

DOI: 10.5846/stxb201308242147

欧阳芳, 吕飞, 门兴元, 赵紫华, 曾菊平, 肖云丽, 戈峰. 中国农业昆虫生态调节服务价值估算. 生态学报, 2015, 35(12): 4000-4006.

Ouyang F, Lü F, Men X Y, Zhao Z H, Zeng J P, Xiao Y L, Ge F. The economic value of ecological regulating services provided by agricultural insects in China. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(12): 4000-4006.

中国农业昆虫生态调节服务价值估算

欧阳芳¹, 吕飞¹, 门兴元², 赵紫华¹, 曾菊平³, 肖云丽⁴, 戈峰^{1,*}

1 中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101

2 山东农业科学院, 植物保护研究所, 济南 250100

3 江西农业大学, 林学院, 南昌 330045

4 山东省植保总站, 济南 250100

摘要:昆虫是生物多样性最丰富的物种类群,其在维持生态系统功能,维系并保持着自然界的生态平衡,满足人类需求中的具有重要作用。讨论了昆虫生态服务价值的定量估算方法,基于 2007 年统计数据,计算了我国农牧业生产中昆虫传粉功能、天敌昆虫控害功能和分解作用的服务价值。结果表明,昆虫在我国农业生产中传粉服务价值为 6790.30×10^8 元,占其当年农作物生产总经济价值的 54.05%;天敌昆虫的控害服务价值为 2621.00×10^8 元,占其当年重要作物总经济价值的 9.09%;分解昆虫(甲虫)对牧场牛羊排泄物的分解作用的价值远超过 90.84×10^8 元。由此估计出了我国 2007 年农业昆虫生态调节服务总价值超过 9502.14×10^8 元,相当于当年国内生产总值 GDP 的 3.7%。显示昆虫所产生的生态调节服务价值,与我国森林或草地生态系统的直接和间接服务价值处于同一数量级,同样具有巨大的经济价值。为保护与利用昆虫生物多样性,发挥其生态服务功能奠定了基础。

关键词:昆虫生态调节服务; 价值评估; 传粉作用; 生物控害功能; 分解作用

The economic value of ecological regulating services provided by agricultural insects in China

OUYANG Fang¹, LÜ Fei¹, MEN Xingyuan², ZHAO Zihua¹, ZENG Juping³, XIAO Yunli⁴, GE Feng^{1,*}

1 State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China

3 College of Forestry, Jiangxi Agriculture University, Nanchang 330045, China

4 The Plant Protection Station of Shandong province, Jinan 250100, China

Abstract: Society has recognized the value of ecosystem services. Insects are one of the most diverse groups, playing a significant role in maintaining ecosystem function and ecological balance, and fulfilling human demands. Insect ecological services are the functional roles in ecosystem processes, benefiting humans with goods and services such as pollination, pest control and decomposition. Insect ecological services include provisioning, regulation, cultural and support services. The economic value of insect ecological services can be divided into direct-, indirect-, option- and existence values. The ecological regulating services of insects involve pollination, biological control and dung burial. Insects perform pollination services to crops, vegetables and fruits which are an important ecological service. Pollination is usually the transfer of pollen from the male sex organ to the receptive portion of the female sex organ in flowering plants. Insect pollinators are adapted to many flowering plant species and are provided with primary rewards that attract (i.e., “attract and reward”) and establish pollen vectors returning to flowers. Rewards include nectar, pollen, lipid secretions, food bodies, scents, resins, and

基金项目:国家自然科学基金委项目(31200321); 环保部专项(STSN-04-04)

收稿日期:2013-08-24; 网络出版日期:2014-07-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gef@ioz.ac.cn

material for nest building. Biological control is a particular type of pest control, resulting in predatory/parasitoid insects suppressing pest densities to relatively low levels. This type of ecologically based pest management infers that the “natural enemies” control the pest species. The types of natural enemies used for biological control vary depending on the type of pest. The decomposition of organic matter and the recycling of carbon are provided by beetles that bury dung. Dung beetles process a substantial amount of the animal dung that has accumulated in ecosystem. Dung beetles are medium to large-sized beetles specializing in feeding and breeding on an ephemeral and discrete food resource, consisting mainly of the dung piles produced by herbivorous warm-blooded animals. The dung beetles provide regulating services that reduce forage fouling, nitrogen volatilization, parasites and pest flies. Humans could not persist without these insect provided services. Estimating the value of ecological services provided by insects may help establish a higher priority for their conservation. This paper discusses the concept and categorization of insect ecosystem services, including an economic evaluation of those services. In 2007, insect pollination, pest control and dung burial values were estimated using agricultural production data from China. The results indicated that the insect regulating service value for pollination was 6790.30×10^8 yuan RMB, accounting for up to 54.05% of the total value of pollinator serviced crops. The value of pest control from natural enemies was 2621.00×10^8 yuan RMB, which was up to 9.09% of the total value of the crops serviced. The value of dung burial was 90.84×10^8 yuan RMB. The total insect regulating service was valued at 9502.14×10^8 yuan RMB, accounting for up to 3.7% of China's GDP (2007). These results show the annual value of insect regulating service in an agroecosystem are similar to the economic values of grassland or forest ecosystem services in China. The accurate valuation of insect ecological services is critical to establishing and preserving the ongoing development of insect-based resources and biodiversity in China.

Key Words: insect regulating services; valuation; pollination; biological control; decomposition

生态系统服务是指人类从生态系统中获得的各种直接与间接收益^[1],也是自然生态系统及其组成物种得以维持和满足人类生命的环境条件和过程^[2]。自从 2001 年联合国组织启动千年生态系统评估计划以来,国内外对生态系统及其服务功能的研究得到更为快速的发展与广泛的拓展^[3-4]。以 2012 年 7 月在美国俄勒冈(Oregon)州的波特兰(Portland)召开的第五届生态系统服务伙伴年会(5th Annual Ecosystem Services Partnership Conference)为标志,预示着生态系统服务时代的来临。

昆虫是生物多样性最丰富的物种类群,其在维持生态系统功能,维系并保持着自然界的生态平衡,满足人类需求中的具有重要作用^[5]。昆虫生态服务作为生态系统服务的重要组成部分,是指昆虫类群在生态系统过程中发挥的功能作用,以及为人类提供的各种收益,包括有形收益的产品和无形收益的服务^[6]。它主要包括昆虫的供给服务、调节服务、文化服务和支持服务 4 种服务类型,体现在直接使用价值、间接使用价值、条件价值和存在价值 4 个方面^[7-10]。显然,开展昆虫生态服务的价值评估,是保护与利用昆虫生物多样性的基础^[11],有利于增强人类对昆虫生态系统服务及其与人类福祉关系的认识。然而目前对昆虫生态服务价值的定量评估研究较少。

昆虫生态调节服务,是指昆虫类群的觅食、取食和筑巢等行为参与调节生态系统的物质循环(如对动植物残体或排泄物的分解作用),能量流动(如天敌昆虫捕食或寄生害虫的生物控制作用)和信息传递(如蜜蜂采蜜行为传递遗传信息,传播携带生殖细胞的花粉和种子)等过程中,给人类的生活和生产带来利益。它主要包括天敌控害服务、传粉服务、传播种子服务和分解服务。本文根据昆虫生态服务概念和类型^[6],以昆虫的生态调节服务为例,进一步探讨了昆虫生态服务价值的评估方法,并基于农业生产的统计数据,利用昆虫生态调节服务价值的评估方法重点分析我国 2007 年农牧业生产中昆虫传粉功能、天敌昆虫控害功能和分解作用的服务价值。

1 昆虫生态调节服务价值的评估方法

1.1 昆虫传粉服务价值

昆虫在有花植物(被子植物)上取食或者采集花蜜过程中,同时将植物雄蕊花药或小孢子囊中散出后的成熟花粉,传送到同一朵或者不同朵花的雌蕊柱头或胚珠上,雄配子借花粉管与雌配子体结合,使植物受精并结实。昆虫取食采蜜行为同时也是传播植物花粉或传递植物遗传信息的过程。昆虫传粉包括野生昆虫授粉与驯养昆虫授粉。Morse 和 Calderone 采用了昆虫传粉依赖性方法估算了蜜蜂授粉在美国 1989 年和 2000 年对农业的价值^[11]。其昆虫传粉服务功能价值评估方法如下:

$$V_{dp} = \sum_i (V_i \cdot D_i \cdot P_i)$$

$$V_{np} = \sum_i [V_i \cdot D_i \cdot (1 - P_i)]$$

式中, V_{dp} 为驯养昆虫对各类虫媒传粉作物年产值的贡献总和, V_{np} 为野生昆虫对各类虫媒传粉作物年产值的贡献总和, V_i 为第 i 种作物的年产值, D_i 为第 i 种作物对昆虫授粉的依赖程度, P_i 为驯养蜜蜂在第 i 种作物的有效昆虫传粉者中的比例估计值, $(1 - P_i)$ 为野生蜜蜂在第 i 种作物的所有有效昆虫传粉者中的比例。

1.2 生物控害服务价值

生物控害服务价值体现在天敌昆虫降低有害生物对农作物产量的损失。对生物控害服务价值 V_{bc} 的估算,首先估算出在没有生物控制条件下害虫对作物造成的损失量 NC_i 和在目前生物控制条件下害虫造成的损失量 CC_i ,然后将两者的差值乘以作物产品的价格水平 PC_i ,最后再乘以害虫被天敌昆虫控制的比例 P_i 。计算公式如下:

$$V_{bc} = \sum_i (NC_i - CC_i) \cdot PC_i \cdot P_i$$

式中, V_{bc} 为天敌昆虫生物控制害虫的服务价值, NC_i 为在没有生物控制条件下害虫对第 i 种作物造成的产量损失, CC_i 为在目前生物控制条件下害虫对第 i 种作物造成的产量损失, PC_i 为第 i 种作物的价格水平, P_i 为害虫被天敌昆虫生物控制的比例。

1.3 昆虫分解作用价值

甲虫的分解作用减少了动物排泄物对草料或饲料污染、氮素挥发以及寄生病和寄生虫的危害。参照 Losey 和 Vaughan 所估算分解甲虫屎壳郎对美国 2003 年牛产品畜牧业的价值贡献的挽回损失法^[12],将甲虫对排泄物的分解作用中减少氮素挥发、寄生病和寄生虫危害的价值参考公式参考如下:

$$C_p = (C_t \cdot P_r) \cdot P_{nt}$$

$$V_{df} = [V_c \cdot C_p \cdot (L_{nb} - L_b)]$$

式中, C_p 为产生的排泄物能够被分解甲虫处理的牛数量, C_t 为每年牛的总数量, P_r 为牧场或草地放养的数量比例, P_{nt} 为未经杀虫剂处理的牛数量比例, V_{df} 为减少饲料污染的价值, V_c 为单位重量牛的价值, L_{nb} 为每头动物未经分解甲虫活动的损失, L_b 为每头动物在现有分解甲虫活动水平的损失。

2 结果与分析

2.1 昆虫传粉服务价值

根据上述 Morse 和 Calderone 方法,计算了 2007 年野生昆虫与驯养昆虫的传粉功能给我国农业生产带来的服务价值见表 1,结果表明:在 2007 年野生昆虫对我国 10 种水果,11 种蔬菜和 4 种大田作物传粉服务功能的经济价值分别是为 377.47、734.59 和 171.26 亿元,总和为 1283.32 亿元。驯养昆虫对我国 10 种水果,11 种蔬菜和 4 种大田作物传粉服务功能的经济价值分别是为 2745.67、2289.14 和 472.18 亿元,总和为 5506.98 亿元。根据统计年鉴,2007 年三类农作物总经济价值为 12562.70 亿元。因此,昆虫的传粉功能的总经济价值为 6790.30 亿元,占当年农作物总经济价值 54.05%。应该指出的是,本内容仅估算了昆虫对 25 种农作物传粉功

能的经济价值。由于我国植物资源非常丰富,农作物及经济作物种类繁多,产量和产值大。因此,传粉昆虫对我国农作物的传粉经济价值远远大于这个估计值。

表 1 2007 年农业昆虫对我国农作物的传粉价值估算

Table 1 The value of crop production resulting from pollination by insects in china at 2007

作物 Crop	年产值/亿元 ^a Average value V	昆虫传粉 依赖程度 ^b Dependence on insect pollination D	人工饲养传粉 昆虫的比例 ^c Proportion of pollinators that are domesticated exotic bees P	野生传粉昆 虫的比例 ^d Proportion of pollinators that are native bees $1-P$	人工饲养传粉 昆虫的年贡献 产值/亿元 Annual value attributable to domesticated exotic bees $V \times D \times P$	野生传粉昆虫的 年贡献产值/亿元 Annual value attributable to native bees $V \times D \times (1-P)$
水果 Fruit and Nuts					2745.67	377.47
甜瓜 Muskmelons	330.76	0.7	0.9	0.1	208.38	23.15
西瓜 Watermelons	1294.48	0.7	0.9	0.1	815.52	90.61
草莓 Strawberries	99.37	0.2	0.1	0.9	1.99	17.89
柿子 Persimmons	64.17	0.7	0.9	0.1	40.43	4.49
红枣 Red Jujubes	305.12	0.7	0.8	0.2	170.87	42.72
葡萄 Grapes	348.72	0.1	0.1	0.9	3.49	31.38
梨 Pears	298.2	0.7	0.9	0.1	187.87	20.87
柑橘 Oranges	538.24	0.5	0.9	0.1	242.21	26.91
苹果 Apples	1076.17	1	0.9	0.1	968.55	107.62
荔枝 litchis	131.32	0.9	0.9	0.1	106.37	11.82
蔬菜 Vegetable					2289.14	734.59
大白菜 Cabbage	977.14	0.1	0.2	0.8	19.54	78.17
圆白菜 Cabbage patch	304.08	0.1	0.2	0.8	6.08	24.33
菠菜 Spinach	403.14	0.1	0.2	0.8	8.06	32.25
芹菜 Celery	340.2	1	0.8	0.2	272.16	68.04
黄瓜 Cucumber	855.6	0.9	0.9	0.1	693.04	77.00
萝卜 Radish	376.68	1	0.9	0.1	339.01	37.67
胡萝卜 Carrot	184.67	1	0.9	0.1	166.20	18.47
茄子 Aubergine	561.62	0.9	0.9	0.1	454.91	50.55
大葱 Scallion	299.83	0.1	0.2	0.8	6.00	23.99
四季豆 Kidney bean	933.93	0.5	0.5	0.5	233.48	233.48
豇豆 Cowpea	362.59	0.5	0.5	0.5	90.65	90.65
大田作物 Field crops					472.18	171.26
油菜籽 Rapeseed	386.97	1	0.9	0.1	348.27	38.70
花生 Peanut	1094.27	0.1	0.2	0.8	21.89	87.54
棉花 Cotton	474.98	0.2	0.8	0.2	76.00	19.00
大豆 Soybean	520.45	0.1	0.5	0.5	26.02	26.02
合计 Total	12562.70				5506.98	1283.32

a 年产值数据来源于《2008 年中国农业统计年鉴》;b、c、d 相关参数数值参考 John E. Losey and Mace Vaughan^[11]

2.2 生物控害服务价值

根据生物控害服务价值评估方法,计算了 2007 年天敌昆虫的控害功能给我国农业生产带来的服务价值

(表 2), 结果表明: 天敌昆虫对我国水稻、小麦、玉米、大豆、棉花、油菜、花生、水果和蔬菜重要作物的控害服务价值分别为 285.83、158.99、217.39、47.32、43.18、35.18、99.49、758.48 和 975.14 亿元, 其控害服务功能的总经济价值为 2621.00 亿元, 占以上重要作物当年总经济价值(28829.10 亿元)的 9.09%。

表 2 2007 年我国天敌昆虫控制害虫价值估算

Table 2 The value of control agricultural pests by native beneficial insect in china at 2007

作物 Crop	总产量/万 t Total production	价格/(元/kg) Price PC	总价值/亿元 Total value	无天敌控害的 损失估计/亿元 Estimated losses under non-control NC	有天敌控害的 损失估计/亿元 Estimated losses under control CC	自然控害 价值/亿元 Value of natural control	天敌昆虫控害 价值/亿元 Value of natural enemy control V
水稻 Rice	18603.4	1.69	3143.97	1333.05	466.88	866.17	285.83
小麦 Wheat	10929.8	1.6	1748.77	741.48	259.69	481.79	158.99
玉米 Corn	15230	1.57	2391.11	1013.83	355.08	658.75	217.39
大豆 Soybeans	1272.5	4.09	520.45	220.67	77.29	143.38	47.32
棉花 Cotton	762.4	6.23	474.98	201.39	70.53	130.86	43.18
油菜 Rapeseeds	1057.3	3.66	386.97	164.08	57.47	106.61	35.18
花生 Peanut	1302.7	8.4	1094.27	463.97	162.5	301.47	99.49
水果 Fruit and Nuts	18136.3	4.6	8342.7	3537.3	1238.89	2298.41	758.48
蔬菜 Vegetable	56452	1.9	10725.88	4547.77	1592.79	2954.98	975.14
合计 Total			28829.10				2621.00

作物产量参考《新中国农业 60 年统计资料》; 价格水平参考《中国农产品价格调查年鉴 2008》; 相关参数数值参考 John E. Losey and Mace Vaughan^[12]

2.3 昆虫分解作用价值

以 2007 年为例, 得出了表 3 中分解昆虫(甲虫)的分解作用给我国农业生产带来的服务价值。结果表明: 甲虫对我国牧场上牛排泄物的分解作用而减少饲料污染和氮素挥发的服务价值分别为 9.81 亿元和 14.14 亿元; 羊排泄物的分解作用而减少饲料污染和氮素挥发的服务价值分别为 28.76 亿元和 38.13 亿元。由此, 2007 年分解昆虫对牛羊排泄物分解作用而减少饲料污染和氮素挥发的总服务价值为 90.84 亿元。由于我国畜牧业资源丰富, 产量和产值同样大, 显然分解昆虫对我国畜牧业经济价值远超过这个估计值。

3 讨论

3.1 经济价值

昆虫作为生物圈中重要组成部分, 其生态调节服务在维持农业生态系统功能和稳定农业生产中发挥重要的作用。本研究根据 2007 年数据的初步评价结果表明, 昆虫在我国农业生产中传粉服务价值为 6790.30×10^8 元, 占其农作物总经济价值 54.05%; 天敌昆虫的控害服务价值为 2621.00×10^8 元, 占其重要作物总经济价值的 9.09%; 分解昆虫对牧场牛羊排泄物的分解作用的价值远超过 90.84×10^8 元。综上所述, 昆虫在我国 2007 年的农业生产中初步估算的经济价值超过 9502.14×10^8 元, 相当于当年我国国内生产总值 GDP (257306×10^8 元) 的 3.7%, 具有巨大的经济价值。

据报道, 构成我国草地生态系统间接价值(侵蚀控制、截留降水、土壤 C 累积、废弃物降解、营养物质循环和生境提供)的 6 类服务功能的总价值为 8803.01×10^8 元/a^[13]; 中国草地提供给社会的直接价值约为 1952.98×10^8 元/a^[13]; 森林生态系统 10 类生态系统服务功能中直接价值和间接价值分别为 2519.45×10^8 元和 11540.60×10^8 元^[14]。由此可见, 昆虫的生态调节服务价值与这几类主要生态系统的生态服务价值处于同一数量级。

表 3 2007 年甲虫对牛、羊排泄物分解作用价值估算

Table 3 Total of economic losses averted annually as a result of accelerated burial of livestock feces by dung beetle

参数 Parameter	单位 Unit	牛 Cattle		羊 Sheep		
		饲料污染 Forage fouling	氮素挥发 Nitrogen volatilization	饲料污染 Forage fouling	氮素挥发 Nitrogen volatilization	
C_p	产生的排泄物能够被分解甲虫处理的牛数量 Number of cattle producing dung that can be processed by dung beetles	头	0.34	0.34	0.93	0.93
C_t	每年牛的总数量 Total head of cattle produced annually in China	亿头	1.06	1.06	2.86	2.86
P_r	牧场或草地放养的数量比例 Proportion of cattle that are raised on range or pasture		0.74	0.74	0.74	0.74
P_{nt}	未经杀虫剂处理的牛数量比例 Proportion of cattle not treated with pesticide		0.44	0.44	0.44	0.44
V_{rf}	减少饲料污染的价值 Value of reduced forage fouling	亿元	9.81	14.14	28.76	38.13
V_c	单位重量牛的价值 Value of cattle (per kilogram)	元/kg	19.61	10.00	21.33	10.00
L_{nb}	每头动物未经分解甲虫活动的损失 Losses (per animal) with no dung beetle activity	kg	7.63	21.6	7.63	21.6
L_b	每头动物在现有分解甲虫活动水平的损失 Losses (per animal) at current levels of dung beetle activity	kg	6.18	17.5	6.18	17.5

牛羊产量数据来源于中国统计年鉴 2008; 价格水平参考《中国农产品价格调查年鉴 2008》; 相关参数数值参考 John E. Losey and Mace Vaughan^[12]

3.2 昆虫生态调节净服务价值

在农业生产中有些昆虫物种直接取食或间接危害农作物,减少作物产量和降低农产品质量,一般被作为有害生物进行防治^[15]。目前人们越来越重视昆虫在农业生态系统和其他生态系统中所具备的生态服务功能及其经济价值。从而在同一研究区域内,有些昆虫对作物生产造成危害和经济损失,有些昆虫可以为农牧业生产减少害虫的危害而提高产量和改善品质,以及增加传粉作用而提高产量,提高作物的经济价值。这种在同一研究区域内昆虫的生态调节服务功能价值与有害昆虫的危害损失经济价值的差值,称为昆虫生态调节净服务价值。根据 2007 年年鉴,我国当年由于害虫引起的经济损失为 2140.56×10^8 元,而我国 2007 年农业昆虫生态调节服务总价值超过 9502.14×10^8 元,因此 2007 年我国农业昆虫生态调节净服务价值为 7361.58×10^8 元。

本文仅仅初步估算了昆虫在农业生态系统中的传粉作用、控害作用与分解作用 3 种生态调节服务的价值。本文所采取的昆虫生态调节服务价值评估方法比较简便和粗略,收集的数据也较为局限。因此人类从生态系统过程的调节作用中获取的与昆虫有关的各种收益价值远远大于本文的估算结果。同样昆虫的这 3 种生态调节服务功能在森林生态系统和草地生态系统等其他各类生态系统中也具备巨大的经济价值。

昆虫的生态调节服务价值固然巨大,但是昆虫在农业生产中所提供的调节服务价值会随着昆虫物种数量和种群密度的动态和昆虫类群空间分布的变动而发生变化。昆虫物种数和种群密度的动态和昆虫类群空间分布的变动受到自然环境和人类干扰的影响。自然因素特别是气候变化如全球平均温度增加,极端气候的频繁出现,降水的分布不均等都会影响昆虫的物种数和密度,以及其空间分布,从而影响到昆虫的生态服务价值大小^[16]。人类干扰如农业措施中施用杀虫剂大量减少多种昆虫的数量;目前中国进行大范围的城镇化,造成土地覆盖类型或植被类型的改变,农田生态系统景观格局的变化也都将影响昆虫的数量动态和空间分布。最终自然因素和人类干扰都将影响昆虫的生态服务价值。

3.3 价值评估的不确定分析

昆虫生态调节服务价值评估的不确定分析是指利用不确定分析方法估算昆虫生态服务价值的范围,或者是服务价值的置信区间。昆虫生态调节服务价值评估的不确定性来源于多种因素。昆虫传粉服务价值不确定性因素有各类作物的产量,各类作物的价格水平,各类作物对昆虫传粉的依赖程度等参数指标。这些参数指标的变化或者不确定性导致昆虫传粉服务价值评估的不确定性。天敌昆虫控害服务功能的价值评估不确定性因素有各类作物的产量和价格,以及天敌昆虫控制害虫的比例。昆虫分解服务的价值评估不确定性因素有产生排泄物能够被昆虫分解的牛羊马等动物的数量和价格,牧场或草地放养的数量比例,未经杀虫剂处理家畜动物的比例等。

明确不确定性需要给出估算值或者指标变量估计值的置信区间,也就是一个不确定数值位于某个数值范围内的概率。本文仅给出昆虫生态服务价值的估计值,由于数据来源的限制目前未给出估计值的置信区间。

3.4 研究展望

通过本文的评价分析,认识到昆虫对我国农业生产的巨大服务价值。而昆虫的生态服务价值会受到自然因素和人为干扰的影响。在全球气候变化和景观格局变化(土地覆盖类型格局变化)的条件下,有益昆虫及其生态服务功能日益受到各种因素的威胁^[6]。为了维持昆虫的生态服务价值和减少对昆虫服务功能受到的威胁,以下内容需要进一步研究:1)昆虫生态服务价值评估方法的完善和评估数据的整理与收集,细化各类昆虫生态服务价值评估方法,构建完善的价值评估体系。昆虫生态服务价值评估离不了大量的数据支撑,需要收集历史数据资料,同时监测和预测生态系统中未来的昆虫物种数量和种群密度等指标的变化。2)生态系统中昆虫的生态服务价值与昆虫物种种类和种群数量的关系分析。如在农业生产系统中农作物生产中昆虫的生态服务价值与昆虫物种种类和种群数量的关系可能并非简单线性相关,需要系统地相关分析。3)生态系统中昆虫的生态服务价值-昆虫种类数量和种群数量-自然和人类影响因子的三者相关分析。基于三者之间的相关关系,提出维持昆虫生态服务功能的措施与对策。

参考文献(References):

- [1] Alcamo J. Ecosystems and human well-being: A framework for assessment. Washington, DC: Island Press, 2005: 1-266.
- [2] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington D C: Island Press. 1997: 1-392.
- [3] 郑华, 李屹峰, 欧阳志云, 罗跃初. 生态系统服务功能管理研究进展. 生态学报, 2013, 33(3): 702-710.
- [4] 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望. 自然资源学报, 2009, 24(1): 1-10.
- [5] Resh V H, Cardé R T. Encyclopedia of Insects. 2nd ed. San Diego: Elsevier Science, 2009.
- [6] 欧阳芳, 赵紫华, 戈峰. 昆虫的生态服务功能. 应用昆虫学报, 2013, 50(2): 305-310.
- [7] Costanza R, D'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [8] Norberg J. Linking Nature's services to ecosystems: some general ecological concepts. Ecological Economics, 1999, 29(2): 183-202.
- [9] 赵士洞, 张永民. 生态系统评估的概念、内涵及挑战——介绍《生态系统与人类福利: 评估框架》. 地球科学进展, 2004, 19(4): 650-657.
- [10] Dasgupta P, Levin S, Lubchenco J. Economic pathways to ecological sustainability. Bioscience, 2000, 50(4): 339-345.
- [11] Morse R A, Calderone N W. The value of honey bees as pollinators of U. S. crops in 2000. Bee Culture, 2000, (128): 1-15.
- [12] Losey J E, Vaughan M. The economic value of ecological services provided by insects. Bioscience, 2006, 56(4): 311-323.
- [13] 赵同谦, 欧阳志云, 贾良清, 郑华. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价. 生态学报, 2004, 24(6): 1101-1110.
- [14] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.
- [15] Flint M L, van den Bosch R. Introduction to Integrated Pest Management. New York: Plenum Press, 1981.
- [16] 戈峰. 应对全球气候变化的昆虫学研究, 应用昆虫学报. 2011, 48(5): 1117-1122.