

# 球孢白僵菌的侵染特性及应用研究进展

况再银, 童文\*, 孙佩, 曾华兰, 叶鹏盛, 赵馨怡, 龙艳梅

四川省农业科学院经济作物育种栽培研究所, 四川 成都 610300

况再银, 童文, 孙佩, 曾华兰, 叶鹏盛, 赵馨怡, 龙艳梅. 球孢白僵菌的侵染特性及应用研究进展[J]. 微生物学通报, 2023, 50(7): 3187-3197.

KUANG Zaiyin, TONG Wen, SUN Pei, ZENG Hualan, YE Pengsheng, ZHAO Xinyi, LONG Yanmei. Research progress in infection characteristics and application of *Beauveria bassiana*[J]. Microbiology China, 2023, 50(7): 3187-3197.

**摘要:** 球孢白僵菌是一种重要的虫生真菌, 具有致病力强、侵染范围广、安全无污染等优点, 其制剂可作为一种真菌类杀虫剂应用于农林业害虫的防治, 也可用于人工生产中药材僵蚕。本文综述了球孢白僵菌的培养性状、侵染特性、应用生产和存在的问题, 并提出了发展对策, 为球孢白僵菌的进一步开发应用提供参考。

**关键词:** 球孢白僵菌; 侵染特性; 生物防治; 僵蚕

## Research progress in infection characteristics and application of *Beauveria bassiana*

KUANG Zaiyin, TONG Wen\*, SUN Pei, ZENG Hualan, YE Pengsheng, ZHAO Xinyi, LONG Yanmei

Industrial Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610300, Sichuan, China

**Abstract:** *Beauveria bassiana* is a major entomogenous fungus characterized by strong pathogenicity, wide infection spectrum, safety, and free pollution. It can be prepared as a fungal insecticide to control pests in agriculture and forestry and used for the artificial production of the Chinese medicinal material Bombyx Batryticatus. Here we introduced the biological characteristics, infection characteristics, application status, and shortcomings of *B. bassiana* and put forward the development countermeasures, aiming to provide reference for further

资助项目: 国家中药材产业技术体系(CARS-21-21); 四川省财政自主创新项目(2022ZZCX078); 四川道地中药材创新团队项目(SCCXTD-2020-19); 四川省区域创新合作项目(2021YFQ0022)

This work was supported by the Chinese Materia Medica of China Agriculture Research System (CARS-21-21), the Sichuan Provincial Finance Independent Innovation Project (2022ZZCX078), the Sichuan Authentic Chinese Herbal Medicine Innovation Team Project (SCCXTD-2020-19), and the Sichuan Regional Innovation Cooperation Project (2021YFQ0022).

\*Corresponding author. E-mail: tongwen222@163.com

Received: 2022-09-26; Accepted: 2022-11-07; Published online: 2022-12-08

development and application of *B. bassiana*.

**Keywords:** *Beauveria bassiana*; infection characteristics; biological control; *Bombyx Batryticatus*

球孢白僵菌(*Beauveria bassiana*)是最早被发现的昆虫病原真菌,也是目前世界上研究和应用最广泛、环境竞争力强且规模化生产技术最成熟的一类虫生丝状真菌<sup>[1]</sup>,在自然界分布广泛、寄主众多。球孢白僵菌在真菌分类学上隶属于子囊菌门(*Ascomycota*)粪壳菌纲(*Sordariomycetes*)肉座菌目(*Hypocreales*)虫草菌科(*Cordycipitaceae*)白僵菌属(*Beauveria*)<sup>[2]</sup>。球孢白僵菌具有杀虫谱广、致病力强、易于生产和保存、低残留无污染及对人畜和天敌安全等优点<sup>[3]</sup>,已成为应用最广泛的农林害虫生物防治菌剂<sup>[4]</sup>。同时,球孢白僵菌在自然或人工条件下可以感染家蚕幼虫,被感染致死且僵化后的干燥虫体称为僵蚕是一味传统的名贵中药材,药用历史悠久<sup>[5]</sup>。因此,应充分挖掘球孢白僵菌的潜力,扩大其推广应用范围,以促进生物农药和中药材(僵蚕)产业的发展,带来更高的经济价值和生态效益。

## 1 培养性状

球孢白僵菌的菌落形态各异,呈绒状、粉状、丛卷毛状和绳索状,菌落平坦,初期呈白色,后期随着色素的分泌逐渐变为淡黄色或粉红色。球孢白僵菌的营养体是菌丝,呈无色透明,具隔膜,直径一般 1.5–2.0  $\mu\text{m}$ ,而气生菌丝光滑、透明、壁薄、疏松<sup>[6]</sup>。营养菌丝上着生有分生孢子梗,其分梗可以直角分叉多次,聚集成团;小枝梗顶端着生有分生孢子,分生孢子单孢、透明、球形、壁薄,直径为 2.0–2.5  $\mu\text{m}$ <sup>[7]</sup>。

## 2 侵染特性

球孢白僵菌对昆虫的侵染途径主要有两种:一种是通过接触靶标昆虫的表皮,从寄主的体

壁、节间膜、气门、气孔及伤口等外部途径侵入;另一种是利用昆虫取食或呼吸时通过昆虫的消化道、呼吸道等内部途径侵入<sup>[8]</sup>。球孢白僵菌对昆虫的侵染过程受昆虫种类、不同发育阶段、周围环境条件等因素的影响<sup>[9]</sup>,如球孢白僵菌感染库蚊时,成虫以体壁侵入为主,而幼虫主要通过呼吸道侵入<sup>[10]</sup>。球孢白僵菌侵染靶标昆虫的主要途径同大部分虫生真菌一样,也是体壁侵入,其次是昆虫的消化道、呼吸道和伤口<sup>[11]</sup>。

球孢白僵菌对昆虫的侵染过程(图 1)主要包括接触附着、孢子萌发、侵入表皮、定殖生长和侵染致死等几个过程<sup>[12]</sup>。具体为:当球孢白僵菌的分生孢子接触昆虫体壁后,分泌一些黏性物质附着到昆虫体表<sup>[13]</sup>,当环境条件适宜时,孢子萌发并产生附着胞和芽管,逐渐形成侵染钉<sup>[14]</sup>,后续球孢白僵菌分泌产生几丁质酶、蛋白酶、脂肪酶等酶类破坏昆虫体壁防护层,并在机械压力的作用下,穿透体壁进入虫体侵入血腔,菌丝利用血腔中的营养物质不断增殖,侵入虫体各个组织和器官;与此同时,球孢白僵菌菌丝在虫体内分泌多种毒素,包括白僵菌素、球孢交酯等蛋白类毒素物质<sup>[15]</sup>,破坏昆虫免疫系统并将其侵染致死,最后菌丝冲破昆虫表皮,产生分生孢子并进一步扩散<sup>[16]</sup>。在球孢白僵菌侵染过程中,侵染钉的机械压力、酶类物质和毒素物质均发挥了极其重要的作用<sup>[17]</sup>。

吴圣勇等<sup>[18]</sup>利用扫描电镜技术,观察了被球孢白僵菌处理后西花蓟马成虫体表不同时段孢子的情况,处理 2 h 后,西花蓟马体表附着大量孢子,24 h 后孢子萌发,36 h 即侵入蓟马表皮,到 60 h 时蓟马体表已被菌丝包裹,而 72 h

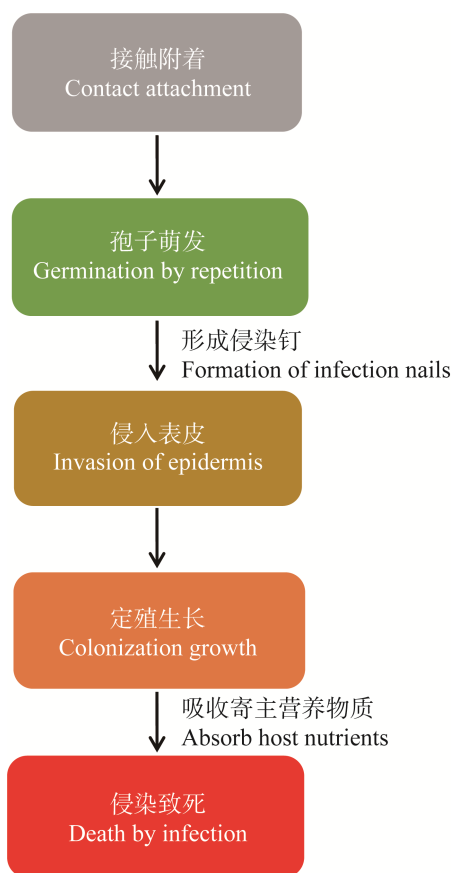


图 1 球孢白僵菌对昆虫的侵染过程  
Figure 1 The infection process of *Beauveria bassiana* in insects.

时菌丝分化出分生孢子梗并产生分生孢子, 表明球孢白僵菌在 60–72 h 内即可感染西花蓟马。

### 3 应用生产

#### 3.1 生防应用

球孢白僵菌是最早被发现的虫生真菌, 而且在虫生真菌中的研究应用最为广泛。据统计, 球孢白僵菌可侵染 15 目 149 科 521 属的 700 余种昆虫和 6 科 10 余种蝉类害虫<sup>[4]</sup>。早在 1933 年, 日本就将球孢白僵菌应用于松毛虫的防治; 1939 年, 苏联将球孢白僵菌用于防治松尺蠖, 防效显著; 瑞士、法国等欧洲国家则主要将球孢白僵菌应用于森林害虫鳃金龟的防治; 20 世

纪 80 年代, 我国广泛利用球孢白僵菌进行马尾松毛虫和玉米螟等农林害虫的防治, 取得了显著的经济效益、生态效益和社会效益<sup>[19-20]</sup>。近几年来, 在我国不同省份也开展了许多关于球孢白僵菌的应用试验。浙江省利用球孢白僵菌防治水稻黑尾叶蝉, 福建省用于防治茶毛虫, 湖南省用于防治蝗虫、棉铃虫、油菜象甲和天牛, 内蒙古、新疆等地试验用于防治小地老虎和甜菜夜蛾, 均获得了较好的防治效果<sup>[19]</sup>。近年来, 随着草地贪夜蛾在全国各地的暴发, 科研工作者针对球孢白僵菌对草地贪夜蛾的应用效果开展了诸多试验。温绍海等<sup>[21]</sup>从蠹成虫上分离得到 2 株球孢白僵菌菌株, 毒力试验表明该菌种对草地贪夜蛾有较强的毒力。庞继鑫等<sup>[22]</sup>从草地贪夜蛾雌成虫上分离得到一株球孢白僵菌菌株, 毒力试验发现该菌株对草地贪夜蛾雌雄成虫均具有较高的致死率。陈培华等<sup>[23]</sup>通过田间试验表明, 球孢白僵菌对广东地区草地贪夜蛾具有较好的防治效果, 药后 7 d 防效达 80.91%–84.74%。以上试验表明, 球孢白僵菌对草地贪夜蛾具有较好的生防潜力, 可进行开发应用。球孢白僵菌是一种广谱的虫生真菌, 其在生物防治过程中对捕食螨、瓢虫等天敌昆虫的风险较低<sup>[24]</sup>, 是重要的生防产品之一。

#### 3.2 僵蚕生产

球孢白僵菌的分生孢子还能用于僵蚕(中药材)的生产。当球孢白僵菌的分生孢子接触到家蚕体表后, 分泌产生几丁质酶、蛋白酶等迅速溶解家蚕表皮, 侵入体内并利用其体内营养物质不断繁殖, 导致家蚕变硬僵死, 由内而外长出白色菌丝并裹满孢子, 干燥后的僵虫体便是僵蚕<sup>[25]</sup>。僵蚕具有息风止痉、祛风止痛、化痰散结的功效, 常用于肝风夹痰、惊痫抽搐、小儿急惊风、风热头痛、目赤咽痛等症<sup>[26]</sup>。僵蚕是一味最具代表性的动物药<sup>[27]</sup>, 是临床最常

用中药饮片之一，具有很高的药用价值，在临床上的应用较为广泛。513 种人用中成药中有 49 种含有僵蚕，其中 64 种儿科成药中有 29 种含有僵蚕<sup>[5]</sup>。僵蚕主产于四川、江苏、浙江，以四川省的产量最大，为川产药材的主流品种<sup>[28]</sup>。

## 4 存在的问题

虽然球孢白僵菌在全世界范围内已被认可并用于防治农林业害虫，但其自身的弊端依然存在，限制了其进一步的推广应用。

### 4.1 菌种退化

球孢白僵菌批量培养技术已相对成熟，通常采用麦麸或碎米作为工业生产基料进行批量生产<sup>[29]</sup>，但在长期继代培养过程中球孢白僵菌和其他真菌一样，也会因其自身的遗传多样性导致产孢量、毒力等指标出现不同程度的下降。据报道，球孢白僵菌菌株继代培养前 6 代基因组变异不明显，到第 12 代时基因会发生显著变化，导致菌种退化、侵染力下降，显著影响菌剂产品的质量，已成为其大规模应用的障碍<sup>[30]</sup>。

### 4.2 速效性不足

裴炎等<sup>[31]</sup>发现球孢白僵菌需 3-4 d 才能发挥效果，存在速效性差、侵染毒力易受环境影响等缺点，因此在应用过程中存在杀虫时间长的问题。Wu 等<sup>[32]</sup>在研究中发现棉盲蝽在接种球孢白僵菌 3 d 后死亡率很低，而在接种 4-5 d 后死亡率有所提升，开始发挥防治效果。陆宴辉等<sup>[33]</sup>在进行盲蝽的防治中发现，配合使用其他应急治理措施可提高球孢白僵菌的防虫速效性。

### 4.3 受害虫状态影响

球孢白僵菌的侵染力还受到害虫种类、虫态、体型、体壁光滑程度等因素的影响，从而导致致病力出现差异。对于叶螨、蓟马等具有隐蔽生活习性的小型昆虫而言，它们可通过躲

避在植株狭小缝隙中避免与孢子接触，从而大大降低球孢白僵菌的防治效果<sup>[4]</sup>。球孢白僵菌孢子如果在昆虫蜕皮前附着到其体表，昆虫的幼虫、若虫则可通过蜕皮将未侵入的孢子退去<sup>[34]</sup>，导致球孢白僵菌不能成功侵染，降低球孢白僵菌对害虫的防治效果<sup>[35]</sup>。魏萍等<sup>[36]</sup>在进行球孢白僵菌菌株 XW0107001 对棉蚜的毒力试验中发现，蜕皮前的棉蚜可通过蜕皮降低被侵染的概率，降低菌株对其的感染力；而刚蜕皮后的昆虫体表较细嫩，更有利于孢子的附着和萌发<sup>[37]</sup>。研究发现，蜕皮后的昆虫幼虫虫龄越小，对球孢白僵菌越敏感，越易被侵染致死<sup>[38]</sup>。

### 4.4 受环境影响

球孢白僵菌杀虫谱广，可侵染多种昆虫，绿色安全，有利于维持生态系统的平衡，但其在发挥作用的过程中也易受到环境条件的影响，导致其防治效果不理想。研究发现，温度和湿度是关键因子，不仅影响球孢白僵菌的孢子萌发、菌丝生长及产孢繁殖，还影响球孢白僵菌侵染力的发挥<sup>[39-41]</sup>。

#### 4.4.1 温度的影响

温度(temperature)是影响球孢白僵菌孢子萌发、生长及侵染力的重要因素。钱晶晶等<sup>[39]</sup>研究发现，当温度为 26-28 °C 时，球孢白僵菌的菌丝生长速度和产孢量最佳，对青杨脊虎天牛幼虫的致病力也最强，因此该温度条件球孢白僵菌的营养生长和对害虫的致病性均较好；但当温度过高时，孢子会快速吸收热量，分泌几丁质酶、蛋白酶、脂肪酶等酶类，在短时间内即消耗完所有营养物质而导致失活。Hegedus 等<sup>[40]</sup>发现当环境温度超过 30 °C 时易导致孢子失活而失去侵染血黑蝗的能力。

#### 4.4.2 湿度的影响

环境相对湿度(relative humidity, RH)也是影响球孢白僵菌孢子萌发、生长及侵染力的重

要因素。适温高湿的环境条件是球孢白僵菌孢子提高萌发率、萌发速度及增强侵染力、大面积引起害虫病害的必要条件。当湿度较低时, 孢子很难萌发, 因为孢子在萌发过程中需要吸收水分<sup>[41]</sup>。有研究发现, 当  $RH=75\%$  时, 孢子在任何温度下都不能萌发, 主要是因为球孢白僵菌分生孢子的形成要求相对湿度在  $75\%$  及以上<sup>[42]</sup>;  $RH>85\%$  时, 随着相对湿度的增大, 孢子的萌发率和萌发速度也随之提高, 有利于侵入寄主体内, 增强对害虫的致病力<sup>[43]</sup>。其原因是当  $RH>85\%$  时, 球孢白僵菌孢子能很好地萌发、生长, 发挥较高的毒力, 能够很好地防止害虫的扩散<sup>[44]</sup>; 而当  $RH>90\%$  时, 菌株的生长状况最好, 非常有利于球孢白僵菌的侵染<sup>[45]</sup>; 当  $RH$  接近  $100\%$  时, 孢子萌发率最大, 杀虫效果最好, 对害虫的毒力最强<sup>[46]</sup>。王晓红等<sup>[47]</sup>在研究球孢白僵菌对桑天牛幼虫的毒力试验中发现, 当湿度为  $95\%–100\%$  时, 孢子的萌发率和萌发速度均与  $RH$  呈正相关; 当温度为  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $RH\ 100\%$  时, 桑天牛幼虫的死亡速度最快。白云等<sup>[48]</sup>在研究不同环境条件下球孢白僵菌对梨网蝽和东亚飞蝗的致死率中发现, 梨网蝽和东亚飞蝗的死亡率与  $RH$  呈正相关。

## 5 对策

### 5.1 高毒力菌株筛选与改造复壮

自然界有不同种类、不同来源的白僵虫, 这为发掘高毒力菌株提供了便利。目前, 生防工作者已从不同虫体等分离到大量菌株并进行了产孢、毒力等方面的研究<sup>[49]</sup>。据报道, 球孢白僵菌细胞表面结构与所处的自然环境有关, 不同环境条件下的球孢白僵菌会表现出不同的生化性质<sup>[50]</sup>。因此, 需收集不同地理种群和不同种类害虫的僵虫, 分离纯化获得不同菌株, 通过测定生长速率、产孢量和毒力测定, 发掘

具有生长势旺、产孢量大、毒力强和稳定性好的优势菌株, 或是针对某一种、某一类害虫筛选具有针对性强的专性菌株, 使用这些高毒力菌株将大大缩短侵染时间并解决速效性不理想的问题。在菌株筛选上, 需运用传统的菌株筛选法与人工诱变、遗传转化或基因工程等现代技术相结合, 以选育出高毒力菌株<sup>[51]</sup>。但在创制高毒力菌株的过程中还应注意提高菌株对不同环境的适应能力。

### 5.2 剂型改良

为了提高球孢白僵菌在环境中的稳定性, 缩短侵染时间及延长持效期, 应针对孢子自身特点改良菌剂类型, 改善其在田间的微环境。针对球孢白僵菌、害虫及农田环境, 分别采用可湿性粉剂、油剂、颗粒剂等不同剂型进行试验研究, 可最大限度保存孢子活力, 使其充分发挥作用, 并达到最佳防治效果, 也可选择能延长孢子活性的微胶囊剂等载体, 以有效保护孢子免受紫外线损伤<sup>[52]</sup>, 促进孢子充分发挥作用。

### 5.3 多种产品联用

#### 5.3.1 与化学农药联用

基于生物农药速效性差、易受环境影响且不稳定的缺点, 将生物农药与其他高效低毒低残留化学农药联合的混合制剂, 既能缩短侵染时间, 又能提高防效, 速效性与持效性兼得, 并且还降低了农药的用量, 避免产生抗性, 对环境绿色安全无污染<sup>[53]</sup>。研究表明, 球孢白僵菌与杀虫剂、除草剂具有较好的相容性, 而杀菌剂会抑制孢子的萌发与生长<sup>[54]</sup>, 不宜与球孢白僵菌混用。在一定浓度时, 生物制剂与化学杀虫剂的相容性与化学杀虫剂浓度呈负相关, 高浓度时不相容<sup>[55]</sup>。对此, 可在具有良好相容性的前提下开展球孢白僵菌与化学农药的混合制剂研究, 融合两者优点, 获得理想的田间防治效果, 提升以球孢白僵菌为主要原材料的生

防制剂在农林业害虫综合防治中的地位, 促进农药减施增效。

### 5.3.2 多种菌剂联用

除与化学农药联用外, 还可选择将球孢白僵菌与其他菌剂搭配使用, 环保且高效。研究发现, 通过将亲缘关系较远的两种生防菌联合用于害虫防治, 可获得协同增效的防治效果<sup>[56]</sup>。不同生防菌的防病控虫机理各不相同, 在生长、侵染致病过程中产生的代谢产物和分泌毒素均有所差异<sup>[57]</sup>。研究表明, 苏云金芽孢杆菌杀虫谱广, 能产生毒素和芽孢破坏昆虫肠壁抑制取食导致死亡, 在昆虫脱皮期和变态期抑制某些物质合成导致畸形, 但需通过昆虫的吞食进入体内才能发挥作用, 而球孢白僵菌能产生大量孢子, 并能从昆虫体壁或伤口侵入, 产生毒素破坏昆虫的免疫力, 能分泌黏性物质附着到昆虫体表, 促进苏云金杆菌的进入, 两者联合应用可缩短侵染时间、提高侵染力<sup>[58]</sup>。因此, 通过将不同生防菌进行联用可克服各自弊端, 兼容各自优点, 扩大杀虫谱。

### 5.3.3 与天敌联用

Wu 等<sup>[59]</sup>将球孢白僵菌与巴氏新小绥螨联合防控西花蓟马, 结果发现经球孢白僵菌处理后的西花蓟马幼虫更容易被巴氏新小绥螨捕食, 而巴氏新小绥螨攻击过的西花蓟马幼虫和蛹也更容易被球孢白僵菌感染, 表明将球孢白僵菌与生防天敌进行联合应用, 可解决单一生防产品防控效果不稳定的问题。

## 5.4 优化施用技术

### 5.4.1 施用方式

不同的施菌方法会影响球孢白僵菌的防治效果<sup>[60]</sup>。在田间应用过程中, 应依据防治区植被特点进行有针对性的防治, 如农田以喷施菌液及土壤施菌为主, 对于树体高大的林地可选用喷粉机喷粉进行防治, 增加孢子粉与害虫的

接触面积, 从而获得更好的防治效果; 还可以根据球孢白僵菌孢子具有随气流扩散和重复感染的特点, 依据害虫类型和危害程度采用带状、点块状或棋盘式等施菌方式。考虑到施菌的投入产出比, 还应注意施菌的位置和释放的孢子量, 因为这些因素均会影响防治效果。

### 5.4.2 施用时期

施用菌剂的时间较为关键, 一般选择阴天或下雨之后, 田间湿度较大, 适宜球孢白僵菌孢子的萌发、生长与侵染, 夏季一般选择傍晚施药, 温度适宜、湿度较高且紫外线较弱, 更有利于球孢白僵菌发挥作用。应避免在大风天或预计 1 h 内降雨的天气里施药, 在恶劣的天气里将大大降低孢子与害虫接触的概率, 从而降低侵染率。

## 5.5 保持菌株毒力

### 5.5.1 菌种提纯复壮

球孢白僵菌在实验室培养及工业生产过程中数次继代培养后, 菌株产孢量及毒力会大幅下降, 应及时采取措施对菌株进行提纯复壮或添加营养元素, 使菌株可以维持高水平的产孢能力及毒力, 保证菌剂药效。可通过在虫体上进行反复接种分离, 以提高菌株对虫体的致病力, 提升其稳定性<sup>[61]</sup>。

### 5.5.2 添加微量元素

营养元素是影响球孢白僵菌生长发育的重要因素之一, 营养元素缺乏会导致球孢白僵菌产孢量少、生长缓慢、毒力下降。碳源、氮源及微量元素是球孢白僵菌生长过程中必不可少的营养元素, 适宜的营养元素可促进球孢白僵菌生长, 增强其杀虫毒力<sup>[62]</sup>。研究发现, 来源于不同地理位置、不同寄主的球孢白僵菌菌株对同种元素的吸收和利用情况各不相同<sup>[63]</sup>。因此应针对不同菌株, 添加不同营养元素后进行菌株生长、产孢、毒力等相关指标的测定, 以

提升菌株毒力。

## 6 展望

目前, 已针对球孢白僵菌广泛开展了对多种农林业害虫的防治研究, 均取得了较好的防治效果, 为推广使用球孢白僵菌进行生物防治奠定了理论基础。相较而言, 关于球孢白僵菌人工生产僵蚕的研究报道较少, 但中药材(僵蚕)产业前景广阔, 亟须进行更深入的研究探讨。本团队采用时间-剂量-死亡率模型分析筛选出了适宜家蚕接种的球孢白僵菌浓度为  $10^5$ – $10^6$  个/mL, 并参照中国药典规定检测发现, 家蚕接种球孢白僵菌第 7 天至吐丝阶段死亡的僵蚕样品品质较好, 是人工生产僵蚕适宜的死亡时间, 为人工僵蚕生产和质量控制提供重要参考<sup>[64]</sup>。通过建立人工生产僵蚕菌种(球孢白僵菌孢子粉)的检验方法和质量评价指标可提高人工养殖僵蚕的成功率, 也为害虫的防效评价提供参考借鉴<sup>[65]</sup>。本团队研究的“一种菌袋培养球孢白僵菌孢子粉的方法”已获得国家授权发明专利<sup>[66]</sup>, 通过该方法能培育出高纯度、高孢量的孢子粉, 可实现批量生产球孢白僵菌孢子粉。然而, 在球孢白僵菌培养过程中, 菌株退化、毒力降低、效果不稳定等问题已被认识, 本团队后续将针对以上问题展开深入研究, 筛选更多优质僵蚕菌株, 实现僵蚕菌种的毒力保持, 保证球孢白僵菌的稳定培育。

## REFERENCES

- [1] 褚夫华. 褐飞虱生防真菌平沙绿僵菌和球孢白僵菌的筛选与评价[D]. 南京: 南京农业大学硕士学位论文, 2018. CHU FH. Screening and evaluation of biocontrol fungi *Metarhizium pingshaense* and *Beauveria bassiana* on *Nilaparvata lugens* Stal[D]. Nanjing: Master's Thesis of Nanjing Agricultural University, 2018 (in Chinese).
- [2] HESKETH H, ROY HE, EILENBERG J, PELL JK, HAILS RS. Challenges in modelling complexity of fungal entomopathogens in semi-natural populations of insects[J]. *BioControl*, 2010, 55(1): 55-73.
- [3] KOTTA-LOIZOU I, COUTTS RHA. Studies on the virome of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* reveal novel dsRNA elements and mild hypervirulence[J]. *PLoS Pathogens*, 2017, 13(1): e1006183.
- [4] 况再银. 球孢白僵菌诱导巴氏新小绥螨 Toll 通路的表达模式及 *spz* 基因的功能验证[D]. 重庆: 西南大学硕士学位论文, 2020. KUANG ZY. *Neoseiulus barkeri*'s expression pattern of the toll pathway induced by *Beauveria bassiana* and functional verification of *spz* gene[D]. Chongqing: Master's Thesis of Southwest University, 2020 (in Chinese).
- [5] SUN M, REN QY, GUAN GQ, LIU ZJ, MA ML, GOU HT, CHEN Z, LI YQ, LIU AH, NIU QL, YANG JF, YIN H, LUO JX. Virulence of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces lilacinus* to the engorged female *Hyalomma anatolicum anatolicum* tick (*Acari: Ixodidae*)[J]. *Veterinary Parasitology*, 2011, 180(3/4): 389-393.
- [6] 但彩云, 崔诗遥, 李聪慧, 刘雪, 李文乐, 蒋学, 时连根. 白僵蚕活性成分及其药用功效的研究概况[J]. *蚕桑通报*, 2021, 52(1): 1-5. DAN CY, CUI SY, LI CH, LIU X, LI WL, JIANG X, SHI LG. Research progress on active components and medicinal efficacy of *Bombyx batryticatus*[J]. *Bulletin of Sericulture*, 2021, 52(1): 1-5 (in Chinese).
- [7] ZHANG YJ, ZHANG JQ, JIANG XD, WANG GJ, LUO ZB, FAN YH, WU ZQ, PEI Y. Requirement of a mitogen-activated protein kinase for appressorium formation and penetration of insect cuticle by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2010, 76(7): 2262-2270.
- [8] WANG JJ, QIU L, CAI Q, YING SH, FENG MG. Transcriptional control of fungal cell cycle and cellular events by Fkh2, a forkhead transcription factor in an insect pathogen[J]. *Scientific Reports*, 2015, 5(1): 10108.
- [9] 辛正, 张晓, 刘慧媛, 王东, 王永明. 白僵菌在蟑螂防治中的研究进展[J]. *中华卫生杀虫药械*, 2017, 23(5): 401-406. XIN Z, ZHANG X, LIU HY, WANG D, WANG YM. Advances in cockroach control by *Beauveria bassiana*[J]. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 2017, 23(5): 401-406 (in Chinese).
- [10] WEI G, LAI YL, WANG GD, CHEN H, LI F, WANG SB. Insect pathogenic fungus interacts with the gut microbiota

- to accelerate mosquito mortality[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, 114(23): 5994-5999.
- [11] SANTOS TS, de FREITAS AC, PODEROSO JCM, HERNANDEZ-MACEDO ML, RIBEIRO GT, da COSTA LP, da COSTA MENDONÇA M. Evaluation of isolates of entomopathogenic fungi in the genera *Metarhizium*, *Beauveria*, and *Isaria*, and their virulence to *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae)[J]. Florida Entomologist, 2018, 101(4): 597.
- [12] 袁靖泽, 冯毅, 曹成全, 陈浩. 球孢白僵菌侵染普通齿蛉幼虫的显微观察和感病症状[J]. 四川动物, 2022, 41(4): 426-432.
- YUAN JZ, FENG Y, CAO CQ, CHEN H. Microscopic observation and disease symptoms of *Neoneuromus ignobilis* larvae infected by *Beauveria bassiana*[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2022, 41(4): 426-432 (in Chinese).
- [13] 张君. 球孢白僵菌与 RNA 干扰技术联合喷雾控蚜研究[D]. 重庆: 西南大学硕士学位论文, 2020.
- ZHANG J. Study on control technique against aphid by combined spraying *Beauveria bassiana* and RNA interference[D]. Chongqing: Master's Thesis of Southwest University, 2020 (in Chinese).
- [14] CLARKSON JM. New insights into the mechanisms of fungal pathogenesis in insects[J]. Trends in Microbiology, 1996, 4(5): 197-203.
- [15] 张啸, 刘佳, 杨亦桦, 武淑文. 球孢白僵菌侵染中黑盲蝽致病过程的电镜观察[J]. 应用昆虫学报, 2021, 58(5): 1190-1198.
- ZHANG X, LIU J, YANG YH, WU SW. Electron microscopic observation of infection of *Adelphocoris suturalis* by *Beauveria bassiana*[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2021, 58(5): 1190-1198 (in Chinese).
- [16] CASTRO T, EILENBERG J, DELALIBERA Jr I. Exploring virulence of new and less studied species of *Metarhizium* spp. from Brazil for two-spotted spider mite control[J]. Experimental and Applied Acarology, 2018, 74(2): 139-146.
- [17] 汪永松, 耿涛, 卢芙蓉, 武华周, 娄德钊, 涂娜娜, 王树昌. 球孢白僵菌 Bbchitinase 1 和 Bbchitinase 2 在侵染宿主过程中的不同作用[J]. 热带作物学报, 2021, 42(4): 1092-1098.
- WANG YS, GENG T, LU FP, WU HZ, LOU DZ, TU NN, WANG SC. Different roles of *Beauveria bassiana* Bbchitinase 1 and Bbchitinase 2 in host infection[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(4): 1092-1098 (in Chinese).
- [18] 吴圣勇. 白僵菌、巴氏新小绥螨和西花蓟马间的互作关系研究[D]. 北京: 中国农业科学院博士学位论文, 2014.
- WU SY. Interactions among *Beauveria bassiana*, *Neoseiulus barkeri* and *Frankliniella occidentalis*[D]. Beijing: Doctoral Dissertation of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014 (in Chinese).
- [19] 林海萍, 韩正敏, 张昕, 毛胜凤. 球孢白僵菌研究现状及提高其杀虫效果展望[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(5): 575-580.
- LIN HP, HAN ZM, ZHANG X, MAO SF. Current research situation on *Beauveria bassiana* and prospects of how to improve its pesticidal effects[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2006, 23(5): 575-580 (in Chinese).
- [20] 徐文静, 隋丽, 高鹏, 张荣宝, 王墨, 张正坤, 李启云. 球孢白僵菌可湿性粉剂防治玉米螟的研究与应用[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(6): 862-865.
- XU WJ, SUI L, GAO P, ZHANG RB, WANG Z, ZHANG ZK, LI QY. Study and application of wettable powder of *Beauveria bassiana* to control corn borer[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2020, 36(6): 862-865 (in Chinese).
- [21] 温绍海, 庞继鑫, 杜广祖, 陈斌, 张立敏. 2 株感染蠖螋的球孢白僵菌的分离鉴定及对草地贪夜蛾的毒力[J]. 植物保护, 2022, 48(4): 318-323, 362.
- WEN SH, PANG JX, DU GZ, CHEN B, ZHANG LM. Isolation and identification of two *Beauveria bassiana* strains from the infected earwig and their virulence to *Spodoptera frugiperda* larvae[J]. Plant Protection, 2022, 48(4): 318-323, 362 (in Chinese).
- [22] 庞继鑫, 温绍海, 杜广祖, 杨航, 马芸, 杨进波, 付玉飞, 张庭发, 易小光, 李正跃, 陈斌. 一株侵染草地贪夜蛾成虫的球孢白僵菌的分离鉴定[J]. 植物保护, 2022, 48(1): 185-190, 203.
- PANG JX, WEN SH, DU GZ, YANG H, MA Y, YANG JB, FU YF, ZHANG TF, YI XG, LI ZY, CHEN B. Isolation and identification of an entomopathogenic fungus infecting the adult of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)[J]. Plant Protection, 2022, 48(1): 185-190, 203 (in Chinese).
- [23] 陈培华, 池艳艳, 徐淑, 陈炳旭. 3 种微生物农药对广东草地贪夜蛾的田间防治效果[J]. 世界农药, 2022, 44(6): 49-53.
- CHEN PH, CHI YY, XU S, CHEN BX. Field control efficacy of three microbial pesticides against *Spodoptera frugiperda* in Guangdong Province[J]. World Pesticide, 2022, 44(6): 49-53 (in Chinese).
- [24] YANAR D, YANAR Y, BELGÜZAR S, ESER,



- KARAMEŞE ÜNALAN H. Efficacy of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* isolates against the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)[J]. Applied Ecology and Environmental Research, 2018, 16(6): 7903-7911.
- [25] 王露露, 房耀维, 刘姝, 杨光, 吴新财, 陈静, 侯晓月. 一株感染家蚕的高致病性白僵菌的筛选及发酵条件优化[J]. 微生物学通报, 2022, 49(6): 2233-2244.  
WANG LL, FANG YW, LIU S, YANG G, WU XC, CHEN J, HOU XY. Screening and fermentation optimization of a highly pathogenic *Beauveria bassiana* strain infecting silkworm larvae[J]. Microbiology China, 2022, 49(6): 2233-2244 (in Chinese).
- [26] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 一部. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 297-375.  
State Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[S]. One department. Beijing: China Pharmaceutical Science and Technology Press, 2015: 297-375 (in Chinese).
- [27] 王爱方, 李伟. 虫类药物治疗中风病的临床应用[J]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2019, 3(7): 4-5, 7.  
WANG AF, LI W. Clinical application of insect drugs in treating apoplexy[J]. Modern Medicine and Health Research, 2019, 3(7): 4-5, 7 (in Chinese).
- [28] 田蜜, 陈芳, 余坊. 僵蚕的研究进展[J]. 中医药导报, 2015, 21(15): 101-104.  
TIAN M, CHEN F, YU F. Research progress of stiff silkworm[J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2015, 21(15): 101-104 (in Chinese).
- [29] 李娟, 吴圣勇, 王晓青, 王帅宇, 雷仲仁. 防治西花蓟马的球孢白僵菌菌株筛选及耐热性测定[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(6): 845-852.  
LI J, WU SY, WANG XQ, WANG SY, LEI ZR. Screening of *Beauveria bassiana* strains against *Frankliniella occidentalis* and their conidial thermotolerance[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2015, 31(6): 845-852 (in Chinese).
- [30] 李会平, 魏晓鹏, 岳素红. 桑天牛幼虫致病性白僵菌菌株退化的RAPD分析[J]. 蚕业科学, 2013, 39(2): 226-230.  
LI HP, WEI XP, YUE SH. RAPD analysis on degenerate strains of *Beauveria bassiana* used in biocontrol of *Apriona germari*[J]. Science of Sericulture, 2013, 39(2): 226-230 (in Chinese).
- [31] 裴炎, 方卫国, 张永军. 昆虫病原真菌致病寄主的机制和基因工程改良[J]. 农业生物技术学报, 2003, 11(3): 221-226.  
PEI Y, FANG WG, ZHANG YJ. Mechanism of fungal pathogenesis in insect and strain improvement by gene engineering[J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2003, 11(3): 221-226 (in Chinese).
- [32] WU K. Seasonal abundance of the mirids, *Lygus lucorum* and *Adelphocoris* spp. (Hemiptera: Miridae) on Bt cotton in Northern China[J]. Crop Protection, 2002, 21(10): 997-1002.
- [33] 陆宴辉, 吴孔明. 棉花盲椿象及其防治[M]. 北京: 金盾出版社, 2008.  
LU YH, WU KM. Cotton Stink Bug and Its Control[M]. Beijing: Jindun Publishing House, 2008 (in Chinese).
- [34] VESTERGAARD S, GILLESPIE AT, BUTT TM, SCHREITER G, EILENBERG J. Pathogenicity of the hyphomycete fungi *Verticillium lecanii* and *Metarhizium anisopliae* to the western flower Thrips, *Frankliniella occidentalis*[J]. Biocontrol Science and Technology, 1995, 5(2): 185-192.
- [35] 袁盛勇, 孔琼, 张宏瑞, 王平, 孙士卿, 李正跃, 肖春. 球孢白僵菌对西花蓟马成虫和若虫的毒力研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2011, 33(6): 54-57.  
YUAN SY, KONG Q, ZHANG HR, WANG P, SUN SQ, LI ZY, XIAO C. Study on the virulence of *Beauveria bassiana* against adult and nymph of *Frankliniella occidentalis* (pergande)[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2011, 33(6): 54-57 (in Chinese).
- [36] 魏萍, 王恒玺. 球孢白僵菌对不同龄期棉蚜的毒力测定[J]. 山东农业科学, 2014, 46(3): 86-87, 92.  
WEI P, WANG HX. Toxicity determination of *Beauveria bassiana* to different instars of cotton aphids[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2014, 46(3): 86-87, 92 (in Chinese).
- [37] WU SY, GUO JF, XING ZL, GAO YL, XU XL, LEI ZR. Comparison of mechanical properties for mite cuticles in understanding passive defense of phytoseiid mite against fungal infection[J]. Materials & Design, 2018, 140: 241-248.
- [38] 戴长庚, 李鸿波, 魏琪, 胡阳. 5种杀虫剂对二化螟不同龄期幼虫的毒力和防效[J]. 杂交水稻, 2022, 37(3): 25-28.  
DAI CG, LI HB, WEI Q, HU Y. Toxicity and control efficacy of five insecticides against different instar larvae of *Chilo suppressalis*[J]. Hybrid Rice, 2022, 37(3): 25-28 (in Chinese).
- [39] 钱晶晶, 迟德富, 丁俊男. 球孢白僵菌 Bb01 菌株的生物学特性[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(27): 374-379.  
QIAN JJ, CHI DF, DING JN. Biological characteristics of *Beauveria bassiana* Bb01 strain[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(27): 374-379 (in Chinese).
- [40] HEGEDUS DD, KHACHATOURIANS GG. The effects of

- temperature on the pathogenicity of heat-sensitive mutants of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*, toward the migratory grasshopper, *Melanoplus sanguinipes*[J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 1996, 68(2): 160-165.
- [41] 秦长生. 保水剂对白僵菌发芽率影响的初步研究[J]. 广东林业科技, 2003, 19(4): 30-32.  
QIN CS. The preliminary study on effects of water retaining agent to *Beauveria bassiana* germinating rate[J]. *Forestry Science and Technology*, 2003, 19(4): 30-32 (in Chinese).
- [42] dal BELLO G, PADÍN S, JUÁREZ P, PEDRINI N, de GIUSTO M. Biocontrol of *Acanthoscelides obtectus* and *Sitophilus oryzae* with diatomaceous earth and *Beauveria bassiana* on stored grains[J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2006, 16(2): 215-220.
- [43] 林华峰, 樊美珍, 李增智, 胡萃. 不同温湿度下白僵菌对松毛虫的侵染致病效应[J]. *应用生态学报*, 1998, 9(2): 195-200.  
LIN HF, FAN MZ, LI ZZ, HU C. Pathogenic effect of *Beauveria bassiana* infected on *Dendrolimus punctatus* under different temperature and humidity[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(2): 195-200 (in Chinese).
- [44] QUESADA-MORAGA E, MARANHÃO EAA, VALVERDE-GARCÍA P. Selection of *Beauveria bassiana* isolates for control of the whiteflies *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* on the basis of their virulence, thermal requirements, and toxicogenic activity[J]. *Biological Control*, 2006, 36(3): 274-287.
- [45] ALEXANDRE TM, ALVES LFA, NEVES PMOJ, ALVES SB. Effect of temperature and poultry litter in *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium Anisopliae* (Metsch) virulence against the lesser mealworm *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae)[J]. *Neotropical Entomology*, 2006, 35(1): 75-82.
- [46] HE YR, LU LH, KUANG ZB, FENG X, CHEN HY, WU YJ. Effect of temperature and humidity on the virulence of beetle-derived *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Deuteromycetes: Moniliales) against the daikon leaf beetle, *Phaedon brassicae* Baly (Coleoptera: Chrysomelidae)[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2005(5): 679-686.
- [47] 王晓红, 黄大庄, 李会平, 纪慧芳, 杜绍华. 不同温、湿度下球孢白僵菌 Bb00 菌株的生长状况及对桑天牛的致病力研究[J]. *蚕业科学*, 2007, 33(2): 167-171.  
WANG XH, HUANG DZ, LI HP, JI HF, DU SH. Effect of temperature and humidity on *Mycelium* growth of a *Beauveria bassiana* strain and its pathogenicity against *Apriona germari* larvae[J]. *Science of Sericulture*, 2007, 33(2): 167-171 (in Chinese).
- [48] 白云, 崔雨虹, 曹娜, 刘义豪, BUGTI GA, 王滨. 球孢白僵菌对东亚飞蝗和梨冠网蝽侵染的温湿度效应[J]. *中国生物防治学报*, 2016, 32(6): 735-742.  
BAI Y, CUI YH, CAO N, LIU YH, BUGTI GA, WANG B. Effects of humidity and temperature on the pathogenicity of *Beauveria bassiana* against *Stephanitis nashi* and *Locusta migratoria* manilensis[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2016, 32(6): 735-742 (in Chinese).
- [49] YANG Z, JIANG HY, ZHAO X, LU ZY, LUO ZB, LI XB, ZHAO J, ZHANG YJ. Correlation of cell surface proteins of distinct *Beauveria bassiana* cell types and adaptation to varied environment and interaction with the host insect[J]. *Fungal Genetics and Biology: FG & B*, 2017, 99: 13-25.
- [50] 汤强, 章玉萍, 谢翎, 宋礼华, 李增智, 黄勃. 玫瑰色棒束孢几丁质酶的转基因球孢白僵菌菌株的获得及其对马尾松毛虫的毒力增效作用[J]. *昆虫学报*, 2009, 52(7): 755-762.  
TANG Q, ZHANG YP, XIE L, SONG LH, LI ZZ, HUANG B. Generation of transgenic *Beauveria bassiana* strains with chitinase gene from *Isaria fumosorosea* and its increased virulence against *Dendrolimus punctatus* (Lepidoptera: Lasiocampidae)[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52(7): 755-762 (in Chinese).
- [51] 骆伦伦. 秸秆对黄粉虫生长发育、消化酶和肠道微生物的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学硕士学位论文, 2017.  
LUO LL. Effects of straws on growth, digestive enzymes and intestinal microorganisms of *Tenebrio molitor* linne[D]. Hangzhou: Master's Thesis of Zhejiang A&F University, 2017 (in Chinese).
- [52] MOTA LHC, SILVA WD, SERMARINI RA, DEMÉTRIO CGB, BENTO JMS, DELALIBERA Jr I. Autoinoculation trap for management of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) with *Beauveria bassiana* (Bals.) in coffee crops[J]. *Biological Control*, 2017, 111: 32-39.
- [53] 姜立波, 赵亚冬, 周兴隆, 沈慧敏. 常用杀螨剂与顶孢霉 Ahy1 菌株的相容性及协同作用[J]. *植物保护*, 2012, 38(5): 73-77.  
JIANG LB, ZHAO YD, ZHOU XL, SHEN HM. Biocompatibility between *Acremonium hansfordii* and common acaricides and the synergistic effect[J]. *Plant Protection*, 2012, 38(5): 73-77 (in Chinese).
- [54] PELIZZA SA, SCORSETTI AC, FOGEL MN, PACHECO-MARINO SG, STENGLEIN SA, CABELLO MN, LANGE CE. Compatibility between

- entomopathogenic fungi and biorational insecticides in toxicity against *Ronderosia bergi* under laboratory conditions[J]. *BioControl*, 2015, 60(1): 81-91.
- [55] 姜灵, 洪波, 王新谱, 贾彦霞. 常用杀虫剂与球孢白僵菌的相容性及对温室白粉虱的协同防效[J]. *植物保护*, 2018, 44(1): 199-204.  
JIANG L, HONG B, WANG XP, JIA YX. Compatibility of chemical pesticides with *Beauveria bassiana* and synergistic control effect on *Trialeurodes vaporariorum*[J]. *Plant Protection*, 2018, 44(1): 199-204 (in Chinese).
- [56] 袁景. 害虫生物防治技术基础与应用[J]. *商业故事*, 2018(19): 29.  
YUAN J. Basis and application of biological pest control technology[J]. *Business Story*, 2018(19): 29 (in Chinese).
- [57] 彭国雄, 张淑玲, 张维, 夏玉先. 杀虫真菌与苏云金芽胞杆菌对草地贪夜蛾的联合室内杀虫活性研究[J]. *中国生物防治学报*, 2019, 35(5): 735-740.  
PENG GX, ZHANG SL, ZHANG W, XIA YX. Synergistic effects of fungal insecticides and *Bacillus thuringiensis* against *Spodoptera frugiperda* in laboratory[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019, 35(5): 735-740 (in Chinese).
- [58] YAROSLAVTSEVA ON, DUBOVSKIY IM, KHODYREV VP, DUISEMBEKOV BA, KRYUKOV VY, GLUPOV VV. Immunological mechanisms of synergy between fungus *Metarhizium robertsii* and bacteria *Bacillus thuringiensis* ssp. *morrisoni* on Colorado potato beetle larvae[J]. *Journal of Insect Physiology*, 2017, 96: 14-20.
- [59] WU SY, GAO YL, XU XN, GOETTEL MS, LEI ZR. Compatibility of *Beauveria bassiana* with *Neoseiulus barkeri* for control of *Frankliniella occidentalis*[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14(1): 98-105.
- [60] 湛金吾, 王正文, 黄胜先, 侯彪, 吴文和, 张鼎州. 白僵菌对蓝莓蛴螬不同毒杀方法效果分析[J]. *耕作与栽培*, 2017(1): 1-3.  
CHEN JW, WANG ZW, HUANG SX, HOU B, WU WH, ZHANG DZ. Effect of different poison methods on blueberry-grubs with *Beauveria bassiana*[J]. *Tillage and Cultivation*, 2017(1): 1-3 (in Chinese).
- [61] 邹东霞, 徐庆玲, 廖旺姣, 黄华艳. 2种方法复壮马尾松毛虫球孢白僵菌的研究[J]. *广西林业科学*, 2016, 45(4): 365-368.  
ZOU DX, XU QL, LIAO WJ, HUANG HY. Two methods of rejuvenation of *Beauveria bassiana* on *Dendrolimus punctatus*[J]. *Guangxi Forestry Science*, 2016, 45(4): 365-368 (in Chinese).
- [62] 唐亮, 石美宁, 胡文娟, 黄旭华, 黄深惠, 王霞. 不同方法复壮球孢白僵菌[J]. *广西蚕业*, 2015, 52(2): 11-14.  
TANG L, SHI MN, HU WJ, HUANG XH, HUANG SH, WANG X. Methods to rejuvenate *Beauveria bassiana* with different methods[J]. *Guangxi Sericulture*, 2015, 52(2): 11-14 (in Chinese).
- [63] 宋漳, 周晓妹. 维生素对白僵菌生长和液生分生孢子形成的影响[J]. *福建林学院学报*, 2010, 30(3): 198-201.  
SONG Z, ZHOU XM. Growth and sporulation of *Beauveria bassiana* on liquid media containing various vitamins in submerged culture[J]. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2010, 30(3): 198-201 (in Chinese).
- [64] 孙佩, 童文, 曾华兰, 华丽霞, 何炼, 龙燕梅, 卿玲杉. 球孢白僵菌对家蚕的时间-剂量-死亡率模型分析和僵蚕质量评价[J]. *中药材*, 2021, 44(9): 2034-2039.  
SUN P, TONG W, ZENG HL, HUA LX, HE L, LONG YM, QING LS. Time-dose-mortality model analysis of *Beauveria bassiana* to *Bombyx mori* and quality evaluation of *Bombyx batryticatus*[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2021, 44(9): 2034-2039 (in Chinese).
- [65] 孙佩, 叶霄, 童文, 龙燕梅, 况再银. 人工生产僵蚕菌种质量检验[J]. *农学学报*, 2022, 12(5): 47-53, 76.  
SUN P, YE X, TONG W, LONG YM, KUANG ZY. Quality inspection of bacteria for *Bombyx batryticatus* by artificial feeding[J]. *Journal of Agriculture*, 2022, 12(5): 47-53, 76 (in Chinese).
- [66] 孙佩, 童文, 龙燕梅. 一种菌袋培养球孢白僵菌孢子粉的方法: CN110305801A[P]. 2019-10-08.  
SUN P, TONG W, LONG YM. Method for cultivating spore powder of *Beauveria bassiana* through fungus bags: CN110305801A[P]. 2019-10-08 (in Chinese).