官鲜重和干重的影响

随着生育期的延长,番茄的各器官鲜重(表2)和干重(表3)均呈增加趋势,定植后30 d和60 d,不同地膜覆盖下番茄各器官干重和鲜重无显著性差异。定植后90 d和120 d,番茄茎秆和叶片鲜重均以T3较高;定植后90 d,番茄果实鲜重以T2较高,比T1增加4.2%;定植后120 d,T2和T3的果实鲜重分别比CK增加1.8%和2.0%。

定植后90 d,番茄茎秆和叶片干重均以T3

较高(表3),分别比CK增加9.5%和5.4%,差异显著;定植后120 d,番茄茎秆、叶片和果实干重均以T3较高,T3果实干重分别比CK、T1、T2增加3.6%、9.1%和2.8%,显著高于T1。

2.3 不同地膜覆盖对番茄根系活力的影响

由图2可知,番茄根系活力随植株生长呈现出先降低后上升再降低的趋势,定植后30~120 d根系活力均以T1较低,定植后120 d,T1分别比CK、T2和T3降低5.5%、6.2%和3.3%,差异显

表 2 不同地膜覆盖对番茄鲜重的影响
Table 2 Different types of plastic film treatments on tomato fresh weight

定植后天数/d Days after planting	处理 Treatments	根鲜重/g Root fresh weight	茎鲜重/g Stem fresh weight	叶鲜重/g Leaf fresh weight	果实鲜重/g Fruit fresh weight
30 d	CK	14.36±0.61a	81.72±3.53a	138.73±5.26a	-
	T1	13.96±0.44a	80.98±3.71a	138.65±6.21a	-
	T2	14.21±0.57a	80.97±2.77a	139.84±4.70a	-
	T3	14.06±0.59a	84.02±5.13a	140.74±5.41a	-
60 d	CK	21.12±0.34a	429.58±15.82a	943.90±37.01a	983.16±10.13a
	T1	21.40±0.23a	434.65±19.47a	944.05±8.98a	984.56±19.76a
	T2	21.32±0.32a	435.86±10.95a	944.74±9.46a	982.48±9.83a
	T3	21.45±0.44a	438.31±9.66a	969.50±15.80a	982.87±23.72a
90 d	CK	23.51±0.33ab	473.23±14.12a	1 072.06±8.55b	2 750.60±64.01a
	T1	22.55±0.05b	429.33±29.08b	1 057.87±25.30b	2 642.24±30.92b
	T2	23.76±0.90a	460.23±26.41ab	1 088.83±13.54b	2 754.52±70.19a
	T3	22.86±0.44ab	479.41±3.98a	1 132.10±19.45a	2 743.64±36.57a
120 d	CK	26.35±0.23ab	461.02±17.45a	1 232.87±9.84b	3 841.26±25.33ab
	T1	25.20±0.94b	411.53±11.27c	1 236.00±16.79b	3 735.71±32.82b
	T2	25.41±1.74ab	437.47±5.83b	1 252.15±15.57b	3 910.15±52.54a
	T3	26.79±1.00a	470.70±3.91a	1 301.92±22.37a	3 916.69±13.80a

注:30 d 时番茄未结果,故表中无相关数据。不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: There was no tomato fruit set at 30 days, so there is no relevant data in the table. The same as below. Different letters indicate significant differences between processing at 0.05 level.

表 3 不同地膜覆盖对番茄干重的影响
Table 3 Different types of plastic film treatments on tomato dry weight

定植后天数/d Days after planting	处理 Treatments	根干重/g Root dry weight	茎干重/g Stem dry weight	叶干重/g Leaf dry weight	果实干重/g Fruit dry weight
30 d	CK	1.33±0.05a	5.93±0.25a	12.97±0.51a	-
	T1	1.30±0.04a	5.89±0.26a	12.85±0.61a	-
	T2	1.35±0.03a	6.16±0.33a	13.06±0.44a	-
	T3	1.31±0.07a	6.07±0.35a	13.04±0.47a	-
60 d	CK	1.95±0.04a	27.11±0.39a	63.65±1.27a	44.17±2.07a
	T1	1.94±0.05a	27.27±0.33a	62.91±0.73a	44.31±1.79a
	T2	1.95±0.03a	26.61±0.41a	63.90±1.55a	44.93±1.77a
	T3	1.93±0.06a	26.89±0.29a	65.69±2.33a	42.69±0.83a
90 d	CK	2.03±0.02ab	37.71±2.09b	76.80±2.27b	162.10±0.54a
	T1	1.94±0.01b	35.30±0.60b	75.59±2.26b	154.12±1.08b
	T2	2.06±0.07a	37.84±0.83b	77.36±0.95b	162.84±3.00a
	T3	2.03±0.09ab	40.86±0.47a	80.94±1.58a	163.04±2.43a
120 d	CK	2.72±0.02a	42.19±1.44b	112.82±1.10b	210.20±5.72ab
	T1	2.65±0.05b	37.83±0.53c	108.25±1.38c	199.63±1.97b
	T2	2.73±0.02a	40.86±0.90b	113.88±1.15b	211.79±0.68ab
	T3	2.67±0.02ab	44.13±1.37a	117.75±2.30a	217.76±4.60a

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different letters indicate significant differences between processing at 0.05 level.

著;以T2较高,显著高于T3。

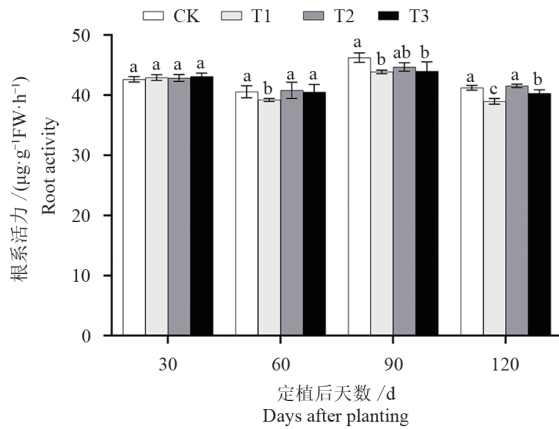


图2 不同地膜覆盖对番茄根系活力的影响
Fig. 2 Different types of plastic film treatments on tomato root activity

2.4 不同地膜覆盖对番茄果实品质的影响

由图3可知,随着结果期的延长,番茄的维生素C、可溶性糖、番茄红素和可溶性固形物含量呈上升趋势。与CK相比,不同地膜覆盖下的第1穗果实维生素C含量无显著性差异;第3穗果实维生素C含量以CK较高,分别比T1、T2和T3增加3.2%、0.6%和3.0%;第5穗果实的维生素C含量以T2最高,分别比CK、T1和T3增加5.8%、6.8%和5.0%,差异显著(图3A)。第1穗番茄果实的可溶性糖含量以T2较高,显著高于CK和T1,分别比CK、T1和T3增加9.2%、9.3%和3.2%,但与T3差异不显著;第3和第5穗果实的可溶性糖含量均以CK较高(图3B)。处理间番茄红素含量在不同结果期无显著性差异(图3C)。第1和第3穗果实的可溶性固形物含量均以T2较高,显著高于CK,其中T2第3穗果实的可溶性固形物分别比CK、T1和T3增加10.1%、5.6%和8.6%,差异显著;第5穗果实可溶性固形物含量各处理间无显著性差异(图3D)。

2.5 不同地膜覆盖对番茄产量的影响

由表4可知,不同地膜覆盖的番茄产量以T3较高。与CK相比,T1、T2和T3增产率分别为-1.5%、2.2%和3.3%,但差异不显著。

2.6 不同地膜土埋试验结果分析

利用土埋试验对不同处理下地膜的降解效果进行分析,由图4可知,PE地膜土埋后30d没有降解趋势;全生物降解地膜(T1-T3)土埋后30d几乎完全降解。

3 讨论

可降解地膜在农业可持续发展中具有广阔的应用前景。研究表明可降解地膜在作物上的应用效果可以达到或优于PE地膜^[10],且不影响下茬作物的栽培。罗子辉^[11]研究表明,降解地膜对棉花幼苗生长、开花节位、产量等影响不显著;刘淼等^[12]研究表明不同全生物降解地膜对西瓜伸蔓、开花、膨瓜等作用与覆盖普通地膜的功效相同,均满足生产需求。在西北内陆干旱地区、山东半岛沿海地区以及东北平原高纬度地区等多地玉米栽培生物可降解地膜覆盖试验表明,覆盖生物地膜的玉米拔节期可比裸地提前3d,出苗期可提前4d^[13-15]。覆盖地膜可以改善土壤温度和湿度,胡庆兰研究表明覆膜能提高土壤微生物丰度^[16];相较于PE地膜覆盖,添加木质素和腐殖酸的生物降解地膜覆盖影响了番茄根际微生物的物种丰度,番茄株高和茎粗分别增加5.9%和3.1%^[17];覆盖生物降解地膜可以提高作物的根系活力,不同类型地膜对根系影响亦有差异^[18]。定植后90d,3个处理组的根系活力均低于CK,这可能与可降解地膜机械强度下降导致地膜破裂,保温性下降有关。定植后120d,所有处理的根系活力均呈下降趋势。本研究中,与

表4 不同地膜覆盖对番茄产量的影响
Table. 4 Different types of plastic film treatments on tomato yield

处理 Treatments	厚度/µm Thickness	产量/(kg·667m ⁻²) Yield	比CK/% Compared with CK
CK	8	7 500.97±257.26a	-
T1	8	7 384.52±235.87a	-1.5
T2	10	7 667.66±204.14a	2.2
T3	12	7 751.72±277.90a	3.3

注:不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

Note: Different letters indicate significant differences between processing at 0.05 level.

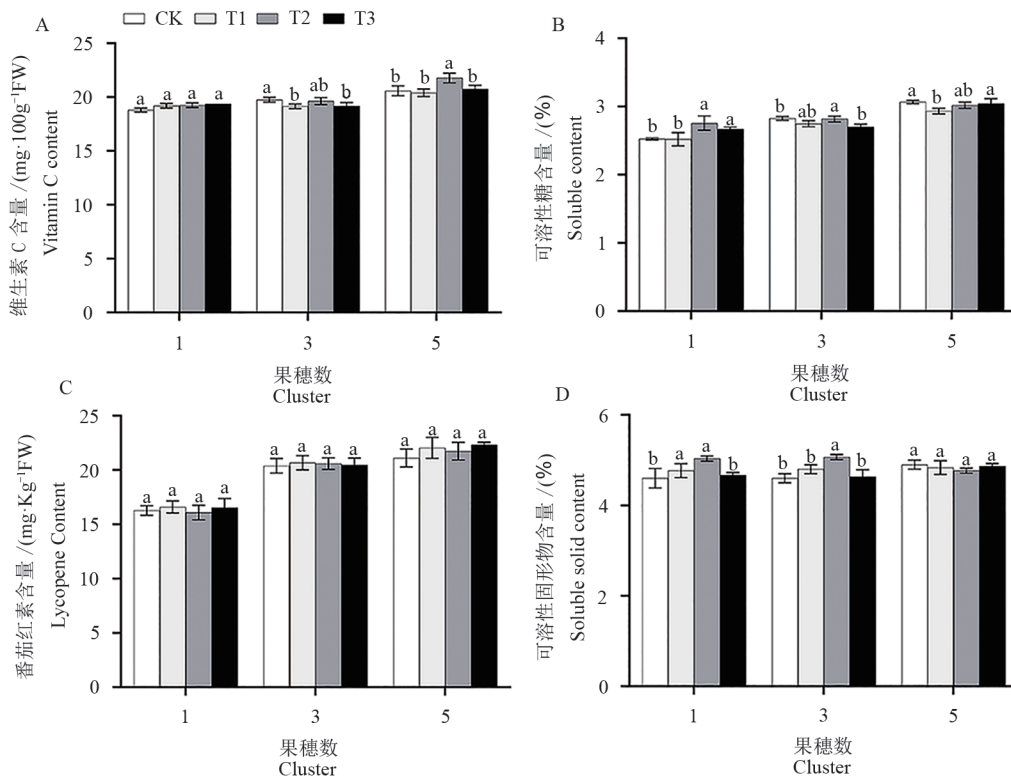


图 3 不同地膜覆盖对番茄果实维生素 C(A)、可溶性糖(B)、番茄红素(C)、可溶性固形物(D)含量的影响
 Fig. 3 Different types of plastic film treatments on the contents of vitamin C (A), soluble sugar (B), lycopene (C), and soluble solids (D) in tomato fruits.

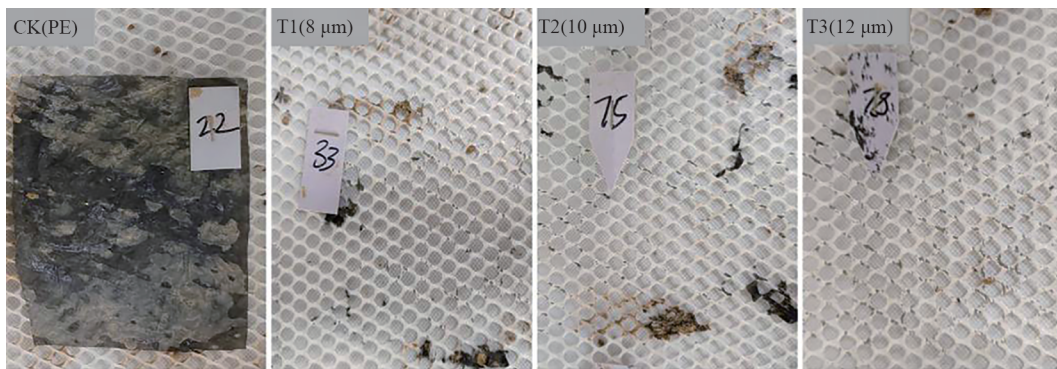


图 4 土埋 30 d 后地膜降解表现
 Fig. 4 Degradation of plastic film after 30 days of soil burial

PE 地膜相比,定植后 60 d, T2 番茄株高较高,比 CK 增加 1.7%;定植后 120 d, T2 番茄茎粗较高,比 CK 增加 0.8%;定植后 120 d, T2 和 T3 的果实鲜重分别比 CK 增加 1.8% 和 2.0%;但均无显著性差异。虽然覆盖 PE 地膜和全生物降解地膜对玉米的长势、生育期及产量方面无显著性差异,但较裸地栽培相比,玉米产量显著增加 17.2%^[19,20]。降解地膜的保温性能与普通地膜相近,降解地膜覆盖下的马铃薯产量可以达到或略

优于普通地膜^[21,22]。也有研究表明,与 PE 地膜相比,可降解地膜覆盖的马铃薯商品薯率和产量分别提高了 9.2% 和 8.1%^[23,24]。在新疆塔额盆地和喀什地区的甜菜栽培研究中,覆盖生物降解地膜甜菜产量分别比 PE 地膜提高 5.6% 和 22.8%,且塔额盆地甜菜含糖率提高 7.9%^[25]。本试验条件下,用膜成本如下:CK 为 763.95 元/hm², T1 为 2 550 元/hm², T2 为 3 187.5 元/hm², T3 为 3 933 元/hm²。综合考虑产量、地膜成本和政策补

贴,各处理综合收益约为:CK为449 294.25元/hm², T1为440 521.2元/hm², T2为456 872.1元/hm², T3为461 170.2元/hm²。

可降解地膜中可添加磷酸铜等制剂来提高红外光吸收以提高保温能力,或添加缓释型农药复合物来实现长效除草功能^[26,27]等。PE地膜无法降解且需要人工回收残膜,会造成环境污染和人工成本的增加,据调查可知,2021年只有20%的地膜得到回收,大多数使用后地膜被焚烧、丢弃,这对生态环境造成了很大的破坏^[28]。全生物降解地膜在使用后可以直接翻到土壤中,经微生物转化为二氧化碳、甲烷、水等^[29],地膜降解带来的外来碳源增加了土壤微生物的丰富度,同时避免了环境污染和人工捡拾残留地膜。本研究使用的全生物降解地膜在功能上与传统PE地膜相当,土埋试验表明其在30 d内几乎完全降解,降解效果良好。

4 结论

本试验条件下,在日光温室中栽培番茄,与传统PE地膜相比,使用PBAT/PLA全生物降解地膜覆盖下番茄产量与传统PE地膜无显著性差异。8 μm PBAT/PLA全生物降解地膜覆盖下番茄茎粗、果实干重、根系活力较低;12 μm PBAT/PLA全生物降解地膜覆盖下番茄产量较高但与其他处理无显著性差异,且成本较10 μm降解地膜高。因此,综合考虑效益和成本,10 μm黑色PBAT/PLA全生物降解地膜可在日光温室番茄生产中推广应用。

参考文献

- [1] 雷蕾,汤秋香.可降解地膜推广应用的影响因子分析[J].农业展望,2020,16(08):128-133.
- [2] 杨朔.温室大棚地表覆膜对土壤水热及番茄产出的影响[D].太原:太原师范学院,2023.
- [3] 马蕾,吕金良.我国农用地膜使用现状及回收机制研究[J].农业科技通讯,2019(11):19-23.
- [4] 王路伟.有色地膜对蒜田主要害虫种群动态和大蒜生长的影响[D].泰安:山东农业大学,2019.
- [5] 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(02):95-102.
- [6] 施光美,金文娟,戴振福.不同全生物降解地膜覆盖在番茄上的应用效果研究[J].现代农业科技,2022(04):68-70.
- [7] 李合生.植物生理生化试验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [8] 赵世杰,史国安,董新纯.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业科学技术出版社,2002.
- [9] 张连富,丁霄霖.番茄红素简便测定方法的建立[J].食品与发酵工业,2001(03):54-58.
- [10] Sintim H Y, Flury M. Is biodegradable plastic mulch the solution to agriculture's plastic problem? [J]. Environmental Science and Technology, 2017, 51(3): 1068-1069.
- [11] 罗子辉.玉米全生物降解膜覆盖应用效果研究[J].聚酯工业,2021,34(05):23-24+27.
- [12] 刘淼,邸树峰,樊超,等.新型生物降解地膜降解性能及对玉米生长的影响[J].黑龙江农业科学,2022(09):31-36.
- [13] 冯亚阳.西辽河平原降解膜覆盖对玉米生长与土壤环境的影响及覆盖期优化[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.
- [14] 赵嘉涛,马玉诏,范艳丽,等.生物可降解地膜对棉花产量及水分利用效率的影响[J].排灌机械工程学报,2021,39(01):96-101.
- [15] 刘昌文,谢永磊,严昌荣,等.全生物降解地膜对喀什地区麦后复播玉米产量的影响[J].农业开发与装备,2021(04):157-159.
- [16] 胡庆兰.地膜覆盖及不同施肥处理对土壤微生物学特性和玉米产量的影响[D].西宁:青海大学,2023.
- [17] 侯爽,祁俊锋,王铁臣,等.不同材质生物降解地膜的性能及其对番茄生长的影响[J].蔬菜,2022(01):13-16.
- [18] 邢晋,吕学梅.不同颜色地膜对设施番茄生长及果实产量与品质的影响[J].贵州农业科学,2023,51(10):100-107.
- [19] 王春丽,王莉玮,易廷辉,等.全生物可降解地膜在早春糯玉米生产中的应用研究[J].环境保护科学,2020,46(01):91-96.
- [20] 刘淼,邸树峰,樊超,等.新型生物降解地膜降解性能及对玉米生长的影响[J].黑龙江农业科学,2022(09):31-36.
- [21] 付学东,郭华春.禄劝县大春马铃薯应用生物可降解地膜试验[J].云南农业科技,2021(02):4-5.
- [22] 刘现明.覆盖生物降解地膜对马铃薯产量及土壤环境的影响[J].中国农技推广,2023,39(05):72-76.
- [23] 李振华,张丽芳,康暄,等.降解地膜覆盖对土壤环境和旱地马铃薯生育的影响[J].中国农学通报,2011,27(05):249-253.
- [24] 攸学松,马超,王广世,等.不同生物降解膜在西瓜生产上的应用分析[J].蔬菜,2023(11):11-15.
- [25] 白如霄,王瑞楠,和海秀,等.生物降解地膜对塔额盆

- 地甜菜产量及含糖率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023(12):236-241.
- [26] Xianfei Jia, Yan Yan, Kun Zhang, et al. Glufosinate ammonium-loaded halloysite nanotubes for slow-release weeding polymer mulch films[J]. ACS Applied Nano Materials, 2023, 6(7):6186.
- [27] Zhou Y, Qiu S, Waterhouse GIN, et al. Enhancing the properties of PBAT/PLA composites with novel phosphorus-based ionic liquid compatibilizers[J]. Materials Today Communications, 2021, 27:102407.
- [28] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022.
- [29] 刘子琪, 韩瑛祚. 地膜覆盖在农业生产中应用概述[J]. 辽宁农业科学, 2024(06):82-86.