

虫菌复合技术分离棉田残膜回收混合物研究^{*}

徐业山^{1**} 张广杰^{1**} 王 谊² 孟 卓¹

谭 冰¹ 刘 升³ 马德英^{1***} 刘玉升^{4***}

(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, 棉花教育部工程研究中心, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆昌吉回族自治州玛纳斯县农业农村局, 玛纳斯 832200; 3. 新疆昌吉回族自治州玛纳斯县塔西河流域管理处, 玛纳斯县 832200; 4. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018)

摘 要 【目的】农田残膜是白色污染主要来源, 在残膜回收和利用中, 农田残膜约占残膜回收物的10.00%-20.00%, 如何将残膜从残茬及纤维混合物中分离出来一直是残膜回收加工再利用的主要问题。利用昆虫转化农牧业废弃物技术的发展为破解这个难题提供了思路。【方法】在室外自然温光条件下, 开展辅加 5 种“物料+腐解菌(尿素+腐解菌、猪粪+腐解菌、腐解菌、牛粪+腐解菌、黄粉虫虫沙+腐解菌)”和空白对照(CK)发酵 30 d 对棉田残膜混合物的预分离和将白星花金龟 3 龄幼虫投入发酵物料后对棉田残膜回收混合物的终分离研究, 通过测定残膜在混合物的占比、幼虫转化力、表层残膜占比等指标衡量分离效果。【结果】3 种有机辅料(猪粪、牛粪、黄粉虫虫沙)+腐解菌处理最高发酵温度均已超过 55 ℃, 发酵较为激烈, 腐解效果较好; 白星花金龟 3 龄幼虫在 6 种发酵物料中能够正常生长和结茧化蛹, 并能够得到增重量当量 57.60 倍到 193.10 倍的虫砂, 有机辅料+腐解菌的 3 个处理表现最佳; 白星花金龟 3 龄幼虫取食和以背行走的特殊方式, 使各处理表层残膜占比均在 42.58%±0.94%以上, 最佳为牛粪+腐解菌处理, 高达 54.11%±7.60%; 酵化过程均有助于残膜混合物的腐解和提升残膜在混合物中的占比, 白星花金龟幼虫转化和分离环节可较大幅度地提升残膜在残渣中的占比, 虫菌复合下, 有机辅料+腐解菌的 3 个处理提升残膜占比倍数在 4.80 倍以上; 经估算, 每吨棉田回收残膜混合物所能创造的利润约 300 元。【结论】虫菌复合技术不仅可实现残膜回收混合物中残膜的增值分离, 还能助力牛粪等粪便和具有有机肥应用潜力的虫砂的资源化利用, 为新疆棉区残膜污染治理提供了新的探索方向。

关键词 白星花金龟; 腐解菌; 棉田残膜; 生物分离

Study on the separation of recycled plastic film residual mixtures from cotton field by the composite technology of insect combined with the decomposing fungus

XU Ye-Shan^{1**} ZHANG Guang-Jie^{1**} WANG Yi² MENG Zhuo¹

TAN Bing¹ LIU Sheng³ MA De-Ying^{1***} LIU Yu-Sheng^{4***}

(1. Engineering Research Centre of Cotton, Ministry of Education, Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control on Crop and Forest, College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Agricultural and Rural Bureau of Manas County, Changji Hui Autonomous Prefecture, Manas 832200, China;

3. TA XI River Basin Management Office, Manas County, Changji Hui Autonomous Prefecture, Manas 832200, China

4. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract 【Objectives】Residual film in farmland is the main source of white pollution. In the recycling and utilization of residual film, Farmland residual film accounts for about 10.00%-20.00% of the residual film recovery, how to separate the

^{*}资助项目 Supported projects: 昌吉州石玛兵地融合项目(2020G02); 国家级大学生创新创业训练计划项目(202110758002)

^{**}共同第一作者 Co-first authors, E-mail: xuys21@126.com; 18763828272@163.com

^{***}共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: mdyxnd@163.com; ysl8877@163.com

收稿日期 Received: 2022-01-21; 接受日期 Accepted: 2022-05-19

residual film from the residue and fiber mixture has always been a "stuck neck" problem that plagues the recycling and reuse of residual film. The development of technology that uses insects to transform agricultural and animal husbandry wastes provides ideas for solving this problem. **[Methods]** There are 6 treatments were set up, which are urea + fungus, CK, pig manure + fungus, fungus, cow manure + fungus, insect dung-sand + fungus, and carried out a 30-day decomposing pretreatment under outdoor natural temperature and light conditions. Thereafter, the 3rd instar larva of *Proteatia brevitarsis* Lewis were put into the fermentation material to separating the recycled plastic film residual mixtures. The separation effect was measured by measuring the proportion of residual membrane in the mixture, the transformation capability of larvae and the residual membrane on the surface accounted for the total. **[Results]** The highest fermentation temperature of three organic accessories (pig manure, cow manure, insect dung-sand)+ fungus treatments has exceeded 55 °C, the fermentation is more intense, and the decomposing effect is better; the 3rd instar larva of *P. brevitarsis* Lewis can grow and cocoon normally in the six decomposed material, And can get insect dung-sand equivalent to 57.60 times to 193.10 times increase in weight, the three treatments of organic accessories + fungus performed the best; Special way of the feeding and back-walking activities of the 3rd instar larvae of *P. brevitarsis*, The residual membrane on the surface of each treatment accounted for more than 42.58% $\pm$ 0.94% of the total, The best is cow dung + fungus treatment, up to 54.11% $\pm$ 7.60%; the fermentation process all contributes to the decomposition and improvement of the proportion of residual membrane in total residue mixture, the transformation and separation of the larvae of *P. brevitarsis* can greatly increase the proportion of residual membrane in the residue. Under the compound of insects and fungus, the three treatments of organic accessories + fungus can increase the ratio of residual membrane to more than 4.8 times. According to a rough estimate, the profit that can be created by recycling the residual membrane mixture per ton of cotton field is about 300 yuan. **[Conclusion]** The insect and fungus compound technology can not only realize the value-added separation of the residual membrane in the residual membrane recovery mixture. It also can improve the resource utilization of manure (i.e, cow manure) and the insect dung-sand which has the application potential in organic fertilizer, and providing a new exploration direction for cracking the residual membrane pollution control in the Xinjiang cotton area, and it has initial application potential.

Key words *Proteatia brevitarsis*; decomposing fungus; residual membrane in cotton field; biological separation

农村耕地污染是当前农村环境保护的一大难题, 而农田残膜对土地的污染更是首当其冲 (康力峰, 2020)。地膜覆盖种植技术已广泛应用于旱作农业生产, 提高了粮食单产, 为保障我国粮食安全方面做出了重大贡献 (李建平, 2012)。然而, 农用地膜每年的使用量超 100 万吨, 且由于农用地膜回收技术应用的局限性与现实生产的矛盾一直无法突破, 导致残膜已经严重超量地累积在耕地周围或土壤耕作层中, 据统计, 我国农用地膜年残留量高达 35 万吨, 留在土壤中的残膜率达 42%, 也就是说每年有近 1/2 的农用地膜残留在土壤中, 这些残膜破坏了土壤的原有结构和平衡, 降低了土壤肥力, 不利于化肥减量, 影响农机作业, 给作物的生长造成严重危害 (李伟等, 2017; 郭晓燕, 2020)。

新疆是我国重要的农业大区, 2018 年新疆农作物总播种面积为 612.6 万 hm^2 , 覆膜种植总面积约为 347.8 万 hm^2 , 其中棉花覆膜种植面积占 71.60%, 年地膜投入量超过 20 万吨, 据统计,

新疆农田平均地膜残留量约为 206.46 kg/hm^2 , 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 $>275.63 \text{ kg}/\text{hm}^2$ (胡灿等, 2019)。根据农田地膜残留量限值及测定标准 (GB/T 25413-2010), 新疆农田地膜残留量已经远远超过限值标准 75 kg/hm^2 , 是全国残膜污染最为严重区域, 因此, 在新疆研究农田残膜污染治理具有代表性。秉持“遏制增量, 减少存量”的原则, 当季地膜的回收再利用是遏制增量的关键。农田残膜人工回收率较高, 可达 90%以上, 但具有回收期短、劳动强度大等弊端, 因此, 当季地膜的回收主要依靠机械回收残膜 (石鑫等, 2016; 赵岩等, 2017)。农田残膜与杂质分离技术是衔接残膜回收与再利用的关键环节, 国内在研究残膜回收作业中进行膜杂分离已取得一定的成效, 风选分离法和振动分选法主要用于农田残膜回收过程的除杂 (刘进宝等, 2017; 由佳翰等, 2017; 张海芸等, 2017; 康建明等, 2018; 张亚萍等, 2018;

蒋德莉等, 2020)。浮力漂选法主要针对残膜回收集中后进行膜杂清理,但目前为止还处于实验阶段(罗昕等, 2017; 李俊虹等, 2018)。现有残膜回收机回收后的残膜仍含有不少棉秆残茬、棉纤维及其他田间杂物,该部分约占田间残膜回收的 60%,残膜混合物回收加工难度大,残膜回收企业不愿回收,用户也缺少买卖意愿,无法实现对残膜的回收加工再利用(蒋德莉等, 2020)。只有将残膜与田间杂物有效分离,才能加工再利用,实现好的经济效益。而对于无法分离的残膜混合物,农户只能采用填埋土壤、抛弃至田间地头或焚烧,造成严重的残膜二次污染。所以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。

近年来,利用昆虫转化农牧业废弃物技术的发展为破解这个难题提供了思路。白星花金龟 *Protaetia brevitarsis* Lewis, 属于鞘翅目 Coleoptera、金龟甲总科 Scarabaeoidea、花金龟科 Cetoniidae、星花金龟属 *Protaetia*, 广泛分布于中国及俄罗斯、朝鲜、蒙古等国家(马文珍, 1995; 嵇保中等, 2011)。白星花金龟成虫为植食性或腐食性,在自然界有一定的危害性(李涛等, 2010)。白星花金龟幼虫为腐食性蛴螬,在自然界中滋生于腐烂的秸秆、烂草堆和久放的畜禽粪便中。随着环境污染和有机废弃物随意堆弃问题日趋严重,补称为大自然“清道夫”的白星花金龟受到广泛的关注(科技苑, 2018)。研究表明,白星花金龟可高效转化农作物秸秆、食用菌渣、平菇菌糠、大球盖菇菌糠(刘玉升和张大鹏, 2015; 杨诚等, 2015; 张倩, 2015; 孙晨可, 2018),其产出虫砂可提高辣椒品质(张连俊等, 2021)。不同农业废弃物例如牛粪、猪粪等均可作为白星花金龟产卵基质(杨柳等, 2020; 张广杰等, 2021),且可以进行室内人工养殖(徐韬等, 2021)。此外,白星花金龟幼虫对醇化的高木纤维的花生壳、苹果枝条等废弃物均具有较好的转化力(王倩, 2019; 张广杰, 2019)。前期的研究表明,白星花金龟能够有效转化醇化棉秆及棉纤维等有机物料(Zhang et al, 2022),并通过取食和以背行走的特殊运动,将物料中掺杂的残膜富集到上层,为利用白星花金龟幼虫分离棉田残膜回收

混合物提供了思路。本研究拟通过对棉田回收残膜混合物添加腐解菌和辅料醇化,将醇化后的物料进一步用白星花金龟幼虫转化,探究转化后物料中的残膜及各组分两两分离的可行性,以期新疆地区棉田残膜回收混合物的资源化利用提供解决方案。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 实验原料 棉田残膜回收混合物由玛纳斯县沁园塑业提供。棉田残膜回收混合物是经过机械和人工筛选大块残膜后的剩余物,小残膜与棉秆、棉纤维、棉叶和渣土混合在一起,残膜占比(重量)约为 9%,现有技术无法进一步将残膜简单分离出来或没有分离的必要,被堆弃在厂区。辅料牛粪、猪粪取自基地周边养殖户,黄粉虫虫沙为基地自产,尿素购于附近农贸市场, RW 促腐剂购自鹤壁市人元生物科技发展有限公司。

1.1.2 实验仪器或器具 五层货架(1 m×0.4 m×1.8 m, 购于乌鲁木齐市华凌市场)、塑料盒(38 cm×50 cm×14 cm), 残渣和幼虫分离筛(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), 电子天平(LT3002, 常熟市天量仪器有限公司), 电热鼓风干燥箱(北京市永光明医疗仪器有限公司), 温度计等, 实验于 2020 年 9 月份在新疆农业大学驻玛纳斯昆虫科研基地进行。

1.2 实验方法

1.2.1 腐解菌醇化实验 实验设置的处理如表 1 所示。具体处理方法如下: 每个处理总物料量(干重)取 150 kg, 调节物料含水量为 50%±5%, 添加 1‰的腐解菌剂, 铁锹翻堆搅拌均匀后堆成馒头状好氧醇化, 每天记录堆体中心 20 cm 处的温度, 每 5 d 翻堆一次, 一直翻堆到第 25 天。待第 30 天时, 采用 5 点取样法于每个样点下方 10 cm 处取湿样 16 kg 混匀后备用。

1.2.2 白星花金龟转化和分离实验 每个处理取湿重为 6 kg 的物料开展实验, 投入白星花金龟 3 龄中期(3 龄 20 日龄)幼虫 400 g(虫料比

表 1 试验处理说明
Table 1 Experimental treatment description

序号 Serial no.	处理 Treatments	简称 Abbreviation
1	2%尿素 + 1%腐解菌 2% Urea + 1% Decomposing fungus	尿素+腐解菌 Urea + fungus
2	清水 Water	CK
3	20%猪粪 + 1%腐解 20% Pig manure + 1% Decomposing fungus	猪粪+腐解菌 Pig manure + fungus
4	1%腐解菌 1% Decomposing fungus	腐解菌 Bacteria fungus
5	20%牛粪 + 1%腐解菌 20% Cow manure + 1% Decomposing fungus	牛粪+腐解菌 Cow manure + fungus
6	20%虫沙 + 1%腐解菌 20% Insect dung-sand + 1% Decomposing fungus	虫沙+腐解菌 Insect dung-sand + fungus

按照 1 : 20 添加), 并记录初始虫数, 每个处理重复 4 次, 在转化过程中, 每 5 d 无干扰观察处理物料的状态变化, 定性描述并拍照记录。连续转化 15 d, 第 16 天, 先取出上层残渣, 然后将下层物料过塑料筛将虫砂和渣土筛出, 并将筛出的残渣和虫体的混合物倒入原虫砂和渣土的混合物中, 活的虫体就会钻入混合物中, 此时将上部的残渣取出, 调查并取出各处理中白星花金龟结茧和死亡虫体, 虫体经饥饿处理 6 h 后, 从混合物中筛出、调查虫数和虫重, 两部分残渣经地暖房烘干后, 采用人工分选的办法分别测定残膜和大残渣的量, 虫砂和渣土混合物经地暖房烘干后用 10 目和 16 目的分离筛将虫砂和渣土分离开来, 调查并计算虫体增重量、虫砂收获量和收获系数、结茧率、死亡率、虫菌复合技术使残膜在物料中的占比变化等数据, 重量均以干重计, 主要计算公式如下:

增重率 (%) = (增重量 / 初始虫重) × 100,

虫砂收获系数 = 物料中虫砂收获量 / 物料总重量,

结茧率 (%) = (结茧数 / 初始虫数) × 100,

死亡率 (%) = (死亡虫数 / 初始虫数) × 100,

表层残膜占比 (%) = (表层残膜量 / 残膜总量) × 100,

菌分提升残膜占比倍数 = 菌分物料残膜占比 / 初始物料理论残膜占比,

虫分提升残膜占比倍数 = 虫分残渣残膜占比 / 菌分物料残膜占比,

虫菌复合提升残膜占比倍数 = 菌分提升残膜占比倍数 × 虫分提升残膜占比倍数,

虫分提升残膜占比倍数 = 虫分残渣残膜占比 / 菌分物料残膜占比。

其中, 菌分提升残膜占比是指残膜混合物通过腐解菌分解后物料中残膜的比例变化, 虫分提升残膜占比是指残膜混合物通过白星花金龟幼虫取食后物料中残膜的比例变化。

1.3 数据处理

运用 IBM SPSS Statistics 23 对试验数据进行统计分析, 计算平均值及标准误差, 对不同处理进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 对不同处理间的差异进行 Tukey 多重比较分析 ($P < 0.05$)。应用 Microsoft Excel 2013 记录、整理数据和绘制表格, 用 Sigma Plot 14 作图。

2 结果与分析

2.1 虫菌复合技术分离棉田残膜回收混合物物料形态变化

白星花金龟 3 龄幼虫转化不同时间后的物料的状态如图 1 所示。转化第 0 天时, 物料初始状态混合均匀, 各组分之间无明显区分; 转化第 10 天时, 残膜开始富集到物料上方, 秸秆已有取食痕迹, 下方已有虫砂出现; 转化第 20 天, 残膜富集到物料上方, 厚度达 2 cm, 并且大部分残膜比初始状态平展, 且残膜表面的渣土变少; 转化第 30 天, 取食实验结束, 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。

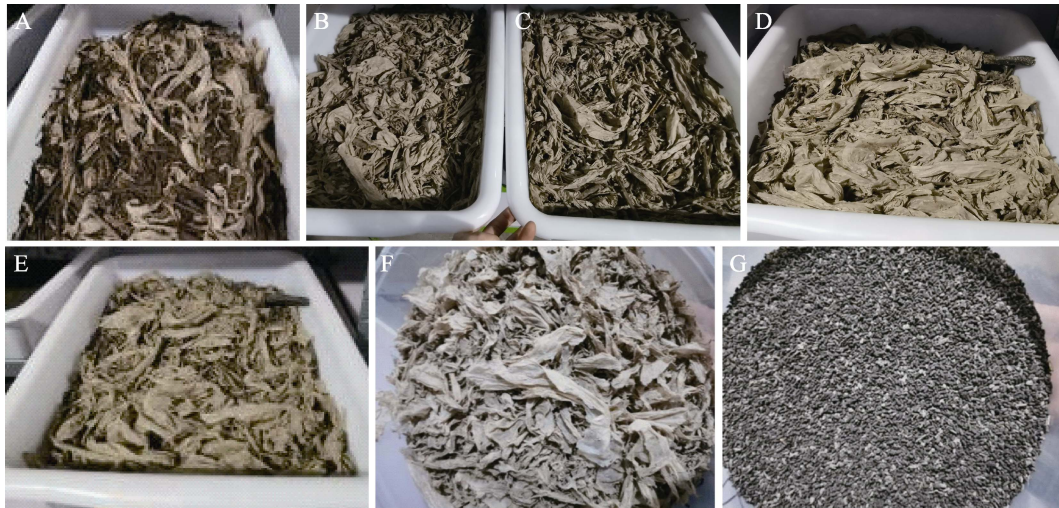


图 1 不同幼虫处理时间段物料状态

Fig. 1 Material status in different time period of the larvae experiment

A. 第 0 天; B. 第 10 天; C. 第 20 天; D. 第 30 天; E. 分离后残膜状态; F. 分离后虫砂状态。

A. Day 0; B. 第 10 天 10th day; C. 20th day; D. 30th day; E. Residual membrane status after separation;

F. Dung-sand status after separation.

第 0 天是指实验开始之初, 即实验准备完毕时。

Day 0 refers to the beginning of the experiment, that is, when the experiment is ready.

2.2 腐解菌酵化过程中温度的变化

由图 2 可知, 各处理酵化物料温度始终高于环境温度, 呈现出先急剧升高, 而后随着每 5 d 一个翻堆周期波动下降。其中, 猪粪+腐解菌、牛粪+腐解菌和虫沙+腐解菌处理最高温度均已超过 55 °C, 虫沙+腐解菌处理最高温度接近 70 °C, 猪粪+腐解菌处理次之。尿素+腐解菌处理除第 1 天外, 温度均在 20-40 °C 之间, 且波动较小, 温度整体低于菌处理, 与对照处理相比, 添加腐解菌温度呈现两头高, 中间低, 但相差不是很明显。综合观察发酵堆体的状态, 可以得出有机辅料+腐解菌的处理发酵较为激烈, 腐解效果较好。

2.3 白星花金龟幼虫对腐解残膜混合物有机物料的取食和残膜分离效果

由表 2 可知, 白星花金龟 3 龄幼虫通过取食腐解混合物中的有机物料能够正常生长, 且相对于初始虫量有不同程度的增长, 牛粪+腐解菌处理表现最佳, 虫沙+腐解菌处理次之, 猪粪+腐解菌处理位列第 3, 尿素+腐解菌处理表现最差。相对于增重量, 虫砂收获量是增重量的 57.60 倍到 193.10 倍, 其中, 猪粪+腐解菌处理表现最佳,

虫沙+腐解菌处理次之; 幼虫能够在转化物料中结茧, 其中, 对照处理结茧率最高, 牛粪+腐解菌处理结茧率最低。不同处理间的死亡率未达到显著差异水平 ($P > 0.05$), 有机辅料+腐解菌处理死亡率均在 2% 以下。

由表 3 可知, 各处理残膜总量差异较大, 在 273.49-551.92 g 之间, 其中尿素+腐解菌处理总量最大, 牛粪+腐解菌处理残膜总量最小, 但总体符合初始物料残膜含量趋势。经白星花金龟 3 龄幼虫取食和以背蠕动向上的推动力, 各处理被推向表层的残膜占比均在 42.58%±0.94% 以上, 最高为牛粪+腐解菌处理, 达 54.11%±7.60%, 提升倍数(按照表层残膜占物料体积的 1/3 核算)为 (1.62±0.23) 倍。在表层残膜占上层残渣比上, 虫沙+腐解菌处理最佳, 达 52.21%±1.35%, 且与其他处理差异显著, 相应的其下层残膜占下层残渣的比例也是最高的。

2.4 虫菌复合技术对残膜占比提升倍数的影响

由表 4 可知, 酵化过程均有助于残膜混合物的腐解和提升残膜在物料中的占比, 其中, 虫沙+腐解菌处理表现最佳, 尿素+腐解菌处理表现次

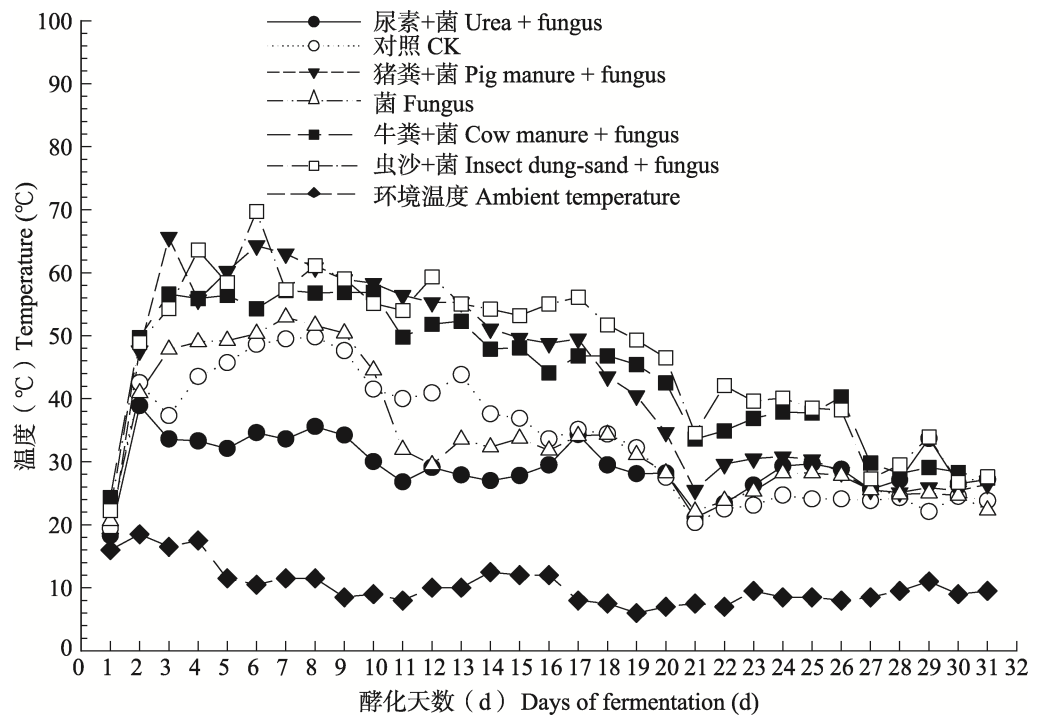


图 2 腐解菌发酵过程中温度的变化

Fig. 2 Temperature changes during fermentation of decomposing fungus

表 2 白星花金龟 3 龄幼虫对腐解残膜混合物中有机物料的转化情况

Table 2 The organic material transformation from the mixture of decomposed residual membranes by the 3rd instar larvae of *Proteatia brevitaris*

处理 Treatments	增重量 (g) Weight gain (g)	增重率 (%) Weight gain rate (%)	虫砂量 (g) Insect dung-sand amount (g)	虫砂收获系数 Insect dung-sand harvest factor	结茧率 (%) Cocooning rate (%)	死亡率 (%) Mortality (%)
尿素+腐解菌 Urea + fungus	5.02±1.31 d	4.14±1.08 d	969.37±32.23 bc	28.47±1.25 c	10.14±1.33 ab	2.82±0.80 a
对照 CK	7.15±0.60 cd	5.89±0.49 cd	956.16±48.14 c	30.01±1.59 c	14.91±1.94 a	2.12±0.90 对照 a
猪粪+腐解菌 Pig manure + fungus	14.48±0.82 ab	11.91±0.67 ab	1 326.26±29.19 a	44.89±0.82 a	9.64±1.63 ab	1.23±0.53 a
菌 Fungus	11.55±0.46 bc	9.51±0.38 bc	957.70±11.44 c	30.66±0.26 c	10.90±1.58 ab	2.24±0.64 a
牛粪+腐解菌 Cow manure + fungus	18.06±1.24 a	14.89±1.02 a	1 040.66±13.27 bc	39.53±0.60 b	7.43±1.29 b	1.91±0.10 a
虫沙+腐解菌 Insect dung-sand + fungus	15.78±1.83 ab	12.99±1.51 ab	1 094.72±26.08 b	40.99±1.36 ab	9.00±0.81 ab	1.60±0.29 a

表中数据为平均数±标准误；每列数据后标有不同字母表示差异显著 ($P<0.05$, Tukey 法)。下表同。
Data in the table are mean ± SE, and followed by different lowercase letters indicate significant different ($P<0.05$, Tukey test). The same below.

之；白星花金龟幼虫转化和分离环节可在菌分提升残膜占比的基础上较大幅度地提升残膜在残渣中的占比，提升倍数均在 2.3 倍以上，有机辅料+腐解菌的 3 个处理表现较好，且差异不显著，其中牛粪+腐解菌处理表现最佳；在虫菌复合提升残膜占比倍数方面，有机物料+腐解菌的 3 个处理提升残膜占比倍数在 4.8 倍以上，其余均在 4 倍以下，其中虫沙+腐解菌处理表现最佳，仅

表 3 白星花金龟 3 龄幼虫取食和以背行走活动对残膜占比的影响
Table 3 Effects of feeding and walking activities of the 3rd instar larvae of *Proteatia brevitaris* on the percentage of residual membrane

处理 Treatments	残膜总量 (g) Total residual film (g)	表层残膜占比 (%) Proportion of residual surface film (%)	表层残膜占比提升倍数 Multiple of the proportion of residual film on the surface	表层残膜占上层残渣比 The ratio of surface residual film to upper residual film	下层残膜占下层残渣比 The ratio of lower residual film to lower residual film
尿素+腐解菌 Urea + fungus	551.92±33.95 a	49.35±2.59 a	1.48±0.08 a	38.36±1.29 b	32.46±2.60 b
CK	510.56±87.65 a	44.50±4.28 a	1.34±0.13 a	30.39±2.57 b	40.11±3.84 ab
猪粪+腐解菌 Pig manure + fungus	392.57±25.16 ab	50.25±3.66 a	1.51±0.11 a	33.75±1.68 b	38.81±4.51 ab
菌 Fungus	469.13±8.86 a	42.58±0.94 a	1.28±0.03 a	29.42±1.12 b	39.54±0.93 ab
牛粪+腐解菌 Cow manure + fungus	273.49±7.18 b	54.11±7.60 a	1.62±0.23 a	39.41±4.51 b	30.45±3.34 b
虫沙+腐解菌 Insect dung-sand + fungus	485.67±34.47 a	48.81±1.36 a	1.46±0.04 a	52.21±1.35 a	46.02±0.26 a

表 4 虫菌复合技术对残膜占比及提升倍数的影响
Table 4 The effects of the compound technology of insects and fungus on the proportion of residual membrane and the increase rate

处理 Treatments	初始物料理论残膜占比 (%) Theoretical residual film ratio of initial material (%)	菌分物料残膜占比 (%) Proportion of residual membrane of fungus separation material (%)	虫分残渣残膜占比 (%) Proportion of residual membrane of insect separation residue (%)	菌分提升残膜占比倍数 The ratio of residual membrane increased by fungus	虫分提升残膜占比倍数 The ratio of residual membrane increased by insect	虫菌复合提升残膜占比倍数 The ratio of residual membrane increased by insect-fungus
尿素+腐解菌 Urea + fungus	8.80	15.18±0.93 a	35.07±1.25 b	1.72±0.11 ab	2.33±0.15 b	3.99±0.14 bc
对照 CK	8.98	14.11±2.42 ab	35.18±3.33 b	1.57±0.27 b	2.58±0.16 b	3.92±0.37 bc
猪粪+腐解菌 Pig manure + fungus	7.18	12.13±0.78 ab	36.07±1.96 b	1.69±0.11 b	2.98±0.09 ab	5.02±0.27 b
腐解菌 Fungus	8.98	13.53±0.26 ab	34.46±0.75 b	1.51±0.03 b	2.55±0.06 b	3.84±0.08 c
牛粪+腐解菌 Cow manure + fungus	7.18	9.66±0.25 b	34.44±2.57 b	1.35±0.04 b	3.56±0.21 a	4.80±0.36 bc
虫沙+腐解菌 Insect dung-sand + fungus	7.18	16.83±1.19 a	48.79±0.67 a	2.34±0.17 a	2.94±0.21 ab	6.80±0.09 a

菌分物料残膜占比为腐解菌酵化后每单位物料中残膜的占比;虫分残渣残膜占比为白星花金龟幼虫生物动力转化分离后,残膜在残渣中的占比。

The proportion of residual membrane of fungus separation material is the proportion of residual membrane per unit material after fermentation of decomposing fungus; the proportion of residual membrane of insect separation residue is the proportion of residual membrane in the residue after bio-dynamic transformation and separation of the larvae of *P. brevitaris*.

添加腐解菌,在提升残膜在残渣中的占比方面与对照处理差异不显著。在人工从大残渣中分离残膜的过程中,明显可以观察到有机辅料+腐解菌的 3 个处理残膜平展,残渣多为较硬的棉秆和根茬,非常容易分离,具备采用机械快速分离出残膜的可能性,表现最佳。

2.5 虫砂营养物质含量分析

由表 5 可知,幼虫取食消化腐解混合物后得到的虫砂,营养物质丰富,有机质含量在 24.6%-33.0%之间,氮磷钾总量均大于 5%,且黄粉虫虫沙棉杂基养分最高,达 6.21%,虫砂均呈弱碱性,水溶性氯化物含量较小,均不足 1%。

表 5 虫砂营养成分分析
Table 5 Nutrient composition analysis of insect dung-sand

处理 Treatments	有机质 Organic matter (%)	总氮 Total nitrogen (%)	全磷 Total phosphorus (%)	全钾 Total potassium (%)	总养分 Total nutrient (%)	pH 值 pH value	水溶性氯化物 Water-soluble chloride (%)
牛粪棉杂基虫砂 Insect dung-sand based cow dung and cotton mixed	33.00	1.24	1.00	2.97	5.21	8.60	0.81
猪粪棉杂基虫砂 Insect dung-sand based pig dung and cotton mixed	24.60	1.12	1.69	2.53	5.34	8.10	0.53
黄粉虫虫沙棉杂基虫砂 Insect dung-sand based <i>Tenebrio molitor</i> insect dung-sand and cotton mixed	26.70	1.21	2.03	2.97	6.21	8.00	0.67

牛粪棉杂基虫砂: 白星花金龟幼虫取食棉田残膜回收混合物和牛粪混合之后的发酵物料排泄出的虫砂; 猪粪棉杂基虫砂: 白星花金龟幼虫取食棉田残膜回收混合物和猪粪混合之后的发酵物料排泄出的虫砂; 黄粉虫虫沙棉杂基虫砂: 白星花金龟幼虫取食棉田残膜回收混合物和黄粉虫虫沙混合之后的发酵物料排泄出的虫砂。
Insect dung-sand based cow dung and cotton mixed: *P. brevitarsis* larvae were fed on fermented materials mixed with cow dung and cotton film residue to produce the dung; Insect dung-sand based pig dung and cotton mixed: *P. brevitarsis* larvae were fed on fermented material mixed with pig manure and cotton film residue to produce the dung; Insect dung-sand based *T. molitor* insect dung-sand and cotton mixed: *P. brevitarsis* larvae were fed on a mixture of *T. molitor* insect dung-sand and cotton film residue to produce feces.

2.6 虫菌复合技术投入与产出比概算

在新疆地区,棉田残膜回收混合物、牛粪和猪粪资源丰富,被堆弃现象随处可见,若得到这些物料,仅需要承担运输费,每吨的运输费用约在 100 元左右;混合物料的掺混、腐解等可以借助人工和机械相结合来实现,每吨的处理费约在 200 元左右。在产出方面,可收获占初始物料 9% 的残膜,36% 的虫砂,虫体增重 12%,还有约 15% 的有机残渣(硬质棉秆)可粉碎作为幼虫的饲料原料,剩余是 35% 左右的渣土,可做种植土、回田或垫料。残膜市场价位约为 2 000 元/吨,虫砂市场价位为 1 200 元/吨,虫体可作为种虫循环利用或烘干作为干品出售,价位在 2.5 万元/吨。粗

略估算,除去养殖和处理成本,每吨棉田回收残膜混合物所能创造的利润在 300 元左右($2\ 000 \times 0.09 + 1\ 200 \times 0.36 - 100 - 200 = 312$ 元)。

3 结论与讨论

醇化温度的高低反映腐解菌等微生物活动的强烈,从另一个侧面也能反映出腐解的效果(耿富卿,2014)。本实验中虫沙+腐解菌处理醇化温度最高,其菌分物料残膜占比也最高,腐解效果最佳,这可能与虫沙含有较高的蛋白质(虫沙蛋白质在 18% 左右),可与混合物中含碳较高的棉秆等有机物料形成适宜的 C/N 比有关(耿富卿,2014;卢健等,2014)。另外,尿素+腐解

菌处理的发酵温度仅维持在一个较低水平(20-40℃之间),但其菌分物料残膜占比也很高,这与尿素的添加将物料的C/N比调节在一个较为适宜的比例有关外,还应有其他因素的影响,具体原因有待进一步探究。

本实验设计的初始虫料比偏大,即,相较于幼虫的阶段转化力,初始幼虫的投入量是过量的,并选择3龄后期幼虫作为供试虫源,目的是为了更快更好地观察到转化和分离效果,以及考察幼虫能否在残膜混合物中结茧和潜在的结茧策略,因此,虫体在实验进程后期处于不同程度的营养胁迫状态。本研究结果表明,未加有机辅料处理组的白星花金龟幼虫结茧率普遍高于添加有机辅料处理组,而增重量普遍低于添加有机辅料处理组,且对照处理的结茧率最高,这可能是白星花金龟老熟幼虫遇到营养胁迫时会选择提前结茧来减少呼吸消耗的结果。因此,在受营养胁迫的前期,结茧率的高低大致能够反映老熟幼虫受到的营养胁迫程度和物料腐解效果。在结茧策略上,白星花金龟老熟幼虫会寻找较为隐蔽的场所结茧,本实验中发现,老熟幼虫可以借助残膜作为其茧室的一部分,将这样的茧室取出后置于适宜的环境条件下培养,其能正常的化蛹和羽化。

本实验中还特别关注了上层残膜占比和上层残膜占上层残渣比,结果表明,表现较好的处理上层残膜占比50%左右。值得说明的是实验过程中第20天和30天富集到上层残膜的量已基本一致,这可能是上层残膜的积累对于白星花金龟继续将残膜推向上层有一定的阻力,我们的生产实践也证明了这一点。相同的残膜混合物发酵物料,其中一个容器在取食15-20d时,将富集到上层的残膜取出,另一个不做处理,在进行30d后,将上层残膜取出的容器富集到上方的残膜量是未取出的1.5倍左右,残膜收集率有了较大提升。在实际应用过程中,投料的厚度会比本处理的10cm深2-3倍,甚至更多,上层残渣的积累对于幼虫取食和分离残膜均有一定的阻力,因此,上层残渣取出与否对幼虫分离残膜效果的影响值得进一步系统研究。

在虫菌复合技术对残膜占比及提升倍数影响的计算方面,因发酵初始残膜占比调查会影响物料状态,初始物料残膜占比是由棉田残膜回收混合物经过五点取样调查后得到的残膜占比数据,根据不同处理计算的理论初始占比,因此残膜的理论初始量与转化后的实际初始量有差异,但整体趋势是一致的。下一步可通过加大取样量,来避免取样不均匀的问题。

虫菌复合技术分离棉田残膜回收混合物的关键在于混合物中有机物料的腐解程度,而影响本实验腐解程度的关键因素是有机物料的颗粒度大小。研究表明,一定条件下,有机物料的粒度越小,其腐解效果越好(牛俊玲等,2011;田智辉等,2018)。本实验中转化后的物料仅剩下粒度较大的硬质的棉秆和根茬也能说明这一点。因此,如何在源头实现有机物料的破碎,将成为进一步提升虫菌复合技术分离棉田残膜回收混合物效果的突破点。新疆棉田残膜混合物的回收以机械回收为主,其中棉秆和渣土等杂质含量较高,残膜、渣土和秸秆等相互缠绕复杂、分布无序、相互包裹,混合棉纤维是造成缠绕的主要问题,导致残膜的分离难度较大。前人(石鑫等,2017;李俊虹等,2019)对于初清理进行了相关研究,而本文主要是以生物动力与机械动力相耦合的方式分离棉田残膜回收混合物,利用白星花金龟的取食和“背行足推”的活动实现化害为利的转变,破解“残膜和残茬及纤维混合物分离”的难题。

在探索不同辅料+腐解菌处理的虫菌复合技术分离棉田回收残膜混合物的过程中,发现有机辅料+腐解菌的处理,对于棉田回收残膜混合物的分离都具有较好的效果,同时,有机辅料+腐解菌的残膜平展,且残渣多为较硬的棉秆和根茬,有利于后续的人工分离,也具备采用机械快速分离幼虫转化后的残膜混合物的可能性。虫菌复合技术分离棉田回收残膜混合物体系后端收获占初始物料9%的残膜和36%的虫砂,虫体增重12%,经估算,每吨棉田回收残膜混合物所能创造的利润约300元。后期在腐解菌、物料投入量以及虫料比和虫龄等方面可以继续进行深入

研究,以完善虫菌复合技术分离棉田残膜回收混合物体系。

本研究结果表明,虫菌复合技术介导的生物动力和机械动力耦合分离棉田残膜回收混合物具有技术可行性,可减少农田残膜回收所需的人工,降低回收难度。通过这种“取食-背行足推”生物动力分离残膜回收混合物,可以对棉田残膜回收混合物中混杂的膜秆土进行有效的分离,且可转化有机粪料得到虫砂。此种方法具有较高的可行性,可以将此种分离方式进行拓展,应用于其他覆膜作物的残膜回收混合物分离方面,助推残膜的资源化利用,减少白色污染。白星花金龟具有生长周期短、繁殖力、转化力和适应性强等特点,可以实现高效分离残膜混合物和变废为宝,助力牛粪等粪便和具有有机肥应用潜力的虫砂的资源化利用,为破解新疆棉区残膜污染治理难题提供了一个新的方向。

参考文献 (References)

- Geng FQ, 2014. Research on effects of different C/N ratios on fermentation of organic fertilizers. Master dissertation. Changsha: Hunan Agricultural University. [耿富卿, 2014. 不同碳氮比对有机肥发酵效果影响研究. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学.]
- 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.]
- Hu C, Wang XF, Chen XG, Tang XY, Zhao Y, Yan CR, 2019. Current situation and control strategies of residual film pollution in Xinjiang. *Transactions of the Chinese 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.]
- Ji BZ, Liu SW, Zhang K, 2011. Basic Entomology and Common Species Recognition. 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.]
- 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.]
- Kang JM, Peng QJ, Jiao W, Xu GW, Yue H, 2018. farmland residual film cleaning device. Chinese patent: Disclosure of invention, 201810133968 X, 2018-2-9. [康建明, 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.]
- Kang LF, 2020. Farmland residual film resource utilization technology. *Contemporary Agricultural Machinery*, 2020 (7): 73–75. [康力峰, 2020. 农田残膜资源化利用技术. 当代农机, 2020(7): 73–75.]
- Li JH, Luo X, Hu B, 2018. A lifter type membrane impurity separation device. China, utility model: CN207156223U, March 30, 2018. [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 JP, 2012. Empirical analysis on food security and copy yield productivity Shanxi province. Doctoral dissertation. Shaanxi: Northwest University of Agriculture and Forestry Science and Technology. [李建平, 2012. 陕西省农业生产潜力与粮食安全实证研究. 博士学位论文. 陕西: 西北农林科技大学.]
- Li T, Ma DY, Qiang S, Wang XP, Wei Y, 2010. A study on hosts and the occurrence regularity of *Postosia brevitarsis* Lewis in west suburb of Urumqi. *Xinjiang Agricultural Science*, 47(2): 320–324. [李涛, 马德英, 羌松, 王小平, 魏勇, 2010. 乌鲁木齐市西郊白星花金龟的寄主及发生规律研究. 新疆农业科学, 47(2): 320–324.]
- Li W, Zhen DL, Liu YJ, Gong JX, Zhang AM, 2017. Discussion on remnant film pollution and mechanized residual film recovery technology in cotton fields. *China Journal of Agricultural Machinery Chemistry*, 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.]
- Liu JB, Zheng X, Zhao Y, Liu XA, Ge SL, 2017. Design and exprment of a new rod-tooth-roller' platic fim resdue collector. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 35(6): 300–306. [刘进宝, 郑炫, 赵岩, 刘兴爱, 葛士林, 2017. 新型杆齿滚筒式残

- 膜捡拾机构的设计与试验. 干旱地区农业研究, 35(6): 300–306.]
- Liu YS, Zhang DP, 2015. Study on the model of microcirculation farm and ranch on the corn straw transformed by larval of *Potosia brevitarsis* Lewis. *Anhui Agricultural Science*, 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.]
- Lu J, He FY, Zhang JL, Wu F, Huang CY, Geng FFQ, Sun JS, Li ZH, 2014. Effects of different C/N on physical and chemical properties of organic fertilizer during the fermentation process. *Hubei Agricultural Science*, 53 (14): 3251–3256. [卢健, 贺方云, 张纪利, 吴峰, 黄纯杨, 耿富卿, 孙建生, 李章海, 2014. 碳氮比对有机肥发酵过程中理化性质的影响. 湖北农业科学, 53(14): 3251–3256.]
- Luo X, Li JH, Hu B, Yao QQ, Jiang YZ, Li HC, Guo MY, Liang GZ, Yue FL, 2017. Membrane impurity washing separation method and device. China: CN106626144a, May 10, 2017. [罗昕, 李俊虹, 胡斌, 姚强强, 姜有忠, 李海潮, 郭孟宇, 梁高震, 岳飞龙, 2017. 膜杂水洗分离方法及装置. 中国: CN106626144A, 2017-05-10.]
- Ma WZ, 1995. China's Economic Insects (Coleoptera, Flower Scarabidae) (Volume 46). Beijing: China Science and Technology Press. 119–120. [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. 119–120.]
- Niu JL, He YP, Zhang QG, 2011. Effects of different crushing degrees on the effect of gas fertilizer co production by anaerobic dry fermentation of wheat straw. *Journal of Solar Energy*, 21 (11): 117–120. [牛俊玲, 何予鹏, 张全国, 2011. 不同粉碎程度对麦秸厌氧干发酵气肥联产效果的影响. 太阳能学报, 21(11): 117–120.]
- Science and Technology Park, 2018. The wisdom of rural pollution control and green, and the worried straw will become a treasure <http://tv.cctv.com/2018/10/09/VIDE9HfMEZpadHUrmRMwjJMB181009.shtml>, 2018-10-09. [科技苑, 2018. 乡村治污绿智慧烦心的秸秆变成宝. <http://tv.cctv.com/2018/10/09/VIDE9HfMEZpadHUrmRMwjJMB181009.shtml>, 2018-10-09.]
- Shi X, Niu CH, Qiao YY, Zhang HC, Wang XN, 2016. Application of plastic trash sorting technology in separating waste plastic mulch films from impurities. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 32(S2): 22–31. [石鑫, 牛长河, 乔园园, 张海春, 王学农, 2016. 塑料垃圾分选技术在废旧地膜与杂质分离中的应用研究进展. 农业工程学报, 32(S2): 22–31.]
- 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*, 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 recycling mode of "wheat straw-stropharia rugosoannulata-*protaetia brevitarsis*". Master's thesis. 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.]
- Tian ZH, Wang YN, Zou C, Lu JD, 2018. Study on aerobic composting of cow dung and straw under different initial conditions. *China Soil and Fertilizer*, 278(6): 192–197. [田智辉, 王亚妮, 邹超, 卢军党, 2018. 牛粪和秸秆好氧发酵堆肥的初始条件研究. 中国土壤与肥料, 278(6): 192–197.]
- Wang Q, 2019. Study on techniques for combined transformation of waste in apple orchard by *Potosia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae) and *Tenebrio molitor* L. Master's thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University. [王倩, 2019. 利用白星花金龟和黄粉虫联合转化苹果园废弃物的技术研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- 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.]
- 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 Insects*, 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, 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*. *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.]
- You JH, Zhang BH, Wen HJ, Kang JM, Song YQ, Chen XG, 2017. Design and test optimization on spade and tine combined

- residual plastic film device. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 48(11): 97–104. [由佳翰, 张本华, 温浩军, 康建明, 宋玉秋, 陈学庚, 2017. 铲齿组合式残膜捡拾装置设计与试验优化. 农业机械学报, 48(11): 97–104.]
- Zhang GJ, Xu T, Yang L, Ma DY, Liu YS, 2021. Effects of oviposition substrate pattern and sex ratio on the fecundity of *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58 (2): 437–444. [张广杰, 徐韬, 杨柳, 马德英, 刘玉升, 2021. 产卵基质模式和性比对白星花金龟生殖力的影响. 应用昆虫学报, 58(2): 437–444.]
- Zhang GJ, 2019. Studies on the transformation techniques of organic waste using *Potosia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidea). 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, 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 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* 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 separator for the shovel-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, Zheng X, Chen XG, Niu Q, Ji C, Zhou DX, 2017. Design and test of CMJY-1500 type plastic film residue collecting and balling machine. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 33(5): 1–9. [赵岩, 郑炫, 陈学庚, 牛琪, 纪超, 周敦兴. 2017. CMJY-1500 型农田残膜捡拾打包联合作业机设计与试验. 农业工程学报, 33(5): 1–9.]