应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2017, 54(4): 652–659. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2017.080

山东苹果园凹唇壁蜂种群的制约因子分析*

曹衍斌[1, 2**] 周仙红[1] 叶保华[2] 李丽莉[1] 卢增斌[1]
徐 衡[1] 李文强[1] 于 毅[1] 门兴元[1***]

（1. 山东省农业科学院植物保护研究所，济南 250100；2. 山东农业大学植物保护学院，泰安 271000）

摘 要 **【目的】** 凹唇壁蜂 *Osmia excavata* Alfken 是山东苹果园的主要授粉昆虫，明确影响凹唇壁蜂种群的自然因子，对于发挥其传粉生态服务功能有重要意义**【方法】** 本文应用生命表方法，比较研究了山东省 6 个地点的壁蜂种群参数。**【结果】** 各个地点的成茧率（7.64%~73.84%）和每管成茧数量（0.80~5.56）存在非常大的差异；6 个地点的种群趋势指数大于 1，变化范围为 1.80~11.80；壁蜂种群的致死因子包括卵败育、螨寄生、蜂捕食和自然死亡，排除作用控制指数分别为 1.07、1.10、1.03、2.53，各地所有致死因子的排除作用控制指数为 1.19~5.50，如果没有寄生、自然死亡等因子，凹唇壁蜂种群将增加 19%~450%。**【结论】** 自然死亡是限制山东省果园凹唇壁蜂种群的主要因子，因此需要加强凹唇壁蜂饲养管理，减少其自然死亡率。

关键词 苹果，凹唇壁蜂，种群，生命表，致死因子

Factors limiting *Osmia excavata* Alfken populations in apple orchards in Shandong Province

CAO Yan-Bin[1, 2**] ZHOU Xian-Hong[1] YE Bao-Hua[2] LI Li-Li[1] LU Zeng-Bin[1]
XU Heng[1] LI Wen-Qiang[1] YU Yi[1] MEN Xing-Yuan[1***]

(1. Institute of Plant Protection,Shandong Academy of Agricultural Sciences/Shandong Provincial Key Laboratory of Plant Virology，Jinan 250100, China; 2. Shandong Agricultural University, College of Plant Protection, Tai'an 271000, China)

Abstract **[Objectives]** To clarify the factors that limit *Osmia excavata* Alfken, one of the most important insect pollinators of apples in Shandong Province, and therefore maintain this important ecological service. **[Methods]** Demographic trends of *O. excavata* populations from 6 locations in Shandong Province were compared using life tables. [**Results**] There were significant differences in pupation rates (7.64%-73.84%) and numbers of pupae per tube（0.80-5.56）among the 6 locations. All population trend indices were > 1, varying from 1.80 to 11.80. The exclusive index of population control (EIPC) of eggs; un-hatched, parasitized, predation and natural death, were 1.07、1.10、1.03、and 2.53, respectively. Total EIPC of the 6 locations varied from 1.19 to 5.50, which indicates that *O. excavata* populations could potentially increase by 19% to 450% without those lethal factors. [**Conclusion**] Natural death of *O. excavata* is the main limiting factor in Shandong orchards, and improving their breeding management can decrease the natural mortality rate..

Key words apple, *Osmia excavata* Alfken, population, life table, lethal factors

凹唇壁蜂 *Osmia excavata* Alfken 属于蜜蜂总科（Apoidea）切叶蜂科（Megachilidae）是我国北方的一个野生传粉昆虫，1990 年被发现并用于给苹果树授粉（吕家睦等，1992，1993）。凹唇壁蜂作为我国的本土物种，不仅适应北方果区的气候条件，而且与北方果树花期形成了长期

*资助项目 Supported projects：山东省现代农业产业技术体系蜂产业创新团队；山东省重大科技创新工程项目
**第一作者 First author，E-mail：caoybin@126.com
***通讯作者 Corresponding author，E-mail：menxy2000@hotmail.com
收稿日期 Received：2016-11-04，接受日期 Accepted：2017-05-11

协同关系，具有耐冬季低温（魏永平等，2001）、发育起点温度低、日传粉活动时间长、访花频率快（杨龙龙等，1997a，1997b）、授粉效率高、饲养管理简便的优点（魏永平等，2000），其授粉效果好于蜜蜂、人工授粉及其他壁蜂（吕家睦等，1993；何伟志和周伟儒，2009）。凹唇壁蜂给果树授粉能显著提高坐果率（魏树伟等，2012），增加单果重量，提高果品产量和质量，增加果实抗病能力，使果型端正（孙建设等，1999；龚声信等，2008a，2008b）。因而，凹唇壁蜂被称为传粉之王，成为我国的重要的传粉资源昆虫（Wang *et al.*，2007；Zhang *et al.*，2008；Winfree *et al.*，2010）。目前，凹唇壁蜂被人工饲养并广泛应用于给苹果、梨、桃、樱桃等北方常栽果树传粉（刘新生和魏枢阁，2007；Wei *et al.*，2007；王凤鹤和杨甫，2007），不仅大大提高了果实的质量和产量，而且替代了人工授粉，降低了水果生产成本，在我国水果生产中发挥着重要的传粉生态服务功能。凹唇壁蜂已经在我国各果区大面积应用了 25 年（龚声信等，2008a，2008b；王贵平等，2013），经过多年的驯化和人工繁殖，各地壁蜂种群的状况如何？影响和限制壁蜂种群的因子有哪些？这些问题的解答对于提高凹唇壁蜂饲养技术和持续应用这种优异的传粉昆虫资源，提高其传粉生态服务功能具有重要意义，而关于各地凹唇壁蜂种群状况的比较研究尚未见报道。本文系统比较了山东省苹果产区 6 个代表性地点凹唇壁蜂的种群参数，应用自然种群生命表分析了影响壁蜂种群的制约因子，以期为凹唇壁蜂资源的持续利用和发挥其生态服务功能提供依据。

1　材料与方法

1.1　研究区域概况

山东省是我国苹果主产区，2014 年山东省苹果面积 31.46 万 hm^2，主要分布在胶东半岛和泰沂山区。目前山东省的凹唇壁蜂存蜂量全国最多，约 5 亿头，每年给近 13.3 万 hm^2 的苹果、梨等果树授粉，其中胶东半岛在 20 世纪 90 年代开始应用凹唇壁蜂授粉，泰沂山区近几年开始应用凹唇壁蜂为苹果授粉。

1.2　调查方法

2015—2016 年，对胶东半岛地区的牟平市、威海市、文登市和泰沂山区的沂源县的典型果园进行取样调查。牟平市和文登市各调查一个样点[牟平（MP）和文登（WD）]；威海市是我国最早应用凹唇壁蜂的区域之一，调查 2 个点[威海 1（WH1）和威海 2（WH2）]；沂源县是泰沂山区典型苹果种植区，而且种植面积最大，调查 2 个点[沂源 1（YY1）和沂源 2（YY2）]。

在 1 月中旬，从各调查点的苹果种植户收集凹唇壁蜂蜂管 100~200 管，随机抽查 30 管。用直尺测量蜂管的长度，用游标卡尺测量蜂管的内径。用小刀将蜂管从中间剖开，记录蜂管内巢室数量、蜂茧数量、完整花粉团数量、蜂螨危害巢室数，然后称量每个蜂茧的重量，用游标卡尺测量蜂茧的长度，最后用镊子撕开蜂茧，检查寄生蜂的种类和数量、壁蜂的雌雄。

导致壁蜂死亡的作用因子按逻辑顺序依次排列为：(1) 卵期：败育。凹唇壁蜂在每个巢室产的花粉团上产一枚卵，由于无法直接观察蜂管内卵的发育情况，因此将巢室内花粉团完整的情况，表示没有壁蜂幼虫取食，定为卵败育。(2) 幼虫和蛹期：螨寄生、蜂捕食、自然死亡。通过田间取样剖查蜂管，未发现凹唇壁蜂幼虫和蛹被病菌寄生的现象和病原物，观察到巢室中螨寄生导致幼虫死亡（定为“螨寄生”）和其他蜂的幼虫取食凹唇壁蜂幼虫（定为“蜂捕食”），剖查的巢室，花粉粒已经被取食，幼虫、蛹已经死亡，但是没有天敌捕食和寄生的迹象，定为由于气候、环境等物理因子引起的“自然死亡”。(3) 成虫期：雌性比例，单雌产卵量。

1.3　分析方法

根据剖差各虫态的生物学和蜂管剖差结果，使用庞雄飞和梁广文（1995）以作用因子组建的生命表方法，建立山东省苹果产区 6 个地点的凹唇壁蜂种群生命表，用种群趋势指数（Index of population development trend, I）和排除作用控制

指数（The exclusive index of population control，EIPC）评价各种种群限制因子对凹唇壁蜂种群的限制作用。

1.4 数据处理

应用 SPSS 软件对数据进行方差分析，其中不同地点的壁蜂种群参数间的显著性差异采用 Duncan's 新复极差法进行分析，相关分析采用 Pearson 相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同地点壁蜂种群比较

6 个采集点的壁蜂的营巢率（F=3.17, df=5, P=0.009）、每管巢室数（F=2.80, df=5, P=0.018）、茧数（F=10.82, df=5, P=0.000）、成茧率（F=27.45, df=5, P=0.000）均有显著性差异（表 1）。壁蜂的营巢率在 85.71%~100%，其中沂源 2 的营巢率最低，与牟平没有显著性差异，而威海 2、文登、沂源 1 的营巢率均为 100%。沂源 2 每管巢室数最低为 7.77 个，显著低于牟平和威海 2 的 11.19 个和 10.91 个，与其他 3 个地点么有显著性差异。沂源 2 的每管茧数最多为 5.56 个，显著高于其他地点，牟平、威海 1、威海 2 次之，沂源 1 最少为 0.80 个。巢室成茧率沂源 2 最高，达 73.84%，威海 1（44.34%）次之，牟平和威海 2 均约为 30%，文登（15.83%）和沂源 1（7.64%）最低。

6 个地点凹唇壁蜂种群的卵败育率（F=4.53, df=5, P=0.001）、被其他蜂捕食率（F=4.11, df=5, P=0.001）、被螨寄生率（F=7.19, df=5, P=0.000）、自然死亡率（F=23.66, df=5, P=0.000）均存在显著性差异（表 2）。卵败育率在 2.31%~16.89%，其中文登的卵未孵化率显著高于其他 5 个地点，其他 5 个点间没有显著性差异。被捕食率在 0.33%~6.48%，其中文登和沂源 2 最高，其他 4 个地点没有显著性差异。牟平的被螨寄生率最高为 22.93%，文登和沂源 1 次之为 10%以上，沂源 2 的螨计生率最低为 0。沂源 1 的自然死亡率最高达 79.44%，威海 2 和文登次之，显著高于牟平、威海 1 和沂源 2，其中沂源 2 仅为 9.69%。

表 1 不同地点壁蜂种群参数

Table 1 Population parameters of *Osmia excavata* from 6 locations

地点 Location	营巢率（%）Nesting rate	巢室数 Nest numbers	茧数 Cocoon numbers	成茧率 Cocoon rate
牟平 Muping, MP	87.10±6.12 bc	11.19±1.09 a	3.48±0.58 b	30.41±4.07 c
威海 1 Weihai 1, WH1	97.22±2.78 ab	9.11±0.65 ab	4.14±0.59 b	44.34±5.48 b
威海 2 Weihai 2,WH2	100.00±0.00 a	10.91±0.65 a	3.06±0.43 bc	30.88±4.69 c
文登 2 Wending 2, WD	100.00±0.00 a	9.07±0.79 ab	1.66±0.43 cd	15.83±3.75 d
沂源 1 Yiyuan 1, YY1	100.00±0.00 a	9.93±0.47 ab	0.80±0.21 d	7.64±2.05 d
沂源 2 Yiyuan 2, YY2	85.71±6.00 c	7.77±0.85 b	5.56±0.69 a	73.84±4.48 a

表中数据为平均值±标准误，同列数据后标有不同字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

Data are mean±SE, and followed by different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2 作用因子对凹唇壁蜂种群的致死率

Table 2 Lethal rate to *Osmia excavata* population

地点 Location	卵败育率（%）Un-hatched rate	被捕食率（%）Predation rate	被寄生率（%）Parasitism rate	自然死亡率（%）Natural mortality rate
牟平 Muping, MP	3.17±1.13 b	0.33±0.33 b	22.93±4.46 a	40.81±5.07 c
威海 1 Weihai 1, WH1	5.02±2.25 b	1.89±0.75 b	4.29±2.05 bc	45.11±6.13 c
威海 2 Weihai 2, WH2	4.41±1.35 b	1.07±0.51 b	1.09±0.61 c	64.54±4.73 b
文登 2 Wending 2, WD	16.89±4.69 a	5.84±2.23 a	13.27±5.89 b	65.32±5.54 b
沂源 1 Yiyuan 1, YY1	2.31±0.93 b	1.03±0.58 b	10.44±2.87 b	79.44±3.90 a
沂源 2 Yiyuan 2, YY2	8.90±2.92 b	6.48±2.14 a	0.00±0.00 c	9.69±3.65 c

6 个地点凹唇壁蜂茧的长度差异显著（F=11.51, df=5, P=0.000），而茧重没有显著性差异（F=0.72, df=5, P=0.61）（表 3）。其中，文登的茧长最大为 13.63 mm，沂源 2 的茧长最小为 11.88 mm。

表 3　不同地点凹唇壁蜂茧长和茧重
Table 3　Cocoon lengths and weights of *Osmia excavata* from 6 locations

地点 Location	茧长（mm） Coccon length	茧重（mg） Cocoon weight
牟平 Muping, MP	12.50±0.11 bc	124.65±3.57 a
威海 1 Weihai 1, WH1	12.79±0.14 b	114.33±5.17 a
威海 2 Weihai 2, WH2	12.12±0.13 cd	102.01±3.21 a
文登 2 Wending 2, WD	13.63±0.33 a	146.89±14.51 a
沂源 1 Yiyuan 1, YY1	13.03±0.22 b	111.77±6.18 a
沂源 2 Yiyuan 2, YY2	11.88±1.83 d	122.23±28.45 a

2.2　蜂管对壁蜂种群的影响

统计的 129 个巢管的平均长度为 21.92 cm，长度变化范围为 11.15~33.43 cm，巢管的杆长与巢室数呈极显著的正相关（R^2=0.330, P<0.001），但是与成茧数没有显著相关性（R^2=0.067，P=0.445）（表 4）。巢管的内径与巢室数（R^2=0.302, P=0.001）、成茧数（R^2=0.290, P=0.001）均呈显著正相关。巢管的杆长与杆内径均与蜂茧的重量和长度没有显著相关关系。

被螨寄生率与巢管杆的内径呈显著正相关关系（R^2=0.228，P=0.001），被捕食率与蜂茧的重量呈显著正相关关系（R^2=0.545，P<0.001）（表 5）。

2.3　不同地点凹唇壁蜂种群生命表

根据剖管调查，组建了 6 个地点的从卵期到成虫期凹唇壁蜂种群生命表（表 6）。不同阶段的存活率不同， 6 个地点的卵期凹唇壁蜂的存活率除了文登为 83.11%外，均在 90%以上， 6 个地点的幼虫和蛹期存活率变化较大，沂源 2 最高是 79.91%，而沂源 1 最低，仅为 8.61%。6 个地点的雌虫比均为 70%以上，牟平、威海 2、沂源 1 的雌虫比在 90%以上。由于凹唇壁蜂雌成虫释放后，其产卵量难于调查，本文引用魏永平等（2000）的苹果园的每雌产卵数据 21.8 粒/雌，6 个地点的种群趋势指数大于 1，但是不同地点有较大的差异，变化范围为 1.80~11.80，最高是最低的 6.6 倍（魏永平等，2000）。

表 4　巢管长度和内径与壁蜂种群参数的相关性
Table 4　Correlations between length and inner diameter of nest tube and *Osmia excavata* population parameters

巢管 Nest tube	相关性 Correlationship	巢室数 Nest number	成茧数 Cocoon number	茧长 Cocoon length	茧重 Cocoon weight
巢管长度 Tube length	Person correlation	0.330*	0.067	- 0.137	- 0.042
	Sig. (two-tailed)	0.000	0.449	0.121	0.638
巢管内径 Inner diameter	Person correlation	0.302*	0.290*	0.097	0.154
	Sig. (two-tailed)	0.001	0.001	0.272	0.082

数据后面的*表示两组数据显著相关（P<0.05）。下表同。
Data followed by * indicates significant relationship between two sets of data. The same below.

表 5　被寄生率和被捕食率与巢管参数和壁蜂茧参数的相关性
Table 5　Correlations between parasitism rates by mites and predation rates by wasps and nest tube parameters and cocoon parameters

生物因子 Mortal factor	相关性 Correlationship	巢管长 Tube length	巢管内径 Inner diameter	巢室数 Nesting numbers	成茧数 Cocoon numbers	茧长 Cocoon length	茧重 Cocoon weight
被寄生 Parasitism	Person correlation	- 0.025	0.288*	0.106	- 0.169	0.029	0.027
	Sig. (two-tailed)	0.777	0.001	0.233	0.055	0.774	0.759
被捕食 Pradation	Person correlation	- 0.050	- 0.070	- 0.118	- 0.023	0.060	0.545*
	Sig. (two-tailed)	0.576	0.430	0.181	0.796	0.500	0.000

表 6 壁蜂的自然种群生命表
Table 6 Life table of *Osmia excavata* population

虫期 Stage	存活率 Survival rate（%）					
	MP	WH1	WH2	WD	YY1	YY2
卵期 Egg	96.83	94.98	95.59	83.11	97.69	91.91
幼虫和蛹期 Larva and pupae	30.99	46.53	32.07	17.02	8.61	79.91
雌虫比 Female rate	93.82	75.40	94.44	87.30	98.34	73.71
种群趋势指数 [1]	6.14	7.26	6.31	2.69	1.80	11.80

1 表示雌蜂产卵量为 21.8 粒/雌，引用魏永平等（2000）。
1 means that 21.8 eggs oviposited by per female (Wei *et al*., 2000).

利用排除作用控制指数（EIPC）进行了重要因子分析（表 7），因子越大表明该因子对种群的限制作用更大。卵期败育、幼虫和蛹期的“螨寄生”、“蜂捕食”对凹唇壁蜂种群的影响相对较弱，EIPC 均在 1.20 之下，除了牟平的“螨寄生”为 1.30 和文登的卵期“败育”为 1.20。“自然死亡”是影响壁蜂种群的主要因子，除了沂源 2 为 1.11 外，其他 5 个地点均在 1.50 以上，其中威海 2 和文登为 2.82 和 2.88，沂源 1 高达 4.86 倍。

各种种群因子对壁蜂种群制约作用是相辅相成的，设寄生死亡率因子的控制指数为 $EIPC_{pa}$，所有致死因子的控制指数为 $EIPC_{t}$。各地寄生控制指数为 1.02~1.30，如果没有寄生，那么凹唇壁蜂种群将增加 2%~30%。所有致死因子的控制指数为 1.19~5.50，如果没有寄生、自然死亡等因子，凹唇壁蜂种群将增加 19%~450%。

3 讨论与结论

壁蜂（*Osmia*）广泛分布于世界各地，其用腹部的腹毛刷采集携带花粉，耐低温，访花效率高，对苹果等果树的授粉效率远远高于家养蜜蜂，人们很早就开始了其生物学和生态学研究（Torchio，1987），20 世纪 40 年代日本将当地的优势壁蜂——角额壁蜂作被成功应用于果树授粉，此后兰壁蜂 *Osmia lignaria propinqua*、角壁蜂 *Osmia cornuta*、红壁蜂 *Osmia rufa* 先后被欧美国家发掘应用于扁桃、苹果、杏、蓝莓、樱桃等果树授粉（Torchio，1985；Corliss，1992）。凹唇壁蜂已经成为我国北方果区苹果、梨、桃、樱桃等主要果树的传粉昆虫，替代了以往的人工授粉，尤其在苹果园凹唇壁蜂授粉技术已经应用十分普遍。凹唇壁蜂一年发生 1 代，以卵、幼虫、蛹、成虫在管状巢内越夏越冬，卵期 6~7 d，幼虫期 15~20 d，蛹期 75~90 d，成蜂在 8 月下旬、9 月上旬羽化，成虫羽化后仍在茧内，以专性滞育状态越秋、越冬，翌年的春季壁蜂破茧而出，营巢、采集花粉和产卵，巢外活动时间 40~50 d，壁蜂的生活史和生活习性，非常便于果农饲养和

表 7 壁蜂种群生命表的重要因子
Table 7 Important factors of *Osmia excavata* natural population

虫期 Stage	作用因子 Factors	排除作用控制指数 EIPC						平均 Average
		MP	WH1	WH2	WD	YY1	YY2	
卵期 Egg	败育 Un-hatched	1.03	1.05	1.05	1.20	1.02	1.09	1.07
幼虫和蛹期 Larva and pupae	被寄生 Parasitism	1.30	1.04	1.01	1.15	1.12	1.00	1.10
	被捕食 Predation	1.00	1.02	1.01	1.06	1.01	1.07	1.03
	自然死亡 Natural death	1.69	1.82	2.82	2.88	4.86	1.11	2.53
	生物因子 Biotic factors	1.30	1.06	1.02	1.22	1.13	1.07	1.13
	所有因子 All factors	2.20	1.93	2.88	3.51	5.50	1.19	2.87

利用。果农一般于苹果树中心花开放前 2~3 d 释放凹唇壁蜂，同时在果园内放置芦苇管等巢管供壁蜂营巢产卵，在苹果花谢约一周后，将巢管收回，把收集好的巢管装入网袋，挂在房屋中储藏，来年再用。近年来，山东省的一些苹果园出现了凹唇壁蜂回收数量少的问题（翟浩等，2015）。营巢率和巢室数反映了回收的凹唇壁蜂在蜂管营巢情况，与释放壁蜂种群数量和蜜粉源数量密切相关，同时巢管的种类和质量等因素也会影响壁蜂的营巢率（李进等，2015），我们的研究结果显示，不仅蜂管的内径大小影响凹唇壁蜂的营巢率和成茧数，蜂管的长度也与凹唇壁蜂的营巢率呈正相关。总的来看，6 个调查点的营巢率均较高，3 个地点的芦苇管 100%有凹唇壁蜂营巢，其他 3 个地点也在 85%以上，每管巢室数量除了沂源 2 为 7.77 个外，其他 5 个地点的为 9.11 个，差异不显著，说明在单位面积放蜂量充足和苹果蜜粉源充足的情况下，各地回收的蜂管中的壁蜂卵数量没有很大的差异。但是，各个地点的每管的成茧率（7.64%~73.84%）和成茧数量（0.80~5.56）有非常大的差异，最大是最小的 9.66 倍和 6.95 倍，是影响各地壁蜂实际回收数量的主要因素。

凹唇壁蜂的卵期、幼虫期、蛹期和滞育期的成虫在巢中生活 300 余天，期间的死亡率越高，壁蜂的成茧率越低，壁蜂种群的回收率就越低。调查发现凹唇壁蜂在蜂管期间的致死因子包括：卵期败育、蜂寄生、螨寄生和环境因素引起的自然死亡。卵期败育的死亡率除了文登（16.89%）外，均在 10%以下，相对较低。引起壁蜂死亡的天敌生物包括寄生螨和寄生蜂。危害凹唇壁蜂的蜂螨是平岛氏毛爪螨 *Chaetodactylus hirashimai* Kurosa，属疥螨目（Sarcoptiformes）毛爪螨科（Chaetodactylidae）毛爪螨属，是盗寄生性携播型害螨，其通过成年蜂携带进入巢管中，取食巢室中的蜂粮——花粉团，快速繁殖，使壁蜂的幼虫的存活率下降。虽然蜂螨不会寄生危害蜂茧和成蜂，但是其会大量附着在破茧而出的成年蜂体表，进行传播，同时影响了蜂的活动、采集花粉和传粉的效率（翟浩等，2016）。在调查的 6 个地点中，5 个点有平岛氏毛爪螨，表明该害螨在山东省的主要苹果产区普遍发生，这与翟浩等（2015）的调查结论一致。各个点的螨计生率有很大差异，烟台地区的牟平点的螨寄生率最高达 22.93%，与翟浩等（2015）在该地区调查的 21.93%相近，而在威海地区的两个地点威海 1 和威海 2 的螨计生率 4.29%和 1.09%，远低于翟浩等（2015）的调查 20%左右的螨计生率。翟浩等（2015）认为，平岛氏毛爪螨是携播性的盗寄生螨，应用壁蜂时间越久的青岛、烟台、威海地区的螨害高于应用该授粉技术较晚的临沂和淄博地区，而我们的研究发现，不仅不同地区的螨害差异较大，而且同一地区的不同地点的害螨的发生情况也差异较大，例如沂源的两个地点沂源 1 的螨寄生率相对较高，达到了 10.44%，而沂源 2 未发现螨寄生的情况。这可能与各个地点的控制螨害的措施不同有关，使同一地区不同果园的蜂螨发生情况大相径庭，例如，翟浩等（2016）调查发现，威海地区不同果园内螨寄生率差异很大（翟浩等，2016），张秀美等（2015）调查显示辽宁省瓦房店市不同乡镇的壁蜂螨害差异很大。因此，规范果农的蜂螨的防治技术，提高防控效率，可以有效减少蜂螨危害。同时，我们研究发现，螨寄生与蜂管的内径大小呈正相关。

调查发现的凹唇壁蜂寄生蜂均为叉唇寡毛土蜂 *Sapyga coma* Yasumatsu *et* Sugihara，该蜂是在我国引入应用角额壁蜂时发现的一种幼虫寄生蜂，其幼虫取食壁蜂的大龄幼虫，在壁蜂的茧内滞育越冬（徐环李，1994；周伟儒，1997），有研究显示其对凹唇壁蜂的寄生率高于角额壁蜂，在一些地区其对凹唇壁蜂寄生率达到了 30%以上（周伟儒，1997；余忠保，1999）。本研究中，在 6 个调查地点均有发生，不同地点间寄生率有显著性差异，总的来说各地点的蜂计生率均较低（低于 10%），目前对该蜂的生活习性研究尚少，影响该寄生蜂寄生的因素也尚未见报道。

但近几年来，最早应用壁蜂授粉的山东省威海、烟台等市的有些果园出现了繁殖率极低，往往造成果园无壁蜂可用的现象（于晓霞，2014）。有研究表明，凹唇壁蜂在果园的繁殖系数在 6 倍

以上（吕家睦等，1993；吕龙石和金大勇，2005），本文用自然种群生命表研究发现，6 个地点的种群趋势指数差异很大，其中 3 个地点牟平、威海 1、威海 2 的种群趋势指数分别为 6.14、7.26、6.31 与前人的研究相似，沂源 2 的种群指数高达 11.80，但是文登和沂源 2 的种群指数仅为 2.69 和 1.80。排除作用控制指数显示，各个地点的致死因子排除作用控制指数的平均值为 2.87，大小排序为自然死亡>螨寄生>卵未孵化>蜂寄生。其中，自然死亡对种群的影响最大，排除作用指数为 2.53，并且各个地点的差异很大，最低的为 1.11，最高的为 4.86。壁蜂属独居性昆虫，自然界中野生壁蜂营巢一般选择比其身体稍大，直径约为 7~10 mm 的天然空洞来建巢，如枯树上其他昆虫蛀的洞、石头缝、房屋墙壁上的空洞、土缝、地面上的土洞、芦苇管等（吴平等，2012），其巢穴环境稳定，有利于其抵御外界不良环境。由于凹唇壁蜂的卵期、幼虫期、蛹期和滞育期的成虫在巢中生活 300 余天，期间的死亡率越高，壁蜂的成茧率越低，壁蜂种群的回收率就越低。这种情况的出现，主要原因可能是壁蜂的收储的环境不利于壁蜂存活。

参考文献 (References)

Corliss J, 1992. What’s a better blueberry pollinator? *Agricultural Research*, 40(3): 19.

Gong SX, Zhao GH, Zhao XQ, Li XY, Shi AX, Yang YJ, Chen AD, 2008a. Application of *Osmia excavate* (Alfken) polination technique for apple production in Yunnan Altiplano. Proceedings of the 2009 Annual Conference of the Insect Society of Yunnan Province. 213–216. [龚声信, 赵高慧, 赵雪晴, 李向永, 石安宪, 杨毅娟, 谌爱东, 2008a. 凹唇壁蜂授粉对苹果果形质量的影响.云南省昆虫学会 2009 年年会论文集. 213–216.]

Gong SX, Zhao GH, Zhao XQ, Li XY, Shi AX, Yang YJ, Yu Y, Chen AD, 2008b. Application of *Osmia excavate* (Alfken) for apple production in Yunnan altiplano. *Journal of Environmental Entomology*, 30(4): 344–349. [龚声信, 赵高慧, 赵雪晴, 李向永, 石安宪, 杨毅娟, 于毅, 谌爱东, 2008b. 凹唇壁蜂在云南高原苹果产区的应用. 环境昆虫学报, 30(4): 344–349.]

He WZ, Zhou WR, 2009. Study on the effect of *Osmia excavate* Alfken, Italy bee and artificial pollination on apple pollination. *Apiculture of China*, 60(11): 9–11. [何伟志, 周伟儒, 2009. 凹唇壁蜂、意大利蜜蜂与人工授粉对苹果授粉效果研究. 中国蜂业, 60(11): 9–11.]

Li J, Wang QY, Song P, Nan Gong ZY, Cao KQ, 2015. Study on the main factors affecting apple orchard *Osmia* nesting rate. *China Fruit*, (5): 51–54. [李进, 王勤英, 宋萍, 南宫自艳, 曹克强, 2015. 影响苹果园壁蜂营巢率的主要因素研究. 中国果树, (5): 51–54.]

Liu XS, Wei SG, 1997. Study of *Osmia excavate* Alfken release and pollination effect on the cherry orchard. *Journal of Hebei Agrotechnical Teachers College*, 11(4): 21–25. [刘新生, 魏枢阁, 1997. 樱桃园凹唇壁蜂释放及授粉效果的研究. 河北农业技术师范学院学报, 11(4): 21–25.]

Lü JM, Lu LN, Liu ZT, 1992. Test of pollination of apple's use local wild bee - *Osmia excavata* Alfken. *Luoye Guoshu*, (1): 14–15. [吕家睦, 路灵南, 刘作亭, 1992. 苹果利用当地野生蜂-凹唇壁蜂传粉试验. 落叶果树, (1): 14–15.]

Lü JM, Lu LN, Liu ZT, Wang FH, Hou B, Wang JY, 1993. A new bee species of apple pollination “*Osmia excavata* Alfken”. *China Fruits*, (1): 29–30. [吕家睦, 路灵南, 刘作亭, 王凤华, 侯宝, 王金玉, 1993. 苹果传粉的新蜂种“凹唇壁蜂”. 中国果树, (1): 29–30.]

Lü LS, Jin DY, 2005. Progress of human society and vicissitudes of *Osmia* population. The Sixth National Youth Academic Exchange Association of China. 24–28. [吕龙石, 金大勇, 2005. 人类社会的进步与壁蜂种群的盛衰. 中国昆虫学会第六届全国中青年学术交流会. 24–28.]

Pang XF, Liang WG, 1995. Control of Pest Populations. Guangzhou Science and Technology Publishing Press. 7–63. [庞雄飞, 梁广文, 1995. 害虫种群系统的控制. 广州: 科技出版社. 7–63.]

Sun JS, Wang HY, Lei HD, Zhang Y, Jin HJ, 1999. Effect of *Osmia* pollination on the red wall Fuji apple fruit set and fruit quality. *Hebei Jouranl of Forestry and Orchard Research*, 14(4): 316–319. [孙建设, 王海英, 雷宏典, 张英, 靳海军, 1999. 壁蜂传粉对红富士苹果坐果及品质的影响. 河北林果研究, 14(4): 316–319.]

Torchio PF, 1985. Field experiments with the pollinator species, *Osmia lignaria* propinqua cresson, in apple orchards: V (1979 - 1980), method of introducing bee nesting success, seed counts, fruit yields. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 58(3): 448–464.

Torchio PF, 1987. Use of non-honey bee species as pollinators of crops. *Proceedings of the Entomological Society of Ontario*, 118: 114–124.

Wang FH, Geng JH, Xu XL, 2007. Current status on the industrial utilization of insect pollinators in China. *Entomological Research*, 37(Suppl. 1): A146–A147.

Wang FH, Yang F, 2007. Application technology of pollination in the orchard of *Osmia excavate* Alfken. *China Fruit*, (6): 41–43. [王凤鹤, 杨甫, 2007. 凹唇壁蜂果园授粉应用技术试验. 中国果树, (6): 41–43.]

Wang GP, Cha YL, Ma M, Liu C, Wang JZ, 2013. Research on *Osmia* biology and the result of pollination of apple by *Osmia* bees in the different apple production area. *Chinese Agricultural Science Bullet*, 29(34): 171–176. [王贵平, 查养良, 马明, 刘畅, 王金政, 2013. 不同苹果产区壁蜂授粉生物学特性及授粉效应研究. 中国农学通报, 29(34): 171–176.]

Wei SG, Wang R, Smirle MJ, Xu HL, 2002. Release of *Osmia excavata* and *Osmia jacoti* (Hymenoptera: Megachilidae) for apple pollination. *Canadian Entomologist*, 134(3): 369–380.

Wei SW, Wang Y, Wang HW, Zhang Y, Wang SM, 2012. Preliminary studies of the effects of *Osmia cornifrons* pollination and artificial pollination on the fruit setting rate of Dangshan pears. *Luoye Guoshu*, 44(3): 5–6. [魏树伟, 王越, 王宏伟, 张勇, 王少敏, 2012. 壁蜂授粉加人工授粉对砀山酥梨坐果率的影响研究初报. 落叶果树, 44(3): 5–6.]

Wei YP, Yuan F, Zhang YL, 2000. Flower visiting habit and the necessary quantity of *Osmia excavate* Alfken. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 28(5): 76–79. [魏永平, 袁锋, 张雅林, 2000. 凹唇壁蜂的访花习性及必要放蜂量. 西北农业大学学报, 28(5): 76–79.]

Wei YP, Yuan F, Zhang YL, 2001. The resistance and reproductive potential of *Osmia excavata* Alfken. *Entomological Knowledge*, 38(2): 122–124. [魏永平, 袁锋, 张雅林, 2001. 凹唇壁蜂的耐寒性及生殖潜力研究. 昆虫知识, 38(2): 122–124.]

Wei YP, Yuan F, Zhang YL, Wang YH, 2000. The reproductive characteristics of *Osmia excavata* Alfken. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 9(3): 35–38. [魏永平, 袁锋, 张雅林, 王亚红, 2000. 凹唇壁蜂繁殖特性研究. 西北农业学报, 9(3): 35–38.]

Winfree R, 2010. The conservation and restoration of wild bees. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1195(1): 169–197.

Wu P, Zhou R, Zhang FL, Wei QL, 2012. Collection and breed technic of wild *Osmia*. *Apiculture of China*, 63: 29–33. [吴平, 周容, 张凤兰, 韦庆禄, 2012. 野生壁蜂采集及人工繁殖技术. 中国蜂业, 63: 29–33.]

Xu HL, 1994. A Dangerous parasitic wasps of *Osmia* for pollination of fruit trees - *Sapyga coma* Yasumatsu *et* Sugihara. *China Fruit*, (2): 26 – 27. [徐环李, 1994. 叉唇寡毛土蜂——果树授粉壁蜂的危险寄生蜂. 中国果树, (2): 26–27.]

Yang LL, Wu YR, Zhou WR, 1997a. A comparative study on niche of *Osmia excavata* Alfken and *O. jacoti* Cockerell of the apple orchard. *Acta Entomologica Sinica*, 40(3): 265–270. [杨龙龙, 吴燕如, 周伟儒, 1997a. 苹果园中凹唇壁蜂和紫壁蜂的生态位比较研究. 昆虫学报, 40(3): 265–270.]

Yang LL, Wu YR, Zhou WR, 1997b. Comparative studies of nesting and foraging behavior and pollination ecology of *Osmia excavata* Alfken and *O. jacoti* Cockerell in apple orchards. *Acta Ecologica Sinica*, 17(1): 1–6. [杨龙龙, 徐环李, 吴燕如, 1997b. 凹唇壁蜂和紫壁蜂筑巢、访花行为和传粉生态学的比较研究. 生态学报, 17(1): 1–6.]

Yu XX, 2014. Several problems in the storage of *Osmis*. *Yantai Fruits*, (2): 53–54. [于晓霞, 2014. 壁蜂收储中注意的几个问题. 烟台果树, (2): 53–54.]

Yu ZB, 1999. Predators of *Osmia-Sapyga coma* Yasumatsu *et* Sugihara. *Northern Fruits*, (5): 39. [余忠保, 1999. 壁蜂的天敌-叉唇寡毛土蜂. 北方果树, (5): 39.]

Zhai H, Wang GP, Li XJ, Xue XM, Wang JZ, 2016. Preliminary report on mite damage to *Osmia* bee comb tube nest in apple orchard of Weihai. *Shandong Agricultural Sciences*, 48(4): 106–108. [翟浩, 王贵平, 李晓军, 薛晓敏, 王金政, 2016. 威海市苹果园授粉壁蜂巢管螨害情况调查初报. 山东农业科学, 48(4): 106–108.]

Zhai H, Wang GP, Xue XM, Wang JZ, Yu SZ, Tang YH, Cao HJ, 2015. Preliminary investigation on the mite pest in the pollination *Osmia* of the main apple producing areas in Shandong Province. *China Fruit*, (6): 82–84. [翟浩, 王贵平, 薛晓敏, 王金政, 于树增, 唐永辉, 曹洪建, 2015. 山东省主要苹果产区授粉壁蜂巢管螨害情况调查初报. 中国果树, (6): 82–84.]

Zhang CX, Tang XD, Cheng JA, 2008. The utilization and industrialization of insect resources in China. *Entomological Research*, 38(S1): 38–47.

Zhang XM, Liu Z, Wang H, Zhang GR, Sun SC, 2015. Investigation of mites in the wall of the *Osmia*. *Northern Fruits*, (4): 46. [张秀美, 刘志, 王宏, 张广仁, 孙绍春, 2015. 壁蜂巢管螨害情况的调查. 北方果树, (4): 46.]

Zhou WR, 1997. Predators of fruit pollination *Osmia-Sapyga coma* Yasumatsu *et* Sugihara. *China Fruit*, (4): 43. [周伟儒, 1997. 果树授粉壁蜂天敌—叉唇寡毛土蜂. 中国果树, (4): 43.]