

棉田残膜回收混合物“虫-菌”分离技术的 腐解菌剂和产物筛分方法优选*

李靖^{1,2**} 徐业山^{1,2**} 张广杰^{1,2} 张帅^{1,2}
徐安东^{1,2} 孟卓^{1,2} 蒋平安^{2***} 马德英^{1,2***}

(1. 新疆农业大学农学院, 农林有害生物监测与安防重点实验室, 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆农业大学, 教育部棉花工程中心, 乌鲁木齐 830052)

摘要 【目的】农田残膜是白色污染主要来源, 在棉田废弃混合物中, 残膜与棉杂结团缠绕, 如何将残膜与棉杂分离是困扰残膜回收企业的“卡脖子”问题。【方法】开展了5种腐解菌剂[绿陇(Lvlong, LL)、绿康(Lvkang, LK)、人元生物(Renyuanshengwu, RW)、农夫康(Nongfukang, NFK)和沃土(Voto, VT)]发酵棉田残膜回收混合物、白星花金龟 *Protaetia brevitarsis* 3龄幼虫转化分离发酵的棉田残膜回收混合物中的棉杂和4种方式(手工、震动、风选和震动+风选)筛分“虫-菌”分离后的残膜混合物的试验, 以优选腐解菌剂和筛分技术。【结果】添加腐解菌剂和40%的牛粪可以促进残膜混合物的发酵。“虫-菌”分离后的残膜混合物分层散开、粒度分明。RW、NFK和VT菌剂组在虫体增重量和取食量上表现较优, 范围分别为58.93-60.71和896.10-913.67 g; VT菌剂组在虫体转化率(66.03%)和虫砂转化率(96.27%)上最优; VT、RW和NFK菌剂组在有机物料利用率上较优, 范围为29.82%-30.64%, 5个菌剂组的残膜收获系数基本一致。综合比较, VT菌剂为棉田残膜回收混合物“虫-菌”分离的最优腐解菌剂。虫砂和残膜筛分纯净率以手工分离方式为最优, 震动+风选次之, 2种产物的筛分纯净率都在91%以上, 震动分离方式在筛分纯净率上表现最差, 但在筛分时长上, 震动分离方式耗时最短, 其次为风选分离方式, 人工分离时长是震动+风选分离方式的2.48倍, 综合考虑, 震动+风选为最佳的筛分方式。【结论】棉田残膜回收混合物“虫-菌”分离的优选菌剂为VT, 筛分技术为震动+风选, 可为棉田残膜资源化利用和棉花产业可持续发展提供支持。

关键词 白星花金龟; 残膜混合物; 腐解菌; 生物分离; 机械筛分

The optimization on the decomposition agent and product screening method of "insect-microorganism" separation technology of residue film recovery mixture from cotton field

LI Jing^{1,2**} XU Ye-Shan^{1,2**} ZHANG Guang-Jie^{1,2} ZHANG Shuai^{1,2} XU An-Dong^{1,2}
MENG Zhuo^{1,2} JIANG Ping-An^{2***} MA De-Ying^{1,2***}

(1. Key Laboratory of Agroforestry Pest Monitoring and Safety Control, College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Engineering Research Centre of Cotton, Ministry of Education, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract [Aim] To improve current methods of separating residual film, the main source of white pollution in farmland, from cotton debris. [Methods] Experiments were conducted to assess the effect of 5 different decomposition inoculants (Lvlong, LL; Lvkang, LK; Renyuanshengwu, RW; Nongfukang, NFK; Voto, VT) on residual film recovery from fermented cotton field waste that had been transformed and separated by the 3rd instar larvae of *Protaetia brevitarsis*. The residual film

*资助项目 Supported projects: 自治区重点研发计划项目(2022B02046); 国家级大学生创新创业训练计划项目(202110758002)

**第一作者 First author, E-mail: lg2333016@163.com; xuys21@126.com.

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: jiang863863@sina.com; mdyxnd@163.com

收稿日期 Received: 2023-04-20; 接受日期 Accepted: 2024-08-16

mixture was then screened in one of 4 different ways (manually, by vibration, wind separation or vibration plus wind separation) to determine the optimal decomposition inoculant and screening method. **[Results]** Adding decomposition inoculant and 40% cow manure promoted the fermentation of the residual film mixture. “Insect-microorganism” separation caused the residual film mixture to become stratified and granular, but the residual film harvest coefficients of each of the 5 treatments were basically the same. The RW, NFK and VT treatments resulted in the greatest larval weight gain and food intake, which were 58.93 to 60.71 g and 896.10 to 913.67 g, respectively. The VT treatment had the best larval conversion rate (66.03%) and larval dung-sand conversion rate (96.27%). The VT, RW and NFK treatments had the highest utilization rate of organic materials, ranging from 29.82% to 30.64%. Overall, the VT inoculant was the best. Manual screening achieved the highest screening purity rate, followed by vibration plus wind separation, with purity rates >91%. Vibration separation had the worst screening purity rate but also required the least screening time, followed by the wind separation method. The time required for manual separation was 2.48 times that required by the vibration plus wind separation method. Therefore, the vibration plus wind separation method was the best overall. **[Conclusion]** VT is the preferred decomposition inoculant for cotton residue film recovery, and a combination of vibration and wind separation is the best screening method.

Key words *Protaetia brevitarsis*; residual film mixture; decomposition inoculant; bioseparation; mechanical screening

新疆是我国重要的农业大区, 2018 年覆膜种植总面积约为 347.8 万 hm^2 , 年地膜投入量超过 20 万吨, 其中, 棉花覆膜种植面积占总面积的 70% 左右 (胡灿等, 2019)。新疆地区农业生产中广泛使用超薄地膜, 超薄地膜的使用提升了农业生产效率、降低了生产成本, 但由于超薄地膜与作物秸秆等杂质缠绕难分离, 加大了残膜回收难度, 使得残膜在土壤耕作层中超量累积, 造成影响作物生长、水分传递、农机作业等一系列问题 (姜益娟等, 2001; 孟俊婷等, 2014; 严昌荣等, 2014; 李伟等, 2017; 郭晓燕, 2020)。据统计, 新疆农田平均地膜残留量约为 $206.46 \text{ kg}/\text{hm}^2$ (国家限值标准 $\leq 75 \text{ kg}/\text{hm}^2$, GB/T 25413-2010), 其中, 石河子区域、阿克苏、博州、塔城、昌吉州、哈密、喀什等区域均属于污染严重区域, 残膜残留量均值大于 $275.63 \text{ kg}/\text{hm}^2$ (胡灿等, 2019)。新疆是我国最大的棉产业基地, 2021 年新疆棉花占全国棉花总产量 89.5% (国家统计局, 2021), 棉田残膜已成为全区白色污染的主要来源 (Liu *et al.*, 2014; 赵岩等, 2017)。新疆近些年也广泛开展了残膜回收工作, 在棉田残膜回收和利用中, 渣土、残茬及纤维混合物等杂质约占残膜回收物 80% (石鑫等, 2017)。尤其是棉纤维、棉秆等缠绕交织, 无法采用机械等常规手段进行分离。目前主要采用机械+人工分离, 成本高、粉尘大, 回收企业处于严重亏损状态, 并且影响劳动者的健康和污染环

境 (张佳喜等, 2013)。如何将残膜从残茬及纤维混合物中分离出来一直是困扰残膜回收加工再利用的“卡脖子”问题。

昆虫是陆地生态系统中最大的生物类群, 在自然界中已知的昆虫种类大约有 100 万种。昆虫食性多样, 其中约有 17.3% 的腐食性昆虫和微生物一起承担分解者的功能。家蝇 *Musca domestica*、黄粉虫 *Tenebrio molitor*、黑水虻 *Hermetia illucens* 和白星花金龟 *P. brevitarsis* 等多种昆虫在处理餐厨垃圾 (刘玉升等, 2013; Nguyen *et al.*, 2015; 封代华, 2016; 齐乃萍等, 2019)、畜禽粪便 (Nguyen *et al.*, 2013; 李逵等, 2017; 徐韬等, 2021)、作物秸秆 (刘玉升和张大鹏, 2015; 杨诚等, 2015; 张广杰, 2019; 杨柳等, 2020)、食用菌菌糠 (张倩, 2015; Seul-Bi *et al.*, 2018; 孙晨可, 2018; Wei *et al.*, 2020; Du *et al.*, 2022) 等有机废弃物中得到应用, 因其可用于治理有机废弃物污染、保护生态环境, 通常被称为环境保护昆虫, 简称环保昆虫 (曹成全等, 2022)。白星花金龟是鞘翅目 Coleoptera、金龟甲总科 Scarabaeoidea、花金龟科 Cetoniidae、星花金龟属 *Protaetia* 的昆虫, 广泛分布于中国、蒙古、俄罗斯、日本、韩国和朝鲜等国家 (马文珍, 1995; 嵇保中等, 2011)。白星花金龟的幼虫为腐食性, 食量大, 转化力强, 经腐解微生物预处理后, 可高效转化农作物秸秆 (Zhang *et al.*, 2022)、畜禽粪便 (徐韬等, 2021) 和食用菌菌糠 (孙晨

可, 2018; Wei *et al.*, 2020) 等农业有机废弃物, 并将物料高效转化为昆虫蛋白、脂肪以及富含腐殖酸的虫砂, 在种养业上具有较好的应用潜力(杨诚等, 2014; 刘福顺等, 2018; 赖德强等, 2019; Li *et al.*, 2019; 吴翔等, 2019; 杨柳等, 2019; 张广杰等, 2020; Nikkhah *et al.*, 2021; 史长旭等, 2021; 张连俊等, 2021)。腐解微生物可加速物料的分解和腐殖化, 并为腐食性节肢动物的取食、消化物料提供帮助(Manning *et al.*, 2016; Hardersen and Zapponi, 2018; 吴翔等, 2019; 张广杰等, 2019; Du *et al.*, 2022)。近年来, 虫(昆虫)菌(腐解微生物)复合技术转化有机物料已经成为热点技术, 并被成功应用于家蝇、黑水虻和白星花金龟等环保昆虫转化有机废弃物上(曹露, 2011; 杨森, 2013; Zhang *et al.*, 2022)。马德英教授团队立足新疆大农业区, 已经建立了虫菌复合技术高效转化牛粪、棉秆等有机废弃物的技术体系(徐韬, 2021; Zhang *et al.*, 2022), 并利用白星花金龟幼虫具有的以背行走、上下游走取食的特性, 证实了幼虫可以用于转化分离棉田残膜回收混合物, 但需要进一步优选腐解菌剂种类以提高体系转化力(马德英等, 2022; 徐业山等, 2022)。

棉田残膜回收混合物经虫菌复合技术消解、转化后, 如何实现残膜、虫体、虫砂和残渣实现高效低本、纯净减损的分离, 是产物资源化利用的关键。在包含有生物的混合物分选方面, 主要包括“人工-行为学”分选以及机械分选(常见的有筛分法、风选法等)两种技术类别, 国外有采用异硫氰酸烯丙酯(Allyl isothiocyanate, AITC)刺激分选蚯蚓的方法, 亦有通过设置不同网径的筛网对基料进行分级筛分, 实现蚯蚓的分离(Kiss, 1979; Zaborski, 2003)。白星花金龟幼虫具有负趋光性, 个体大且移动性强, 虫砂小且颗粒性好, 二者易于通过筛分实现高效分离。借助这些特性, 可预先将虫砂筛出, 并将带有虫体的残膜混合物平铺于虫砂上, 上方加以光源或自然光, 虫体将会在几分钟内自行钻入虫砂。如何将表层残膜混合物中的残膜纯净高效的分离出来是探索的关键。国内在膜杂分离上已取得一定的成效, 但主要用于农田残膜回收过程和

初清理的除杂(石鑫等, 2017; 张海芸等, 2017; 康建明等, 2018; 李俊虹等, 2018, 2019; 张亚萍等, 2018; 蒋德莉等, 2020), 未有关于“虫-菌”生物转化技术应用于棉田残膜混合物的筛分报道。因此, 本文开展了棉田残膜回收混合物“虫-菌”分离的菌剂和筛分技术优选研究, 以期筛选出适宜的腐解菌剂和残膜混合物高效分离技术, 为探索形成“白星花金龟+微生物”分离棉田残膜混合物的技术模式打下良好的基础, 为资源化利用新疆地区棉田残膜回收混合物提供解决方案, 为新疆的残膜污染治理和棉花产业发展助力。

1 材料与方法

1.1 试验地点

新疆农业大学驻玛纳斯环境昆虫转化有机废弃物产业化研究基地(44°13'49"N, 86°23'3"E)。

1.2 试验材料

棉田残膜回收混合物取自玛纳斯县北五岔镇沁园塑业; 牛粪取自基地周边农牧民, 5种腐解菌剂(表1)来自网购; 3龄期约15日龄白星花金龟幼虫为基地自繁自育。5层货架(规格1 m×0.4 m×1.8 m)、塑料盆(38 cm×50 cm×14 cm)及幼虫和虫砂分离筛(38 cm×50 cm×13.5 cm, 侧孔径0.8 cm×0.8 cm, 底孔径1.0 cm×0.8 cm)购于乌鲁木齐市华凌市场。

1.3 试验机械和仪器

风选分离机为5Y-500型粮食清理机, 产自湖南省通赢机械有限责任公司, 配套功率0.75 kW, 转速370-450 r/min; 震动分离筛为双层震动筛(上层筛网为6目, 下层筛网为16目), 产自任县东皓发机械制造有限公司, 功率1.7-3.0 kW, 工作电压380 V。电子天平, 型号LT3002, 生产厂家为常熟市天量仪器有限责任公司; 电热鼓风干燥箱, 生产厂家为北京市永光明医疗仪器有限公司; 温度计型号为TP101, 温度范围为(-50±300)℃, 商家为东台市时堰镇浩之睿仪器仪表

经营部。

1.4 棉田残膜回收混合物“虫-菌”分离的菌剂优选

棉田残膜回收混合物和牛粪晒干粉碎备用，本试验设 5 个腐解菌剂和 1 个清水处理做为对

照。每组堆体原料总量为 200 kg，牛粪配比为 40%。腐解菌剂按照使用说明建议的量添加，调节物料含水量为 60%±5%，堆体堆成馒头状，每天记录堆体温度，每 5 d 翻堆一次，在第 30 天采用 5 点取样法，取堆体表面下方 20-30 cm 处的 60 kg 左右的物料作为样品，共计 6 份样品物料。

表 1 腐解菌剂简介及使用说明

Table 1 Introduction and instructions for decomposition inoculants

腐解菌剂 Decomposition inoculants	品牌及生产公司 Brand and production company	主要功能菌 Main functional bacteria	有效活菌数 (100 million/g) Effective number of viable bacteria (100 million/g)	推荐用量 (kg/t) Recommen ded dosage (kg/t)
LL	有机肥发酵剂，山东绿陇生物科技有 限公司（诸城）Organic fertilizer decomposing inoculant, Shandong Lvlong Biotechnology Co., Ltd. (Zhucheng)	枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、 酵母菌、绿色木霉菌 <i>Bacillus</i> <i>subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> , yeast, <i>Trichoderma viride</i>	200	10
LK	有机物料腐熟剂，秸秆型，中农绿康 生物技术有限公司（北京）Organic material decomposing inoculant, straw type, Zhongnonglvkang Biotechnology Co., Ltd. (Beijing)	芽孢杆菌、木霉菌和酵母菌 <i>Bacillus</i> , <i>Trichoderma</i> and yeast	8	0.5
RW	RW 促腐剂，秸秆型，鹤壁市人元生 物公司（鹤壁）RW decomposing inoculant, straw type, Hebi Renyuan Biological Co., Ltd. (Hebi)	细菌（枯草芽孢杆菌、地衣芽 孢杆菌和胶冻芽孢杆菌）、丝 状菌和酵母菌 <i>Bacteria</i> (<i>Bacillus</i> <i>subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> and <i>Bacillus jelly</i>), filamentous fungi and yeast	100	10
NFK*	有机物料腐熟剂，河南农富康生物科 技有限公司（郑州）Organic material decomposing inoculant, Henan Nongfukang Biotechnology Co., Ltd. (Zhengzhou)	地衣芽孢杆菌为主，产朊假丝 酵母菌，枯草芽孢杆菌、乳酸 菌和类肠球菌 Mainly <i>Bacillus</i> <i>licheniformis</i> , <i>Candida utilis</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Enterococcus</i> -like bacteria	0.1	30
VT	VT-1000，秸秆型，北京沃土天地生 物科技有限公司（北京）VT-1000, Straw type, Beijing Voto Biotechnology Co., Ltd. (Beijing)	芽孢杆菌、放线菌、乳酸菌和 霉菌 <i>Bacillus</i> , <i>Actinomycetes</i> , lactic acid bacteria and molds	200	1

: 需提前活化。: Need to be activated in advance.

预先测定 6 份样品的物料含水量，每个养殖盆取折干重约为 3.6 kg 的湿发酵物料，接入 300 g 3 龄 15 日龄的白星花金龟幼虫，开展 10 d 的饲喂试验，每个处理重复 3 次。第 11 天，用塑料筛筛分出虫砂混合物，将残膜、棉秆和虫体混合

物平铺在虫砂混合物上，让幼虫自行钻入下方，之后将残膜和棉秆的混合物取出，再将幼虫用塑料筛从混合物中筛出。测定虫体数和虫重。将两类混合物烘干之后，测定残膜和棉秆重量、虫砂量和渣土量，计算虫增重和取食量，参照刘玉升

(2012) 在《昆虫生产学》中的方法计算虫体转化率和虫砂转化率, 计算有机物料量、各处理中残膜混合物重量以及有机物料利用率和残膜收获系数, 重量均以干重计算。通过综合比较优选出适宜的腐解菌剂。主要计算公式如下(重量单位: g):

$$\text{虫增重} = \text{取食后虫重} - \text{初始虫重} \quad (1)$$

$$\text{取食量} = \text{取食前总干重} - \text{残膜重} - \text{棉秆重} - \text{残渣重}$$

(残渣重指除残膜之外无法被白星花金龟幼虫取食的物料) (2)

$$\text{虫体转化率} = \frac{\text{虫增重}}{(\text{取食量} - \text{虫砂重})} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{虫砂转化率} = \frac{\text{虫砂重}}{(\text{取食量} - \text{虫增重})} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{有机物料量} = \text{初始总干重} - \text{残膜重} \quad (5)$$

(有机物料指总物料中除去残膜之外的秸秆、牛粪等物料)

$$\text{有机物料利用率} = \frac{\text{取食量}}{\text{有机物料量}} \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{残膜混合物重} = \text{初始总干重} \times (1 - \text{牛粪配比}) \quad (7)$$

$$\text{残膜收获系数} = \frac{\text{收获残膜重}}{\text{残膜混合物重}} \quad (8)$$

1.5 棉田残膜回收混合物“虫-菌”分离的菌剂优选

取试验 1.4 节优选的腐解菌剂对应的发酵物料, 按照虫料比(鲜重)和物料厚度分别为 1:20 和 10 cm 进行转化试验, 15 d 之后, 采用人工(对照)、震动, 风选, 震动+风选 4 种分离方式对分出虫体、自然晾晒干的残膜混合物进行分离。通过筛分效率及筛净率选出残膜混合物分离的最佳方案。主要计算公式如下:

$$\text{虫砂筛分纯净率} = \frac{\text{纯净虫砂}}{\text{初筛虫砂重}} \times 100\% \quad (9)$$

$$\text{残膜筛分纯净率} = \frac{\text{纯净残膜}}{\text{初筛残膜重}} \times 100\% \quad (10)$$

人工筛分的残膜/虫砂以挑除大小 1 mm 以上的残渣为标准, 纯净残膜/虫砂以人工进行挑选出所有可见残渣为标准。

1.6 数据分析

IBM SPSS Statistics 23 用于试验数据的统计分析, 以获得平均值和标准误差。单因素方差分析用于不同的处理。不同处理之间的差异采用 Tukey 多重比较分析 ($P < 0.05$)。Excel 2013 用于

记录、整理数据, 用 Sigma Plot 14 作图。

2 结果与分析

2.1 腐解菌剂对物料温度变化的影响

由图 1 可知, 各处理之间物料堆体中心温度均是先急剧升高, 在 1 d 后达到 50 °C 以上, 最高温度超过 60 °C, 然后随着每次翻堆呈波动性变化。除清水对照外, 在前 17 d 5 个腐解菌剂处理的温度都在 50 °C 以上, 17 d 后, 堆体温度逐渐下降, 说明物料发酵进入后期。至 30 d 发酵结束, 6 个处理的堆体温度仍在 30 °C 以上, 高于同天平均气温。在堆体温度整体变化趋势中, 添加腐解菌剂的各堆体温度均比对照组温度高, 其温度越高, 表明微生物发酵旺盛, 初步表明添加腐解菌剂对残膜和牛粪混合物发酵有较好的促进作用, 使筛选适宜菌剂成为可能。

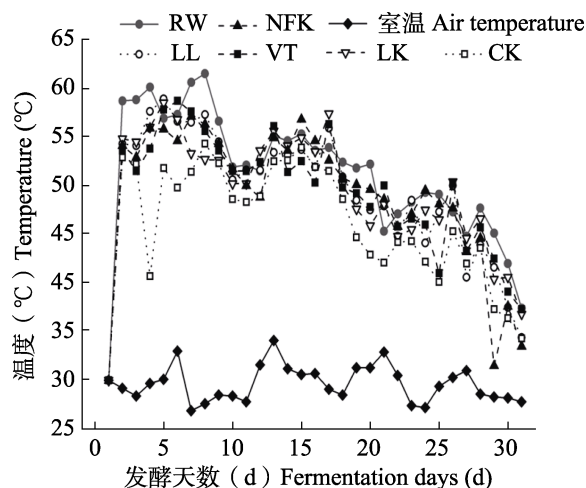


图 1 各处理温度变化折线图

Fig. 1 Line chart of temperature change of each treatment

图例中大写字母为各腐解菌剂缩写, RW: 人元生物, LL: 绿陇, LK: 绿康, NFK: 农富康, VT: 沃土。表 2 同。

The capital letters in the legend are the abbreviations of each decomposition inoculants agent, RW: Renyuanshengwu, LL: Lvlong, LK: Lvjang, NFK: Nongfukang, VT: Voto. The same for Table 2.

2.2 白星花金龟转化、分离残膜混合物物料形态变化

图 2 (A-C) 分别是试验刚开始(初始状态)、

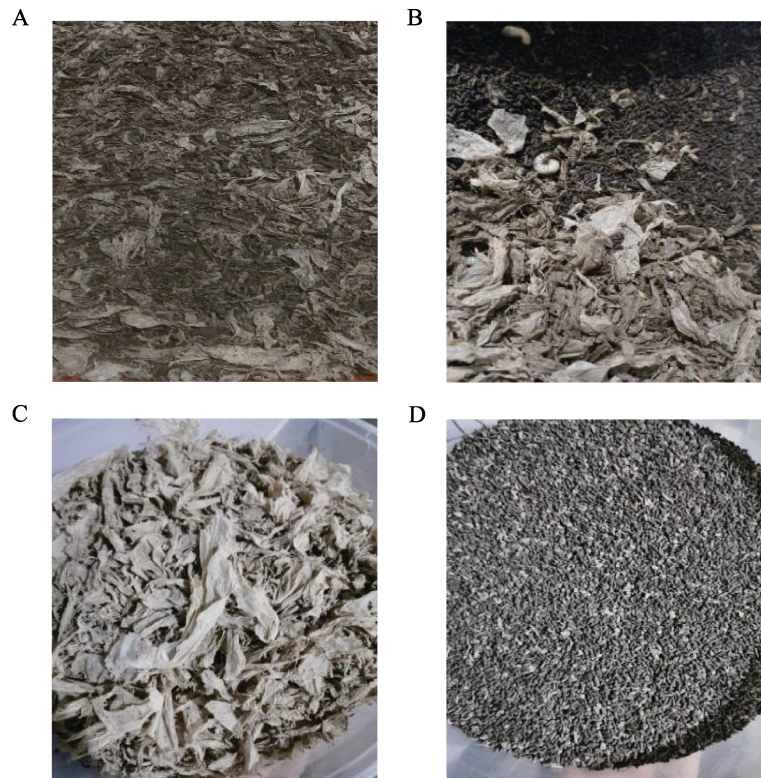


图 2 残膜混合物物料形态变化图

Fig. 2 Morphological change diagram of residual film mixture

A. 残膜混合物初始状态; B. 取食 10 d 后混合物状态; C. 分离后的残膜状态; D. 分离后的虫砂状态。

A. Initial state of residual film mixture; B. The mixture state after 10 d; C. State of residual film after separation; D. State of insect dung sand after separation.

取食第 10 天后以及分离之后的物料状态, 物料初始状态混合均匀, 各组分之间暂时无明显区分; 第 10 天, 取食试验结束, 残膜平展性和纯净度更高, 上层残膜和下层虫砂分层明显; 从物料整体状态上就可以明显看出“虫-菌”复合技术对于分离棉田残膜回收混合物的直观效果。分离之后残膜和虫砂(图 2: D)都比较纯净, 剩余棉秆等杂质的含量较少, 虫砂和残膜可直接利用。白星花金龟幼虫对不同腐解菌剂发酵产物的转化、分离在物料形态等物理性状指标无明显差异, 整体表现都较好。

2.3 不同腐解菌剂对白星花金龟转化、分离残膜混合物的影响

由表 2 可知, 白星花金龟 3 龄幼虫对添加不同腐解菌剂的棉田残膜回收混合物的转化分离效果差异较大。增重量和取食量以 RW (人元生

物, Renyuanshengwu)、NFK (绿陇, Lvlong) 和 VT (沃土, Voto) 菌剂组最优, 显著高于对照 ($P < 0.05$), 增重量最优范围为 58.93-60.71 g, 取食量最优范围为 896.10-913.67 g。虫体转化率和虫砂转化率以 VT 菌剂组最优, 且与其他 5 个处理组达到显著差异水平 ($P < 0.05$), 虫体转化率最优值为 66.03%, 虫砂转化率最优值为 96.27%。有机物料利用率以 VT、RW 和 NFK 菌剂组最优, 且显著高于其他 3 个处理组 ($P < 0.05$), 有机物料利用率最优范围为 29.82%-30.64%。残膜收获系数 5 个菌剂组基本一致。综合来看, VT 菌剂组有最佳增重量、虫体转化率、虫砂转化率、残膜收获系数和有机物利用率, 取食量与最优值接近, 未达到显著差异水平 ($P > 0.05$)。因此可最终确定利于棉田残膜回收混合物分离的最优腐解菌剂为 VT 菌剂。

表 2 菌剂对白星花金龟 3 龄幼虫转化力的影响

Table 2 Effect of decomposition inoculants on the transformation ability of the 3rd instar larvae of *Protaetia brevitarsis*

腐解菌剂 Decomposition inoculants	增重量 (g) Larvae weight gain (g)	取食量 (g) Food intake (g)	虫体转化率 (%) Larvae conversion rate (%)	虫砂转化率 (%) Dung-sand conversion rate (%)	残膜收获系数 Residual film harvest coefficients	有机物利用率 (%) Organic materials utilization rate (%)
RW	58.93±1.53 a	913.67±10.80 a	52.74±3.39 b	93.80±0.74 bc	36.65±0.45 a	30.38±0.42 a
LL	53.53±3.44 ab	834.54±24.44 b	42.56±3.10 c	90.75±0.45 d	36.58±0.18 a	26.86±0.67 b
LK	48.03±5.15 bc	841.02±22.70 b	43.10±1.03 c	92.01±0.63 cd	36.53±0.28 a	27.42±0.56 b
NFK	59.97±3.93 a	896.10±26.75 a	54.86±4.82 b	93.96±1.62 b	36.47±0.43 a	29.82±1.10 a
VT	60.71±3.46 a	897.03±10.18 a	66.03±1.81 a	96.27±0.10 a	36.77±0.29 a	30.64±0.28 a
CK (清水 Water)	43.97±6.81 c	835.21±5.54 b	36.92±4.53 c	90.45±1.55 d	36.63±0.28 a	26.80±0.36 b

同列不同小写字母表示不同腐解菌剂下各参数上存在显著差异 ($P<0.05$, Tukey 多重比较分析)。
Different lowercase letters in the same column indicate that there are significant difference in the parameters under different decomposition inoculants ($P<0.05$, Tukey multiple comparison analysis).

2.4 虫菌复合技术分离残膜后筛分技术探究

取优选的 VT 菌剂组对应的发酵物料,按照虫料比(鲜重)和物料厚度分别为 1 : 20 和 10 cm 进行转化试验。由图 3 可得,虫砂和残膜筛分纯净率 2 个指标在 4 种分离方式上近乎一致,虫砂筛分纯净率略高于残膜,均以手工分离方式为最优,震动+风选次之,虽与手工分离方式达到显著差异水平 ($P<0.05$),但 2 种产物的筛分纯净率都在 91%以上,风选分离方式和震动分离方式

的虫砂和残膜筛分纯净率低于 86%,且显著低于其他 2 种方式 ($P<0.05$),震动分离方式在筛分纯净率上表现最差。而在筛分时长上,震动分离方式耗时最短,其次为风选分离方式,震动+风选分离方式同时使用 2 种机器进行分离,时间相对于单独震动分离和风选分离的 2 种分离方式较长,但远低于人工分离时长,人工分离时长是震动+风选分离方式的 2.48 倍。综合虫砂和残膜 2 种产物的筛分纯净率和筛分时长考虑,最佳的筛分方式为震动+风选的分选方式。

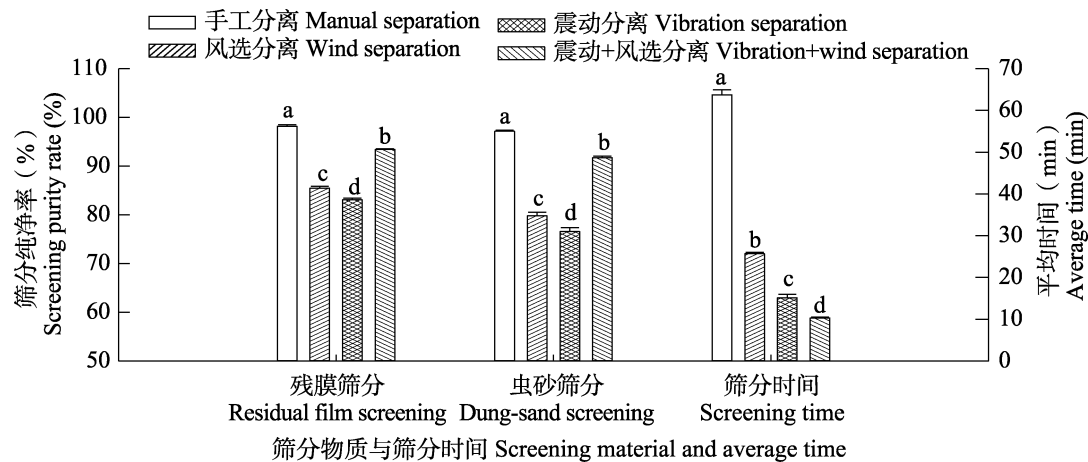


图 3 不同筛分方式对残膜、虫砂筛分效率的影响

Fig. 3 Effects of different screening methods on screening efficiency of residual film and dung-sand

柱上标有不同小写字母表示不同分离方式在残膜、虫砂的筛分纯净率和筛分时间上存在显著差异 ($P<0.05$, Tukey 多重比较分析)。
Different lowercase letters marked above bars indicate that there are significant differences in the screening rate, screening time of residual film and insect dung sand by different separation methods ($P<0.05$, Tukey multiple comparison analysis).

3 结论与讨论

腐解微生物对于有机物料的发酵非常重要, 研究表明, VT 菌剂在棉田残膜回收混合物“虫-菌”分离技术体系中表现最佳, 说明 VT 菌剂在腐解棉田废弃混合物棉杂中具有优势, 这与 Zhang 等 (2022) 研究一致。值得注意的是, 经过“虫-菌”分离后的残膜混合物中仍有一定比例的块状棉秆, 可通过改进粉碎机械或试制对辊撕碎机械, 使初始发酵物料中棉秆的粒度更小, 提高表面积与体积的比值, 以利于发酵, 进一步提高转化和分离效果 (Gossner *et al.*, 2013), 也可以通过饲喂前再次粉碎降低颗粒度, 以便更适合白星花金龟取食。本试验中, 相比单纯转化发酵的有机物料 (例如, 作物秸秆、畜禽粪便等) 而言, 虫砂转化率相对较高, 应是棉田残膜回收混合物中含渣土过多 (剩余的渣土量能说明这一点), 虫体取食的发酵有机物料含有一定比例的渣土, 物料整体营养不足, 虫体取食量大, 虫砂量也大 (张广杰等, 2019; 徐韬等, 2021)。

棉田残膜回收混合物经“虫-菌”分离后, 混合物中的各组物理状态分层散开、粒度分明, 为利用机械分离奠定了基础。本试验中采用常用的人工 (对照)、震动, 风选, 震动+风选 4 种分离方式开展残膜混合物的分离工作, 结果表明, 人工分离最彻底、纯净率最高, 但是仍有部分残渣无法分离, 且耗时较长; 风选分离时, 有小部分虫砂会随残膜一起分离, 且会有部分秸秆随着虫砂分离, 同时有部分凝结成块的残膜随虫砂一起分离, 无法被风选; 震动分离时, 分离后虫砂中含有较多的粉末状残渣和体积与虫砂相仿的秸秆, 分离后残膜中有凝结成块的残膜无法被分离出去。震动+风选方式分离中, 先通过震动方式筛选出虫砂和残膜, 再分别将虫砂和残膜通过风选方式进行分离, 最后得到相对比较纯净的虫砂和残膜, 虫砂和残膜筛分纯净率在 91% 以上, 在筛分效率上 (效率与时间成反比), 是人工的 2.48 倍。目前的分离方式为震动和风选机械分步进行, 耗时较长, 下一步可组装或研发震动和风选一体化机械, 同步实现筛分和风选工

作, 进一步提高筛分效率, 在黄粉虫养殖中, 虫体、虫蜕混合物和虫砂两两分离种已经实现, 可为本研究改进筛分机械提供借鉴 (陈光付和雷光义, 2013)。

研究表明, 利用“虫-菌”生物动力和震动+风选机械动力相结合用于转化、分离棉田残膜回收混合物具有技术可行性。以“虫-菌”转化分离为特色的棉田残膜回收混合物的资源化利用方式, 不仅可以实现棉田残膜回收混合物中混杂的膜秆土的有效分离, 而且可辅助利用牛粪得到虫体、虫砂和纯净的残膜等产物。“虫-菌”和机械组合的分离方式可拓展应用于其他覆膜作物的残膜回收混合物分离方面。本研究优选了棉田残膜回收混合物“虫-菌”分离的适宜菌剂和筛分技术, 可助推棉田残膜回收混合物的资源化利用, 为残膜污染治理和棉花产业可持续绿色发展提供支持。

参考文献 (References)

- Cao CQ, Zhang GJ, Qin MX, 2022. Insect Creative Industry Contributes to Rural Revitalization. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press. 108–109. [曹成全, 张广杰, 秦明轩, 2022. 昆虫创意产业助力乡村振兴. 成都: 西南交通大学出版. 108–109.]
- Cao L, 2011. Study on livestock and poultry manure conversion using black soldier fly and microbe. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [曹露, 2011. 利用亮斑扁角水虻和微生物联合转化处理畜禽粪便的研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Chen GF, Lei GY, 2013. Xingmiao brand 112-B meal worm multifunctional separator. *Rural Jack Magazine*, 2013(24): 60. [陈光付, 雷光义, 2013. 兴苗牌 112-B 型黄粉虫多功能分离机. 农村百事通, 2013(24): 60.]
- Du BH, Xuan HN, Geng LL, Li WH, Zhang J, Xiang WS, Liu RM, Shu CL, 2022. Microflora for improving the *Auricularia auricula* spent mushroom substrate for *Protaetia brevitarsis* production. *iScience*, 25(11): 105307.
- Feng DH, 2016. The exploration and industrialization of the biological conversion process of food wastes by applying housefly larvae. Doctor dissertation. Hangzhou: Zhejiang University. [封代华, 2016. 利用家蝇幼虫生物转化餐厨垃圾的研究及产业化探索. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学.]
- Gossner MM, Lachat T, Brunet J, Isacsson G, Bouget C, Brustel H,

- Brandl R, Weisser WW, Müller J, 2013. Current near-to-nature forest management effects on functional trait composition of saproxylic beetles in beech forests. *Conservation Biology*, 27(3): 605–614.
- Guo XY, 2020. Pollution hazards of residual film in Xinjiang cotton fields and mechanized recovery. *Agricultural Engineering Technology*, 40(20): 46. [郭晓燕, 2020. 新疆棉田残膜污染危害及机械化回收. 农业工程技术, 40(20): 46.]
- Hardersen S, Zapponi L, 2018. Wood degradation and the role of saproxylic insects for lignoforms. *Applied Soil Ecology*, 123: 334–338.
- Hu C, Wang XF, Chen XG, Tang XY, Zhao Y, Yan CR, 2019. Current situation and control strategies of residual film pollution in Xinjiang. *Society of Agricultural Engineering*, 35(24): 223–234. [胡灿, 王旭峰, 陈学庚, 汤修映, 赵岩, 严昌荣, 2019. 新疆农田残膜污染现状及防控策略. 农业工程学报, 35(24): 223–234.]
- Jiang DL, Chen XG, Yan LM, Zhang RY, Wang ZY, Wang ME, 2020. Research on technology and equipment for utilization of residual film in farmland. *Chinese Journal of Agricultural Machinery Chemistry*, 41(1): 179–190. [蒋德莉, 陈学庚, 颜利民, 张若宇, 王昭宇, 王明恩, 2020. 农田残膜资源化利用技术与装备研究. 中国农机化学报, 41(1): 179–190.]
- Jiang YJ, Zheng DM, Zhu CY, 2001. Effects of remnant plastic film in soil on growth and yield of cotton. *Journal of Agro-Environment Science*, 20(3): 177–179. [姜益娟, 郑德明, 朱朝阳, 2001. 残膜对棉花生长发育及产量的影响. 农业环境科学学报, 20(3): 177–179.]
- Ji BZ, Liu SW, Zhang K, 2011. Entomological Basis and Common Species Identification. Beijing: Science Press. 251–252. [嵇保中, 刘曙雯, 张凯, 2011. 昆虫学基础与常见种类识别. 北京: 科学出版社. 251–252.]
- Kang JM, Peng QJ, Jiao W, Xu GW, Yue H, 2018. Farmland residual film cleaning device. Chinese patent: Disclosure of invention, 201810133968.X. 2018-02-09. [康健明, 彭强吉, 焦伟, 徐高伟, 岳会, 荐世春, 2018. 农田残膜清杂装置. 中国专利: 发明公开, 201810133968.X. 2018-02-09.]
- Kiss HM, 1979. Worm harvesting apparatus and method. USA: US4147256A.
- Lai DQ, Wang QL, Wu Y, Su CL, Zhang Y, Liu CQ, 2019. Effect of *Protaetia brevitarsis* Lewis larvae dung on development of pepper seedling stage under low temperature. *Northern Horticulture*, 2019(8): 63–66. [赖德强, 王庆雷, 吴娱, 束长龙, 张悦, 刘春琴, 2019. 白星花金龟幼虫粪对低温条件下辣椒苗期发育的影响. 北方园艺, 2019(8): 63–66.]
- Li JH, Luo X, Hu B, 2018. A lifter type membrane impurity separation device. China, Utility model: CN207156223U. 2018-03-30. [李俊虹, 罗昕, 胡斌, 2018. 一种提升器式膜杂分离装置. 中国, 实用新型: CN207156223U. 2018-03-30.]
- Li JH, Luo X, Hu B, Wang M, Yao QQ, 2019. Research and experiment of the water-separating device for residual film mixture. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 41(5): 152–156. [李俊虹, 罗昕, 胡斌, 王蒙, 姚强强, 2019. 机收残膜混合物水洗清选装置的研究与试验. 农机化研究, 41(5): 152–156.]
- Li K, Yang QZ, Lei CL, Zhu F, 2017. Status and prospects of the transformation of organic wastes by insects in China. *Journal of Environmental Entomology*, 39(2): 453–459. [李逵, 杨启志, 雷朝亮, 朱芬, 2017. 我国利用昆虫转化有机废弃物的发展现状 & 前景. 环境昆虫学报, 39(2): 453–459.]
- Li W, Zhuo DL, Liu YJ, Gong JX, Zhang AM, 2017. Discussion on remnant film pollution and mechanized residual film recovery technology in cotton fields. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 38(1): 136–140, 145. [李伟, 嵇冬玲, 刘玉京, 宫建勋, 张爱民, 2017. 棉田残膜污染及机械化回收技术探讨. 中国农机化学报, 38(1): 136–140, 145.]
- Li YM, Fu T, Geng LL, Shi Y, Chu HY, Liu FS, Liu CQ, Song FP, Zhang J, Shu CL, 2019. *Protaetia brevitarsis* larvae can efficiently convert herbaceous and ligneous plant residues to humic acids. *Waste Management*, 83(1): 79–82.
- Liu EK, He WQ, Yan CR, 2014. ‘White revolution’ to ‘white pollution’-Agricultural plastic film mulch in China. *Environmental Research Letters*, 9(9): 091001.
- Liu FS, Feng XJ, Xi GC, Wu Y, Wang QL, 2018. The effects of *Protaetia brevitarsis* larva manure application on the growth of cherry radish. *Hubei Agricultural Sciences*, 57(4): 44–46, 50. [刘福顺, 冯晓洁, 席国成, 吴娱, 王庆雷, 2018. 白星花金龟幼虫粪对樱桃萝卜生长情况的影响. 湖北农业科学, 57(4): 44–46, 50.]
- Liu YS, 2012. Insect Production Science. Beijing: Higher Education Press. 178–180. [刘玉升, 2012. 昆虫生产学. 北京: 高等教育出版社. 178–180.]
- Liu YS, Luo HY, Ye BH, 2013. The treatment and utilization approach of kitchen waste by environmental insects. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 6(4): 35–37. [刘玉升, 骆洪义, 叶保华, 2013. 餐厨废弃物的环境昆虫处理途径及资源化利用探讨. 再生资源与循环经济, 6(4): 35–37.]
- Liu YS, Zhang DP, 2015. Study on the model of microcirculation farm and ranch on the corn straw transformed by larval of *Protaetia brevitarsis* Lewis. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 43(31): 85–87. [刘玉升, 张大鹏, 2015. 基于白星花金龟幼虫转化玉米秸秆的微循环农牧场模式研究. 安徽农业

- 科学, 43(31): 85–87.]
- Ma DY, Zhang GJ, Xu YS, Wang Y, Qiang S, 2022. A method for separating the residual film recovery mixture from cotton field by insect and fungus composite technology. China invention patents: ZL202110380179.8. [马德英, 张广杰, 徐业山, 王谊, 羌松, 2022. 一种虫菌复合技术分离棉田残膜回收混合物的方法. 中国发明专利: ZL202110380179.8.]
- Manning P, Slade EM, Beynon SA, Lewis OT, 2016. Functionally rich dung beetle assemblages are required to provide multiple ecosystem services. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 218: 87–94.
- Ma WZ, 1995. Chinese Economic Entomology (Coleoptera, Cetoniidae) (Vol. 46). Beijing: China Science and Technology Press. 94–95. [马文珍, 1995. 中国经济昆虫志(鞘翅目, 花金龟科)(第四十六册). 北京: 中国科技出版社. 94–95.]
- Meng JT, Wei SJ, Tang SR, Chu P, Hou AL, Zhang WF, 2014. Review of the hazard and risk on plastic film to cotton field and cotton products. *Cotton Sciences*, 36(4): 3. [孟俊婷, 魏守军, 唐淑荣, 褚平, 侯爱玲, 张王番, 2014. 浅析残膜对棉田及棉花产品的危害与风险. 棉花科学, 36(4): 3.]
- National Bureau of Statistics of China, 2021. National Bureau of Statistics Interprets Cotton Production in 2021. [2021-12-14]. http://www.gov.cn/shuju/2021-12/14/content_5660706.htm. [国家统计局, 2021. 国家统计局解读 2021 年棉花生产情况. [2021-12-14] http://www.gov.cn/shuju/2021-12/14/content_5660706.htm.]
- Nguyen TTX, Tomberlin JK, Vanlaerhoven S, 2015. Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Environmental Entomology*, 44(2): 406–410.
- Nguyen TT, Tomberlin JK, Vanlaerhoven S, 2013. Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development. *Journal of Medical Entomology*, 50(4): 898–906.
- Nikkhah A, Van Haute S, Jovanovic V, Jung H, Dewulf J, Cirkovic Velickovic T, Ghnimi S, 2021. Life cycle assessment of edible insects (*Protaetia brevitarsis* Seulensis larvae) as a future protein and fat source. *Science Reporters*, 11(1): 14030.
- Qi NP, Qin ML, Li ZA, Liu YS, 2019. Study on the conversion effect of *Tenebrio molitor* L. feeding on three meats. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 50(6): 950–953. [齐乃萍, 秦铭璐, 李增安, 刘玉升, 2019. 黄粉虫对三种肉类的转化效果研究. 山东农业大学学报(自然科学版), 50(6): 950–953.]
- Seul-Bi L, Jong-Won K, Sung-Mun B, Yeon-Hyeon H, Heung-Su L, Byeong-Jeong L, Kwang-Pyo H, Chung-Gyoo P, 2018. Evaluation of spent mushroom substrates as food for white spotted flower chafer, *Protaetia brevitarsis seulensis* (Coleoptera: Cetoniidae). *Korean Journal of Applied Entomology*, 57: 97–104.
- Shi CX, Zhang GJ, Xu YS, Lu SS, Yimi RM·Ai SJ, Ma DY, 2021. Effects of *Protaetia brevitarsis* Lewis larvae dung-sand mixture matrix on cucumber and pepper seedling. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 44(6): 443–447. [史长旭, 张广杰, 徐业山, 鲁姗姗, 伊米热木·艾山江, 马德英, 2021. 白星花金龟虫粪砂混配基质对黄瓜和辣椒育苗效果的影响. 新疆农业大学学报, 44(6): 443–447.]
- Shi X, Niu CH, Wang XN, Zhang HC, Yang HM, 2017. Design of roller sieve waste plastic film and trash winnowing machine. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 33(18): 19–26. [石鑫, 牛长河, 王学农, 张海春, 杨会民, 2017. 滚筒筛式废旧地膜与杂质风选装置设计. 农业工程学报, 33(18): 19–26.]
- Sun CK, 2018. Study on the recycle mode of “wheat straw-*Pleurotus ostreatus*-scarab”. Master dissertation. Tai'an: Shandong Agricultural University. [孙晨可, 2018. “小麦秸秆-大球盖菇-白星花金龟”循环模式研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Wei PP, Li YM, Lai DQ, Geng LL, Liu CQ, Zhang J, Shu CL, Liu RM, 2020. *Protaetia brevitarsis* larvae can feed on and convert spent mushroom substrate from *Auricularia auricula* and *Lentinula edodes* cultivation. *Waste Management*, 114: 234 – 239.
- Wu X, Hu CY, Cai RJ, Xu XY, Wang JL, Wang XB, 2019. Influence of frass organic manure on tomato growth and quality. *Northern Horticulture*, 2019(3): 60–64. [吴翔, 胡从勇, 蔡瑞婕, 徐晓燕, 王金龙, 王小波, 2019. 虫粪有机肥对番茄生长及品质的影响. 北方园艺, 2019(3): 60–64.]
- Xu T, Zhang GJ, Yang L, Qiang S, Ma DY, Liu YS, 2021. Technology for breeding *Protaetia brevitarsis* Lewis indoors and outdoors. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(4): 1000–1006. [徐韬, 张广杰, 杨柳, 羌松, 马德英, 刘玉升, 2021. 白星花金龟室内外繁育技术研究. 应用昆虫学报, 58(4): 1000–1006.]
- Xu YS, Zhang GJ, Wang Y, Meng Z, Tan B, Liu S, Ma DY, Liu YS, 2023. Study on the separation of recycled plastic film residual mixtures from cotton field by the composite technology of insect combined with the decomposing fungus. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(5): 1580–1591. [徐业山, 张广杰, 王谊, 孟卓, 谭冰, 刘升, 马德英, 刘玉升, 2023. 虫菌复合技术分离棉田残膜回收混合物研究. 应用昆虫学报, 60(5): 1580–1591.]
- Yan CR, Liu EK, Shu F, Liu Q, Liu S, He WQ, 2014. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and

- prevention measures in China. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 31(2): 95–102. [严昌荣, 刘恩科, 舒帆, 刘勤, 刘爽, 何文清, 2014. 我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术. 农业资源与环境学报, 31(2): 95–102.]
- Yang C, Liu YS, Xu XY, Zhang JW, 2014. Analysis and evaluation of resource components of *Protaetia brevitarsis* (Lewis) larvae. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 45(2): 166–170. [杨诚, 刘玉升, 徐晓燕, 张建巍, 2014. 白星花金龟幼虫资源成分分析及评价. 山东农业大学学报(自然科学版), 45(2): 166–170.]
- Yang C, Liu YS, Xu XY, Zhao L, 2015. The study on the effect of *Protaetia brevitarsis* Lewis larvae transformation the corn straw. *Journal of Environmental Entomology*, 37(1): 122–127. [杨诚, 刘玉升, 徐晓燕, 赵莉, 2015. 白星花金龟幼虫对醇化玉米秸秆取食效果的研究. 环境昆虫学报, 37(1): 122–127.]
- Yang L, Zhang GJ, Xu T, Zhang LJ, Qiang S, Ma DY, Liu YS, 2019. Study on the conversion capacity of different agricultural organic wastes by larvae of *Protaetia brevitarsis* Lewis. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 183(3): 42–46. [杨柳, 张广杰, 徐韬, 张连俊, 羌松, 马德英, 刘玉升, 2019. 白星花金龟幼虫对不同农业有机废弃物的转化力研究. 新疆农业大学学报, 183(3): 42–46.]
- Yang L, Zhang GJ, Xu T, Zhang LJ, Li JL, Zhang S, Qiang S, Ma DY, Liu YS, 2020. The effects of different agricultural organic wastes on the biological characteristics of *Protaetia brevitarsis* (Lewis). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(4): 946–954. [杨柳, 张广杰, 徐韬, 张连俊, 李金兰, 张帅, 羌松, 马德英, 刘玉升, 2020. 不同农业有机废弃物对白星花金龟生物学特性影响研究. 应用昆虫学报, 57(4): 946–954.]
- Yang S, 2013. Processing solid organic wastes employing maggots assisted by microbe and development of the relevant products. Doctor dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [杨森, 2013. 微生物联合蝇蛆转化固体有机废弃物和相关产品的研发. 博士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Zaborski ER, 2003. Allyl isothiocyanate: An alternative chemical expellant for sampling earthworms. *Applied Soil Ecology*, 22(1): 87–95.
- Zhang GJ, 2019. Studies on the transformation techniques of organic waste using *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae). Master dissertation. Tai'an: Shandong Agricultural University. [张广杰, 2019. 白星花金龟对有机废弃物的转化技术研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Zhang GJ, Wang Q, Liu YS, 2020. Biology under artificial condition and utilization potential of *Potosia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae). *Journal of Environmental Entomology*, 42(2): 24–33. [张广杰, 王倩, 刘玉升, 2020. 白星花金龟人为条件生物学与应用潜力. 环境昆虫学报, 42(2): 24–33.]
- Zhang GJ, Wang Q, Liu YS, Li ZA, 2019. Study on the transformation capability of four materials in different fermentation cycles fed by *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae) larvae. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 50(5): 764–767, 804. [张广杰, 王倩, 刘玉升, 李增安, 2019. 白星花金龟幼虫对不同醇化周期四种物料的转化力研究. 山东农业大学学报(自然科学版), 50(5): 764–767, 804.]
- Zhang GJ, Xu YS, Zhang S, Xu AD, Meng Z, Ge H, Li J, Liu YS, Ma DY, 2022. Transformation capability optimization and product application potential of *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae) larvae on cotton stalks. *Insects*, 13(12): 1083.
- Zhang HY, Guo J, Yin J, Zhang SS, 2017. A waste film cleaning device. Chinese patent, utility model patent, CN201721826470.9. 2017-12-27. [张海芸, 郭健, 尹君, 张珊珊, 2017. 一种废旧地膜清洁装置. 中国专利, 实用新型, CN201721826470.9. 2017-12-27.]
- Zhang JX, Xie JH, Xue DQ, Han J, Hou SL, 2013. Development status of applying plastic film and the residue mulching film collecting machine at domestic and overseas. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 35(12): 237–240. [张佳喜, 谢建华, 薛党勤, 韩晶, 侯书林, 2013. 国内外地膜应用及回收装备的发展现状. 农机化研究, 35(12): 237–240.]
- Zhang LJ, Li JL, Zhang S, Zhang GJ, Yang L, Xu T, Ma DY, Liu YS, 2021. Effects of dung from two insects on the growth and fruit quality of pepper. *Xinjiang Agricultural Science*, 58 (8): 1511–1518. [张连俊, 李金兰, 张帅, 张广杰, 杨柳, 徐韬, 马德英, 刘玉升, 2021. 2 种昆虫虫粪对辣椒生长及果实品质的影响. 新疆农业科学, 58(8): 1511–1518.]
- Zhang Q, 2015. Study on the biology of *Protaetia brevitarsis* (Lewis) feeding on oyster mushroom bran. Master dissertation. Tai'an: Shandong Agricultural University. [张倩, 2015. 取食平菇菌糠的白星花金龟生物学研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Zhang YP, Hu ZC, You ZY, Shen C, Gu FW, Wu F, Liu MJ, 2018. Research on membrane-soil separation for the shovet-screen type residual plastic film collector. *Chinese Journal of Agricultural Machinery Chemistry*, 39(8): 21–26. [张亚萍, 胡志超, 游兆延, 沈成, 顾峰玮, 吴峰, 刘敏基, 2018. 铲筛式残膜回收机膜土分离技术研究. 中国农机化学报, 39(8): 21–26.]
- Zhao Y, Chen XG, Wen HJ, Zheng X, Niu Q, Geng JM, 2017. Research status and prospect of control technology for residual plastic film pollution in farmland. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 48(6): 1–14. [赵岩, 陈学庚, 温浩军, 郑炫, 牛琪, 康建明, 2017. 农田残膜污染治理技术研究现状与展望. 农业机械学报, 48(6): 1–14.]