

中国水果和蔬菜昆虫授粉的经济价值评估

安建东^{1,*}, 陈文锋²

(1. 中国农业科学院蜜蜂研究所, 农业部授粉昆虫生物学重点开放实验室, 北京 100093;

2. 中国农业大学农学与生物技术学院昆虫学系, 北京 100193)

摘要: 水果和蔬菜是二大类最主要的虫媒作物, 在农业生产中占据十分重要的地位, 但是近几十年来授粉昆虫在多国出现了不同程度的下降, 影响了农业生产的经济效益。为了明确中国主要授粉昆虫的现状以及昆虫授粉在中国水果和蔬菜生产中的经济地位, 本文分析了 1961–2009 年间中国主要授粉昆虫蜜蜂的数量动态以及水果和蔬菜种植的变化特征; 并以 2008 年种植的与人类食品密切相关的 44 种水果和蔬菜为研究对象, 引入农作物对昆虫授粉的依赖性参数, 应用生物经济学的方法评估了昆虫授粉对中国水果和蔬菜产生的经济价值。结果表明: 1961–2009 年的 49 年之间, 中国主要授粉昆虫蜜蜂蜂群数量增加了 161%, 水果和蔬菜种植面积增加了 472%, 产量增加了 833%。中国水果和蔬菜中虫媒作物产量的提高, 与作物种植面积的增长密切相关 ($r=0.995$, $P<0.01$), 也与主要授粉昆虫蜜蜂蜂群数量增加有关 ($r=0.804$, $P<0.01$)。2008 年昆虫授粉对中国水果和蔬菜产生的经济价值为 521.7 亿美元, 占 44 种水果和蔬菜总产值的 25.5%。水果类对昆虫授粉的依赖程度较高, 授粉产生的经济价值大于蔬菜类。在昆虫授粉的贡献中, 苹果、西瓜、梨、芒果和李占据前 5 位。昆虫授粉对中国水果和蔬菜产生的经济价值十分巨大, 中国水果和蔬菜对昆虫授粉的依赖程度超过 15.9% 的全球平均水平。随着中国水果和蔬菜种植面积的持续增长, 中国需要更多的授粉昆虫为其提供授粉服务。

关键词: 昆虫授粉; 水果; 蔬菜; 经济价值; 蜜蜂; 中国

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2011)04-0443-08

Economic value of insect pollination for fruits and vegetables in China

AN Jian-Dong^{1,*}, CHEN Wen-Feng² (1. Key Laboratory for Insect-Pollinator Biology of the Ministry of Agriculture, Institute of Apiculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China; 2. Department of Entomology, College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Insect pollinators play an important role in agricultural production, especially for fruits and vegetables. However, there is now mounting evidence of pollinator decline in many countries all over the world and it is important to assess its potential impact on crop production. To assess the situation of insect pollinators in China, we first examined the changes in the number of honeybee colonies and the area planted with fruits and vegetables over the past half century. We then used the bio-economic approach, based upon the pollinator dependency of 44 crops used directly for human food, to assess the value of insect pollination for Chinese fruits and vegetables. The stock of honeybee colonies in China had increased by 161% between 1961 and 2009, while the area of fruits and vegetable cultivation had increased by 472%, and their production had increased by 833%. The growth in yield of insect-pollinated fruits and vegetables in China is closely related to the growth in the cultivated area ($r=0.995$, $P<0.01$), and is also related to the increase in the number of honeybee colonies ($r=0.804$, $P<0.01$). The total economic value of insect pollination of Chinese fruits and vegetables amounted to 52.2 billion US dollars in 2008, which represented 25.5% of the total production value of the 44 crops produced in China. In production value, apples, watermelons, pears, mangoes and plums are the leading crops that depend on insect pollination. Insect pollination thus represents a substantial economic factor for fruits and vegetables production in China, and Chinese fruits and vegetables have a higher economic vulnerability ratio to pollinators than the world's average level of 15.9%. With the continuing increase in the area planted with fruits and vegetables, the

基金项目: 国家自然科学基金项目(30901055); 中国农业科学院院长基金项目(09ZN009); 公益性行业(农业)科研专项(nyhyzx 07-041); 国家蜜蜂产业技术体系建设专项(CARS-45)

作者简介: 安建东, 男, 1975 年生, 副研究员, 研究方向为昆虫授粉, E-mail: anjiandong@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: anjiandong@yahoo.com.cn

收稿日期 Received: 2010-10-30; 接受日期 Accepted: 2011-02-22

need for the service provided by insect pollinators in China is likely to continue to increase.

Key words: Insect pollination; fruits; vegetables; economic value; honeybee; China

昆虫授粉在维护生态系统平衡和农业生产中发挥着重要的作用,尤其是为农作物授粉,经济效益显著。Klein 等(2007)分析了全球与人类食品密切相关的 107 种主要农作物对昆虫授粉的依赖程度,结果表明,在这 107 种农作物中,有 91 种依赖于昆虫授粉,占农作物种类总数的 85%。Gallai 等(2009a)报道全球与人类食品密切相关的 10 大类 100 种农作物中,昆虫授粉产生的经济价值高达 1 529 亿欧元,其中,水果和蔬菜两大类就占 1 015 亿欧元。中国是农业大国,2008 年农作物种植面积达 1.3 亿公顷,农作物种类达 120 种。除了谷类、薯类和糖料类等非虫媒作物外,水果类和蔬菜类在中国农业生产中占据着十分重要的地位。中国授粉昆虫资源十分丰富,膜翅目、鳞翅目、双翅目和鞘翅目等众多昆虫均可为农作物授粉,其中膜翅目的蜂类昆虫在农作物授粉中占据主导地位(李江红等, 2000; 郭柏寿等, 2001; 吴杰, 2003; 徐环李等, 2009)。有研究表明,中国多种水果和蔬菜昆虫授粉的经济效益显著(梁诗魁等, 1995; 葛凤晨和历延芳, 1997; 邵有全和宋心仿, 2000; 李继莲等, 2006; 安建东等, 2007; 黄家兴等, 2007; 何伟志和周伟儒, 2009)。但是,关于昆虫授粉对中国水果和蔬菜产生的经济价值至今没有一个比较系统的结论。

近几十年来,由于受到人类活动的干扰、栖息环境遭到破坏、农药的大面积使用以及病虫害暴发等原因,包括蜜蜂在内的多种授粉昆虫受到严重威胁。尤其是近几年来,欧美等地出现了蜜蜂无故消失的现象,许多国家蜂群数量急剧下降,为此,各国政府高度重视蜜蜂等授粉昆虫下降对农业生产的影响以及其应对措施(Aizen and Harder, 2009; vanEngelsdorp *et al.*, 2010a; vanEngelsdorp and Meixner, 2010b; Moritz *et al.*, 2010)。在此情况下,评估昆虫授粉对农作物经济价值的影响就变得尤为重要。目前计算昆虫授粉的经济价值主要有两种方法:第一种方法只简单计算虫媒作物的总价值(Costanza *et al.*, 1997; Morse and Calderone, 2000);第二种方法引入农作物对昆虫授粉的依赖性参数,应用生物经济学的方法更准确地评估昆虫授粉对农作物产生的经济价值(Losey and Vaughan, 2006; Gallai *et al.*, 2009a)。

为评估昆虫授粉对中国水果和蔬菜产生的经济价值,本文分析了 1961–2009 年近半个世纪以来中国主要授粉昆虫蜜蜂的数量动态以及中国水果和蔬菜作物种植的变化特征;并以 2008 年种植的与人类食品密切相关的 44 种水果和蔬菜为研究对象,假设其达到中等授粉程度,引入农作物对昆虫授粉的依赖性参数,对中国水果和蔬菜昆虫授粉的经济效益进行评估,旨在明确中国水果和蔬菜昆虫授粉的经济价值,为我国生态农业的可持续发展提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 数据获取

1.1.1 水果和蔬菜类别:本研究按照 Gallai 等(2009a, 2009b, 2010)列出的全球与人类食品密切相关的 131 种主要农作物名录,在联合国粮农组织统计数据库(FAOSTAT)(<http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>)中查询中国农作物种类,结果表明,中国种植有 120 种农作物,其中栽培规模较大、与人类食品密切相关的水果和蔬菜 44 种(表 1)。本文以这 44 种农作物为研究对象,分析中国水果和蔬菜种植的变化特征以及昆虫授粉的经济价值。

1.1.2 蜜蜂蜂群数量:以 FAOSTAT 为数据源,查询 1961–2009 年间中国蜜蜂蜂群总数量。

1.1.3 水果和蔬菜种植面积、产量和价格:以 FAOSTAT 为数据源,查询 1961–2009 年间中国 44 种水果和蔬菜的种植面积和产量变化;查询 1991–2008 年间 44 种水果和蔬菜的国际价格。

1.2 分析方法

1.2.1 水果和蔬菜对授粉昆虫的依赖性参数:根据 Klein 等(2007)的分类,把农作物生产对授粉昆虫的依赖作用分成 6 个级别:无作用(No increase: 无授粉昆虫作物不减产),作用较小(Little: 无授粉昆虫作物减产 0%~10%),作用中等(Modest: 无授粉昆虫作物减产 10%~40%),作用较大(Great: 无授粉昆虫作物减产 40%~90%),不可缺少(Essential: 无授粉昆虫作物减产 >90%),作用未知(Unknown: 作物对授粉昆虫的依赖关系目前未知)。前 5 个级别对授粉昆虫依赖性 *D* 值分别为 0,

0.05, 0.25, 0.65, 0.95, Unknown 级别的 D 值为未知。每一特定水果和蔬菜的 D 值参考 Gallai 等 (2009a, 2009b, 2010) 所列的值。作用级别为 No increase 的作物定义为非虫媒作物, 其余级别的作物定义为虫媒作物。

1.2.2 主要授粉昆虫蜜蜂数量变化: 根据 1961 – 2009 年间中国蜜蜂蜂群数量记录, 分析这 49 年间中国蜜蜂数量动态变化特征。

1.2.3 水果和蔬菜种植变化分析: 根据 1961 – 2009 年间中国每一种水果和蔬菜的种植面积和总产量记录, 分析这 49 年间中国水果和蔬菜的种植变化特性。

1.2.4 水果和蔬菜中虫媒作物产量与种植面积和蜂群数量之间的相关性分析: 根据 1961 – 2009 年间中国水果和蔬菜中虫媒作物的产量记录, 分析其产量变化与种植面积变化和蜜蜂蜂群数量变化之间的相关性。

1.2.5 水果和蔬菜昆虫授粉的经济价值计算: 参考 Gallai 等 (2009a, 2009b, 2010) 计算授粉昆虫对全球农作物影响的方法, 计算 1991 – 2008 年授粉昆虫对中国水果和蔬菜的经济影响。每一种水果或蔬菜记为 i , $i \in [1, 44]$, P_i 为第 i 种水果或蔬菜产品的价格, Q_i 为第 i 种水果或蔬菜产品的产量, D_i 为第 i 种水果或蔬菜对授粉昆虫的依赖性 ($0 \leq D_i \leq 1$), 昆虫授粉产生的总经济价值 (PEV) 计算公式如下:

$$PEV = \sum_{i=1}^{44} (P_i \times Q_i \times D_i)$$

根据昆虫授粉产生的总经济价值 (PEV) 与水果蔬菜产品总产值 (TEV) 的比值, 来计算 1991 – 2008 年中国水果和蔬菜产品总产值对昆虫授粉的依赖程度 (RV), 计算公式如下:

$$RV = \frac{PEV}{TEV} = \frac{\sum_{i=1}^{44} (P_i \times Q_i \times D_i)}{\sum_{i=1}^{44} (P_i \times Q_i)} \times 100\%$$

1.3 数据统计与分析

数据统计分析于 SPSS 17.0 软件中进行, 求和计算及作图分析在 Microsoft Excel 中应用相关函数和作图功能完成。

2 结果与分析

2.1 中国水果和蔬菜依赖昆虫授粉的特性

中国与人类食品密切相关的 44 种水果和蔬菜

依赖昆虫授粉特性的分析表明, 在这 44 种水果和蔬菜中, 不可缺少 (Essential) 3 种, 作用较大 (Great) 9 种, 作用中等 (Modest) 3 种, 作用较小 (Little) 10 种, 14 种为作用未知 (Unknown), 另外 5 种为无作用 (No increase) (图 1)。从作物种类上来说, 有 25 种水果和蔬菜直接依赖昆虫授粉, 占中国水果和蔬菜种类总数的 57%, 其中水果类 17 种、蔬菜类 8 种。加上未知的 14 种, 中国水果和蔬菜中, 89% 的种类得益于昆虫授粉。

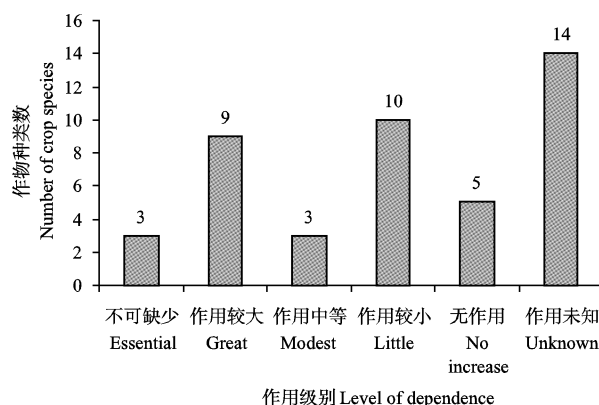


图 1 中国水果和蔬菜依赖昆虫授粉的作用级别

Fig. 1 Level of dependence on insect pollination for fruits and vegetables in China

2.2 中国水果和蔬菜种植面积及产量变化特征

1961 – 1981 年, 中国水果和蔬菜种植面积基本保持不变, 20 世纪 80 年代以后, 中国农业种植结构发生了明显的变化, 水果和蔬菜种植面积呈现稳步上升的趋势 (图 2)。1961 年, 中国水果和蔬菜种植面积为 629.1 万公顷, 其中, 虫媒作物面积为 601.5 万公顷, 非虫媒作物面积只有 27.6 万公顷。2009 年, 中国水果和蔬菜种植面积为 3 596.6 万公顷, 其中, 虫媒作物面积为 3 451.6 万公顷, 非虫媒作物面积为 144.9 万公顷。1961 – 2009 年, 中国水果和蔬菜种植总面积增加了 472%。

1961 – 2009 年, 中国水果和蔬菜的产量变化和种植面积变化趋势基本一致, 也是前 20 年基本保持不变, 后 30 年稳步上升 (图 2)。1961 年, 中国水果和蔬菜产量为 6 143.2 万吨, 其中, 虫媒作物的产量为 5 910.7 万吨, 非虫媒作物产量只有 232.5 万吨。2009 年, 中国水果和蔬菜产量为 57 309.4 万吨, 其中, 虫媒作物产量为 54 839.1 万吨, 非虫媒作物产量为 2 470.3 万吨。1961 – 2009 年, 中国水果和蔬菜总产量增加了 833%。

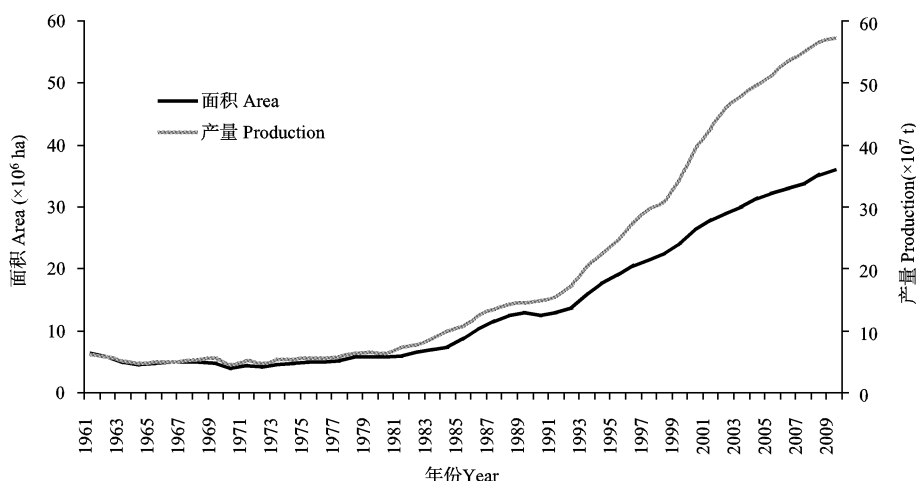


图2 1961–2009年中国水果和蔬菜种植总面积和总产量的变化趋势

Fig. 2 Change in area and production of Chinese fruits and vegetables from 1961 to 2009

2.3 中国主要授粉昆虫蜜蜂蜂群数量变化

家养蜜蜂是我国农业生产的主要授粉昆虫，我国国家养蜜蜂主要有中华蜜蜂 *Apis cerana* 和意大利蜜蜂 *Apis mellifera* 2种，其中中华蜜蜂为我国本土蜂种，意大利蜜蜂为引进种，于19世纪初引入中国，但目前中国意大利蜜蜂的数量约为中华蜜蜂的2倍。本文分析了1961–2009年这两种蜂总数量的

变化特性。结果表明，近半个世纪以来，中国蜜蜂蜂群总数量总体呈现波动上升的趋势，1961–1991年一直处于上升的趋势，之后下降，从1997年开始又持续上升。2009年中国蜂群数量为877.1万群，与1961年蜂群数量(335.6万群)相比增长了161% (图3)。

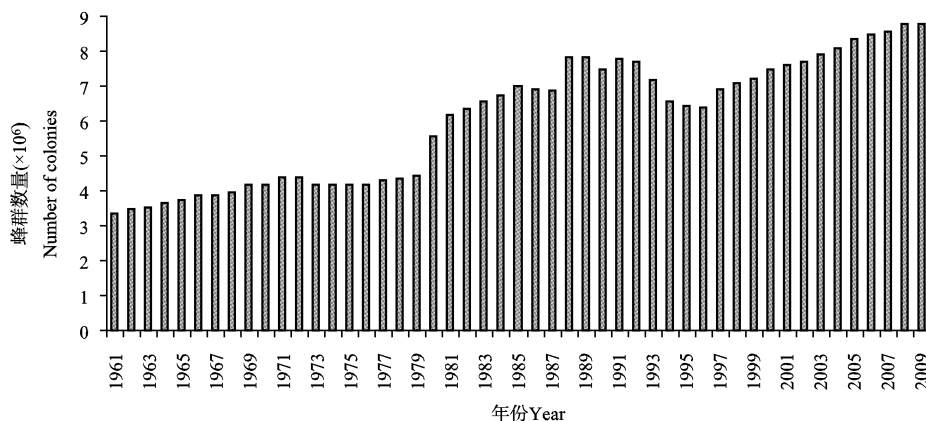


图3 1961–2009年中国蜜蜂蜂群饲养总数量变化

Fig. 3 Evolution of the total number of managed honeybee colonies in China between 1961 and 2009

2.4 中国水果和蔬菜中虫媒作物产量与种植面积和蜂群数量变化密切相关

中国44种水果和蔬菜中，虫媒作物为39种。近半个世纪以来，不论在种植面积还是产量上，中国水果和蔬菜虫媒作物所占的比重均在95%以上。1961–2009年，中国水果和蔬菜中虫媒作物种植面积增加了474%，产量增加了828%，主要授粉昆虫蜜蜂蜂群数量增加了161% (图2, 3)。相关性分析结果表明，中国水果和蔬菜中虫媒作物产量提高与种植面积增加密切相关 ($r = 0.995$, $P < 0.01$)，也

与主要授粉昆虫蜜蜂蜂群数量增加密切相关 ($r = 0.804$, $P < 0.01$)。

在我国水果和蔬菜作物中，虫媒作物不论在种植面积和产量上均占据着绝对的优势。近半个世纪以来，我国水果和蔬菜中虫媒作物的产量 y (吨) 随着年份 x 呈现指数增长的方式 ($y = 9.418 \times 10^{-44} e^{0.059x}$, $F = 613.964$, $R^2 = 0.929$, $P < 0.01$) (图4)，所以，充分利用授粉昆虫资源，其产量还有很大的增长空间。

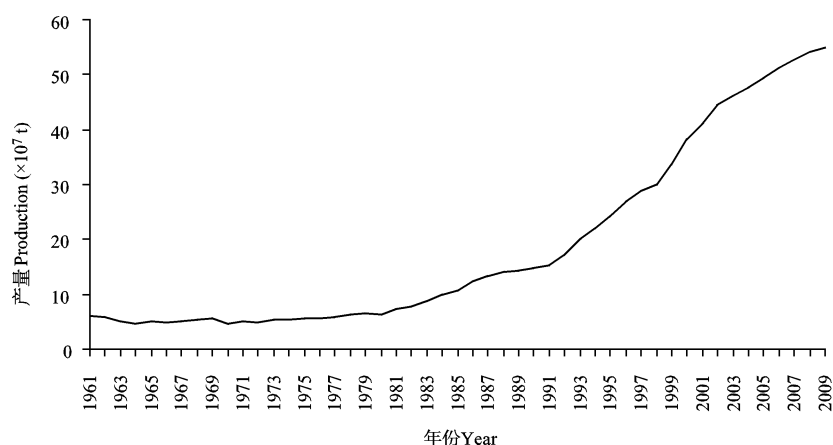


图4 1961–2009年中国水果和蔬菜中虫媒作物产量变化趋势

Fig. 4 Change in production of insect-pollinated fruits and vegetables in China from 1961 to 2009

2.5 中国水果和蔬菜昆虫授粉的经济价值

2008年,中国44种水果和蔬菜的总产值为2 047.0亿美元;其中,水果类占43.2%,蔬菜类占57.8%。昆虫授粉对中国水果和蔬菜产生的经济价值为521.7亿美元,占44种作物总产值的25.5%。在昆虫授粉的价值中,水果类占84.5%,蔬菜类占15.5%。中国水果类作物对昆虫授粉的依赖程度较高,为44.4%,蔬菜类作物的依赖程度为13.6%。昆虫授粉在44种水果和蔬菜中产生的经济价值中,苹果占据第一位,为190.0亿美元,占昆虫授粉总价值的36.6%;排在第2~5位的分别为西瓜90.5亿美元(17.3%)、梨44.4亿美元(8.5%)、芒果43.2亿美元(8.2%)和李36.7亿美元(7.0%)。另

外,桃、黄瓜、茄子和甜瓜等作物昆虫授粉的价值也较大。在水果中,除了香蕉、葡萄和菠萝等外,大部分水果依赖昆虫授粉。在蔬菜类中,大部分果菜类蔬菜依赖昆虫授粉,而很多叶菜类、杆菜类和根茎类蔬菜则不依赖昆虫授粉(表1)。

2.5 中国水果和蔬菜依赖昆虫授粉的稳定性

分析了1991年以来18年中国44种水果和蔬菜产品生产对昆虫授粉的依赖程度。结果表明,1991–1997年,中国水果和蔬菜对昆虫授粉的依赖程度在波动上升;而从1997年以后基本维持在比较稳定的水平。总体而言,中国水果和蔬菜对昆虫授粉的依赖程度从1991年的14.7%上升到2008年的25.5%(图5)。

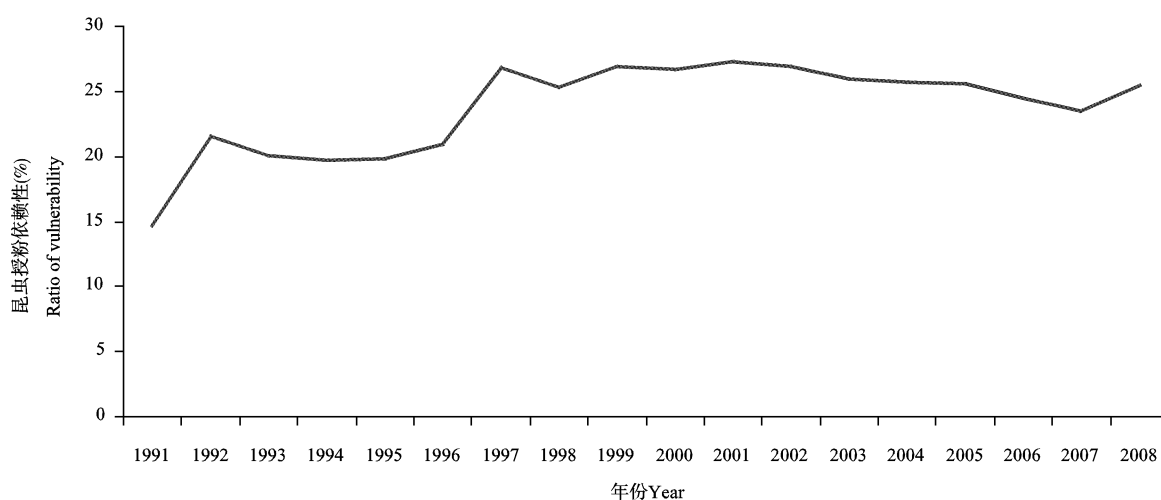


图5 1991–2008年中国水果和蔬菜依赖昆虫授粉程度的变化趋势

Fig. 5 Evolution of the ratio of vulnerability to pollinator of the Chinese fruits and vegetables between 1991 and 2008

表 1 2008 年昆虫授粉对中国水果和蔬菜产生的经济影响

Table 1 Economic impact on insect pollination of the Chinese fruits and vegetables production in 2008

类别 Category (following FAO)	名称 Common name	平均价格 (美元/吨) Average value (US \$ /t)	总产值 (百万美元) Total economic value (TEV) (million US \$)	昆虫授粉价值 (百万美元) Pollination economic value (PEV) (million US \$)	授粉依赖性 Ratio of vulnerability (RV) (%)
水果类 Fruits	苹果 Apples	984.4	29 385.5	19 100.6	
	杏 Apricots	642	50.0	32.5	
	鳄梨 Avocados	1 048	99.6	64.7	
	香蕉类 Bananas	598.7	4 815.2	—	
	樱桃 Cherries	6 307.7	157.7	102.5	
	其他柑橘类水果 Citrus fruit, nes	637.5	967.6	48.4	
	枣 Dates	1151	155.4	0	
	无花果 Figs	854.9	7.7	1.9	
	其他鲜果类 Fruit fresh nes	784.1	1 671.5	—	
	其他热带水果 Fruit, tropical fresh nes	784.1	2 059.1	—	
	柚 Grapefruit (inc. pomelos)	410.5	249.4	12.5	44.4
	葡萄 Grapes	758.4	5 487.5	0	
	柠檬类 Lemons and limes	1 703.9	1 562.8	78.1	
	芒果 Mangoes, mangosteens, guavas	1 672.3	6 650.3	4 322.7	
	橙类 Oranges	392.9	1 446.3	72.3	
	木瓜 Papayas	297.3	35.8	1.8	
	桃 Peaches and nectarines	512	4 264.6	2 772.0	
	梨 Pears	499.1	6 825.9	4 436.8	
	柿子 Persimmons	358.7	908.9	45.4	
	菠萝 Pineapples	550.8	772.3	—	
	李 Plums and sloes	1 082.2	5 652.3	3 674.0	
	草莓 Strawberries	1 295.2	16.3	4.1	
	宽皮柑橘类 Tangerines, mandarins, clem.	329	5 633.3	281.7	
蔬菜类 Vegetables	洋蓟 Artichokes	513.9	33.9	—	
	芦笋 Asparagus	656.2	4 168.6	—	
	豆角类 Beans, green	670.6	1 721.3	86.1	
	卷心菜类 Cabbages and other brassicas	299.3	11 095.9	—	
	胡萝卜 Carrots and turnips	417.3	3 877.7	—	
	花椰菜类 Cauliflowers and broccoli	82.9	685.4	—	
	辣椒 Chillies and peppers, green	544	7 765.2	388.3	
	黄瓜 Cucumbers and gherkins	118	3 333.2	2 166.6	
	茄子 Eggplants (aubergines)	408.7	7 469.5	1 867.4	
	大蒜 Garlic	533.1	6 703.8	—	
	生菜类 Lettuce and chicory	757.8	9 476.7	—	13.6
	食用菌 Mushrooms and truffles	2 523.2	4 057.9	0	
	葱类, 绿色 Onions (inc. shallots), green	158.3	132.2	—	
	葱类, 干 Onions, dry	251.5	5 235.5	—	
	甜瓜类 Other melons (inc. cantaloupes)	136.8	1 959.3	1 861.3	
	豌豆类 Peas, green	282.2	730.2	0	
	南瓜类 Pumpkins, squash and gourds	136.8	870.0	826.5	
	菠菜 Spinach	336.8	4 214.0	0	
	番茄 Tomatoes	515.2	17 471.3	873.6	
	其他蔬菜 Vegetables fresh nes	171.1	25 300.3	—	
	西瓜 Watermelons	141.7	9 522.7	9 046.6	
总和 Total			204 699.3	52 168.2	25.5

3 讨论

本文数据(蜜蜂蜂群数量、水果和蔬菜的种植面积、产量和价格)包括我国台湾省、香港特别行政区和澳门特别行政区。

由于在 FAOSTAT 数据库中,从 1961 年开始就有我国农作物种植面积和产量的记录,所以本文分析了 1961–2009 年这 49 年来我国水果和蔬菜种植面积和产量的变化特征。而产品价格是从 1991 年开始才有记录,最新数据至 2008 年,所以本文以 1991–2008 年间的价格变化为基础,分析了这 18 年来中国水果和蔬菜依赖昆虫授粉程度的变化趋势。

3.1 中国水果和蔬菜昆虫授粉的经济价值

显花植物与传粉媒介之间经过漫长的自然选择和协同进化,形成了依赖昆虫授粉的虫媒植物和不依赖昆虫授粉的非虫媒植物。传粉昆虫以虫媒植物的花粉和花蜜为食,同时在取食过程中起到了为植物传粉授精的作用,使植物后代得以延续。这种相互依存和互惠互利的关系经过漫长的协同进化,形成了一些植物对昆虫授粉的依赖程度很高(即虫媒植物的花部结构和传粉者的形态特征之间相互高度适应),而另一些植物则对昆虫授粉的依赖程度较低或不依赖昆虫授粉(胡适宜, 2005)。就农作物类别而言,坚果类、水果类、油料类和蔬菜类作物对昆虫授粉的依赖程度较高,豆类和香料类作物对昆虫授粉的依赖程度较低,而谷类、薯类和糖料类作物则不依赖昆虫授粉(Gallai *et al.*, 2009a)。

尽管农作物对昆虫授粉的依赖性是由农作物本身所决定的,但由于在不同的生态区其授粉昆虫的丰富度并不完全一致,所以每一种农作物的实际授粉程度在不同生态区之间也存在差异。本研究忽略不同地区之间授粉昆虫丰富度的差异,假设每一种农作物达到一致的中等授粉程度,来计算昆虫授粉的经济价值。所以,2008 年中国水果和蔬菜昆虫授粉的经济价值 522.4 亿美元与实际价值可能有一定的差异。另外,这一数据体现的是我国所有授粉昆虫在 44 种水果和蔬菜中的价值,具体到某一类别授粉昆虫的贡献,还有待进一步的研究。

3.2 中国水果和蔬菜昆虫授粉的潜力巨大

2008 年中国水果和蔬菜昆虫授粉的价值为 522.4 亿美元,占水果和蔬菜总产值的 25.5%,超过全球平均水平 15.9%。2008 年,中国水果和蔬

菜依赖昆虫授粉的程度分别为 44.4% 和 13.6%,其显著高于全球平均水平 23.2% 和 12.2%,也显著高于欧洲平均水平 29.6% 和 7.3% (Gallai *et al.*, 2009a, 2010)。这可能与中国水果和蔬菜的种植结构有关,如苹果、西瓜、桃和李等依赖昆虫授粉较高的作物在我国栽培比例较高。

但与昆虫授粉程度发达的国家或地区相比,中国昆虫授粉还有较大的发展空间。例如,2008 年,韩国水果和蔬菜的年产值为 120 亿美元,其中 58 亿美元来源于蜜蜂授粉,占水果和蔬菜年产值的 48.3% (Jung, 2008)。2008 年中国水果和蔬菜的年产值为 2 047.0 亿美元,其中 521.7 亿美元来源于昆虫授粉,占水果和蔬菜总产值的 25.5%。所以,相比于韩国,中国水果和蔬菜昆虫授粉的发展潜力仍然巨大。

致谢 美国宾夕法尼亚州立大学昆虫系 Dennis vanEngelsdorp 博士馈赠资料,法国农科院昆虫授粉生态研究室 Nicola Gallai 博士给予公式计算指导,法国农科院昆虫授粉生态研究室 Bernard E. Vaissière 博士和福建农林大学蜂学院李江红博士审阅论文并提出修改建议,英国自然历史博物馆 Paul H. Williams 博士修改英文摘要,在此一并表示感谢。

参 考 文 献 (References)

- Aizen MA, Harder LD, 2009. The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current Biology*, 19: 915–918.
- An JD, Wu J, Peng WJ, Tong YM, Guo ZB, Li JL, 2007. Foraging behavior and pollination ecology of *Bombus lucorum* L. and *Apis mellifera* L. in greenhouse peach garden. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(5): 1071–1076. [安建东, 吴杰, 彭文君, 童越敏, 国占宝, 李继莲, 2007. 明亮熊蜂和意大利蜜蜂在温室桃园的访花行为和传粉生态学比较. 应用生态学报, 18(5): 1071–1076]
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sunton P, van den Belt M, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253–260.
- Hu SY, 2005. Reproductive Biology of Angiosperms. Higher Education Press, Beijing. 134–175. [胡适宜, 2005. 被子植物生殖生物学. 北京: 高等教育出版社. 134–175]
- Gallai N, Salles JM, Carré G, Morison N, Vaissière BE, 2010. Monetary valuation of the pollination service provided to European agriculture by insects. In: Settele J, Penev L, Georgiev T, Grabaum R, Grobelynik V, Hammen V, Klotz S, Kotarac M, Kühn

- I eds. Atlas of Biodiversity Risk. Pensoft, Sofia & Moscow. 190–193.
- Gallai N, Salles JM, Settele J, Vaissière BE, 2009a. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68: 810–821.
- Gallai N, Vaissière BE, 2009b. Guidelines for the economic valuation of pollination services at a national scale. Pollination Services for Sustainable Agriculture (ISSN 1020-4555). FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 11 pp.
- Ge FC, Li YF, 1997. Value of honeybee pollination on crops. *Journal of Bee*, (9): 26–28. [葛凤晨, 历延芳, 1997. 利用蜜蜂为农作物授粉前景广阔. 蜜蜂杂志, (9): 26–28]
- Guo BS, Yang JM, Xu YB, 2001. Problems and research advance of the pollination insects. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 14: 102–108. [郭柏寿, 杨继民, 许育彬, 2001. 传粉昆虫的研究现状及存在的问题. 西南农业学报, 14: 102–108]
- He WZ, Zhou WR, 2009. Effect of *Osmia excavata*, *Apis mellifera* pollination and artificial pollination on apple. *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的效果研究. 中国蜂业, 60(11): 9–11]
- Huang JX, An JD, Wu J, Guo ZB, 2007. Advantage of bumblebee as pollinator for *Solanum* in greenhouse. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 23: 5–9. [黄家兴, 安建东, 吴杰, 国占宝, 2007. 熊蜂为温室茄属作物授粉的优越性. 中国农学通报, 23: 5–9]
- Jung CE, 2008. Economic value of honey bee pollination on major fruit and vegetable crops in Korea. *Korean Journal of Apiculture*, 23(2): 147–152.
- Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, 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: 303–313.
- Li JH, Miao XQ, You MS, 2000. Study of pollinating insect of litchi. *Journal of Bee*, (5): 3–5. [李江红, 缪晓青, 尤民生, 2000. 荔枝授粉昆虫的研究. 蜜蜂杂志, (5): 3–5]
- Li JL, Peng WJ, Wu J, An JD, Guo ZB, Tong YM, Huang JX, 2006. Strawberry pollination by *Bombus lucorum* and *Apis mellifera* in greenhouses. *Acta Entomologica Sinica*, 49: 342–348. [李继莲, 彭文君, 吴杰, 安建东, 国占宝, 童越敏, 黄家兴, 2006. 明亮熊蜂和意大利蜜蜂为温室草莓的授粉行为比较观察. 昆虫学报, 49: 342–348]
- Liang SK, Wang JC, Wu J, Li NG, Peng WJ, Chen Q, 1995. The research on the effect of honey bees pollination for vegetables of fruit kind in greenhouses. *Apiculture of China*, (3): 5–7. [梁诗魁, 王加聪, 吴杰, 李乃光, 彭文君, 陈琪, 1995. 温室果菜类蔬菜蜜蜂授粉效果研究. 中国养蜂, (3): 5–7]
- Losey JE, Vaughan M, 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *BioScience*, 56: 311–323.
- Moritz RFA, de Miranda J, Fries I, Le Conte Y, Neumann P, Paxton RJ, 2010. Research strategies to improve honeybee health in Europe. *Apidologie*, 41(3): 227–242.
- Morse RA, Calderone NW, 2000. The value of honey bees as pollinators of US crops in 2000. *Bee Culture*, 128: 1–15.
- Shao YQ, Song XF, 2000. Honeybee pollination on squash in greenhouse. *Apiculture of China*, 51(4): 7–8. [邵有全, 宋心仿, 2000. 日光节能温室西葫芦蜜蜂授粉研究. 中国养蜂, 51(4): 7–8]
- vanEngelsdorp D, Hayes JJr, Underwood RM, Pettis JS, 2010a. A survey of honey bee colony losses in the United States, fall 2008 to spring 2009. *Journal of Apicultural Research*, 49(1): 7–14.
- vanEngelsdorp D, Meixner MD, 2010b. A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of Invertebrate Pathology*, 103: S80–S95.
- Wu J, 2003. Features of several important bees and their application in pollination. *Apiculture of China*, 54(5): 24–25. [吴杰, 2003. 几种重要授粉蜜蜂的特性及授粉应用. 中国养蜂, 54(5): 24–25]
- Xu HL, Yang JW, Sun JR, 2009. Current status on the study of wild bee-pollinators and conservation strategies in China. *Acta Phytocologica Sinica*, 36(4): 371–376. [徐环李, 杨俊伟, 孙洁茹, 2009. 我国野生传粉蜂的研究现状与保护策略. 植物保护学报, 36(4): 371–376]

(责任编辑: 袁德成)