

桃园不同生境天敌对梨小食心虫卵致死效能的影响*

武爱华^{1**} 赵 钰¹ 张文琳¹ 孔维娜¹ 相会明¹
刁红亮¹ 胡荣山² 何 江² 马瑞燕¹ 李先伟^{1***}

(1. 山西农业大学植物保护学院, 太谷 030801; 2. 山西省蒲县农业资源开发中心, 蒲县 041299)

摘 要 【目的】为明确桃园不同生境中天敌对梨小食心虫(以下简称梨小)卵致死效能的影响。【方法】在自然混栽、清耕混栽、套种单植和清耕单植 4 种桃园中, 定期悬挂梨小卵卡, 周年动态监测梨小卵的被寄生率、被捕食率和自然死亡率。【结果】4-9 月自然混栽、清耕混栽、套种单植和清耕单植果园梨小卵总死亡率分别为 45.4%、25.3%、28.6%、34.6%; 其中自然死亡率为 12.0%、15.3%、14.7%、16.1%, 各生境果园无显著差异($P>0.05$); 桃果生长期 4 种果园梨小卵的被寄生率分别为 8.0%、1.1%、1.5%、2.7%, 被捕食率分别为 18.6%、4.6%、6.3%、2.4%; 自然混栽果园梨小卵被寄生率、被捕食率均显著高于其他 3 种果园。桃果采收期 4 种果园梨小卵的被寄生率分别为 5.5%、6.9%、15.4%、26.8%, 被捕食率分别为 39.2%、10.6%、8.7%、14.1%; 自然混栽果园梨小卵被捕食率显著高于其他 3 种果园。寄生梨小卵的寄生蜂种类为松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* 和暗黑赤眼蜂 *Trichogramma pintoi*, 所占比例分别为 50.8% 和 49.2%。【结论】复杂的果园生境能有效提高梨小卵的被寄死亡率 and 被捕食率, 松毛赤眼蜂和暗黑赤眼蜂是果园昆虫卵期优势寄生性天敌。

关键词 梨小食心虫; 果园生草; 生物防治; 套种; 生物多样性

The effect of natural enemies on the eggs of the oriental fruit moth *Grapholita molesta*, in four different types of peach orchard

WU Ai-Hua^{1**} ZHAO Yu¹ ZHANG Wen-Lin¹ KONG Wei-Na¹ XIANG Hui-Ming¹
DIAO Hong-Liang¹ HU Rong-Shan² HE Jiang² MA Rui-Yan¹ LI Xian-Wei^{1***}

(1. College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. Puxian Agricultural Resources Development Center, Puxian 041299, China)

Abstract 【Aim】To clarify how different types of peach orchard affect the parasitism and mortality of *Grapholita molesta* eggs, and determine whether there is higher egg mortality in those with more complex habitats. 【Methods】The parasitism rate, predation rate and natural mortality rate of *G. molesta* eggs were systematically investigated in four different types of peach orchards (natural and mixed planting, clean tillage and mixed planting, relay cropping and single planting and clean tillage and single planting) between April and September. 【Results】The average mortality rate of eggs in the four different orchards was 45.4%, 25.3%, 28.6% and 34.6%, respectively, and the natural mortality rate was 12.0%, 15.3%, 14.7% and 16.1%, respectively. There was no significant difference among the four orchards in either of these variables. During the peach growing season, the mean parasitism rate in the four orchards was 8.0%, 1.1%, 1.5% and 2.7%, respectively, and the

*资助项目 Supported projects: 山西省高等学校科技创新项目 (2021L094); 山西省应用基础研究计划 (201901D211365); 国家现代农业产业技术体系 (CARS-28-19); 山西省优秀博士来晋项目 (SXYBKY2019013、SXYBKY2021080); 山西农业大学科技创新基金 (2020BQ31)

**第一作者 First author, E-mail: zhizhuodelei@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lixianwei062@163.com

收稿日期 Received: 2022-11-29; 接受日期 Accepted: 2023-10-23

average predation rate was 18.6%, 4.6%, 6.3% and 2.4%, respectively. The parasitism rate and predation rate in natural and mixed planted orchards were both significantly higher than those in the other three orchard types. During the harvest season, the average parasitism rate in the four types of orchard was 5.5%, 6.9%, 15.4% and 26.8%, respectively, and the average predation rate was 39.2%, 10.6%, 8.7% and 14.1%, respectively. The predation rate of eggs in natural and mixed-planted orchards was significantly higher than in the other three orchards types. The percentage of eggs parasitized by *Trichogramma dendrolimi* and *Trichogramma pintoi* was 50.8% and 49.2%, respectively. **[Conclusion]** Complex orchard habitats can effectively stabilize the parasitism rate and improve the predation rate of *G. molesta* eggs. *T. dendrolimi* and *T. pintoi* appear to be the dominant egg parasitoids of fruit-boring insects in peach orchards.

Key words *Grapholita molesta*; orchard sod-culture; biological control; relay cropping; biodiversity

梨小食心虫 *Grapholita molesta* (Busck) (以下简称梨小), 又名东方蛀果蛾, 属鳞翅目 Lepidoptera 卷蛾科 Tortricidae, 以幼虫为害蔷薇科果树的嫩梢和果实, 是臭名昭著的蛀果类害虫, 严重影响水果产量和果品贸易 (Kong *et al.*, 2020)。自然条件下, 以老熟幼虫在果树中下部主干、主枝及树干周围的土壤中越冬 (李丽莉等, 2014)。由于梨小以幼虫钻蛀果实和新梢造成危害, 具有极强的隐蔽性, 因而在防治梨小时应重点考虑在幼虫的前一虫态即卵期进行防治。目前主要以人工繁殖释放赤眼蜂 *Trichogramma* spp. 对梨小卵进行防治 (Zhang *et al.*, 2021), 但由于赤眼蜂自身定殖能力差, 需要多次释放, 使防治成本成倍增加 (陈学新等, 2014)。

生境管理是保护型生物防治的一种实践, 是一种有效的生物防治技术, 可以创造更多适宜的生态环境来增加天敌种群, 提高天敌控害作用, 从而实现害虫的可持续控制 (Gurr *et al.*, 2011; 郝紫薇和季兰, 2017; Thomine *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2021)。邻作、间作、套种及生草等一系列保护型生物防治措施, 均能增加生境的复杂度, 在半自然生境更复杂的地区, 天敌的数量更多 (Rusch *et al.*, 2010; Álvarez *et al.*, 2019; Snyder, 2019)。如在大规模实验中套种桃园与单植桃园相比, 天敌的丰度显著提高, 植食性害虫的丰度显著下降 (Wan *et al.*, 2017)。人工种草和自然生草均有利于增加果园天敌的种类和数量 (李建瑛等, 2020; 李丽莉等, 2021)。在果园周围种植蜜源植物能够吸引天敌, 增强天敌的生物控害作用 (Rodríguez-Gasol *et al.*, 2019)。

然而, 仅仅依靠多样性本身并不能提高天敌的控害作用, 而是要对提高天敌效能所需要的植物多样性的关键组分进行筛选 (Landis *et al.*, 2000)。因此, 在桃园中采取生境管理防治梨小卵应先明确不同生境下天敌对梨小卵的控害作用, 继而依据生境的主要区别来推测不同作物对天敌控害所起的作用就显得尤为重要。本研究选择 4 种不同桃园生境 (自然混栽果园、清耕混栽果园、套种单植果园和清耕单植果园), 比较了不同生境下梨小卵的死亡动态, 系统评价了不同生境下天敌对梨小卵的控害作用, 为桃果生长期梨小的生态调控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 梨小虫源 梨小实验种群来自山西农业大学植物保护学院生物安全与生物防治团队, 参照 Zhang 等 (2017) 饲养方案进行人工饲养。

1.1.2 卵卡制作 采用硫酸纸 (长 50 cm, 宽 20 cm) 收集梨小卵, 于 18:00 时将硫酸纸贴壁放入梨小成虫饲养罐中, 次日 6:00 时将硫酸纸取出, 将其剪成每张附着 10-20 粒梨小卵且面积约 1.5 cm² 的小片, 即制成“卵卡”, 随即将卵卡悬挂在地块中。

1.1.3 实验桃园概况 在山西省晋中市太谷区选取 4 种不同类型、面积不小于 0.2 hm²、树龄不低于 10 年的桃园, 分别为: 自然混栽果园, 位于太谷区侯城乡南沙河村 (37.39 °N, 112.55 °E), 面积 0.4 hm², 包含桃树、梨树、枣树、山楂树, 园内杂草为牛筋草、狗尾草、鬼针草、灰绿藜、

反枝苋等, 全年不喷施农药且不进行除草, 四周为玉米地。清耕混栽果园, 位于太谷区山西农业大学生物安全与生物防治基地 (37.42 °N, 112.57 °E), 面积 0.3 hm², 包含桃树、梨树、枣树、山楂树、樱桃树, 生长期每隔 10-15 d 施药一次, 定期清理杂草, 四周为玉米和小麦地。套种清耕单植桃园, 位于太谷区侯城乡东山底村 (37.38 °N, 112.56 °E), 套种八宝景天, 面积 0.3 hm², 生长期每隔 10-15 d 施药一次, 周围为枣树和冬青。无套种清耕单植桃园, 位于太谷区侯城乡桃园堡村 (37.39 °N, 112.58 °E), 面积 0.4 hm², 生长期每隔 10-15 d 施药一次, 定期清理杂草, 四周为玉米地。

1.2 方法

1.2.1 田间试验 试验起止日期 2020 年 4 月 20 日至 2020 年 10 月 6 日, 每种类型试验地块内, 随机选择 10 棵桃树, 每棵桃树放置一张卵卡, 卵卡用昆虫针固定在经过修剪的桃树枝切面, 着

卵面朝外, 6-7 d 后取回, 并在同一位置固定新的卵卡, 收回的卵卡分别装入 10 mL 离心管内, 标记挂出日期及地块, 放置培养箱中饲养, 7 d 后采用 Leica M205C 体视显微镜统计梨小卵被寄生数、被捕食数和自然死亡数, 同时统计出蜂的种类和羽化数量。

1.2.2 数据处理

被寄生率= (被寄生卵数/供试卵数) ×100%,

被捕食率= (被捕食卵数/供试卵数) ×100%,

自然死亡率= (自然死亡数/供试卵数) ×100%。

梨小卵被寄生率、被捕食率和自然死亡率采用 IBM SPSS statistics26 进行 Tukey 检验分析, 用 Origin Pro 2021 进行绘图。

2 结果

2.1 4 种不同状态的梨小卵

自然孵化的梨小卵 (图 1: A), 仅剩饱满透明的卵壳; 自然死亡的梨小卵 (图 1: B), 卵体

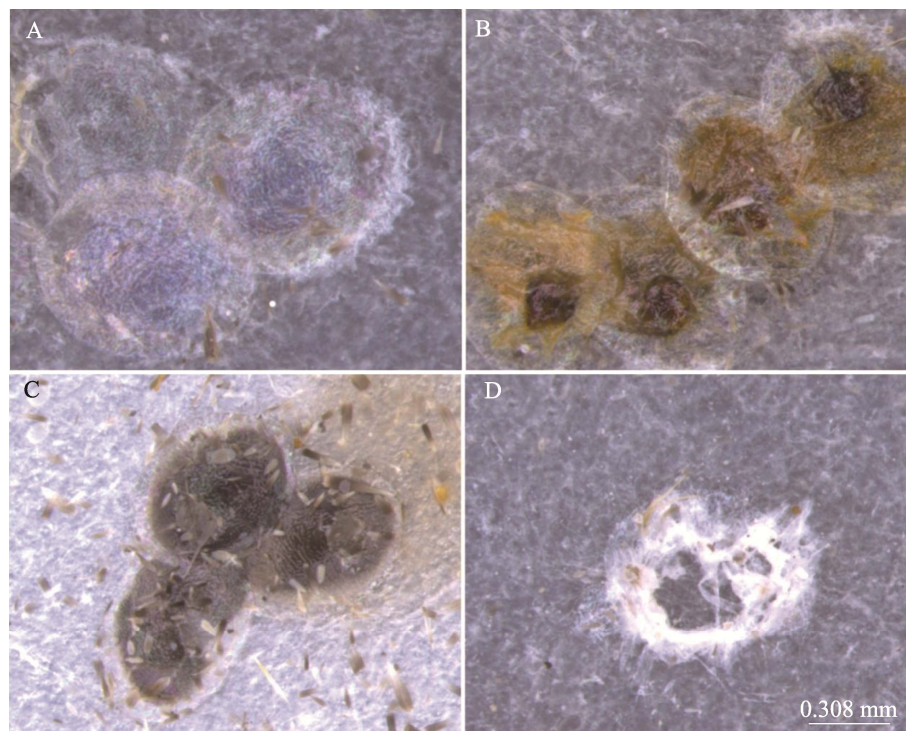


图 1 4 种不同状态的梨小卵

Fig. 1 Four different characteristics of *Grapholita molesta* eggs

A. 自然孵化的梨小卵; B. 自然死亡的梨小卵; C. 被寄生的梨小卵; D. 被捕食的梨小卵。

A. Normal hatched eggs of *G. molesta*; B. Dead eggs of *G. molesta*; C. Parasitized eggs of *G. molesta*; D. Preyed eggs of *G. molesta*.

干瘪具内容物且呈现黄褐色；被寄生的梨小卵（图 1: C），卵体完整饱满且呈黑色或褐色；被捕食的梨小卵（图 1: D），卵体无内容物且有被咬食的痕迹。

2.2 4 种果园梨小卵的被寄生率

4-7 月桃果生长期，4 种不同生境果园中，套种单植果园最早记录到赤眼蜂的寄生行为（4 月 20 日）；自然混栽、清耕混栽和清耕单植果园

的首次记录分别在 4 月 26 日、5 月 4 日和 5 月 30 日。自然混栽果园梨小卵被寄生率具有 4 个峰值分别为 10.4%（4 月 26 日）、18.7%（5 月 10 日）、28.5%（5 月 30 日）和 14.8%（7 月 18 日），明显高于同时期其他 3 种果园（图 2: A）。生长期自然混栽果园梨小卵的平均被寄生率为 8.0%，显著高于另外 3 种果园（ $F = 6.276$, $df = 56$, $P < 0.05$ ），清耕混栽、清耕和套种单植果园梨小卵的平均被寄生率无显著差异。

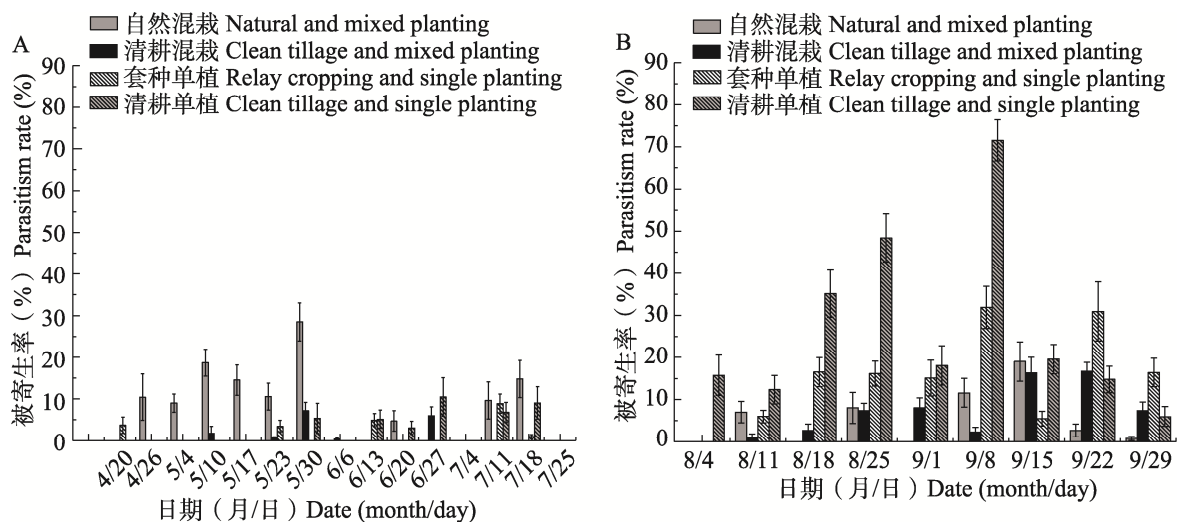


图 2 4-9 月 4 种果园梨小卵被寄生率

Fig. 2 The parasitism rate of *Grapholita molesta* eggs in four peach orchards from April to September

A. 4-7 月；B. 8-9 月。A. April to July; B. August to September.

8-9 月，套种单植、清耕单植果园梨小卵被寄生率高于自然混栽、清耕混栽果园（图 2: B）。套种单植、清耕单植果园梨小卵被寄生率均出现两个明显峰值，分别为 31.9%（9 月 8 日）、30.9%（9 月 22 日）和 48.4%（8 月 25 日）、71.5%（9 月 8 日）。清耕单植果园梨小卵的平均被寄生率为 26.8%，显著高于自然混栽（5.5%）和清耕混栽果园（6.9%）（ $F = 5.392$, $df = 32$, $P < 0.05$ ），清耕单植和套种单植果园（15.4%）梨小卵的平均被寄生率无显著差异。

由图 2 可知，周年内，清耕单植和套种单植果园梨小卵被寄生率在 9 月 8 日达到峰值，分别为 71.5% 和 31.9%，自然混栽和清耕混栽果园梨小卵被寄生率的峰值分别为 28.5%（5 月 30 日）和 16.6%（9 月 24 日）；自然混栽、套种单植果

园天敌寄生行为持续时间相对较长；自然混栽、清耕混栽、套种单植、清耕单植 4 种果园梨小卵的周年平均被寄生率分别为 7.1%、3.2%、6.7%、11.7%。

2.3 4 种果园梨小卵的被捕食率

4-7 月，4 种生境果园均存在捕食性天敌对梨小卵的捕食，但捕食效果存在差异（图 3: A）。自然混栽果园梨小卵的被捕食率有 3 个峰值，分别为 41.3%（5 月 4 日）、38.4%（6 月 13 日）和 49.4%（7 月 11 日）；套种单植果园梨小卵的被捕食率有 2 个峰值，分别为 24.9%（5 月 4 日）和 34.3%（7 月 11 日）（图 3: A）。4-7 月自然混栽果园梨小卵的平均被捕食率为 18.6%，与另外 3 种果园梨小卵的平均被捕食率均有显著差异

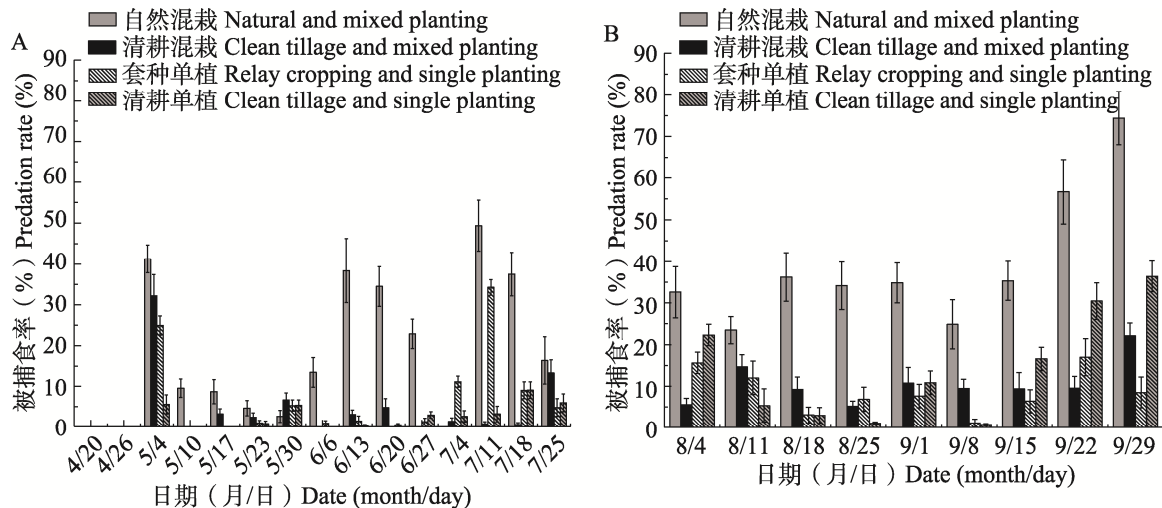


图3 4-9月4种果园梨小卵被捕食率

Fig. 3 The predation rate of *Grapholita molesta* eggs in four peach orchards from April to September

A. 4-7月; B. 8-9月。A. April to July; B. August to September.

($F = 6.579$, $df = 56$, $P < 0.05$); 清耕混栽、套种单植和清耕单植果园梨小卵的平均被捕食率分别为 4.6%、6.3%和 2.4%，无显著差异。

8-9月，自然混栽、清耕单植果园梨小卵被捕食率较高（图 3：B），其中自然混栽果园梨小卵的平均被捕食率为 39.2%，显著高于另外 3 种果园（ $F = 14.778$, $df = 32$, $P < 0.05$ ）；清耕混栽、套种单植和清耕单植果园梨小卵的平均被捕食率分别为 10.6%、8.7%和 14.1%，三者间无显著差异。

周年内，自然混栽、清耕混栽、套种单植、清耕单植果园内梨小卵被捕食率峰值分别为 74.4%（9月29日）、32.2%（5月4日）、34.3%（7月11日）和 36.4%（9月29日）。自然混栽果园梨小卵周年平均被捕食率为 26.3%，清耕混栽果园、套种单植和清耕单植果园的周年平均被捕食率分别为 6.8%、7.2%和 6.8%。

2.4 4种果园梨小卵的自然死亡率

自然混栽、清耕混栽、套种单植和清耕单植果园梨小卵的周年平均自然死亡率无显著性差异，分别为 12.0%、15.3%、14.7%和 16.1%（ $F = 1.115$, $df = 92$, $P < 0.05$ ）（图 4）。4月20日-7月4日，清耕单植果园梨小卵的自然死亡率相对较高，7月4日-9月29日，清耕混栽果园梨小卵

的自然死亡率相对较高。5月4日-9月29日，自然混栽果园梨小卵自然死亡率围绕 10.6%小幅波动。自然混栽、清耕混栽、套种单植和清耕单植果园梨小卵自然死亡率峰值，分别为 40.9%（4月26日）、41.4%（9月8日）、32.3%（6月20日）和 75.5%（4月26日）。

2.5 4种桃园梨小卵寄生蜂种类及羽化数量

4种桃园全年自然寄生于梨小卵的寄生蜂种类为松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* 和暗黑赤眼蜂 *Trichogramma pintoi* 两种。这两种赤眼蜂在寄生的梨小卵中羽化率占比相当，分别为 50.8%和 49.2%（表 1）。自然混栽、清耕混栽和清耕单植桃园，松毛虫赤眼蜂羽化率占比高于暗黑赤眼蜂；套种单植桃园，暗黑赤眼蜂羽化率占比高于松毛虫赤眼蜂。

3 讨论

本研究对 4 种不同类型果园梨小卵的周年死亡动态进行了调查，发现生境复杂的自然混栽果园梨小卵的被寄生率和被捕食率显著高于其他果园，说明复杂的桃园生境在一定程度上改变了生物群落丰富度，能吸引更多数量的天敌。试验结果支持复杂生境假说（Complex habitat

hypothesis), 具有高比例半自然生境的复杂景观会增加农业生态系统中天敌的数量 (Bianchi *et al.*, 2006)。

实验所选 4 种类型果园, 自然混栽果园未进行喷药管理, 其它 3 类果园在桃果生长期都进行了喷药管理, 所用药剂主要为菊酯类和新烟碱类农药, 在桃果采收期至果树生长末期停止喷药。本实验结果中, 4 种类型果园梨小卵的自然死亡

率并没有出现显著的差异。由此可见, 当前果园内桃果生长期进行的常规喷药管理, 相对于梨小卵并未展现出防治效果。

山西省桃果梨小卵防治的最佳时期为 4-7 月份 (陈双建, 2012)。本研究 4-7 月的调查结果中, 自然混栽果园梨小卵被寄生率和被捕食率均显著高于其他 3 种果园, 而自然混栽果园与其他 3 种果园生境上的关键区别在于园内有杂草, 由

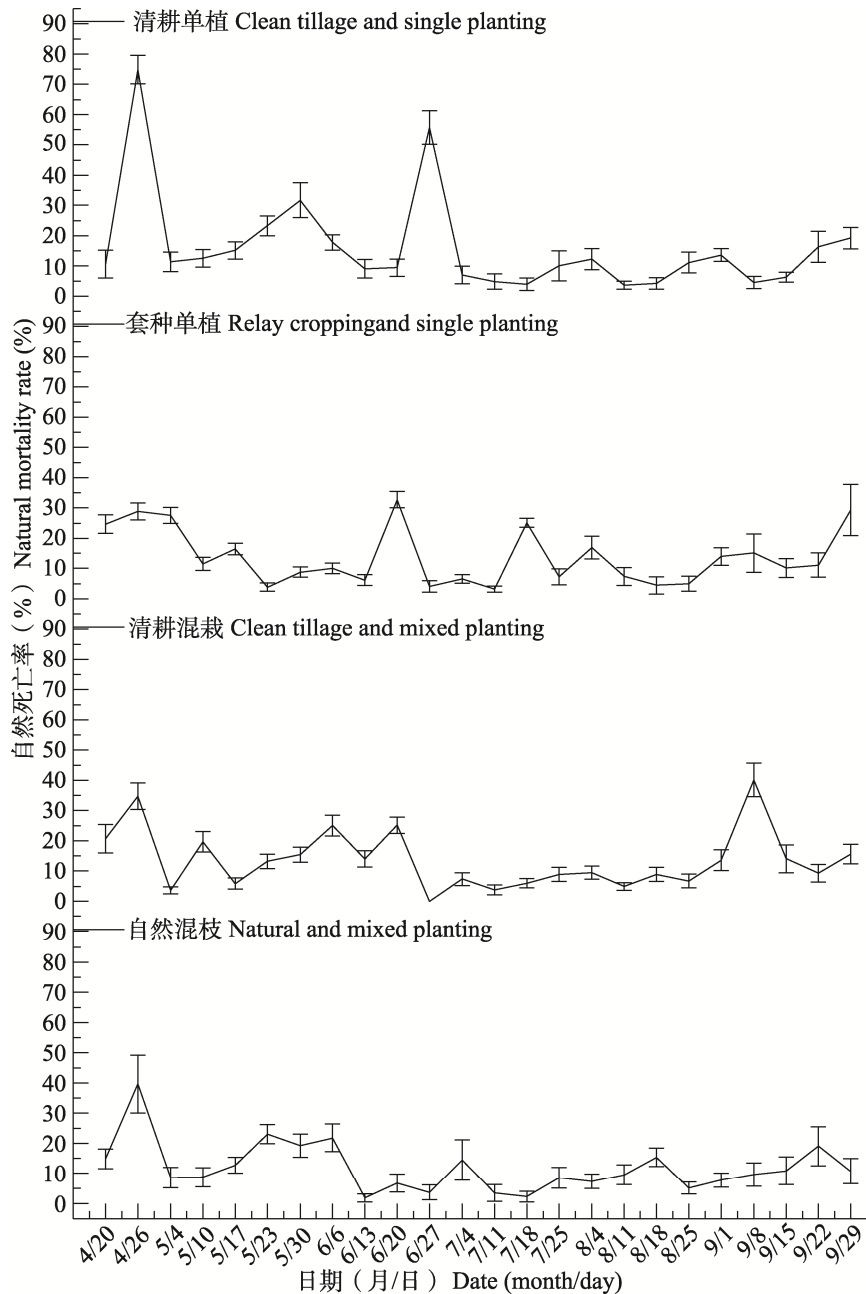


图 4 4-9 月 4 种果园梨小卵自然死亡率

Fig. 4 The natural mortality rate of *Grapholita molesta* eggs in four peach orchards from April to September

表 1 4 种果园梨小卵寄生蜂种类及羽化数量

Table 1 Parasitoid species and number in four peach orchards

	松毛虫赤眼蜂 <i>T. dendrolimi</i>		暗黑赤眼蜂 <i>T. pinto</i>	
	羽化头数 Eclosion number	比例 (%) Ratio (%)	羽化头数 Eclosion number	比例 (%) Ratio (%)
自然混栽 Natural and mixed planting	201	51.2	192	48.8
清耕混栽 Clean tillage and mixed planting	140	53.2	123	46.8
套种单植 Relay cropping and single planting	159	45.9	187	54.1
清耕单植 Clean tillage and single planting	274	52.7	246	47.3
合计 Total	774	50.8	748	49.2

此可见果园生草确实能在一定程度上提高寄生性天敌和捕食性天敌对梨小的控害作用。有研究表明, 果园生草栽培模式对果园病虫害防治具有正面效应(王艳廷等, 2015; 卢增斌等, 2016), 苹果园内增加蜜源植物的组合生草模式对捕食性天敌的繁育以及控害能力有促进作用(孔凡来等, 2020)。

清耕混栽果园梨小卵的被寄生率和被捕食率与清耕单植和套种单植果园无显著差异, 而清耕混栽果园与另外两种果园的主要区别在于果园内为多种北方果树混合种植, 由此可见, 混栽并不能提高寄生性和捕食性天敌对梨小卵的控害作用。套种八宝景天单植果园梨小卵的寄生率和被捕食率与清耕混栽果园和清耕单植果园相当, 由此可见, 可作为林下套种的景观作物八宝景天并不能作为提高天敌对于梨小防治效果的关键性植物。这可能是由于八宝景天花期物候较晚为 8 月到 9 月, 此时能以蜜源植物发挥保育天敌的功效有限。研究结果中, 清耕单植果园梨小卵被寄生率在 8 月 11 日以后高于自然混栽和套种单植果园, 高的梨小卵寄生率可能与桃果收获后清耕单植果园内不再施用农药有关。

松毛虫赤眼蜂和暗黑赤眼蜂在田间梨小卵中羽化率相当, 之前的室内研究也表明, 松毛虫赤眼蜂和暗黑赤眼蜂对梨小卵的寄生率和发育成熟后的羽化率均没有显著差异(沈健等, 2012; 殷诗杰等, 2022), 说明暗黑赤眼蜂与松毛虫赤眼蜂对梨小卵的控害能力相似。

本研究以被寄生率、被捕食率和自然死亡率为指标, 系统地阐述了寄生性天敌、捕食性天敌

和环境因子对梨小卵周年发生动态的影响, 为桃果生长期利用果园生草来促进梨小卵期生物防治提供了理论支撑。但就如何选择适宜的果园生草种类以及天敌与生草之间具体的消长关系等问题还有待进一步研究。

参考文献 (References)

- Álvarez HA, Morente M, Oi FS, Rodríguez E, Campos M, Ruano F, 2019. Semi-natural habitat complexity affects abundance and movement of natural enemies in organic olive orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 285: 106618.
- Bianchi FJJA, Booij CJH, Tscharntke T, 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition. *Biodiversity and Natural Pest Control*, 273(1595): 1715–1727.
- Cai ZP, Ouyang F, Chen J, Yang QF, Desneux N, Xiao YL, Zhang JP, Ge F, 2021. Biological control of *Aphis spiraeicola* in apples using an insectary plant that attracts and sustains predators. *Biological Control*, 155(2): 104532.
- Chen SJ, 2012. Current situation of peach cultivation in Shanxi province and suggestions for its development. *Deciduous Fruits*, 44(5): 24–26. [陈双建, 2012. 山西省桃的栽培现状及发展建议. *落叶果树*, 44(5): 24–26.]
- Chen XX, Liu YQ, Ren SX, Zhang F, Zhang WQ, Ge F, 2014. Plant-mediated support system for natural enemies of insect pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(1): 1–12. [陈学新, 刘银泉, 任顺祥, 张帆, 张文庆, 戈峰, 2014. 害虫天敌的植物支持系统. *应用昆虫学报*, 51(1): 1–12.]
- Gurr GM, Liu J, Read DMY, Catindig JLA, Cheng JA, Lan LP, Heong KL, 2011. Parasitoids of Asian rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) pests and prospects for enhancing biological control by ecological engineering. *Annals of Applied Biology*, 158(2): 149–176.

- Hao ZW, Ji L, 2017. Present situation and prospect of the study on interplanting grass in orchard in China. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 45(3): 486–490. [郝紫薇, 季兰, 2017. 我国果园生草研究现状与展望. 山西农业科学, 45(3): 486–490.]
- Kong WN, Wang Y, Guo YF, Chai XH, Li J, Ma RY, 2020. Behavioral effects of different attractants on adult male and female oriental fruit moths, *Grapholita molesta*. *Pest Management Science*, 76(9): 3225–3235.
- Kong FL, Zhang S, Chi BJ, Liu J, Yang XL, Liu YJ, 2020. Effects of grassy pattern with multi-nectariferous plants on natural enemies in apple orchards. *Shandong Agricultural Sciences*, 52(7): 105–112. [孔凡来, 张硕, 迟宝杰, 刘锦, 杨向黎, 刘永杰, 2020. 多蜜源植物组合生草模式对果园天敌的繁育作用. 山东农业科学, 52(7): 105–112.]
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM, 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45: 175–201.
- Li LL, Guo TT, Zhao N, Men XY, Zhuang QY, Zhou XH, Xu YY, Yu Y, 2014. Relationship of overwintering larvae and adult occurrence of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) in orchards. *Acta Entomologica Sinica*, 57(12): 1418–1423. [李丽莉, 郭婷婷, 赵楠, 门兴元, 庄乾营, 周仙红, 许永玉, 于毅, 2014. 果园梨小食心虫越冬幼虫与成虫发生的关系. 昆虫学报, 57(12): 1418–1423.]
- Li JY, Sun B, Guo YR, Liu J, Chi BJ, Kong FL, Liu YJ, 2020. Effects of different grass-growing patterns on the main pests and their natural enemies in pear orchards. *Journal of Fruit Science*, 37(10): 1545–1554. [李建瑛, 孙冰, 郭翊蓉, 刘锦, 迟宝杰, 孔凡来, 刘永杰, 2020. 不同生草模式对梨园主要害虫及其天敌的影响. 果树学报, 37(10): 1545–1554.]
- Li LL, Men XY, Guo WX, Qu CH, Cao HJ, Ding L, Zhu WJ, Qu ZL, Li Z, Lü SH, Song YY, Cui HY, 2021. Effects of grass-growing patterns on the population dynamics of natural enemies and management of *Aphis citricola* in apple orchards. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(5): 885–891. [李丽莉, 门兴元, 郭文秀, 曲诚怀, 曹洪建, 丁荔, 朱文君, 曲在亮, 李卓, 吕素洪, 宋莹莹, 崔洪莹, 2021. 生草模式对苹果园天敌及其调控苹果绣线菊蚜作用的影响. 中国生物防治学报, 37(5): 885–891.]
- Lu ZB, Yu Y, Men XY, Li LL, Zhuang QY, Zhang SC, Yan YH, 2016. Impacts of combination of cover plants on pests and natural enemies in apple orchards. *Shandong Agricultural Sciences*, 48(8): 102–108. [卢增斌, 于毅, 门兴元, 李丽莉, 庄乾营, 张思聪, 严毓骅, 2016. 苹果园地面植被优化组合对害虫和天敌群落的影响. 山东农业科学, 48(8): 102–108.]
- Rodríguez-Gasol N, Avilla J, Aparicio Y, Arnó J, Gabarra R, Riudavets J, Alegre S, Lordan J, Alins G, 2019. The contribution of surrounding margins in the promotion of natural enemies in mediterranean apple orchards. *Insects*, 10(5): 148.
- Rusch A, Valantin-Morison M, Sarthou J, Roger-Estrade J, 2010. Biological control of insect pests in agroecosystems: Effects of crop management, farming systems, and seminatural habitats at the landscape scale: A review. *Advances in Agronomy*, 109: 219–259.
- Shen J, Wu JX, Xu XL, Xu JJ, 2012. The parasitism performance of parasitic wasp *Trichogramma pintoi* Voegelé on the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck). *Journal of Plant Protection*, 39(4): 352–356. [沈健, 仵均祥, 许向利, 许建军, 2012. 暗黑赤眼蜂对梨小食心虫卵的寄生作用. 植物保护学报, 39(4): 352–356.]
- Snyder WE, 2019. Give predators a complement: Conserving natural enemy biodiversity to improve biocontrol. *Biological Control*, 135: 73–82.
- Thomine E, Rusch A, Supplisson C, Monticelli LS, Amiens-Desneux E, Lavoie AV, Desneux N, 2020. Highly diversified crop systems can promote the dispersal and foraging activity of the generalist predator *Harmonia axyridis*. *Entomologia Generalis*, 40(2): 133–145.
- Wan NF, Ji XY, Deng JY, Kiær L, Cai YM, Jiang JX, 2017. Plant diversification promotes biocontrol services in peach orchards by shaping the ecological niches of insect herbivores and their natural enemies. *Ecological Indicators*, 99: 387–392.
- Wang YT, Ji XH, Wu YS, Mao ZQ, Jiang YM, Peng FT, Wang ZQ, Chen XS, 2015. Research progress of cover crop in Chinese orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 26(6): 1892–1900. [王艳廷, 冀晓昊, 吴玉森, 毛志泉, 姜远茂, 彭福田, 王志强, 陈学森, 2015. 我国果园生草的研究进展. 应用生态学报, 26(6): 1892–1900.]
- Yin SJ, Li XW, Xiang HM, Diao HL, Ma RY, 2022. Study on selective preference of five different *Trichogramma* species to *Corcyra cephalonica* eggs and *Grapholita molesta* eggs. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 68(6): 21–26. [殷诗杰, 李先伟, 相会明, 刁红亮, 马瑞燕, 2022. 5种赤眼蜂品系对米蛾卵和梨小食心虫卵的选择偏好研究. 陕西农业科学, 68(6): 21–26.]
- Zhang J, Tang RX, Fang HB, Liu XX, Michaud JP, Zhou ZY, Zhang QW, Li Z, 2021. Laboratory and field studies supporting augmentation biological control of oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae), using *Trichogramma dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Management Science*, 77(6): 2795–2803.
- Zhang ZW, Men LN, Peng YF, Li J, Deng A, Chen Y, Liu XQ, Ma RY, 2017. Morphological differences of the reproductive system could be used to predict the optimum *Grapholita molesta* (Busck) control period. *Scientific Reports*, 7(1): 8198.