苹果害虫防治专栏

壁蜂及蜜蜂授粉对苹果和大樱桃授粉服务功能分析*

肖云丽[1**] 唐文颖[1] 刘存辉[1] 于 凯[2] 公 义[1] 杨勤民[1]
张玉国[3] 曲诚怀[4] 王利平[5] 国 栋[1] 于玲雅[1]

（1. 山东省植物保护总站，济南 250100；2. 烟台农技中心植保站，烟台 264000；3. 临朐县植保站，临朐 262600；4. 牟平区植保站，烟台 264000； 5. 福山区植保站，烟台 264000）

摘 要 **【目的】** 传粉昆虫在果树生产中发挥着非常重要的授粉服务功能。但有关壁蜂授粉、蜜蜂授粉对苹果和大樱桃的服务功能不清楚。本论文针对苹果、大樱桃传粉昆虫不足、果品品质不高等科学问题，连续 3 年系统地调查和分析了胶东半岛主要传粉昆虫（壁蜂、蜜蜂）对苹果、大樱桃的产量与品质促进作用，以评价传粉昆虫对苹果与大樱桃的生态服务功能。**【方法】** 2015-2018 年在山东省胶东半岛选择了 6 个果园进行了壁蜂、蜜蜂释放与不放蜂对照处理，系统测定了经壁蜂授粉、蜜蜂授粉、常规授粉等不同的授粉处理后苹果、大樱桃的座果率、Vc 含量、可溶性固形物、总糖及产量的变化。**【结果】** 利用壁蜂、蜜蜂授粉可以显著提高苹果、大樱桃的座果率、Vc 含量、可溶性固形物、总糖、总酸含量及风味（固酸比）值；可以增加苹果、大樱桃产量，显著提高其果品品质；而且壁蜂授粉的效果均高于蜜蜂授粉。**【结论】** 在胶东果园可以通过释放壁蜂和蜜蜂，以提高苹果、大樱桃的授粉服务功能；且由于壁蜂具有耐低温、采集速度快、授粉效率高、管理简便、应用成本低的优势，壁蜂的应用前景更为广阔。

关键词 壁蜂授粉；蜜蜂授粉；苹果；大樱桃；授粉功能

Analysis of the pollinating services provided by *Osmia cornifrous* (Rodoszkouski) and *Apis mellifera ligustica* Spin in apple and cherry orchards

XIAO Yun-Li[1**] TANG Wen-Ying[1] LIU Cun-Hui[1] YU Kai[2] GONG Yi[1] YANG Qin-Min[1]
ZHANG Yu-Guo[3] QU Cheng-Huai[4] WANG Li-Ping[5] GUO Dong[1] YU Ling-Ya[1]

(1. Plant Protection Station of Shandong Province, Jinan 250200, China; 2. Plant Protection Station of Yantai, Yantai 264000, China; 3. Plant Protection Station of Linqu, Linqu 262600, China; 4. Plant Protection Station of Muping District, Yantai 264000, China; 5. Plant Protection Station of Fushan District, Yantai 264000, China)

Abstract **[Objectives]** To test the ecological services provided by pollinating insects in the fruit industry and solve the problems of insufficient pollinators and low fruit quality. **[Methods]** The benefit of the presence of *Osmia cornifrous* (Rodoszkouski) and *Apis mellifera ligustica* Spin, the two main pollinating insects in apple and cherry orchards in eastern Shandong province, on apple and cherry yield, fruit quality, were measured over three consecutive years. We compared fruit set, vitamin C content, soluble solids, total sugar content, total acid content and fruit yield in 6 orchards with *O. cornifrous* and *A. mellifera ligustica* from 2015 to 2018. Orchards with normal pollination methods were the control. **[Results]** We found that orchards with *O. cornifrous* and *A. mellifera ligustica* had higher fruit set, and the fruit from these orchards had higher vitamin C, total sugar and total acid levels, and higher solid-acid ratios. The pollinating efficiency of *O. excavate* was, on

*资助项目 Supported projects：农业技术试验示范与服务支持类项目-蜜蜂授粉与病虫害绿色防控技术集成与示范项目（2130106）
**通讯作者 Corresponding author，E-mail：luckylily68@163.com
收稿日期 Received：2019-10-28；接受日期 Accepted：2019-11-12

average, higher than that of *A. mellifera*. **[Conclusion]** Both *O. excavate* and *A. mellifera* provide important pollination services in apple and cherry orchards; both species increase fruit set, fruit yield and flavor. *O. excavate* is superior to *A. mellifera* because of its greater resistance to lower temperatures, higher pollination efficiency and simpler, lower input, management.

Key words *Osmia* sp.; honeybees; apple; cherry; pollinating effect

传粉昆虫是地球陆地生态系统重要的组成部分，世界 70%的有花植物，包括全球 2/3 农作物的生产均依赖于昆虫的传粉行为（Klein *et al.*，2007；欧阳芳等，2013）。在长期的协同进化过程中，传粉昆虫与开花植物相互合作，成为生态命运共同体。据报道，所有开花植物物种中大约有 80%需要动物作为授粉媒介，其中昆虫类群是占有较大比例的授粉媒介（殷东生等，2010）。特别是当前的农业生产中，昆虫传粉通过提高作物的受精率和坐果率，增加产量，改善品质与降低人力授粉成本，对果园、园艺和饲料等作物发挥重要作用。传粉昆虫的这种生态功能能够服务于人类作物生产，体现出其服务价值。欧阳芳等（2015）基于 2007 年统计分析表明，传粉昆虫在我国农业生产中传粉服务价值为 6 790.3 亿元，相当于当年国内生产总值 GDP 的 2.6%。为此，国内外都非常重视分析和利用昆虫的传粉服务功能。

苹果、大樱桃均为异花授粉植物，自花授粉能力差，高度依赖虫媒进行异花授粉（陈晓流等，2004；周浩等，2017）。而且由于苹果、大樱桃花期集中，授粉期间雇工难、授粉成本逐年增加的趋势愈来愈严重；此外，生产中人工授粉还存在易受雨天影响无法正常开展、结果不均匀、畸形果率高等难以克服的问题（王丽娜等，2018；张东霞等，2018）。尤其是随着苹果、大樱桃产业的规模化生产、集中区域种植，造成了一定区域内授粉昆虫数量相对不足，不能满足作物自然授粉的需要，在一定程度上影响了果品产量和品质（王亚红等，2016）。显然，如何发挥壁蜂和蜜蜂的授粉服务功能重要尤为重要。

意大利蜜蜂 *Apis millifera ligustica* Spin 和日本角额壁蜂 *Osmia cornifrons* (Rodoszkouski)是果园常用的传粉昆虫，具有很好的授粉效果。其中，蜜蜂授粉被认为是最有效和廉价的农业增产方式。已有的研究表明，蜜蜂授粉可使苹果增产率达 65%、授粉蜂群租用的投入产出比为 1：192；而且蜜蜂授粉对于提高农产品的品质也有着明显的效果（Gallai *et al.*，2009）。角额壁蜂 *O. cornifrons* 起源于东亚地区，它对苹果传粉效率比意大利蜜蜂高 80 多倍（Maeta and Kitamura，1981）。目前日本 75%以上的苹果园应用角额壁蜂授粉（Bosch *et al.*，2006）。我国于 1987 年从日本引入角额壁蜂（魏枢阁和王韧，1990），用于苹果、梨、草莓、樱桃、三叶草等多种农作物授粉。但有关这 2 种传粉昆虫对山东苹果、大樱桃的传粉功能研究报道较少。

山东省果树面积约 66.67 万 hm^2，其中苹果面积约 33.33 万 hm^2（张鑫，2019）。而大樱桃面积约 6.67 万 hm^2，栽培面积最大，占全国 50%，产量占全国 60%，在当地经济中占有重要地位。本研究针对胶东半岛苹果、大樱桃传粉昆虫不足、果品品质不高的问题，于 2015-2018 年在山东省胶东半岛选择了 6 个果园进行了壁蜂、蜜蜂授粉技术效果比较试验，旨在回答以下两个科学问题：壁蜂与蜜蜂授粉对苹果、大樱桃授粉服务功能如何？壁蜂、蜜蜂授粉对苹果、大樱桃授粉功能哪一个更强？从而为提高苹果、大樱桃授粉效果，高效、合理利用传粉昆虫提供理论 依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本实验于 2015-2018 年分别选择山东省招远市金岭镇示范区大户陈家苹果园、招远市阜山镇春竹果品专业合作社苹果基地、招远市齐山镇梁

家村苹果园、烟台市牟平区丰坤农业合作社苹果园、烟台市福山区张格庄镇松林庄村大樱桃园和潍坊市临朐县城关街道上石埠村大樱桃园 6 个果园作为研究基地。苹果园主栽品种红富士，授粉树主要是嘎啦，树龄 5-7 年；大樱桃园主栽品种美早，树龄 10-15 年。

1.2　受试蜂群

苹果和大樱桃花期采用的受试蜂群为日本角额壁蜂 *Osmia cornifrons* (Radoszkowski)和意大利蜜蜂 *Apis millifera ligustica* Spin，其中意大利蜜蜂蜂群势苹果园 8 脾以上，大樱桃园 12 脾。

1.3　试验设计与管理

1.3.1　试验设计　设壁蜂授粉、蜜蜂授粉、常规授粉 3 个处理和 1 个空白对照（选择 5 棵树用网罩标记，不授粉），每个处理和对照各选择 3 个点，作为 3 次重复，每点标记、调查 5 棵树。

1.3.2　蜜蜂授粉设置与管理　在当地租赁意大利蜜蜂（蜂群势 8 脾以上），按每 1 箱：0.13 km^2 的比例，蜂箱分 3 组，分布于东、中、西 3 个方位，巢门背风向阳，均匀摆放，苹果、大樱桃开花前 2 d 入场。苹果园、大樱桃园释放蜜蜂期间，按照其技术规程进行奖励饲喂、保温、调整巢脾等日常管理，并根据蜂群的蜜粉情况，及时采收蜂蜜和花粉。按照苹果、大樱桃花期时间谢花后 3-5 d 适时撤场。

1.3.3　壁蜂授粉设置与管理　苹果开花前 7-10 d，依照“地势低洼，避风向阳，巢前开阔，朝向东南”的原则，在果园内合理选定释放点，设置巢箱。每 80 m 处设一大巢箱，放巢管 200 支；在两大巢箱之间的 40 m 处设一中等巢箱，放巢管 100 支；在大中巢箱之间 20 m 处和放蜂区的边缘果树行间，每 20 m 处设置一个小巢箱，每个小巢箱放巢管 50 支。选用芦苇管材质的蜂巢管。并用铁锨在蜂巢前挖一个 25 cm×25 cm 的坑，浇水 2 桶，利于壁蜂筑巢。

苹果开花前 5 d 的早晨，将壁蜂茧从冷藏设备中取出，分装在蜂茧盒内，随即把它运到果园中，分别放入每个巢箱中的巢管顶部空隙处，使蜂茧盒有出口的一侧朝外，每 667 m^2 设巢 3-5 个。壁蜂释放量，每 667 m^2 释放 300-500 头蜂茧。

每天检查一次蜂茧盒，清除已破茧而未飞出纸盒的成蜂和茧壳。在释放蜂茧的第 2 天，将蜂茧盒放在清水中浸泡 20 s 后捞出，待水滴干后再放回巢箱内。释放蜂茧 5-7 d 后，如果仍有一部分壁蜂不能破茧出来，可用小剪刀在茧突下面剪一小口，再用小镊子将茧盖揭掉，使壁蜂破茧而出。

谢花后，将附着在蜂巢管上的杂物清除干净，放入纱袋中，挂在阴凉、通风的室内保存。

大樱桃壁蜂授粉设置与管理同苹果园。

1.3.4　蜂群保护　蜜蜂、壁蜂授粉期间，园内不喷洒药剂。果园周边作物不施药。

1.4　调查方法

在上述各个处理果园各选择 3 个调查点（作为 3 次重复），每点标记、调查 5 棵树。其中，常规授粉区的调查树离蜜蜂及壁蜂放置点至少半径 50 m 距离；空白对照区内调查 3-4 棵树网罩的枝条，每株树为一次重复。

调查时每棵树在东、西、南、北、中 5 个方位各选取 1 个主枝进行标花，记录标花数。待果座定后（第 1 次为盛花期后 1 周）调查座果数，计算座果率。幼果期疏果前调查畸形果数，计算畸形果率。

1.5　果实品质及产量

收获期采集果实，调查果实单果重、每 667 m^2 产量，测定 Vc、可溶性固形物及总糖、总酸及风味（固酸比）值，进行对比。

1.6　数据处理及分析

用 SPSS 19.0 软件进行数据统计及方差分析（AVOVA），并对数据的差异显著性进行 Duncan’s 多重比较。

2　结果与分析

2.1　不同授粉方式对苹果座果率的影响

通过对 2015-2017 年壁蜂授粉、蜜蜂授粉、常规授粉等不同授粉方式下苹果授粉座果率的调查结果表明，2015 年山东省招远市苹果园壁蜂、蜜蜂、常规授粉和对照处理的座果率分别为

59.94%、26.49%、15.28%、7.96%，说明经壁蜂授粉的座果率显著高于蜜蜂授粉；且它们都显著高于常规和对照处理（图 1）。

2016 年壁蜂授粉的座果率为 18.35%，蜜蜂授粉的座果率为 14.80%，常规和对照处理的分别为 9.85%和 6.70%。其中，壁蜂授粉的座果率显著高于其它处理；且蜜蜂授粉的座果率也显著高于常规和对照处理。

2017 年山东省招远市各处理的座果率分别为壁蜂授粉 27.53%、蜜蜂授粉 21.03%、常规处理 19.07%和对照处理 3.90%（图 1，2017 年招）。其中，壁蜂授粉的座果率显著高于其它处理；蜜蜂授粉和常规处理差异不显著。

2017 年在山东省烟台市苹果园中壁蜂授粉、蜜蜂授粉、常规和对照处理的座果率分别为 37.20%、35.74%、32.85%和 9.52%（图 1，2017 年牟）。其中，壁蜂和蜜蜂授粉与常规处理存在显著性差异，常规处理的座果率显著高于对照处理。

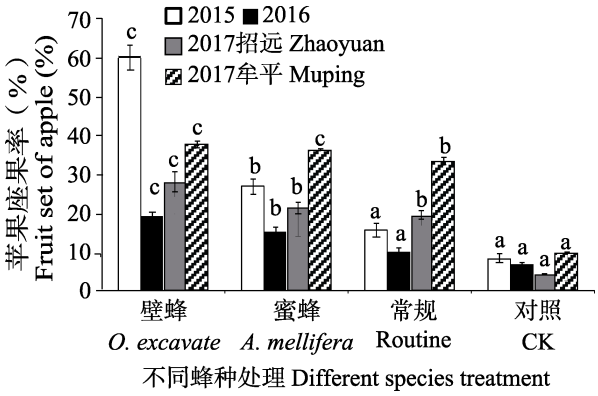

图 1 2015-2017 年不同处理苹果座果率比较

Fig. 1 Comparison of fruit set by different treatment from 2015 to 2017 in apple orchard

同一年份各处理间小写字母不同表示座果率差异显著（$P<0.05$）。下图同。

Histograms with different letters in the same year show significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 不同授粉方式对苹果产量的影响

2.2.1 苹果单果重 2015-2016 年不同蜂种授粉下苹果的单果重测定结果显示（图 2），2015 年招远市各处理间以对照处理单果重最高（为 264.3 g），常规授粉的最低（233.0 g）；2016 年招远市以壁蜂授粉的单果重最高（327.0 g），对照处理的最低（274.5 g）。经不同蜂种授粉处理后，尽管苹果的单果重无规律性差异，但经过壁蜂、蜜蜂授粉处理后能有效提高苹果的单果重（图 2）。

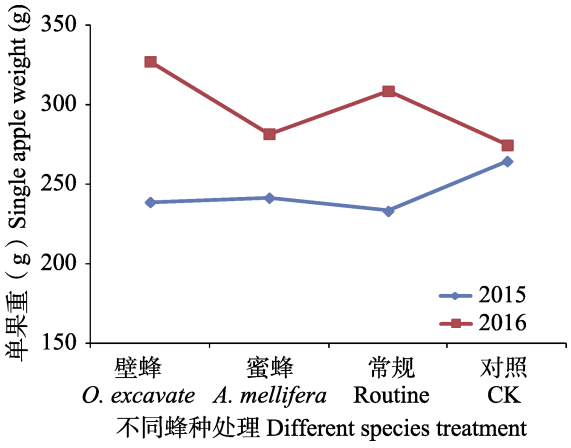

图 2 2015-2016 年不同处理的苹果单果重比较

Fig. 2 Comparison of single apple weight by different treatment from 2015 to 2016

2.2.2 苹果产量 2015 年和 2016 年招远市苹果试验区的每 667 m^2 产量以壁蜂授粉的最高，分别达到 2 830 kg 和 3 652 kg，蜜蜂授粉的次之，说明经过壁蜂、蜜蜂授粉处理可以明显提高苹果的每 667 m^2 产量（图 3）。与座果率的结果类似，2017 年也以壁蜂授粉的每 667 m^2 产量最高，蜜蜂授粉的次之（图 3）。

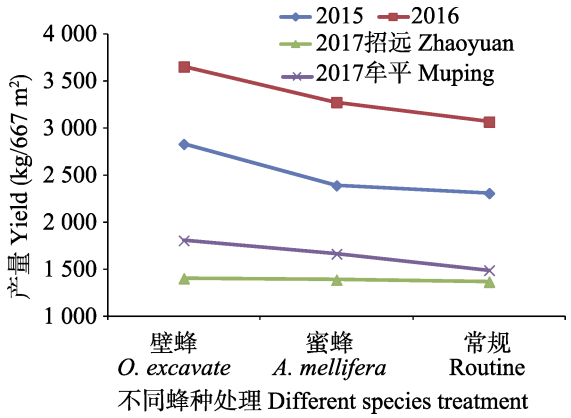

图 3 2015-2017 年不同处理的苹果产量对比（kg/667 m^2）

Fig. 3 Comparison of apple yield by different treatment from 2015 to 2017 (kg/667 m^2)

2.2.3 苹果畸形果率 2015-2017 年不同年度、不同处理间的畸形果率均表现为壁蜂授粉的最低，蜜蜂授粉的次之，对照处理的最高（图 4）。

其中 2017 年山东省招远市苹果园不同蜂种授粉后蜜粉授粉的果园畸形率比壁蜂授粉的高 0.4%，壁蜂、蜜蜂授粉的果实畸形率分别比常规处理小 0.5%、0.1%；且 2015 年畸形果率明显比其它年度均高（图 4）。

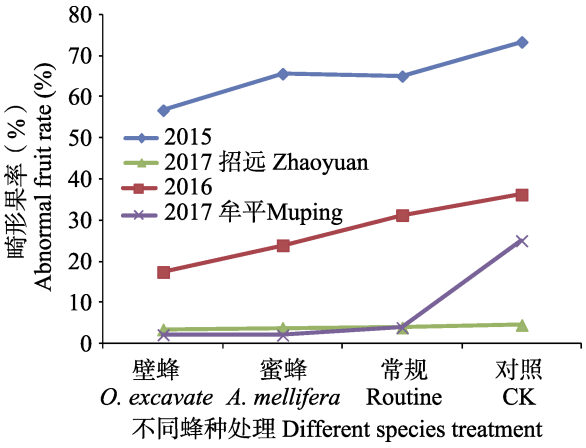

图 4　2015-2017 年不同处理下苹果的畸形果率

Fig. 4　Comparison of abnormal fruit rate of apple by different treatment from 2015 to 2017

2.3　不同授粉方式对苹果品质的影响

2.3.1　苹果可溶性固性物　通过对 2015-2017 年苹果不同蜂种授粉的可溶性固性物测定表明，不同年度、不同处理的可溶性固形物均为壁蜂授粉的最高（图 5）。其中，2015 年和 2016 年招远市常规处理的可溶性固形物含量略高于蜜蜂授粉的，2017 年牟平区可溶性固形物含量蜜蜂授粉的高于常规、对照处理。

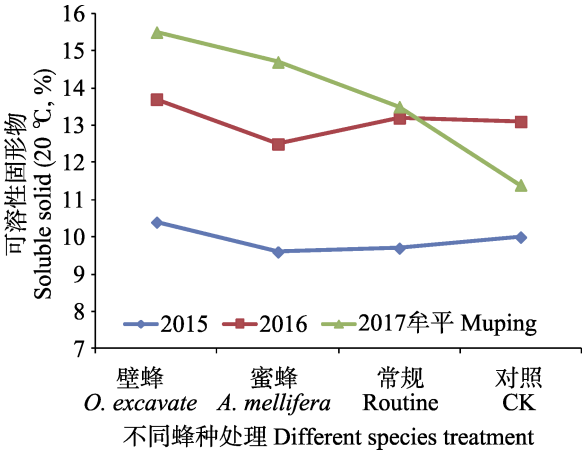

图 5　2015-2017 年不同处理苹果可溶性固性物对比

Fig. 5　Comparison of soluble solid in apple from 2015 to 2017

2.3.2　苹果硬度　不同蜂种授粉处理下苹果的硬度以 2015 年壁蜂授粉的最高，对照处理的最低；2016 年蜜蜂授粉的最高，壁蜂授粉的次之，对照处理的最低；2017 年以对照处理的最高，壁蜂授粉的次之，常规处理的最低（图 6）。

2.4　不同授粉方式对大樱桃座果率的影响

2017-2018 年，壁蜂授粉、蜜蜂授粉和常规授粉 3 种不同授粉方式下大樱桃座果率的测定结果表明，2017 年山东省烟台市大樱桃园经壁蜂授粉的座果率为 45.30%，蜜蜂授粉的座果率为 62.77%，蜜蜂授粉的座果率显著高于壁蜂授粉的；常规和对照处理的座果率分别为 25.30% 和 21.62%，显著低于蜜蜂和壁蜂授粉（图 7）。

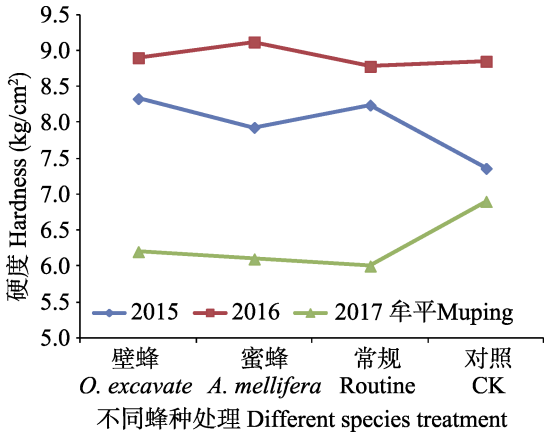

图 6　2015-2017 年不同蜂种授粉处理下苹果的硬度对比

Fig. 6　Comparison of hardness in apple from 2015 to 2017

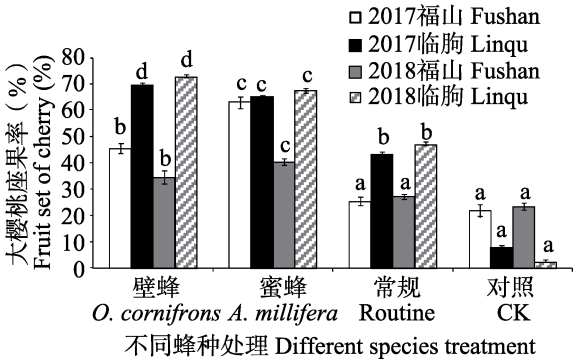

图 7　2017-2018 年不同处理大樱桃的座果率对比

Fig.7　Comparison of fruit set by different treatment from 2017 to 2018 in cherry orchard

2017 年在山东省潍坊市大樱桃园座果率分别为壁蜂授粉 69.10%，蜜蜂授粉 64.69%，常规处理 42.88%，对照处理 7.97%；它们之间都存在

显著性差异。

2018 年山东省烟台市大樱桃园各处理间座果率与 2017 年相同，蜜蜂、壁蜂、常规和对照处理的座果率分别为：40.32%、34.45%、27.02%、23.32%。其中，蜜蜂授粉的座果率与壁蜂授粉的存在显著性差异，壁蜂授粉又显著高于常规和对照两个处理。

2018 年在山东省潍坊市大樱桃园座果率分别为壁蜂授粉 72.67%，蜜蜂授粉 67.46%，常规处理 47.17%，对照处理 2.51%；4 个处理都存在显著性差异。

2.5 不同授粉方式对大樱桃产量和品质的影响

2.5.1 大樱桃单果重 通过对 2017-2018 年不同蜂种授粉下大樱桃的单果重测定表明（图 8），2017 年烟台市福山区大樱桃园各处理间单果重，壁蜂授粉的最高，常规处理的次之，蜜蜂授粉的最低；2017 年潍坊市临朐县大樱桃园的各处理中，蜜蜂授粉的单果重最高，常规处理的次之，壁蜂授粉的最低；2018 年福山区则是壁蜂授粉的最高，蜜蜂授粉的次之，常规处理的最低；2018 年临朐县的单果重是常规处理的最高，壁蜂授粉的次之，蜜蜂授粉的最低。不同授粉处理间没有显著差异。

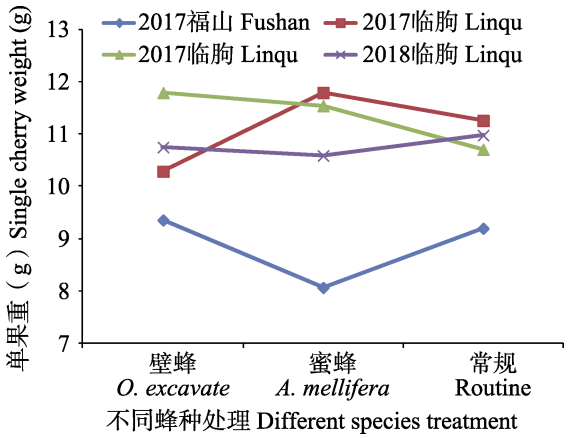

图 8 2017-2018 年不同处理大樱桃的单果重对比

Fig. 8 Comparison of single cherry weight by different treatment from 2017 to 2018

2.5.2 大樱桃产量 不同年度不同处理间，壁蜂和蜜蜂授粉均可提高大樱桃的每 667 m^2 产量，但最终产量上没有表现出明显的差异（图 9）。

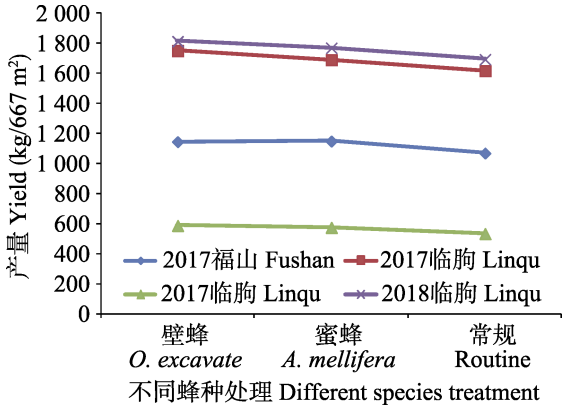

图 9 2017-2018 年不同蜂种授粉下大樱桃的产量（kg/667 m^2）

Fig. 9 Comparison of cherry yield by different treatment from 2015 to 2017 (kg/667 m^2)

2.5.3 大樱桃品质对 福山区和临朐县大樱桃园蜜蜂授粉和壁蜂授粉下大樱桃可溶性固形物含量、维生素 C 含量、总糖、总酸、固酸比等果实品质测定结果（表 2）显示，它们之间没有表现出显著性差异。

3 讨论

苹果、大樱桃均是山东胶东半岛的主要果树。它们大多具有自花不实性，即使少部分品种具有一定的自花结实能力，结实率也较低，无法满足生产要求（韩立群等，2017）。此外，苹果、大樱桃往往早春开花，环境温度低，阻碍了昆虫的授粉行为和花粉管发育（Bosch *et al.*，2006；王丽娜等，2018）。随着苹果、大樱桃集约化种植，产业规模化发展，昆虫授粉在农业生态系统中发挥了越来越重要的作用，全球约 75%的农作物通过昆虫授粉以提高产量、改善种子和果实品质（Klein *et al.*，2007）。

本研究通过连续 3 年在山东省胶东半岛系统调查分析了经壁蜂授粉、蜜蜂授粉、常规授粉等不同的授粉处理后苹果、大樱桃的座果率、Vc 含量、可溶性固形物、总糖及产量的变化。发现壁蜂授粉、蜜蜂授粉、常规授粉和对照处理的苹果座果率分别为 18.35%-59.94%、14.80%-35.74%、9.85%-32.85%、3.90%-9.52%，壁蜂、蜜蜂授粉可以显著提高苹果座果率；同时对 2015 年和 2016 年招远市苹果产量测定也表明，以壁

表 2　不同处理对大樱桃品质的影响对比（福山和临朐，2017）
Table 2　The comparison of cherry's quality of different treatment between Fushan and Linqu in 2017

处理 Treatment	可溶性固形物（%） Soluble solid		维生素 C（mg/100 g） Vitamin C		总糖（以葡萄糖计，g/100 g） Total sugar (dextrose)		总酸（以苹果酸计，g/100 g） Total acid (malic acid)		固酸比 Solidity-acid ratio	
	福山 Fushan	临朐 Linqu	福山 Fushan	临朐 Linqu	福山 Fushan	临朐 Linqu	福山 Fushan	临朐 Linqu	福山 Fushan	临朐 Linqu
壁蜂 *O. cornifrous*	15.3	14.00	6.99	2.87	10.28	4.38	0.61	0.71	25.4	19.73
蜜蜂 *A. mellifera*	14.2	13.93	7.74	2.08	9.33	6.15	0.62	0.68	23.1	20.57
常规 Routine	16.3	13.23	7.04	2.86	9.46	5.88	0.57	0.74	28.8	18.07
对照 CK	15.2	15.33	6.15	1.77	8.13	4.81	0.61	0.66	24.8	14.00

蜂授粉的最高（分别达到 2 830 kg 和 3 652 kg），蜜蜂授粉的次之，均明显的高于常规授粉和对照处理。而且，经壁蜂授粉、蜜蜂授粉后苹果体内的 Vc 含量、可溶性固形物、总糖、总酸含量及风味（固酸比）值等果品品质均有所提高。可见，壁蜂授粉与蜜蜂授粉对胶东苹果的传粉服务功能很大。

本研究也表明，壁蜂授粉、蜜蜂授粉、常规授粉等不同授粉方式下大樱桃座果率在不同年份、不同地点之间变化较大。如 2017-2018 年山东省烟台市大樱桃园蜜蜂授粉的座果率显著高于壁蜂授粉的；而在山东省潍坊市大樱桃园则是壁蜂授粉的座果率显著高于蜜蜂授粉的。但它们二者的座果率均显著高于常规和对照两个处理。说明，壁蜂授粉和蜜蜂授粉有利于大樱桃的座果，发挥着重要的传粉功能。

众所周知，蜜蜂可以为很多种作物传粉，但是其对一些作物（例如蓝莓、番茄、马铃薯等）传粉效率差。特别是近年来全球的“蜂群衰竭失调症”(CCD)，促使人们去寻找一些替代蜂种补足果园生态系统中作物授粉需求（门兴元等，2018）。而壁蜂（*Osmia*）作为众多野生蜜蜂中广泛用于栽培作物传粉的重要类群之一，是苹果、梨、桃、樱桃等蔷薇科果树的优良传粉昆虫，倍受世界各国的重视，已成为应用最为广泛的替代蜂种（韩立群等，2017；王贵平等，2018）。从本研究也可以看出，壁蜂授粉对苹果与大樱桃的传粉服务功能比蜜蜂授粉更大。而且，相比蜜蜂授粉，壁蜂具有耐低温、采集速度快、授粉效率高、管理简便、应用成本低的优势（曹衍斌等，2017）。因此，未来在苹果、大樱桃等果园内壁蜂的应用前景更为广阔。

参考文献 (References)

Bosch J, Kemp WP, Trostle GE, 2006. Bee population returns andcherry yields in an orchard pollinated with *Osmia lignaria* (Hy-menoptera: Megachilidae). *Journal of Economic Entomology*, 99(2): 408–413.

Chen XL, Shu HR, Chen XS, 2004. Studies on self-incompatibility in stone fruit trees. *Chinese Bulletin of Botany*, 21(6): 755–764. [陈晓流, 束怀瑞, 陈学森, 2004. 核果类果树自交不亲和性研究进展. 植物学通报, 21(6): 755–764.]

Cao YB, Zhou XH, Ye BH, Li LL, Lu ZB, Xu H, Li WQ, Yu Y, Men XY, 2017. Factors limiting *Osmia excavate* Alfken populations in apple orchards in Shandong province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(4): 652–659. [曹衍斌, 周仙红, 叶保华, 李丽莉, 卢增斌, 许衡, 李文强, 于毅, 门兴元, 2017. 山东苹果园凹唇壁蜂种群的制约因子分析. 应用昆虫学报, 54(4): 652–659.]

Gallai N, Salles JM, Setteled J, Vaissièrea BE, 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ*., 68(3): 810–821.

Han LQ, Ma K, Klim I, Yan P, Mei C, Wang JX, 2017. Studies on the biology of cherry flowering and the characteristics of pollination seeds. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 54(4): 639–644. [韩立群, 马凯, 克里木·伊明, 闫鹏, 梅闯, 王继勋, 2017. 樱桃开花生物学与授粉坐果特性的研究. 新疆农业科学, 54(4): 639–644.]

Klein AM, Vaissiere BE, Cane JH, Steffan DL, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T, 2007. Importance of pollinators in

changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B-biological Sciences*, 274(1608): 303–313.

Maeta Y, Kitamura T, 1981. Pollinating efficiency by *Osmia cornifrons* (Radoszkowski) in relation to required number of nesting bees for economic fruit production. *Honeybee Science*, 2(1): 65–72.

Men XY, Li LL, Lu ZB, OuYang F, Liu L, Xu H, Yu Y, 2018. Wall bee biological characteristics and pollination service function. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(6): 973–983. [门兴元, 李丽莉, 卢增斌, 欧阳芳, 刘丽, 徐衡, 于毅, 2018. 壁蜂生物学特性与传粉服务功能. 应用昆虫学报, 55(6): 973–983.]

OuYang F, Zhao ZH, Ge F, 2013. Insect ecological services. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(2): 305–310. [欧阳芳, 赵紫华, 戈峰, 2013. 昆虫的生态服务功能. 应用昆虫学报, 50(2): 305–310.]

OuYang F, Lu F, Men XY, Zhao ZH, Zeng JP, Xiao YL, Ge F, 2015. The economic value of ecological regulating services provided by agricultural insects in China. *Acta Ecologica Sinica*, 35(12): 4000–4006. [欧阳芳, 吕飞, 门兴元, 赵紫华, 曾菊平, 肖云丽, 戈峰, 2015.中国农业昆虫生态调节服务价值的初步估算. 生态学报, 35(12): 4000–4006.]

Wang YH, Fan DS, Sui JX, Wang Y, 2016. Integration and demonstration of green prevention and control technology of sweet cherry bee pollination and pest. *China Fruits*, (5): 68–72. [王亚红, 范东晟, 惠隽雄, 王渊, 2016. 甜樱桃蜜蜂授粉与病虫害绿色防控技术集成与示范. 中国果树, (5): 68–72.]

Wang GP, Lin LH, Xue XM, Wang JZ, Tao JH, 2018. Research and application of apple *Osmia* pollination technology in China. *Deciduous Fruits*, 50(3): 25–28. [王贵平, 林乐红, 薛晓敏, 王金政, 陶吉寒, 2018. 中国苹果壁蜂授粉技术研究与应用进展. 落叶果树, 50(3): 25–28.]

Wang LN, Yan Z, OuYang F, Xiao YL, Qu CH, Ye BH, Men XY, 2018. Releasing *Osmia excavata* Alfken pheromones increases pollination activity and improves fruit set and quality. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(6): 994–1000. [王丽娜, 闫卓, 欧阳芳, 肖云丽, 曲诚怀, 叶保华, 门兴元, 2018. 信息素促进凹唇壁蜂访花提高苹果座果率和果实品质. 应用昆虫学报, 55(6): 994–1000.]

Wei SG, Wang R, 1990. Raising the amount apple fruit set and production utilizing the domesticated *Osmia cornifrons*. *China Fruits*, (1): 31–32. [魏枢阁, 王韧, 1990. 利用驯化的角额壁蜂提高苹果树座果率及产量. 中国果树, (1): 31–32.]

Yin DS, Shen HL, Lan SB, 2010. Observation of pollen viability, stigma pollination and pollinator in bellows. *Journal of Northeast Forestry University*, 38(4): 82–83. [殷东生, 沈海龙, 兰士波, 2010. 风箱果花粉生活力、柱头可授粉及传粉者的观察. 东北林业大学学报, 38(4): 82–83.]

Zhang X, 2019. Yantai apple brand value reached 13.739 billion yuanbrand value new high. *YanTai Fruits*, 145(1): 21. [张鑫, 2019. 烟台苹果品牌价值达 137.39 亿元品牌价值再创新高. 烟台果树, 145(1): 21.]

Zhou H, Zhai YF, Shao JN, Wu GA, Chen H, Men XY, Yu Y, Zheng L, 2017. Effects of pollination by *Bombus terrestris* and *Apis mellifera* L. on fruit drop and quality of cherries (*Cerasu spseudocerasus*) in greenhouse. *Shandong Agricultural Sciences*, 49(8): 107–110. [周浩, 翟一凡, 邵莒南, 吴光安, 陈浩, 门兴元, 于毅, 郑礼, 2017. 地熊蜂和意大利蜜蜂授粉对设施樱桃落花落果及果实品质的影响. 山东农业科学, 49(8): 107–110.]

Zhang DX, Zhang ZQ, Liu YJ, 2018. Integration and application of green control technology for disease and insect in pear bee powder area. *Apiculture of China*, (12): 24–27. [张东霞, 张智强, 刘一景, 2018. 梨树蜜蜂授粉区病虫绿色防控技术集成与应用. 中国蜂业, (12): 24–27.]