

球孢白僵菌菌株 GZGY 对茶黄螨 致病力及生长发育的影响*

张燕南^{1,3**} 毕司进^{2**} 李悦¹ 吴圣勇³ 王恩东³ 徐学农^{3***}

(1. 绵阳师范学院生命科学与技术学院, 绵阳 621006; 2. 绵阳市农业科学研究院, 绵阳 621006;

3. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要 【目的】为了探究球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 菌株 GZGY 对茶黄螨 *Polyphagotarsonemus latus* 致病力, 并研究该菌株致死中浓度对茶黄螨生长发育及繁殖的影响。【方法】采用叶片浸渍法, 比较菌株 GZGY、Q2505 和 ACCC30006 对茶黄螨的侵染力差异, 进一步采用生命表技术测定高毒力白僵菌菌株 (GZGY) 对茶黄螨的生长发育的影响。【结果】3 种供试球孢白僵菌菌株中 GZGY 对茶黄螨的校正死亡率显著高于 ACCC30006 和 Q2505 菌株 ($P < 0.05$), 其致死中浓度值 (LC_{50}) 为 4.6×10^6 个/mL。相对于对照组的茶黄螨, 用 LC_{50} 浓度的白僵菌 GZGY 孢子液处理茶黄螨后, 其卵到成螨期延长 13.7%, 寿命缩短 49.8%, 内禀增长率降低 33.3%。【结论】球孢白僵菌 GZGY 对茶黄螨有较高的侵染力, 可作为防治茶黄螨的潜在生物防治菌之一。

关键词 球孢白僵菌; 茶黄螨; 生物防治; 繁殖力; 生命参数

Effects of the *Beauveria bassiana* GZGY strain on the pathogenicity and reproduction of *Polyphagotarsonemus latus*

ZHANG Yan-Nan^{1,3**} BI Si-Jin^{2**} LI Yue¹ WU Sheng-Yong³
WANG En-Dong³ XU Xue-Nong^{3***}

(1. College of Life Sciences, Mianyang Normal University, Mianyang 621006, China; 2. Mianyang Academy of Agricultural Sciences, Mianyang 621006, China; 3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract 【Objectives】To explore the pathogenicity of the *Beauveria bassiana* GZGY strain on *Polyphagotarsonemus latus*, and investigate the effect of exposure to a median, lethal concentration of that strain on the growth and development of *P. latus*. 【Methods】The leaf immersion method was used to compare the pathogenicity of the *B. bassiana* strains, GZGY, Q2505 and ACCC30006 on *P. latus*. The life table method was then used to investigate the effect of the most virulent strain on the growth and development of *P. latus*. 【Results】The corrected mortality of GZGY strain against *P. latus* was significantly higher than that of the other two strains, and the median lethal concentration (LC_{50}) was 4.6×10^6 per mL. *P. latus* infected with a median lethal concentration (LC_{50}) of the GZGY strain had a 14.5% longer generation time, a 49.8% shorter life span, and a 33.3% lower intrinsic rate of increase (r_m), than the control group. 【Conclusion】The *B. bassiana* GZGY strain had the highest infectivity against *P. latus* and could be a potential biocontrol agent for this pest in China.

Key words *Beauveria bassiana*; broad mite; biological control; fecundity; life table parameters

茶黄螨 *Polyphagotarsonemus latus* Banks 又名 真螨目 Acariformes, 跗线螨科 Tarsonemidae, 多
茶跗线螨、侧多食跗线螨, 隶属蛛形纲 Arachnida, 食跗线螨属 *Polyphagotarsonemus* (Banks, 1904)

*资助项目 Supported projects: 四川省科技计划项目 (2021YJ0493); 绵阳师范学院科研启动资金 (QD2019A16); 绵阳市农科院院
创新项目 (Cxjj73); 现代农业产业技术体系北京市设施蔬菜创新团队, BAIC01-2024

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: 1074379346@qq.com; 291807887@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: xuxuonong@caas.cn

收稿日期 Received: 2023-02-01; 接受日期 Accepted: 2023-05-06

是世界性分布的重要农业害虫 (<https://www.cabidigitallibrary>)。该螨在世界范围内均有分布,在热带和亚热带地区可以终年繁殖,尤以春秋季节高发(Fan and Petitt, 1998; Rodríguez *et al.*, 2011; Renkema *et al.*, 2017)。茶黄螨寄主范围广,可危害 60 多个科的植物,尤其对一些蔬菜和观赏植物为害严重(Brown and Jones, 1983; Gerson and Weintraub, 2007; Aguilar and Murillo, 2012)。该螨因个体小和活动场所较隐秘导致初期症状不易识别(Rattanatip *et al.*, 2013);同时其繁殖能力强,发育历期短,在田间种群增长快,在很短的时间内大量聚集在植物嫩叶或嫩芽处危害,使植物叶片增厚、变硬、卷曲、脆弱易断,使植株早衰、枯死,给农业生产造成严重损失(Radonjić and Hrnčić, 2017)。

化学防治是生产实践中防治茶黄螨的常用方法之一,但茶黄螨已经对很多化学农药产生了抗性(Breda *et al.*, 2017; Sathua *et al.*, 2018)。因此,寻找替代化学农药防治方法尤为重要,而生物防治可能是控制其危害的重要途径。21 世纪初期,欧美国家开始尝试利用生物防治的方法,其中利用真菌防治该害螨被广泛应用。对于茶黄螨的真菌防治在国外主要有球孢白僵菌 *Beauveria bassiana*、汤普生多毛菌 *Hirsutella thompsonii*、玫烟色拟青霉菌 *Paecilomyces fumosoroseus*、粉红螺旋聚孢霉 *Clonostachys chloroleuca* 和金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 等(Pena *et al.*, 1996; Maketon *et al.*, 2008)。球孢白僵菌作为一种重要的昆虫病原真菌,具有寄主广泛、易于培养、致病性强及对环境和人畜较为安全等特点,在我国已被广泛应用于多种害虫的生物防治中(邝灼彬等, 2005; 何恒果和李正跃, 2008; 张妍等, 2021)。但我国针对球孢白僵菌对茶黄螨致病性的研究还鲜有报道。因此,本研究对比几种对茶黄螨成螨具有高毒力的球孢白僵菌菌株,测定高毒力白僵菌对茶黄螨的生长发育的影响,旨在为茶黄螨的生物防治提供重要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试螨源 茶黄螨种群采自四川绵阳周边农田。在实验室内由盆栽的芸豆苗上饲养多代。饲养温度为 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, 湿度 $(70 \pm 5)\%$, 光周期 16 L : 8 D。

1.1.2 供试球孢白僵菌菌株与培养基 萨氏培养基 (SDAY): 葡萄糖 32 g, 蛋白胨 8 g, 酵母膏 8 g, 琼脂 16–18 g, 800 mL 水。供试菌株: 球孢白僵菌菌株 GZGY、Q2505、ACCC30006 均由中国农业科学院植物保护研究所蔬菜害虫组提供,在 PDA 试管里保存于 4°C 冰箱,进行试验前将保存的菌株转入萨氏培养基 (SDAY) 培养基上活化 10–12 d 备用。

1.1.3 球孢白僵菌孢子悬浮液的制备 用无菌接菌环从 PDA 斜面上刮下分生孢子接种于 SDAY 产孢培养基,在 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的黑暗条件下培养 15 d 后,将分生孢子从产孢培养基平板上刮下,置于 0.05%吐温 - 80 溶液中,配制成孢子悬浮液。然后用 4 层无菌的无纺布过滤掉悬浮液中的菌丝,取 20 mL 经高温灭菌的萌发液 (0.05%吐温 - 80, 1%酵母提取物, 4%葡萄糖) 与少量孢子悬浮液混合,放入 50 mL 经高温高压灭菌的锥形瓶中。锥形瓶用封口膜封口,并在 180 r/min 的摇床上培养 18 h 后。取一滴混合液于载玻片上,在显微镜下镜检,孢子萌发率大于 90%的菌株方可用于试验。试验时,孢子悬浮液浓度用血球计数板 (25×16 型) 计数,取 4 个角中的方格和中央的共 5 个方格 (80 个小格) 计数,计数 3 次,计算菌液浓度。

1.2 试验方法

1.2.1 供试菌株致病力比较 试验选取单片含有 200 头茶黄螨初羽化雌成螨的四季豆叶片,立即浸入已配制好的 1×10^7 孢子/mL 的悬浮液中 5 s,取出叶片放在无菌的滤纸上自然晾干。晾干后,将试虫挑入饲养小室 (3 cm×2 cm×0.5 cm) (Zhang *et al.*, 2015),每个小室 20 头,每个处理 8 次重复,以 0.05%吐温 - 80 溶液作为对照,

连续观察 5 d, 每天记录茶黄螨死亡头数 (Martins *et al.*, 2016), 试验采用随机区组设计, 每株菌株的每次重复都用不同批次的茶黄螨和孢子悬浮液进行试验。

1.2.2 高毒力菌株对茶黄螨雌成螨致死中浓度测定 在试验 1.2.1 的基础上, 将筛选出的高毒力菌株孢子用 0.05% 吐温 - 80 溶液配制成 (1×10^4 、 1×10^5 、 1×10^6 、 1×10^7 、 1×10^8) 5 个不同浓度孢子悬浮液, 将饲养小室用超细小喷壶孢子悬浮液喷入 5 s, 待叶片表面自然晾干后挑入 20 头茶黄螨雌成螨, 每个处理 8 个重复。0.05% 吐温 - 80 溶液作为对照, 连续 5 d 观察并记录茶黄螨的死亡虫数 (Maketon *et al.*, 2008), 通过 SPSS20.0 回归分析中的 Probit 计算致死中浓度 LC_{50} 。

1.2.3 球孢白僵菌菌株 GZGY 对茶黄螨子代生长发育及繁殖的影响 用软毛笔挑取羽化 1 d 后的茶黄螨雌成螨 150 头在浓度为 4.6×10^6 孢子/mL 浸泡 5 s 将其置于滤纸上, 吸去多余孢子悬浮液, 用软毛笔将试虫挑入饲养小室, 待其产卵之后移走雌成螨, 每个小室保留 1 粒卵, 每隔 12 h 观察并记录卵的孵化及其生长发育情况, 发育至雌成螨后使之交配 24 h, 将雄螨剔除, 每天更换新鲜叶片并记录产卵数量, 记录每头茶黄螨产卵前期、产卵期、产卵后期和寿命, 计算茶黄螨的发育、繁殖相关生物学参数。以 0.05% 吐温 - 80 溶液处理的茶黄螨作为对照。

1.3 数据处理

(1) 校正死亡率 (%) = (处理死亡率 - 对照死亡率) / (1 - 对照死亡率) × 100。

(2) 试验种群各生命表生命参数测定如下 (Birch, 1948):

$$\begin{aligned} R_0 &= \sum l_x m_x; \\ r_m &= \ln(R_0) / T; \\ T &= \sum x l_x m_x / R_0; \\ \lambda &= e^{r_m}; \\ t &= \ln(2) / r_m. \end{aligned}$$

其中 x 为按天划分的单位时间间隔; l_x 为在 x 期内茶黄螨雌成螨的存活率; m_x 为在 x 期内存活的每一个茶黄螨雌成螨所产生的雌性后代数; e 为自然常数。不同菌株致病力数据采用单因素方差分

析, 对照组和处理组的不同发育时间、繁殖力和生命参数均采用 t 检验, 分析均由 SPSS20.0 完成。

2 结果与分析

2.1 不同球孢白僵菌菌株致病力比较

供试 3 种菌株对茶黄螨具有不一样的致病力 (图 1), 其中 GZGY 菌株对茶黄螨的校正死亡率显著高于 ACCC30006 和 Q2505 菌株 ($P < 0.05$), 随着时间增长, 致死率随着增高。致死中时 (LD_{50}) 为 2.5 d。菌株 GZGY、ACCC30006、Q2505 的第 3 天对茶黄螨的校正死亡率分别为 63.82%、3.75%、24.37%, 同时 Q2505 菌株致病力显著高于 ACCC30006 ($P < 0.05$)。因此, 接下来以 GZGY 菌株作为实验所用菌株。

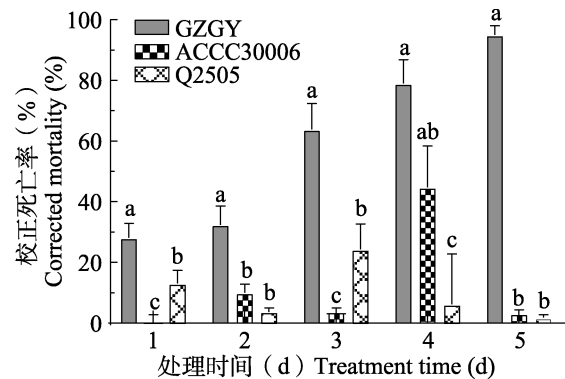


图 1 不同菌株球孢白僵菌对茶黄螨致病力
Fig. 1 Cumulative corrected mortality of different strains of *Beauveria bassiana* against adult *Polyphagotarsonemus latus*

图中字母表示相同时间内不同菌株的差异显著性 ($P < 0.05$, 单因素方差分析)。

Different letters above bars indicate significant differences between different strains over the same time period ($P < 0.05$, One-way ANOVA).

2.2 白僵菌 GZGY 对茶黄螨成螨致死中浓度测定

被菌株 GZGY 孢子液 5 个浓度处理后, 随着时间和浓度的增加, 茶黄螨的校正死亡率均逐渐增加。在 1×10^7 和 1×10^8 个孢子 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度下, 前 3 d 的死亡率迅速增加, 第 5 天后, 对茶黄螨的致死率分别达到 100% 和 97.00% (图 2)。以浓度的对数为横坐标, 第 1、2、3、4 和 5 天的校正死亡率为纵坐标, 建立回归方程。茶黄螨的死

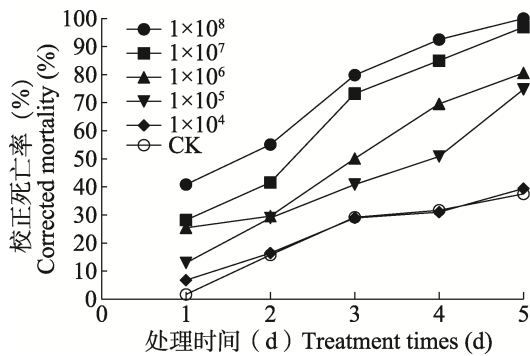


图2 不同浓度白僵菌 GZGY 孢子液对茶黄螨成螨的致死率

Fig. 2 Cumulative corrected mortality of different concentration of *Beauveria bassiana* GZGY against adult *Polyphagotarsonemus latus*

亡率与白僵菌浓度对数呈现线性关系。72 h 后 GZGY 对茶黄螨的毒力回归方程为 $Y = -0.7566 + 0.1886X$, LC_{50} 值为 4.6×10^6 个/mL (表 1)。

表 1 白僵菌菌株 GZGY 孢子液对茶黄螨雌成螨的致死中浓度

Table 1 The median lethal concentration (LC_{50}) of *Beauveria bassiana* GZGY on adult *Polyphagotarsonemus latus*

处理时间 (d) Treatment time (d)	回归方程 Toxic model	相关系数 R^2 Correlation coefficient	致死中浓度 (个/mL) LC_{50} (ind./mL)
1	$Y = -0.2988 + 0.0872X$	0.9724	1.45×10^9
2	$Y = -0.4190 + 0.1086X$	0.9475	2.90×10^8
3	$Y = -0.7566 + 0.1886X$	0.9730	4.6×10^6
4	$Y = -0.8481 + 0.2268X$	0.9735	8.8×10^5
5	$Y = -0.6800 + 0.2240X$	0.8701	1.9×10^5

表 2 致死中浓度球孢白僵菌 GZGY 处理对茶黄螨未成熟期发育历期的影响

Table 2 Effect of the median lethal concentration (LC_{50}) of *Beauveria bassiana* GZGY on the development time of immature *Polyphagotarsonemus latus*

未成熟发育期 The development time of immature	GZGY	CK
卵期 (d) Egg stage (d)	$2.48 \pm 0.13^*$	2.14 ± 0.05
幼螨期 (d) Larva stage (d)	$1.14 \pm 0.11^*$	0.85 ± 0.04
若螨期 (d) Nymph stage (d)	0.93 ± 0.04	0.90 ± 0.04
卵到成螨历期 (d) Generation stage (d)	$4.55 \pm 0.19^*$	3.89 ± 0.06

表中数据为平均数±标准误。“*”表示同一发育阶段处理与对照间差异显著 ($P < 0.05$, t 检验)。下表同。

Data are mean±SE. “*” indicates significant differences between treatment and control at the same developmental stage ($P < 0.05$, t -test). The same below.

2.3 致死中浓度白僵菌菌株 GZGY 孢子液处理对茶黄螨子代生长发育的影响

2.3.1 对茶黄螨 F_1 代未成熟发育历期的影响

LC_{50} 剂量球孢白僵菌 GZGY 处理茶黄螨后代卵期 (2.48 d) 显著长于对照 (2.14 d) ($t = -2.550$, $P = 0.017 < 0.05$); 幼螨期 (1.14 d) 显著长于对照 (0.85 d) ($t = -2.392$, $P = 0.024 < 0.05$); 处理组和对照组对若螨期长度没有显著差异 ($t = -0.608$, $P = 0.545 > 0.05$), LC_{50} 剂量球孢白僵菌 GZGY 处理茶黄螨卵到成螨历期 (4.55 d) 显著长于对照 (3.89 d) ($t = -3.349$, $P = 0.002 < 0.05$) (表 2)。

2.3.2 对茶黄螨 F_1 代成熟期的影响

致死中浓度球孢白僵菌 GZGY 处理茶黄螨, 其寿命与产卵期相比对照缩短了约 50% (表 3), 单雌日产

表 3 致死中浓度球孢白僵菌 GZGY 处理对茶黄螨子代雌成螨繁殖力的影响

Table 3 Effect of the median lethal concentration (LC_{50}) of *Beauveria bassiana* GZGY on the fecundity of *Polyphagotarsonemus latus* adults

雌成螨的繁殖力 Fecundity of adults	菌株 Strain	
	GZGY	CK
产卵前期 (d) Per-oviposition (d)	1.36 ± 0.15	1.11 ± 0.05
产卵期 (d) Oviposition (d)	$6.32 \pm 0.45^*$	12.00 ± 0.77
产卵后期 (d) Post-oviposition (d)	0.36 ± 0.14	0.93 ± 0.29
寿命 (d) Life span (d)	$7.05 \pm 0.54^*$	14.05 ± 0.80
单雌日产卵量 (头) Daily fecundity (grains/day/female)	$2.18 \pm 0.19^*$	4.46 ± 0.14
总产卵量 (头) Total fecundity (grains/male)	$14.32 \pm 1.74^*$	53.86 ± 3.90

卵量和总产卵量分别比对照减少了 51.1% 和 73.4%，而产卵前期 ($t = -1.54$, $P = 0.136 > 0.05$) 与产卵后期 ($t = -1.328$, $P = 0.189 > 0.05$) 与对照相比均没有显著性差异 (表 3)。

2.3.3 对茶黄螨子代生命表参数的影响 LC_{50} 剂量球孢白僵菌 GZGY 处理茶黄螨雌成螨后，处理后子代种群的净生殖率 (6.29) 比对照 (29.53) 低 78.7%。平均世代周期、内禀增长率和周限增长率分别比对照低 16.97%、33.33% 和 12.00%。种群加倍时间比对照延长了 52.68%。由此可得，致死中浓度球孢白僵菌 GZGY 处理茶黄螨后，对种群有一定的抑制作用 (表 4)。

表 4 致死中浓度球孢白僵菌 GZGY 处理对茶黄螨生命表参数的影响

Table 4 Effect of the median lethal concentration (LC_{50}) of *Beauveria bassiana* GZGY on the life table parameters of *Polyphagotarsonemus latus*

生命参数 Parameter	GZGY	CK
净增值率 R_0 Reproductive rate	6.29	29.53
世代生长周期 T (d) Generation time	8.32	10.02
内禀增长率 r_m Intrinsic rate	0.22	0.33
种群加倍时间 t (d) Doubling time	3.13	2.05
周限增长率 λ Finite rate of increase	1.25	1.40

3 结论与讨论

本研究结果表明，不同白僵菌菌株对茶黄螨具有不同致病力，其中菌株 GZGY 第 3 天对茶黄螨侵染力为 63.82%。已有研究证明了不同真菌对茶黄螨的致病力，其中金龟子绿僵菌 *M. anisopliae*、玫烟色拟青霉菌 *P. fumosoroseus* 和粉红螺旋聚孢霉 *C. chloroleuca* 对茶黄螨的致病力分别为 60%、90% 和 32.39% (Nugroho and Ibrahim, 2004; de Souza *et al.*, 2021)，以上结果说明不同种类真菌对茶黄螨的致病力不同，这可能与不同类型菌株孢子存活率及穿透力不同有关 (Nugroho and Ibrahim, 2004)。不同菌株的球孢白僵菌 *B. bassiana* 对茶黄螨的致病力也被评价 (Martins *et al.*, 2016)，本研究白僵菌菌株 GZGY 对茶黄螨的致死中浓度 (LC_{50}) 为

4.6×10^6 个/mL，而 Pena 等 (1996) 从广肩小蜂科的 *Bephratelloides cubensis* Ashmead (Hymenoptera: Eurytomidae) 中分离出来的球孢白僵菌菌株对茶黄螨的致死中浓度 (LC_{50}) 为 1.16×10^6 个/mL，这可能与不同菌株白僵菌素会引起螨体内不同的免疫反应，从而导致螨不同程度死亡，这也肯定了菌株筛选工作的意义。

白僵菌 GZGY 亚致死剂量浓度的孢子液处理茶黄螨后，延长了 F_1 代未成熟发育历期，卵期和幼螨发育时间均显著长于对照，该菌株 (GZGY) 已被证实对西花蓟马和二斑叶螨也具有较好侵染力 (徐华萍, 2021; 张妍等, 2021)，证明该菌株可能对小型害虫均具有致病力。通过建立生命表并分析，经过球孢白僵菌处理后，处理组和对照组之间在内禀增长率 (r_m) 分别为 0.22 和 0.33，说明经过球孢白僵菌处理后茶黄螨的种群繁殖力受到影响，这与彭军 (2013) 报道的球孢白僵菌能降低朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 产卵量和繁殖力的结果一致。

综上所述，球孢白僵菌 GZGY 可作为一种防治茶黄螨的生物防治真菌。本试验在室内做了生命表验证，目前，我国已掌握白僵菌产品化技术，这就为大田应用提供保障。同时，田间环境远比室内复杂，白僵菌的防治效果会受到多种因素影响，如白僵菌孢子在田间萌发率，温度等条件变化幅度大影响白僵菌对茶黄螨防治效果等。以此为基础，还须在更接近实际的环境中进一步评价环境因子对白僵菌影响并制定相应的应对策略，以期将球孢白僵菌防治茶黄螨的科学合理使用及进一步推广提供理论依据。

参考文献 (References)

- Aguilar H, Murillo P, 2012. New hosts and records of plant feeding mites for Costa Rica: Interval 2008-2012. *Agronomia Costarricense*, 36(2): 11-28.
- Banks N, 1904. Class III, Arachnida, Order 1, Acarina, four new species of injurious mites. *Journal of the New York Entomological Society*, 12: 53-56.
- Birch LC, 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *Journal of Animal Ecology*, 17(1): 15.
- Breda MO, Oliveira JV, Esteves Filho AB, Barbosa DR, Santos AA,

2017. Lethal and sublethal effects of pesticides in the management of *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) on *Capsicum annuum* L. *Pest Management Science*, 73(10): 2054–2062.
- Brown R, Jones, 1983. The broad mite on lemons in southern California. *California Agriculture*, 37: 21–22.
- de Souza DS, Barth AI, Berté ALW, Bizarro GL, Heidrich D, da Silva GL, Johann L, Maciel MJ, 2021. Evaluation of the activity of filamentous fungi isolated from soils of the Pampa biome applied in the biological control of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae). *Experimental and Applied Acarology*, 85(1): 19–30.
- Fan YQ, Petitt FL, 1998. Dispersal of the broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae) on *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *Experimental and Applied Acarology*, 22(7): 411–415.
- Gerson U, Weintraub PG, 2007. Mites for the control of pests in protected cultivation. *Pest Management Science*, 63: 658–676.
- He HG, Li ZY, 2008. Effects of *Beauveria bassiana* on the fecundity and population parameters of *Myzus persicae* at different temperatures. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 45(1): 101–104. [何恒果, 李正跃, 2008. 不同温度下球孢白僵菌对桃蚜生殖力及生命表参数的影响. 应用昆虫学报, 45(1): 101–104.]
- Kuang ZB, Lv LH, Feng X, Chen HY, Wu YJ, He YR, 2005. Pathogenicity of *Beauveria bassiana* isolate to cruciferous vegetable insect pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 42(6): 673–676. [邝灼彬, 吕利华, 冯夏, 陈焕瑜, 武亚敬, 何余容, 2005. 球孢白僵菌对四种十字花科蔬菜害虫的兼控潜力评价. 应用昆虫学报, 42(6): 673–676.]
- Maketon M, Orosz-Coghlan P, Sinprasert J, 2008. Evaluation of *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycota: Hyphomycetes) for control of broad mite *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae) in mulberry. *Experimental & Applied Acarology*, 46(1): 157–167.
- Martins CC, Alves LFA, Mamprim AP, Souza LPA, 2016. Selection and characterization of *Beauveria* spp. isolates to control the broad mite *Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) (Acari: Tarsonemidae). *Brazilian Journal of Biology*, 76(3): 629–637.
- Nugroho I, Ibrahim YB, 2004. Laboratory bioassay of some entomopathogenic fungi against broad mite (*Polyphagotarsonemus latus* bank). *International Journal of Agriculture and Biology* (2): 223–225.
- Pena JE, Osborne LS, Duncan RE, 1996. Potential of fungi as biocontrol agents of *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae). *Entomophaga*, 41(1): 27–36.
- Peng J, 2013. Effect of *Beauveria bassiana* on *Amblyseius cucumeris* and *Tetranychus cinnabarinus*. Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [彭军. 球孢白僵菌对胡瓜钝绥螨和朱砂叶螨的影响. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Radonjić S, Hrnčić S, 2017. A review of new alien arthropod pests and their impact on agriculture crops in Montenegro. *Acta Zoologica Bulgarica*, 9: 203–210.
- Rattanatip J, Siri N, Chandrapatya A, 2013. Relationship of broad mite population and effectiveness of predatory mite to leaf curl symptoms of chili. *Thai Journal of Agricultural Science*, 46(4): 191–199.
- Renkema JM, LeFors JA, Johnson DT, 2017. First report of broad mite (Acari: Tarsonemidae) on commercial strawberry in Florida. *Florida Entomologist*, 100(4): 804–806.
- Rodríguez H, Ramos M, Montoya A, Rodríguez Y, Chico R, Miranda I, Depestre T, 2011. Development of *Amblyseius largoensis* as biological control agent of the broad mites (*Polyphagotarsonemus latus*). *Biotechnología Aplicada*, 28: 171–175.
- Sathua SK, Reddy MSS, Singh AP, Singh RN, 2018. In vitro toxicity assessment of synthetic acaricides against yellow mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Banks), and predatory mite, *Amblyseius ovalis* (Evans), on chilli plants. *Applied Biological Research*, 20(3): 324–328.
- Xu HP, He XY, Jiang HL, Zhang H, Lei ZR, Xie HC, Wu SY, 2021. Pathogenicity of *Beauveria bassiana* to *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) and Its indirect effects on *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 37(3): 436–442. [徐华苹, 贺小勇, 蒋洪丽, 张慧, 雷仲仁, 解海翠, 吴圣勇, 2021. 球孢白僵菌对二斑叶螨的致病性和对天敌智利小植绥螨的间接影响. 中国生物防治学报, 37(3): 436–442.]
- Zhang XX, Lv JL, Hu Y, Wang BM, Chen X, Xu XN, Wang ED, 2015. Prey preference and life table of *Amblyseius orientalis* on *Bemisia tabaci* and *Tetranychus cinnabarinus*. *PLoS ONE*, 10(10): e0138820.
- Zhang Y, Wang ZH, Li KY, Wang JP, 2021. Effects of *Beauveria bassiana* on metabolites of cucumber and feeding behavior of *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Environmental Entomology*, 43(6): 1536–1542. [张妍, 王子豪, 李凯月, 王俊平, 2021. 球孢白僵菌对黄瓜代谢产物及西花蓟马取食行为的影响. 环境昆虫学报, 43(6): 1536–1542.]