应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2013,50(2):305 - 310. DOI:10.7679/j.issn.2095 - 1353.2013.041

科技前沿

昆虫的生态服务功能*

欧阳芳 赵紫华 戈 峰**

(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)

摘 要 昆虫作为生物多样性最丰富的物种,在传粉、生物控制、物质分解与资源供给等方面发挥着重要作用。昆虫生态服务功能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。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。基于昆虫类群在传粉、生物控制、物质分解与资源供给等维持生态系统功能、满足人类需求做出重大的贡献,本文阐述了昆虫生态服务功能概念、类型,讨论了昆虫生态服务功能价值的评估方法,提出了未来发展的方向。

关键词 生态服务功能,人类福祉,昆虫生态服务功能,价值评估

Insect ecological services

OUYANG Fang ZHAO Zi-Hua GE Feng**

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

Abstract Insects, as the most species-rich taxon in the world provide essential ecological services, such as pollination, pest control, and decomposition. These ecological services are vital to the functioning of ecosystem processes and provide many benefits for humans. The services insects provide for humans are many and varied and the economic value of these services is incalculable. This paper discusses the concept and categories of insect ecological services from the perspective of their contribution to sustaining ecosystems and human societies, and their economic value. Suggestions for future research are provided.

Key words ecological services, human well-being, insect ecological services, evaluation

1 前言

自然生态系统作为地球生命支持系统,是人类赖以生存的基础(谢高地等,2006)。生态系统服务(ecosystem services)是指人类从生态系统中获得的各种直接与间接收益(Joseph,2005;张永民,2006)。Daily(1997)认为生态系统服务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。它们可以维持生物多样性和各种生态系统产品(例如,海产食品、草料、木材、生物燃料、天然纤维,以及许多医药品和工业产品及其生产原料)的生产。为此,千年生态系统评估(MA)中将生态系统服务功能划分为:供给服务、调节服务、文化服务及支持服务4大类(Joseph,2005)。目前,生态系统及其服务与人类福祉的研究作为现阶段生态学研究的核心内容和引领21世纪生态学发展的新方向(赵士洞和张永民,2006)。

昆虫作为生态系统中重要的组成部分,无论个体数量、生物量、物种数或基因数,都在生物多样性中占有非常重要的地位(彩万志等,2001),它在生态系统的营养循环、能量流动和信息传递中

* 资助项目:国家自然科学基金委项目(31200321)和环保部专项(CTSN-04-04)。

**通讯作者,E-mail:gef@ioz.ac.cn

收稿日期:2012-12-07,接受日期:2012-12-28

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

发挥着非常重要的作用。千年生态系统评估(MA)报告指出,昆虫具有病虫害生物控制、传粉作用等独特的生态服务功能。基于昆虫类群在传粉、生物控制、物质分解与资源供给等方面发挥着重要作用,维系并保持着自然界的生态平衡,满足人类需求中的重要作用与地位,近年来国际上非常重视昆虫生态服务功能的研究。本文重点论述了昆虫生态服务功能的概念与价值类型,价值评估方法及其未来的发展趋势。

2 昆虫生态服务功能的概念和类型

昆虫作为生物多样性最为丰富的物种,在传粉、生物控制、物质分解以及提供各类产品等方面发挥着重要作用。昆虫生态服务功能是指昆虫类群在生态系统过程中发挥的作用,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。根据昆虫在生态系统中的作用及其为人类提供的福祉,可将昆虫生态服务功能分为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务 4 种服务功能(表 1)。

2.1 昆虫的产品供给服务功能

主要指人类从生态系统中获取的与昆虫相关的各种产品。

(1)食用和饲用昆虫 昆虫体富含优质的蛋白质、脂肪、必需的维生素以及矿物质,其体内还含有多种对人体有良好保健作用的活性物质。同时昆虫类群生物量大,食物转化率高,生理特性表现为易于饲养,是值得开发的优良食品资源。据 Resh 和 Cardé (2009)估计,世界范围内大约有 70 个科 260 个属 500 个昆虫物种被人类作为主要食物食用。在我国,仅云南省就发现可食用的昆虫分布于 14 个目,400 多个科,2 000 多个种类。美国昆虫学家 Erwin(1983)的研究表明,全世界昆虫种类在 1 000 万以上;中国昆虫学家初步估计,中国昆虫种类约 150 万种(杨大荣,1999)。如此繁盛的种类资源值得人类去挖掘与开发,将为人类提供更多的食物来源。

表 1 昆虫生态服务功能与价值类型

Table 1 Classifications of insect services and their values

生态服务功能 Ecological services			
组织性分类 Organizational groupings	功能性分类 Functional groupings		价值类型 Value classification
昆虫生态服务功能 Insect services	供给服务 Provisioning services	食用和饲用	直接利用价值
		医药昆虫	
		工业原料昆虫	
	调节服务 Regulating services	生物控害功能	间接利用价值
		传粉服务功能	
		传播种子服务	
		分解服务功能	
	文化服务 Cultural services	观赏、文艺与工艺服务	直接利用价值
		科研用材料	
		法医鉴定	
	支持服务 Supporting services	营养物质循环	间接利用价值

(2)药用昆虫 传统上,蚂蚁、蜜蜂、冬虫夏草、蜂类、土鳖虫、蝉衣、蝼蛄、红娘子、蚕蛹、蜈蚣、蟋蟀、斑蝥、地鳖虫、蟑螂、蜣螂、胡蜂等可直接作为药用昆虫(朴美花和方志刚,2003)。此外,斑蝥属昆虫的激素斑蝥素(cancharidin)可用于原发性肝癌、胃癌的治疗。蜂蜜中的王浆酸能强烈抑制移植性白血病、淋巴癌、乳腺癌等癌细胞的生长。蚂蚁中含有的蚁醛、蚁酸具有抗炎镇痛作用。昆虫中存在的几丁质,具有促进伤口愈合、抗血栓等活性(王梦月和贾敏如,2001)。

(3)工业原料昆虫 多种昆虫附属产物或者分泌物是纺织、医学、化工、机电、石油、航天、食品、军工等多种工业的重要原料。如家蚕、柞蚕、蓖麻蚕、天蚕产出的蚕丝用做作丝绸工业、医用材料。白蜡虫雄虫的分泌物(白蜡),可作布匹、纸

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

张、器皿的磨光之用。五倍子蚜虫在盐肤木上产生的虫瘿(五倍子),是制革和染料的重要原料。紫胶虫的产物(紫胶),可作油漆,唱片等用品。蜂蜜、蜂胶、蜂毒、蜂花粉和蜂王浆用于医药工业等。

2.2　昆虫的生态调节服务功能

昆虫的生态调节服务功能是指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。

(1) 生物控害功能　昆虫中大约 28% 的种类捕食其它昆虫,2.4% 寄生其它昆虫,它们在调控害虫种群上起着十分重要的作用。据 Pimentel (1991) 报道,在农田生态系统害虫的控制作用中,天敌的控害作用在 50% 以上。由于天敌昆虫的控害作用,北美洲已知的 8.5 万种昆虫中,需要防治的害虫只有 1 425 种,占 1.7%。我国稻田植食性昆虫及其天敌种数有 1 927 种,其中需要防治的重要害虫只有 10 多种,约占稻田节肢动物群落种类数的 1%。显然,自然界的昆虫种类虽然很多,但真正对人类有害的种类只是极少数,这主要归功于捕食性或寄生性天敌昆虫的自然控制作用(尤民生,1997)。

(2) 传粉功能　昆虫是最重要的传粉媒介。据报道,在显花植物中,85% 属于虫媒植物,自花授粉和借风传粉的仅占 5% 和 10%; 在热带雨林中,38% 的开花植物由蜜蜂传粉,41% 是其他昆虫传粉,仅有 2% ~3% 才是风媒传粉。在不增加人工和投资的情况下,仅利用传粉昆虫就可使作物增产 10% ~30%。因此,如果没有传粉昆虫,也就没有虫媒植物,其结果不但影响生态系统的稳定性,而且危及人类的生存(尤民生,1997)。

(3) 传播种子功能　在长期的演化过程中,昆虫与植物还形成了的互惠共生关系,昆虫在取食植物的同时,也为植物传播其种子(张智英等,2001)。据报道,依赖蚁类进行传播的植物,大约涉及到 80 科的 90 属,约 2 800 种(鲁长虎,2002)。这类植物的种子常附生有富含蛋白质、脂肪和油类等蚁类嗜食成分的种阜,它能作为诱饵吸引蚁类并借以完成自身的散播(钦俊德,1987)。

(4) 分解作用　昆虫作为生态系统分解者,对系统中物质循环产生了重要的影响。据估计,17.3% 昆虫种类取食分解腐烂的生物有机体。其中,以鞘翅目昆虫为主。如腐食性的皮金龟科 Trogidae、驼金龟科 Hybosoridae 和红金龟科 Ochodaeidae,粪食性的粪金龟科 Eotrupidae、蜉金龟科 Aphodiinae (Scarabaeidae) 和蜣螂亚科 Scarabaeinae(Scarabaeidae) 成为地球上最大的"清洁工"(白明和杨星科 2008)。这类昆虫以生物的尸体为食,有的将尸体掩埋入土,同时加速了微生物对生物残骸的分解,促进了生态系统物质循环与能量流动。

2.3　昆虫的文化服务功能

指通过精神满足、认知发展、思考、消遣和美学体验等获得与昆虫相关的非物质收益。

(1) 观赏、文艺与工艺服务　据报道,我国可以利用的工艺、观赏昆虫达 40 多种。蟋斯、蟋蟀等鸣虫多达 30 余种(朴美花和方志刚,2003)。从古至今有无数歌词诗赋借昆虫来抒发感情,传递信息。争斗昆虫、发音昆虫、漂亮昆虫和趣味昆虫等为人类提供观赏价值,美化和丰富人类文化生活。

(2) 模式科研材料　由于昆虫个体小、生命周期短且易于培养与突变体的筛选等特点,很多研究都以昆虫作为模式材料。其中,以果蝇为模式对象开创了遗传学研究的新纪元,至少 4 名以上科学家为此而获得诺贝尔奖。

(3) 法医鉴定　主要以蝇类为对象,通过对动物尸体内外及其附近采集到的昆虫标本检验、鉴定、分类,明确昆虫种类或确定某一昆虫生长发育状态,根据该昆虫在尸体上的生态群落演替,帮助法医推断死亡时间、死亡方式、死亡现场(兰玲梅等,2006)。

2.4　昆虫的支持服务功能

指昆虫类群为生产或支撑生态系统功能而发挥的作用。如作为生态系统能量流动传递的使者,大量的植食性昆虫作为初级消费者,同时也作为第二级营养级,为下一级或更高营养层级的动物提供营养食源。同时,昆虫也直接地或间接地影响着生态系统中的营养物质循环,是生态系统不可缺少的组份。

3　昆虫生态服务价值体现

昆虫类群为人类提供产品与服务,满足人类的需求,从而对人类社会产生价值。主要体现在:

(1) 直接利用价值　是指昆虫产品所产生的

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

价值。如食用和饲用、医药昆虫、工业原料昆虫等产品,满足人们精神需要观赏和文艺昆虫服务,以及提高人们认知的科研用材料和法医鉴定等服务。这类收益主要对应于昆虫生态服务的供给服务和文化服务,可用产品的市场价格来估计。

(2) 间接使用价值　主要是指无法商品化的昆虫生态服务功能。如生物控害作用,传粉与传播种子,分解服务功能以及提供野生动物营养食源。这类收益主要对应于昆虫生态服务的调节服务和支持服务。

(3) 选择价值　是指人们为了将来能直接利用与间接利用某种昆虫生态服务功能的支付意愿。如为了能够提高蚕丝的产量和改善蚕丝的品质,人们愿意投入大量的人力、物力和财力研究家蚕基因组,从分子水平上深刻阐明家蚕的生物学特性、吐丝机理和产量性能等(向仲怀和杨焕明,2003)。这类收益包括未来可能会被使用的供给服务、调节服务和文化服务。

(4) 存在价值　是为确保昆虫生态服务功能能继续存在的支付意愿。如生态系统中的昆虫物种多样性等。存在价值是介于经济价值与生态价值之间的一种过渡性价值,它可为经济学家和生态学家提供共同的价值观(欧阳志云等,1999)。在估算方面,这种价值的估算最为困难,同时也最具争议。

4　昆虫生态服务功能价值估算

目前,有关昆虫生态服务功能价值估算方法还不完善,以下只介绍其中的几种。

(1) 昆虫供给服务价值

昆虫生态服务为人类提供食用、饲用、药用和工业原料等产品,其服务价值可采用昆虫类产品的产量与对应产品的价格水平乘积来估算。如1998—2008 年我国蜂蜜的产量每年为 20 ~ 40 万吨,出口量每年为 8 ~ 10 万吨(刘志城,2011)。按照蜂蜜平均价格 60 元/kg(高芸,2012),每年我国蜂蜜估算的产量价值为 120 ~ 240 亿元,出口价值为 48 ~ 60 亿元。

(2) 昆虫传粉服务价值

昆虫传粉包括野生昆虫授粉(native pollinators)与驯养昆虫授粉(domesticated pollinators),是昆虫的一种重要生态服务功能(Allsopp *et al.*,2008)。Morse 和 Calderone(2000)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 年对农业的价值分别为 93 亿和 146 亿美元。在 2001—2003 年期间野生蜜蜂与驯养蜜蜂对美国农产品的价值贡献分别是 30.7 亿和 170.1 亿美元(Robinson *et al.*,1989; Kevan and Phillips,2001; Kremen *et al.*,2002; Kremen,2005; Greenleaf and Kremen,2006; Losey and Vaughan,2006)。

(3) 生物控制服务价值

生物控制服务价值表现在天敌昆虫的控害作用,体现在降低有害生物对农作物产量的损失和减少防治有害生物的化学药剂使用量的价值上。因此,生物控害服务价值的估算,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和在目前生物控制条件下害虫造成的损失量,然后将两者的差值乘以作物产品的价格水平,最后再乘以害虫被天敌昆虫控制的比例而得出。基于前人研究的基础(Flint and van den Bosch, 1981; Calkins, 1983; Yudelman *et al.*, 1998; Hawkins *et al.*,1999),Losey 和 Vaughan(2006)利用这种方法估算出每年天敌昆虫为美国农业带来的生物控制服务价值为 44.9 亿美元。

(4) 昆虫分解作用价值

昆虫作为生态系统分解者,是地球上最勤劳的"环保卫士",其功能主要体现在对禽畜动物排泄物的分解与清理作用。Losey 和 Vaughan(2006)利用挽回损失法估算出分解甲虫屎壳郎(dung beetles)对美国 2003 年牛产品畜牧业的价值贡献,表明分解甲虫减少了这些排泄物对草料或饲料污染(forage fouling)、氮素挥发(nitrogen volatilization)以及寄生病(parasitism)和寄生虫(pest flies)的危害,其服务价值分别为 1.2 亿、0.6 亿、0.7 亿和 1.3 亿美元。

(5) 营养物质服务价值

昆虫是许多动物,如鸟类,鱼类以及小型哺乳动物的重要食物来源。昆虫通过食物网聚集和传递营养物质。通过估算,在美国每年昆虫作为食物营养提供给狩猎业、运动或休闲钓鱼业和观光野生动物活动所带来的价值分别是 20.4 亿、281.3 亿和 197.6 亿美元(Kobal *et al.*,1998; Ehrlich *et al.*,2001)。

据初步估算,2007 年中国昆虫生态服务功能价值中,供给服务:如蜂蜜和蚕茧产值范围分别为

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

106.05 ~ 212.10 亿元和 284.03 ~ 757.43 亿元; 调节服务: 天敌昆虫生物控制害虫的服务价值达 30.02 亿元,传粉昆虫的服务价值达 1 293.26 亿元,分解昆虫的服务价值达 90.84 亿元(未发表) 。

由此可见,昆虫的生态服务功能价值极大。

5　未来展望

人类的生存总是依赖于生物圈及其生态系统所提供的各项服务。昆虫作为生物圈中重要组成部分,其传粉、生物控制、物质分解等在维持生态系统功能、保持着自然界的生态平衡中发挥重要的作用。昆虫的供给服务可为人类提供日益增加的食物需求,其文化服务可以满足人们认知和愉悦等精神需要。未来发展的趋势体现在以下 4 个方面:

(1) 昆虫生态服务功能挖掘　随着人类对自然界认识的不断深入与拓展,更多的昆虫生态服务类型将被人们发现并加以利用,如昆虫具备奇特的结构和行为等特征而成为了仿生学重要的研究对象。很多富有创造性的设计均来自于昆虫类群,如利用一种巴西甲虫 *L. augustus* 的鳞片含有一种晶体,内部结构与蜂巢类似原理,为光学计算机所需的光子晶体提供了一种模型。又如, Mirasol 的低电压显示屏,其设计思想就来自于蝴蝶翅膀。此外,萤火虫提取荧光酶素用于检测医疗器械污染; 从白蚁中提取纤维素水解酶, 用于轻工及食品中。显然,未来昆虫生态服务功能将不断挖掘与利用。

(2) 昆虫生态服务功能价值的评估　开展昆虫生态服务功能的价值评估,是保护与利用昆虫生物多样性的基础。上述研究表明,昆虫生态服务功能价值极大。但目前有关昆虫生态服务功能价值估算方法还不完善,需要发展评估方法开展对不同昆虫生态服务功能的价值具体评估。如为了给出定量化的昆虫保护与利用的建议措施,首先需要明确昆虫提供服务的边际价值(marginal value) 即单位服务或收益的价值。例如,甲虫分解服务的边际价值是确定的甲虫数量内以每天 5 g 的速率分解排泄物的价值。如果可以计算出每种服务的边际价值,以及确定有益昆虫密度与服务水平的关系,这样就可以直接计算出能够维持有益昆虫的最佳密度。为了做出成本-效益分析(cost-benefit analysis) (Dasgupta *et al.* ,2000) ,需要比较维持这个密度与提供支持这些物种最佳环境的成本。同时理解这些边际价值,也有利于管理者将一项昆虫生态服务的退化纳入到目前政策精确的经济估算(Kremen,2005) 。

(3) 昆虫生态服务功能的维持　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。环境变化、生境丧失、外来物种入侵以及化学药剂的过量使用,从而导致某些昆虫的传粉、生物控制、物质分解与资源供给等生态服务功能发生退化(Joseph,2005) 。当人类对生态服务的需求日益增长,怎样在满足这些需求的同时,扭转生态服务功能的退化状况,维持生态服务功能持续发挥作用,这是我们面临的一个重大挑战。

(4) 昆虫生态服务功能的持续利用　现代研究表明,生态服务功能是人类生存与现代文明的基石,充分发挥生态服务功能是可持续发展的基础(欧阳志云等,1999) 。千年生态系统评估(MA) 报告表明与昆虫有关的生态服务功能包括生物控制功能和传粉功能等发生退化。因此,需要进一步研究如何恢复、维持或者增强昆虫的传粉、生物控制、物质分解与资源供给等生态服务功能,以维护人类持续稳定地从生态系统中持续获得昆虫类群提供的收益。重视和加强昆虫生态服务功能的研究具有时代紧迫性和现实必要性。

参考文献(References)

Allsopp MH, de Lange WJ, Veldtman R, 2008. Valuing insect pollination services with cost of replacement. *PLoS ONE*, 3(9) : Doi 10. 1371 /Journal. Pone. 0003128.

Calkins CO, 1983. Research on exotic pests//Wilson CL, Graham CL (eds.) . Exotic Plant Pests and North American Agriculture. New York, Academic Press. 321 - 359.

Daily GC, 1997. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington DC, Island Press. 1 - 392.

Dasgupta P, Levin S, Lubchenco J, 2000. Economic pathways to ecological sustainability. *Bioscience*, 50(4) : 339 - 345.

Ehrlich PR, Dobkin D, Wheye D, 2001. The Birder's Handbook: A Field Guide to the Natural History of North American Birds, Including All Species that Regularly Breed North of Mexico. 1 - 785.

Erwin TL, 1983. Beetles and other insects of tropical forest

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

canopies at Manaus, Brazil, sampled by insecticidal fogging // Sutton SL, Whitmore TC, Chadwick AC (eds.). Tropical Rain Forest: Ecology and Management. Blackwell Scientific, Oxford, UK. 59 – 75.

Flint ML, van den Bosch R, 1981. Introduction to Integrated Pest Management. New York, Plenum Press. 1 – 240.

Greenleaf SS, Kremen C, 2006. Wild bee species increase tomato production and respond differently to surrounding land use in Northern California. *Biol. Conserv.*, 133(1): 81 – 87.

Hawkins BA, Mills NJ, Jervis MA, Price PW, 1999. Is the biological control of insects a natural phenomenon? *Oikos*, 86(3): 493 – 506.

Joseph A, 2005. Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment. Washington DC, Island Press. 1 – 245.

Kevan PG, Phillips TP, 2001. The economic impacts of pollinator declines: An approach to assessing the consequences. *Conservat. Ecol.*, 5(1): art. no. 8.

Kobal SN, Payne NF, Ludwig DR, 1998. Nestling food habits of seven grassland bird species and insect abundance in grassland habitats in northern Illinois. *Trans. Ill. State Acad. Sci.*, 91: 69 – 75.

Kremen C, 2005. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecol. Lett.*, 8(5): 468 – 479.

Kremen C, Williams NM, Thorp RW, 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *PNAS*, 99(26): 16812 – 16816.

Losey JE, Vaughan M, 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience*, 56(4): 311 – 323.

Morse RA, Calderone NW, 2000. The value of honey bees as pollinators of U. S. crops in 2000. *Bee Culture*, 1(128): 1 – 15.

Pimentel D, 1991. Diversification of biological-control strategies in agriculture. *Crop Prot.*, 10(4): 243 – 253.

Resh VH, Cardé RT, 2009. Encyclopedia of Insects, Elsevier Science. Academic Press is an imprint of Elsevier. Oxford, UK. 1 – 1132.

Robinson WS, Nowogrodzki R, Morse RA, 1989. The value of honey bees as pollinators of united-states crops. *Am. Bee J.*, 129(6): 411 – 423.

Yudelman M, Ratta A, Nygaard D, 1998. Pest Management and Food Production: Looking to the Future. Washington (DC). 1 – 53.

白明，杨星科，2008. **粪食性金龟的行为及其适应演化. 昆虫知识，**45(3): 499 – 505.

彩万志，庞雄飞，花保祯，梁广文，宋敦伦，2001. **普通昆虫学. 北京: 中国农业大学出版社.** 1 – 490.

高芸，2012. **北京蜂蜜产品价格调查报告. 中国蜂业，**63(10): 46 – 47.

兰玲梅，廖志钢，陈瑶清，姚跃，李剑波，李茂阳，蔡继峰，2006. **我国法医昆虫学的研究进展. 法医学杂志，**22(6): 448 – 450.

刘志城，2011. **我国蜂蜜产量与出口量关系的协整分析. 蜜蜂杂志，**1(1): 14 – 16.

鲁长虎，2002. **蚁对植物种子的传播作用. 生态学杂志，**21(2): 64 – 66.

欧阳志云，王如松，赵景柱，1999. **生态系统服务功能及其生态经济价值评价. 应用生态学报，**10(5): 635 – 640.

朴美花，方志刚，2003. **我国昆虫资源开发利用概况. 中国计量学院学报，**14(4): 60 – 63.

钦俊德著，1987. **昆虫与植物的关系 – 论昆虫与植物的相互作用及其演化. 北京: 科学出版社.** 1 – 226.

王梦月，贾敏如，2001. **我国药用昆虫的药理及临床研究进展. 时珍国医国药，**12(10): 937 – 938.

向仲怀，杨焕明，2003. **家蚕基因组研究对蚕业学科和产业发展的影响. 世界科技研究与发展，**25(6): 1 – 5.

谢高地，肖玉，鲁春霞，2006. **生态系统服务研究: 进展、局限和基本范式. 植物生态学报，**30(2): 191 – 199.

杨大荣，1999. **云南食用昆虫资源与民族食虫文化. 昆虫知识，**36(2): 122 – 125.

尤民生，1997. **论我国昆虫多样性的保护与利用. 生物多样性，**5(2): 56 – 62.

张永民译，2006. **生态系统与人类福祉: 评估框架. 北京: 中国环境科学出版社.** 1 – 262.

张智英，曹敏，杨效东，赵志模，2001. **舞草种子的蚂蚁传播. 生态学报，**21(11): 1847 – 1853.

赵士洞，张永民，2006. **生态系统与人类福祉——千年生态系统评估的成就、贡献和展望. 地球科学进展，**9(9): 895 – 902.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net