

PBAT/P34HB 地膜的制备及番茄生产应用

王昊¹, 谭台孙啸¹, 曹颖¹, 向海容³, 孔令娟^{2*}, 李立^{1*}

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 上海市农业技术推广服务中心, 上海 201103;

3. 上海容蓝实业有限公司, 上海 201702)

摘要: **目的** 为促进植株生长, 减少地膜残留对下茬作物产量的影响, 选用聚对苯二甲酸-己二酸-丁二醇酯 (PBAT) 与聚-3-羟基丁酸酯-co-4-羟基丁酸酯 (P34HB) 制备地膜, 探究其对番茄生长的影响。**方法** 将 PBAT 和 P34HB 以 9:1、8:2、7:3 质量比共混, 通过水冷造粒、吹塑生产 3 款具有不同力学和阻隔性能的地膜, 并应用于番茄作物生产。**结果** 随着 P34HB 含量的增加, 复合膜的拉伸强度和透湿性增强, 9:1 地膜对番茄具有一定增益作用, 且单垄残留量约为 16 片。**结论** PBAT/P34HB (9:1) 地膜的性能满足番茄生产, 具有增益作用, 并减少了地膜残留造成的污染。

关键词: PBAT; P34HB; 番茄生产; 地膜残留

中图分类号: TB332 文献标志码: A 文章编号: 1001-3563(2024)07-0016-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.07.003

Preparation and Application of PBAT/P34HB Mulch Film in Tomato Production

WANG Hao¹, TANTAI Sunxiao¹, CAO Ying¹, XIANG Hairong³, KONG Lingjuan^{2*}, LI Li^{1*}

(1. College of Food Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Agricultural Technology Extension Service Center, Shanghai 201103, China;

3. Shanghai Ronglan Industrial Co., Ltd., Shanghai 201702, China)

ABSTRACT: The work aims to prepare mulch films with poly (terephthalate-adipate-butanediol) (PBAT) and poly (3-hydroxybutyrate)-co-4-hydroxybutyrate (P34HB) and study their effect on tomato growth, so as to promote plant growth and reduce crop yield caused by film residue. The technical route was to blend PBAT and P34HB at 9:1, 8:2 and 7:3 mass ratios, and produce three mulch films with different mechanical and barrier properties through water-cooled granulation and blow molding, and then apply them to tomato production. The results showed that with the increase of P34HB content, the tensile strength and moisture permeability of the composite film were enhanced. The 9:1 film had a certain effect on tomato production, and the residual amount of a single row was about 16 pieces. It is concluded that the performance of the PBAT/P34HB (9:1) film can satisfy the tomato production. It has the effect of increasing production, and reduces the pollution caused by the film residue.

KEY WORDS: PBAT; P34HB; tomato production; mulch film residue

地膜是农业生产中用来覆盖地面的薄膜, 不仅能提高土壤温度、保水保肥、减少杂草生长, 还能保护农作物免受害虫侵袭及气候变化的影响, 促进植株有

序生长^[1]。高分子聚合物 (如聚乙烯) 是地膜的主要材质, 但因其降解时间过长, 大块地膜残留物被翻入土壤, 导致土壤中营养成分散失, 下茬作物难以扎根,

收稿日期: 2023-10-28

基金项目: 上海市科技兴农项目 (2022-02-08-00-12-F01094)

*通信作者

农作物减产^[2]。此外,未降解的薄膜碎片部分残留在环境中^[3],可能会被引入食物链^[4],若将其回收利用,无疑会增加农业生产的成本。

常见用于地膜生产的聚合物分为合成与天然2类,其中具有代表性的合成聚合物有聚乳酸(PLA)^[5]、聚对苯二甲酸-己二酸-丁二醇酯(PBAT)^[6]和聚羟基链烷酸酯(PHA)^[7]等。天然聚合物有淀粉^[8]、木质素^[9]、纤维素^[10]和透明质酸等^[11]。其中PBAT分子链结构含有由大量的丁二酸和丁二醇交替排列形成的聚酯链,使其具有良好的降解性能,在力学性能上也有一定的优势,具有和PE膜相近的保温增产效果^[12]。关于PBAT地膜的研究主要聚集于生物降解,关于增产这方面的研究很少。王斌等^[13]发现,与PE膜相比,PBAT制造的地膜覆盖下的棉花与玉米会出现不同程度的增产。

PBAT因为高生产成本和低热力学性能限制了这种材料的使用,所以要考虑与其他聚合物复合以改善其性能^[14]。P34HB作为第四代聚羟基脂肪酸酯(PHA)生物塑料,是由3-羟基丁酸酯与4-羟基丁酸酯结构单元组成的高分子材料,具有良好的生物相容性^[15],广泛应用于生物医药和食品包装方面。Li等^[16]采用PBAT和P34HB熔融共混解决了PBAT固有的强度、模量和熔体黏弹性低等缺点,同时提高了强度、断裂伸长率和熔体黏弹性。张贺等^[17]在PBAT上接枝马来酸酐(MAH),TPS/PBAT界面相容性得以改善,力学性能有所增强。

在此项研究中,制备了不同比例(9:1、8:2、7:3)的PBAT/P34HB地膜,对其力学性能和阻隔性能进行了测试,并将这3款具有不同拉伸强度和水蒸气透过率的地膜与CK(市购)地膜,一同进行番茄生产应用试验,探究PBAT/P34HB地膜对番茄生长发育的影响及其残膜翻耕后对下茬杭白菜出苗量的影响。

1 实验

1.1 材料

主要材料:PBAT,德国巴斯夫D1200;P34HB,北京微构工场生物技术有限公司;开口剂(SiO₂),寿光市邦泽化工有限公司;硬脂酸钙,东莞市常平鹏科塑胶商行;ADR4400,东莞市楹圣塑胶化工有限公司;无水柠檬酸,郑州市超凡化工有限公司;抗氧化剂巴斯夫245,德国巴斯夫公司;黑色色母L95043,无锡市长虹化塑色粒有限公司。

主要仪器:ML130薄膜造粒机,中国·张家港市普瑞塑胶机械有限公司;SJM-FM1600塑料挤出吹塑薄膜辅机,大连橡胶塑料机械股份有限公司;XLW(EC)智能电子拉力试验机,济南兰光机电技术有限公司;PERMATRAN-W1/50G水蒸气透过率测试

仪,美国膜康有限公司;G2-32气体渗透测试仪,济南兰光机电技术有限公司;SDC-100接触角测试仪,东莞盛鼎精密仪器有限公司;Nicolet系列傅里叶变换红外光谱仪,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;VHX-900F金相显微镜,基恩士(中国)有限公司。

1.2 方法

1.2.1 PBAT/P34HB 薄膜的制备

PBAT和P34HB于80℃下烘烤6~8h备用。称取质量占总基材5%的SiO₂,质量分数为1%的硬脂酸钙,质量分数为1%的ADR4400,质量分数为0.5%的无水柠檬酸,质量分数为0.1%的抗氧化剂,质量分数为4%的黑色色母,然后与不同比例的PBAT/P34HB(9:1、8:2、7:3)进行物理共混,使基材与助剂搅拌均匀。待混合均匀后造粒,共混粒子于70℃下烘烤3h。吹塑成膜,厚度控制在30μm左右。

挤出装置各个区段温度为145、150、155、160、165、172、175、172、165、160℃,主机转速为100r/min;吹塑装置各个区段温度为145、150、155、160、165、172、175、172、165、160℃,主机转速为80r/min。

1.2.2 性能测试

1.2.2.1 力学性能测试

使用XLW(EC)智能电子拉力试验机,将大小为100mm×15mm长条薄膜试样,放置于间距63mm的夹具内,将拉伸速度设置为100mm/min,测得拉伸强度和断裂伸长率。

1.2.2.2 水蒸气透过率测试

使用PERMATRAN-W1/50G水蒸气透过率测试仪,分别将直径为100mm的圆形试样放置于测试腔A、B、C内,在温度为37.8℃、相对湿度为100%的条件下连续测试12h,测得水蒸气透过率。

1.2.2.3 氧气透过率测试

使用G2-32气体渗透测试仪,将薄膜紧贴于检测腔内,在温度为23℃、相对湿度为50%的条件下测试2h,测得氧气透过率。

1.2.2.4 水接触角测试

使用SDC-100接触角测试仪,将薄膜样品平置于接触角测试仪上,用微型注射器将约3μL的蒸馏水缓慢滴入膜表面。使用相关仪器立即捕获水滴的形状,WCA是基于五点拟合计算的。

1.2.3 番茄生产应用

番茄定植前2周,每667m²翻耕土地施商品有机肥1000kg、复合肥50kg作为基肥,并翻耕筑畦。定植前1天,畦面铺设2条滴管带,将9:1、8:2、7:3与CK(市购)4种地膜各铺设一畦,畦宽连沟1.5m,单畦长30m。番茄种植时,设置株行距为40cm×70cm。实验在上海蔬达蔬果专业合作社七连栋大棚内进行。

1.2.3.1 植株生长发育

番茄种植3个月后,用直尺从根茎部测量到植株的最高点,记录为株高;用直尺测量叶片的纵、横长度,将乘积记录为开展度;用游标卡尺测量从根茎部往上1 cm处一圈,记录为茎粗;将一棵植株上茎节数,记录为节数。

1.2.3.2 果实品质性状

番茄采收前,用电子天平称取单果的质量,记录为单果质量;用直尺测量从果实果柄处到果实尖端的长度,记录为果长;用游标卡尺测量果实果柄下1 cm处果实的宽度,记录为果径;用游标卡尺测量果实壁厚,记录为果肉厚。

1.2.3.3 翻耕后地表残留量

待番茄成熟收获后,将CK、9:1、8:2、7:3共4种地膜直接翻耕入土,调查单垄范围内地表碎膜的残留情况。

1.2.3.4 下茬杭白菜出苗量

翻耕1个月后播种杭白菜,单垄统计下茬杭白菜的出苗情况。

1.2.4 统计分析

采用SPSS进行单因素方差分析,选择沃勒-邓肯检验进行显著性分析($P < 0.05$),使用Origin 2021进行分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 力学性能

地膜的力学性能测试结果如表1所示。从表1可以看出,复合膜的拉伸强度随着共混P34HB含量的增加,由12.0 MPa升高至17.5 MPa,而断裂伸长率则呈现相反的趋势。这可能是由于PBAT与P34HB两部分互不相容产生高界面黏附力,使得聚合物基体

刚度增加,韧性下降。相似地,刘振涛等^[18]将磷石膏(PG)与PBAT基材共混,证实PG可优化薄膜的力学性能,添加质量分数为40%的PG,薄膜的拉伸强度可达19.4 MPa。

表1 地膜的力学性能

Tab.1 Mechanical properties of mulch films

薄膜	厚度/ μm	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%
9:1	33.7 \pm 2.5 ^a	12.0 \pm 1.3 ^b	167.2 \pm 26.0 ^a
8:2	29.7 \pm 2.1 ^a	14.8 \pm 1.3 ^{ab}	123.7 \pm 3.7 ^b
7:3	23.7 \pm 2.5 ^b	17.5 \pm 2.2 ^a	69.7 \pm 17.4 ^c

注: a、b、c上标字母代表显著性差异,相同字母为不显著差异($P > 0.05$),不同字母为显著差异($P < 0.05$)。

2.2 阻隔性能

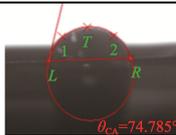
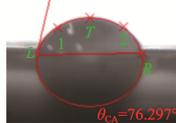
地膜的阻隔性能测试结果如表2所示。从表2可以看出,复合薄膜的水蒸气、氧气透过率与添加P34HB的含量呈正相关。这是由于复合薄膜中PBAT起阻气阻湿的作用,加入P34HB后,界面相互作用减弱,空穴增多变大,使得水、氧分子进入,透湿、透氧能力随之增强。薄膜的水接触角则呈现出扩大趋势。这说明添加P34HB可增强PBAT薄膜的疏水性,这可能与薄膜的相容性有关。加入P34HB增强了PBAT的结晶度,使得薄膜表面粗糙度增加^[19]。

2.3 番茄产量

从图1、2可以看出,与CK地膜相比,9:1地膜对番茄植株生长和果实品质均有增产作用,特别是对番茄植株的株高、果实的果长和果肉厚有着明显的促进作用。这可能是由于9:1地膜的水蒸气透过率较低,前期保温固湿^[20],后期地膜崩解,增强了土壤的透气性^[21]。

表2 地膜的阻隔性能

Tab.2 Barrier properties of mulch films

薄膜	水蒸气透过率/($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)	氧气透过率/[$\text{cm}^3\cdot(\text{m}^2\cdot24\text{h}\cdot0.1\text{MPa})^{-1}$]	水接触角/($^\circ$)
9:1	587.1 \pm 5.0 ^c	1 036.8 \pm 194.4 ^c	
8:2	853.8 \pm 60.7 ^b	1 626.9 \pm 73.9 ^b	
7:3	1 032.9 \pm 102.3 ^a	2 672.6 \pm 56.0 ^a	

注: a、b、c上标字母代表显著性差异,相同字母为不显著差异($P > 0.05$),不同字母为显著差异($P < 0.05$)。

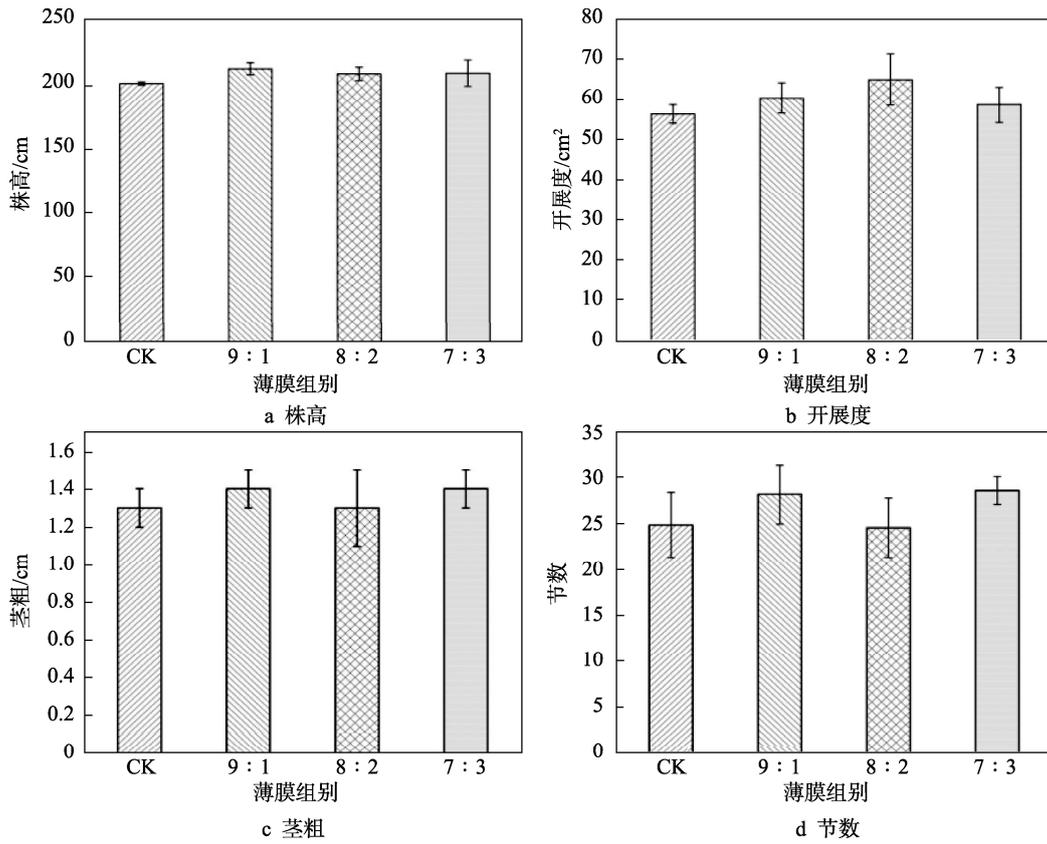


图 1 植株生长发育指标
Fig.1 Plant growth and development index

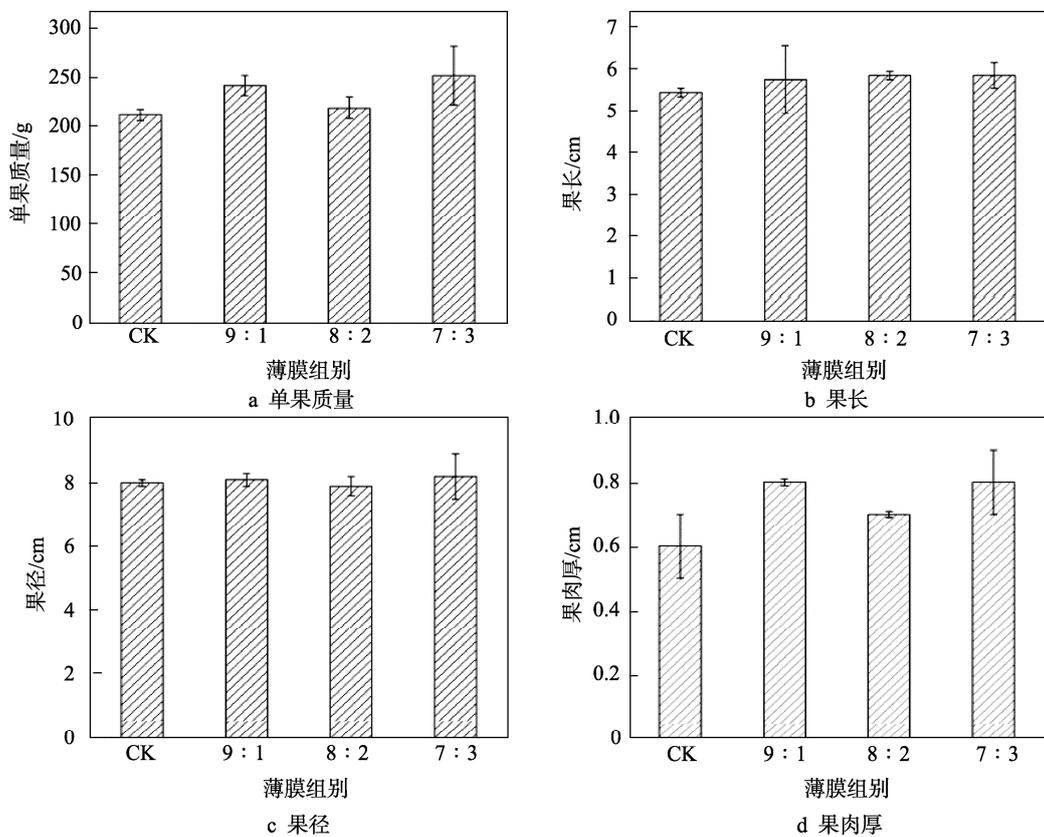


图 2 果实品质性状指标
Fig.2 Fruit quality traits index

2.4 地表残留量

不同地膜由于降解性能不同,翻耕入土后的残留量存在较大差异。待番茄采收后,进行深耕,并统计4种地膜的地表残留,如图3所示。可见9:1、8:2、7:3地膜的残留量均低于CK地膜,其中9:1地膜的残留量最少,约16片,比CK膜减少约二分之一。这可能是由于P34HB的加入使PBAT基膜具有良好的生物降解性能^[22],在铺膜阶段便已出现崩解。在质量损失预实验中,9:1地膜也具有较好的降解效果,后续将完善该实验。

2.5 下茬出苗量

地膜残留会使耕地结构发生劣化,对下茬作物生长产生消极影响,如阻碍植株扎根和营养成分的汲取等。下茬杭白菜的出苗情况如图4、5所示,可知翻耕9:1地膜后出苗率最高,单垄出苗量约为156株,

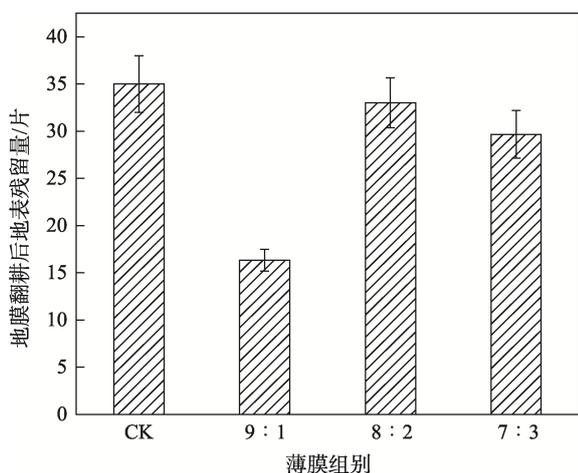


图3 不同地膜地表残留量
Fig.3 Different surface residual amount of mulch films

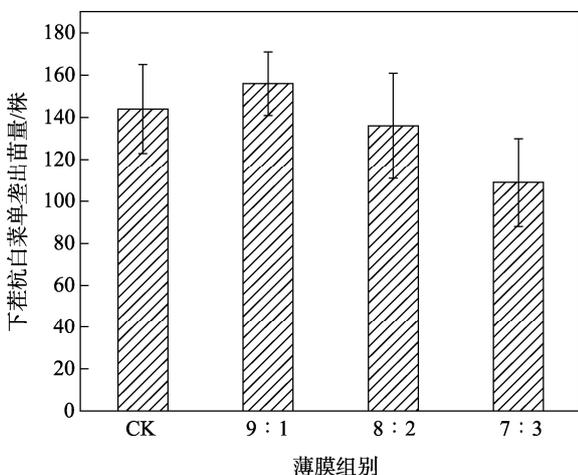


图4 下茬杭白菜单垄出苗量
Fig.4 Seedling yield of single ridge of late crop celery cabbage

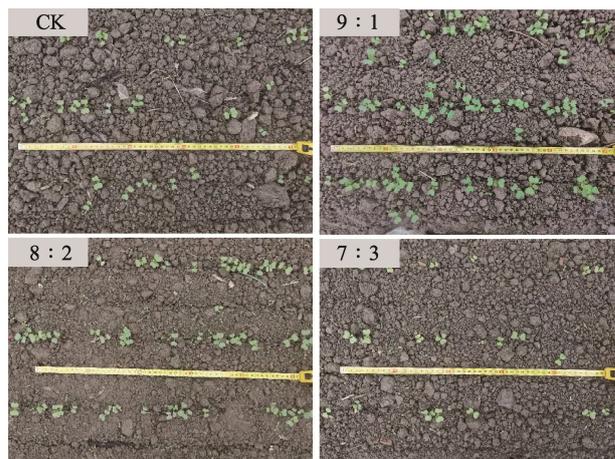


图5 下茬杭白菜出苗观测
Fig.5 Observation on emergence of late crop celery cabbage

这与翻耕后地膜残留结果一致,9:1地膜残留最少,杭白菜出苗受到抑制作用较弱。夏冬等^[23]研究了不同覆盖方式对土壤肥力及番茄产量和品质的影响,得出生物可降解地膜在提高土壤肥力状况和番茄产量方面效果最好,宜选择田间降解率较高的地膜,有助于提高植株的出苗率和成苗率。

3 结语

本研究制备了9:1、8:2、7:3 3种比例的PBAT/P34HB地膜,其性能均满足农用地膜要求。随着P34HB含量升高,拉伸强度逐渐增强,可达17.5 MPa。此外,9:1地膜具有良好的阻隔性能,对番茄生长发育、果实品质均有增益,且翻耕入土后地表残留量最少,下茬杭白菜出苗量较多,有望促进农业经济和环境的可持续发展。

参考文献:

[1] 徐蕊,魏广彬,张洪海,等.全生物降解膜覆盖对有机栽培水稻产量和杂草发生的影响初探[J].农业科技通讯,2023(1):57-60.
XU R, WEI G B, ZHANG H H, et al. Preliminary Study on the Effect of Full Biodegradable Film Mulching on the Yield and Weed Occurrence of Organically Cultivated Rice[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2023(1): 57-60.

[2] 薛颖昊,孙占祥,居学海,等.可降解农用地膜的材料研究与应用现状[J].中国塑料,2020,34(5):87-96.
XUE Y H, SUN Z X, JU X H, et al. Current Status of Research and Applications of Degradable Materials for Agricultural Soil Films[J]. China Plastics, 2020, 34(5):

- 87-96.
- [3] 马兆嵘, 刘有胜, 张芊芊, 等. 农用塑料薄膜使用现状与环境污染分析[J]. 生态毒理学报, 2020, 15(4): 21-32.
- MA Z R, LIU Y S, ZHANG Q Q, et al. The Usage and Environmental Pollution of Agricultural Plastic Film[J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2020, 15(4): 21-32.
- [4] SERRANO-RUIZ H, MARTIN-CLOSAS L, PELACHO A M. Biodegradable Plastic Mulches: Impact on the Agricultural Biotic Environment[J]. Sci Total Environ, 2021, 750: 141228.
- [5] 王向宇. 生物降解聚乳酸共混薄膜的结构和性能研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2022.
- WANG X Y. Study on Structure and Properties of Biodegradable Polylactic Acid Blend Films[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2022.
- [6] 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(4): 615-622.
- SU H Y, BAO Z, LIU Q, et al. Degradation of Biodegradable Mulch Film and Its Effect on the Yield of Processing Tomatoes in the Xinjiang Region[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2020(4): 615-622.
- [7] CHEN G, CAO L D, CAO C, et al. Effective and Sustained Control of Soil-Borne Plant Diseases by Biodegradable Polyhydroxybutyrate Mulch Films Embedded with Fungicide of Prothioconazole[J]. Molecules, 2021, 26(3): 762.
- [8] ZHAI X S, WANG W T, ZHANG H, et al. Effects of High Starch Content on the Physicochemical Properties of Starch/PBAT Nanocomposite Films Prepared by Extrusion Blowing[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 239: 116231.
- [9] 郝艳平, 罗通, 吕高金, 等. 木质素基可降解复合膜材料的研究进展[J]. 广东工业大学学报, 2022, 39(1): 21-33.
- HAO Y P, LUO T, LYU G J, et al. Research Progress of Lignin-Derived Biodegradable Composite Film Materials[J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2022, 39(1): 21-33.
- [10] XU Y M, LI Q, MAN L P. Bamboo-Derived Carboxymethyl Cellulose for Liquid Film as Renewable and Biodegradable Agriculture Mulching[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 192: 611-617.
- [11] BEALER E J, ONISSEMA-KARIMU S, RIVERA-GALLETTI A, et al. Protein-Polysaccharide Composite Materials: Fabrication and Applications[J]. Polymers (Basel), 2020, 12(2): 464.
- [12] 管彤晖, 付焯, 翁云宣. PBAT全生物降解地膜在土壤试验中的降解行为研究[J]. 中国塑料, 2022, 36(1): 67-72.
- GUAN T H, FU Y, WENG Y X. Degradation Behaviors of PBAT Biodegradable Mulch in Soil[J]. China Plastics, 2022, 36(1): 67-72.
- [13] 王斌, 万艳芳, 王金鑫, 等. 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[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(1): 148-156.
- WANG B, WAN Y F, WANG J X, et al. Effects of PBAT Full-Biodegradable Film on Yield and Soil Physicochemical Properties of Cotton and Corn in Southern Xinjiang[J]. Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 2019, 38(1): 148-156.
- [14] 李雯雯, 王岩, 王盛男, 等. 生物可降解地膜材料的研究综述[J]. 现代农业研究, 2023, 29(7): 115-118.
- LI W W, WANG Y, WANG S N, et al. Review of Biodegradable Mulching Film Materials[J]. Modern Agriculture Research, 2023, 29(7): 115-118.
- [15] 杨青山, 毛雯雯, 李大伟, 等. PLA/P34HB共混纤维的制备与性能[J]. 合成树脂及塑料, 2023, 40(2): 6-10.
- YANG Q S, MAO W W, LI D W, et al. Preparation and Properties of PLA/P34HB Blended Fiber[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2023, 40(2): 6-10.
- [16] LI J H, CHENG H D, LI Y, et al. Effect of Chain Extender on the Morphological, Rheological and Mechanical Properties of Biodegradable Blends from PBAT and P34HB[J]. Journal of Polymer Research, 2023, 30(10): 393.
- [17] 张贺, 陈芳萍, 刘昌胜. PBAT-g-MA对热塑性淀粉/聚己二酸-对苯二甲酸丁二酯共混合金性能的影响[J]. 塑料工业, 2016, 44(8): 14-17.
- ZHANG H, CHEN F P, LIU C S. Effect of PBAT-g-MA on Properties of Thermoplastic Starch/PBAT Blends[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(8): 14-17.
- [18] 刘振涛, 严伟, 王奎, 等. PBAT/磷石膏复合薄膜的制备与性能[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(1): 25-29.
- LIU Z T, YAN W, WANG K, et al. Preparation and

- Properties of PBAT/PG Composite Films[J]. *Engineering Plastics Application*, 2021, 49(1): 25-29.
- [19] LI Y, WANG X L, CHENG H D, et al. Effect of Carbon Black and Chain Extender on Thermal, Rheological and Mechanical Properties of Fully Biodegradable Poly(Butylene Adipate-Co-Terephthalate)/Poly(3-Hydroxybutyrate-Co-4-Hydroxybutyrate)Blends[J]. *Polymer International*, 2024, 2: 6117.
- [20] 马春业, 孟凡奇, 刘志坚, 等. 可降解膜覆盖对土壤温、湿度及甘薯生长发育的影响[J]. *天津农业科学*, 2023, 29(4): 13-17.
- MA C Y, MENG F Q, LIU Z J, et al. Effects of Degradable Film Mulching on Soil Temperature, Moisture and Growth of Sweet Potato[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2023, 29(4): 13-17.
- [21] 路海东, 薛吉全, 郭东伟, 等. 覆黑地膜对旱作玉米根区土壤温湿度和光合特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(5): 129-135.
- LU H D, XUE J Q, GUO D W, et al. Effects of Black Plastic Film Mulching on Soil Temperature and Humidity in Root Zone and Photosynthetic Characteristics of Rainfed Maize[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(5): 129-135.
- [22] 乔占凤. 生物可降解聚羟基脂肪酸酯 P34HB 的填充共混改性研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2015.
- QIAO Z F. Study on Filling and Blending Modification of Biodegradable Polyhydroxyl Fatty Acid Ester P34HB[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2015.
- [23] 夏冬, 李洁英, 王广龙, 等. 不同覆盖方式对土壤肥力和番茄产量及品质的影响[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(7): 1826-1832.
- XIA D, LI J Y, WANG G L, et al. Effects of Different Mulching Methods on Soil Fertility and the Yield and Quality of Tomato[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(7): 1826-1832.