

11
社会-经济-自然复合生态系统
可持续发展研究系列丛书之五

生态系统服务功能研究

李文华 欧阳志云 赵景柱 主编



A1022023

气象出版社

内容简介

生态系统服务功能是当前国际上新发展的生态学与生态经济学交叉的新领域,也是当前国际上生态学研究的前沿领域。本书不仅探讨了国际上有关生态系统服务功能评价的方法、发展现状及趋势,还全面介绍了我国典型森林、草地、湿地、水域和防护林带等生态系统服务功能的评价方法与最新研究成果。

本书可供从事生态系统服务功能、生态系统管理、生态建设规划研究及相关大专院校师生和从事生态环境评价、自然资源保护的管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

生态系统服务功能研究/李文华 欧阳志云 赵景柱
主编.-北京:气象出版社,2002.5
(社会-经济-自然复合生态系统可持续发展研究系
列丛书)
ISBN 7-5029-3349-2

I. 生… II. ①李…②欧…③赵 III. 生态系
统-影响-自然环境-研究-文集 IV. X171.1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 020551 号

生态系统服务功能研究

李文华 欧阳志云 赵景柱 主编

责任编辑:王桂梅 终审:周诗健

封面设计:沈辉 责任技编:陈红 责任校对:陈亮

* * *

气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

北京兴怀印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

* * *

开本:850×1168 1/32 印张:8.5 字数:221 千字

2002 年 5 月第一版 2002 年 5 月第一次印刷

印数:1—1000 定价:26.80 元

ISBN 7-5029-3349-2/X·0068

社会-经济-自然复合生态系统
可持续发展研究丛书
编辑委员会

主任：李文华

委员（以姓氏笔画为序）：

于景元	马 中	王如松	牛文元
乌家培	叶文虎	冯宗炜	李京文
陈昌笃	陈吉元	尚 勇	吴 刚
郝吉明	赵景柱	胡鞍钢	傅伯杰
潘家华	欧阳志云		

主办单位：中国科学院生态环境研究中心系统生态开放研究室

序

生态系统是生物圈中最基本的组织单元,也是其中最为活跃的部分。生态系统不仅为人类提供各种商品,同时在维系生命的支持系统和环境的动态平衡方面起着不可取代的重要作用。但是,长期以来人们对生态系统价值的认识片面地集中在可提供作为商品的部分,而对其改善环境和非商品的功能估计不足。随着科学的进步和环境问题的日益突出,全面了解并恰当估价生态系统功能的问题提到了议事日程,并成为当代生态学研究的热点之一。

早在人类社会初期,人们就已朦胧地认识到自然界在这方面的作用,在中国和古希腊的朴素生态学思想中,就反映了生态系统服务功能对人类社会发展的支持作用。但从科学的高度对生态系统服务功能的探讨始见于19世纪后期。许多学者从人与自然的相互关系的宏观角度探讨了以生物为主体的自然界对人类生存的关系,特别是生态学的形成与发展对于认识生物及其组成的各种生命系统的功能起到了重要的推动作用。在20世纪初期的森林学、农学以及土壤学和地理学的著作中,就有着许多植被对环境影响的精辟论述。但是,由于科学水平和技术手段的限制,当时的认识只能停留在定性的描述阶段。在生态学发展的过程中,一件令人瞩目的大事是20世纪30~40年代Tansley提出的生态系统(Ecosystem)概念。这一理论的应用和发展不仅把生态学推向系统研究的新高度,同时也为认识 and 解决当代的环境问题进行了理论准备。而Linderman对于营养动力学的贡献为生态学的研究提供了量化的途径与手段,使生态学脱离了其起源的多种学科而建立起自己的理论和方法体系。20世纪50年代,Odum进一步发展了生态系统的概念,并极大地丰富了生态学的内容。后来进一步

发展成一门新的学科分支,即系统生态学,为人类活动与生态系统的相互作用和地球生命支持系统等观点奠定了科学基础,生态系统的功能观和整体观得到很大的发展,Odum 以能量分析为基础的定量方法为生态系统功能的研究提供了有利武器。

生态系统的服务功能虽然早已为人们所认知,但对其进行的科学研究长期以来却进展缓慢,其原因之一是由于早在人类在地球上出现之前的亿万年之前,生态系统就已存在,且其规模如此巨大,数量和类型如此繁多,以致人们误认为它是取之不尽,用之不竭。“人类不要等待大自然的恩赐,而是要向它索取”成为在相当长的时期内人与自然关系的指导思想。20 世纪 50 年代以后,由于人口的增长和消费的增加,加之技术进步带来的负面效应,生态系统遭到空前的冲击与破坏,其生态服务功能正在迅速衰退。人类对生态系统的某些破坏已经达到甚至超越了警戒线的范围。有些已经达到不可逆转的地步。生态系统的破坏反过来又影响到人类的生活和社会的发展。此外,生态系统服务功能中许多过去认为是非市场性的部分,愈来愈多地具有了市场价格;长期以来,资源无价和生态系统功能无价贯穿在整个国家的资源核算体制中,严重地阻碍了人们对生态系统服务功能的全面和深入的了解。事实的教训,使人们不得不重新审视生态系统服务功能的价值,并探索其保护和重建的途径。

另一方面,科学的实践证实了人类认识的局限性,打破了人定胜天的幼稚想法。人们曾经不只一次地试图创造一个人为的生物圈。然而,迄今为止,这些努力均以失败而告终。例如:美国“生物圈 II 号”就是一次雄心勃勃然而又是以失败而告终的尝试。在这次试验中,有 8 个人在 3.16 英亩^① 封闭的人工生态系统中生活了 2 年的时间。此系统模拟设置了农地、森林和微型水域。尽管设计

^① 1 英亩 $\approx 4.047 \times 10^3 \text{m}^2$,下同。

者耗资 2 亿美金进行精心设计、施工和让这一模拟的“生物圈”进行运转,结果还是不能满足这 8 个人预期为 2 年的物质和生理等多方面的需要,发生了一系列不愉快和出乎意料的事件,包括空气中氧的浓度降低了 14%(相当海拔 17 500 英尺^①处的氧气含量);二氧化碳含量剧增;氧化氮的含量达到危害人脑的程度;生物多样性急剧衰退(其中包括 25 种脊椎动物中的 19 种,以及所有传粉的昆虫,这些物种绝灭最终将导致大部分植物的死亡);攀援植物和某些昆虫种群的爆炸性增长。又如:人们正在尝试向月球扩展。假定月球已经具备人类生存所需要的一些基本条件,如空气、气候以及与地球相似的土壤物理结构,那么,人类面临的一个大问题就是地球上几百万物种中哪些应该送到月球上,才能使这个不毛的月球适合人类生存和居住。在解决这一问题时,有人可能会选择那些直接用于食物、饮料、医药和工业产品。在这种情况下,即使在选择时很严格,这个名单中也要列上几百个甚至上千个物种。然而这还远远不够,因为我们还必须考虑这些物种要靠那些物种支持才能生存。例如:细菌、真菌、无脊椎动物等,靠他们保持土壤的肥力、分解废物和有机物质;昆虫、鸟类传播花粉,各种乔灌草类保持土壤,调节水分循环并为动物提供食物。这样的一个试验告诉我们,迄今还没有人知道究竟需要哪些物种的组合才能维持生命存在。以土壤肥力的维持为例,就可以看到问题的复杂性和难度。都知道土壤的有机体通过化学和物理作用将营养转化为高等植物能吸收的状态是至关重要的。但是,土壤中的有机体多的惊人。正是在这种背景条件下,生态系统服务功能的研究受到空前的重视,并成为当代生态学研究的前沿和热点之一。

生态系统服务功能全面的科学表达及其系统的定量研究,出现在 20 世纪 70 年代以后。近年来,世界上许多学者在个别生态系

^① 1 英尺=0.3048m,下同。

统深入研究的基础上,对全球生态系统的服务功能进行了初步估算。特别需要指出的是 Costanza 等和 Goulder 等的工作。他们把大量的、分散的在这一领域的研究加以总结,把生态系统的服务功能归纳为 17 种类型,分别按 10 种不同生物群区用货币形式进行了测算,并根据生物群区的总面积推算出所有生物群区的服务价值。根据他们的初步测算,生态系统除了市场价值外,每年提供的服务功能价值至少要在 33 万亿美元。其中,调节大气化学组成的功能相当 1.3 万亿美元,在缓解环境的波动方面相当 1.8 万亿美元,消化废物和污染防治方面 2.3 万亿美元,养分循环方面 17 万亿美元。在上述这些贡献中,海洋占 63%,达 20.9 万亿美元,主要是在海岸带(10.6 万亿美元);陆地生态系统占 38%,主要的贡献来自森林生态系统(4 万亿美元)和湿地(4.9 万亿美元)。其可能的变动范围为 16 万亿~54 万亿美元。作者认为这一数据肯定是低估了生态服务功能的价值。而 33 万亿美元相当全世界 GNP 的 1.8 倍。也就是说,如果我们想替代这些服务功能的话,至少要投入 33 万亿美元。这些钱部分用来支付 GNP 中的费用,部分用来支付还没有列入 GNP 中的花销,这实际上是不可能完成的,不仅是因为费用的昂贵,而且由于有些功能是无法代替的。这一研究成果发表在 1997 年 5 月的《自然》杂志上以后,尽管这种研究仅仅是初步的,有待进一步深入和不断完善,但在科学界和决策层中引起了很大的反响。因为它以定量形式揭示了生态系统的服务功能的巨大价值。如果人类要对生态系统的经济贡献进行补偿的话,那么,直接或间接利用生态系统服务功能的商品价格将要比现在高的多,全球的价值系统将发生重大的变化。

国内有关这方面的科学研究从 20 世纪 50 年代后已开始进行。这些工作以中国科学院、林业部、农业部等以及多所高等院校在全国建立的定位研究站为基础,对多种类型的生态系统的结构和功能进行了研究。其中尤以中国科学院的《中国生态系统研究网

络》和林业部“森林生态系统研究”所属的各定位研究站的工作在这方面积累了大量系统观测的珍贵资料。我们很高兴看到许多学者,特别是许多中青年生态学工作者已经开始进行这方面的研究,有些初步的成果正在陆续出版。但是正如作者们自己所指出的,这些研究仅仅是初步的尝试,有些研究把国外的参数简单的应用到中国。因此有关生态系统服务功能的研究不论在其广度、深度和精确度方面,都还有待进一步加强。

我国政府历来重视生态建设,但是由于自然环境的先天脆弱和人口增长与经济压力的双重压力,生态建设的步伐落后于破坏的速度,自然环境向着恶性循环的方向发展。20世纪90年代以来,特别是在1992年联合国环境与发展大会以后,我国根据国情的具体情况和履约国的庄严承诺,已经把可持续发展作为我国发展的基本国策。最近,我国政府发表了旨在加强生态建设和环境保护一系列指示,把生态建设从战略推向行动。1998年8月,江泽民主席在对姜春云的批示中,提出了种草种树,再造山川秀美的西北地区的重要指示。1998年开始实施天然林保护工程,1999年8月5~9日,朱镕基总理考察陕西时强调搞好水土保持,加强生态环境建设,是中华民族生存与发展的长远大计,必须从实施可持续发展战略的高度,充分认识生态环境建设的重大意义。所有这一切都标志着我国已由过去以破坏生态环境为代价的发展向以生态建设为目标的方向转变。

生态建设是一项复杂的系统工程。其中,保护和恢复和重建生态系统占有特殊重要的地位。为此,对生态系统功能的多样性和复杂性的认识具有特殊重要的意义,特别是对于我国正准备出台的生态补偿制度和生态环境经济综合的国民经济综合核算体制的实施提供科学依据。

生态系统服务功能的研究是一项极为复杂的研究工作,它不仅取决于生态系统本身的自然特点,同时也取决于社会经济条件,

对于这样的巨系统的研究,我们还要面对许多不确定因素的困扰。因此,进行这方面的研究必须在过去工作的基础上进行深入地,多学科地综合研究。我们很高兴地看到,国家自然科学基金委员会和科研领导部门已经注意到这一问题,并将其列为今后研究的重点。为了进行前期工作,在国家科技部、中国科学院知识创新项目以及国家自然科学基金的支持下,我们开展了本课题的预研究,并把对国内外文献的综述和国内现有研究成果的总结作为研究的第一步。在此,对国家科技部农村社会发展司刘燕华司长,中国科学院生态环境研究中心表示衷心地感谢。参加本书编著工作的除中国科学院生态环境中心和中国科学院地理科学与资源研究所沈阳的同志外,中国科学院沈阳应用生态研究所、中国科学院成都山地灾害研究所、中国科学院长春地理研究所、江苏省南京环境保护研究所以及东北林业大学等单位的专家也参与了这项工作。我衷心地希望这次工作能为今后在本领域开展深入研究打下基础,并为我们的长期合作有一个良好的开端。

李文华

2002年1月

目 录

序

- 生态系统服务功能内涵与研究进展…………… 欧阳志云 李文华(1)
- 生态系统服务的物质量评价与价值量评价两类方法的比较研究…………… 赵景柱 肖寒 吴钢(28)
- 森林生态系统服务功能…………… 周晓峰 张洪军(34)
- 湿地生态系统服务功能与效益评价…………… 何 池(67)
- 植被-水文关系与华北平原旱化农区防护林网土壤水文效应…………… 裴铁凡(88)
- 中国草地生态系统服务价值评估研究……………
…………… 谢高地 张忆锂 鲁春霞 成升魁(119)
- 湿地生态系统功能与生态价值…………… 吕宪国(133)
- 长江上游植被防洪生态功能研究……………
…………… 潘开文 张咏梅 印开蒲 刘照光(140)
- 海南岛生态系统服务功能及其生态价值研究……………
…………… 欧阳志云 肖寒 赵景柱 王效科(157)
- 河流水资源的休闲娱乐功能及其价值评估研究……………
…………… 鲁春霞 谢高地 成升魁(192)
- 东北亚典型森林生态系统服务功能研究
——以长白山森林生态系统为例……………
…………… 吴钢 肖寒 李静(204)
- 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探
——以海南岛尖峰岭热带森林为例……………
…………… 肖寒 欧阳志云 赵景柱 王效科(222)

- 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估
- 薛达元 包浩生 李文华(239)
- 长白山自然保护区生物多样性价值评估研究
- 薛达元 包浩生 李文华(249)

生态系统服务功能内涵与研究进展^①

欧阳志云 李文华

摘要 生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用(Daily,1997)。各类生态系统不仅为人类提供了食物、医药及其他工农业生产的原料和服务,更重要的是支撑与维持了地球的生命支持系统。过去,由于人类对生态系统的服务功能及其重要性不甚了解,导致了生态环境的破坏,从而对生态系统服务功能也造成了明显损害。也就是说,目前城市与区域生态环境危机的实质就是其生态系统服务功能的损害与削弱。在实施可持续发展战略的今天,人们逐步认识到:生态系统服务功能的维持与保育既是人类生存与现代文明的基础,也是实现可持续发展的前提,现代科学技术能影响生态系统服务功能,但不能替代自然生态系统服务功能。因此,探索生态系统服务功能的内涵与服务机制,从而更好地维持和保育生态系统服务功能,促进经济社会的可持续发展成为生态学和生态经济学研究的前沿课题。本文在文献分析的基础上,试图对当前生态系统服务功能的研究特点及趋势作一初步的探讨。

关键词 生态系统的服务功能,评价方法,研究进展

1 生态系统服务功能的提出

虽然人类对生态系统服务功能的研究才刚刚起步,但是我们

^① 本研究得到中国科学院知识创新项目(KZCX2-405,RCEES-9903),国家自然科学基金(49971038)的支持。

的祖先早已意识到了生态系统对人类社会发展支持作用。

早在古希腊,柏拉图认识到雅典人对森林的破坏导致了水土流失和水井的干涸。在中国风水林的建立与保护也反映了人们对森林保护村庄与居住环境作用的认识。在美国,George Marsh (1864)也许是第一个用文字记载生态系统服务功能的作用,他在《Man and Nature》一书中记载:由于受人类活动的巨大影响,在地中海地区“广阔的森林在山峰之间消失了,肥沃的土壤被冲洗走了,肥沃的草地因灌溉水井枯竭而荒芜,著名的河流因此而干涸。”Marsh也意识到了自然生态系统分解动、植物尸体的服务功能,他在书中写道:“动物为人类提供了一项重要的服务,即消耗腐烂的动、植物尸体,如果没有它们,空气中将弥漫着对人类健康有害的气体”。同时,他还指出,水,肥沃的土壤,乃至我们所呼吸的空气都是大自然与其生物所赐予的。而农业与工业将对自然秩序及功能造成影响。

后来直到 Aldo Leopold (1949)才开始深入地思考生态系统的服务功能,他曾指出:“赶走狼群的牛仔们没有意识到自己已经取代了狼群控制牧群规模的职责,没有想到失去狼群的群山会变成什么样子。结果导致尘土满天,肥沃的土壤被流失,河流把(我们的)未来冲进大海”。Leopold也认识到,人类自己不可能替代生态系统服务功能,并指出:“土地伦理将人类从自然的统治者地位还原成为自然的普通一员”。在这个时期,Fairfield Osborn (1948)与 William Vogt (1948)也分别研究了生态系统对维持社会经济发展的意义。Osborn指出:只要我们注意地球上可耕种及人类可居住的地方,就可以发现水、土壤、植物与动物是人类文明得以发展的条件,乃至人类赖以生存的基础。Vogt是第一个提出自然资本概念的人,他在讨论国家债务时指出:我们耗竭自然资源(尤其土壤)资本,就会降低我们偿还债务的能力。

20世纪40年代以来的生态系统概念与理论的提出和发展,

促进了人们对生态系统结构与功能的认识及了解,并为人们研究生态系统服务功能提供了科学基础。

自 20 世纪 70 年代以来,生态系统服务功能开始成为一个科学术语及生态学与生态经济学研究的分支。据文献总结,Study of Critical Environmental Problems 首次使用生态系统服务功能的“Service”一词,并列出了自然生态系统对人类的“环境服务”功能,包括害虫控制、昆虫传粉、渔业、土壤形成、水土保持、气候调节、洪水控制、物质循环与大气组成等方面。稍后,Holdren 等(1974)与 Ehrlich 等(1992)论述了生态系统在土壤肥力维持,基因库维持中的作用,并系统地讨论了生物多样性的丧失将会怎样影响生态服务功能,能否用先进的科学技术来替代自然生态系统的服务功能等问题,并认为生态系统服务功能丧失的快慢取决于生物多样性丧失的速度,企图通过其他手段替代已丧失的生态服务功能的尝试是昂贵的,而且从长远的观点来看是失败的。随着这些文章的引用,后来出现了自然服务功能(Westman,1977)一词和生态系统服务功能(Ehrlich 和 Ehrlich,1992)。生态系统服务功能这一术语逐渐为人们所公认和普遍使用,其内涵也得以明确化。

2 生态系统服务功能的内涵

生态系统不仅创造与维持了地球生命支持系统,形成了人类生存所必需的环境条件,还为人类提供了生活与生产所必需的食品、医药、木材及工农业生产的原材料。生态系统服务功能的内涵可以包括有机质的合成与生产、生物多样性的产生与维持、调节气候、营养物质贮存与循环、土壤肥力的更新与维持、环境净化与有害有毒物质的降解、植物花粉的传播与种子的扩散、有害生物的控制、减轻自然灾害等许多方面。

2.1 有机质的生产与生态系统产品

生态系统通过第一性生产与次级生产、合成及生产了人类存在所必需的有机质及其产品。据统计,每年各类生态系统为人类提供粮食 18 亿 t,肉类约 6 亿 t(WRI,1994),同时海洋还提供鱼类约 1 亿 t(UNFAO,1993)。生态系统还为人类提供了木材、纤维、橡胶、医药资源及其它工业原料。生态系统还是重要的能源来源,据估计,全世界每年约有 15%的能源取自于生态系统,在发展中国家更是高达 40%(Hall 等,1993)。

2.2 生物多样性的产生与维持

生物多样性是指从分子到景观各种层次生命形态的集合。生态系统不仅为各类生物物种提供繁衍生息的场所,而且还为生物进化及生物多样性的产生与形成提供了条件。同时,生态系统通过生物群落的整体创造了适宜于生物生存的环境。

同物种不同的种群对气候因子的扰动与化学环境的变化具有不同的抵抗能力,多种多样的生态系统为不同种群的生存提供了场所,从而可以避免某一环境因子的变动而导致物种的灭绝,并保存了丰富的遗传基因信息。

生态系统在维持与保存生物多样性的同时,还为农作物品种的改良提供了基因库。据研究,人类已知约有 8 万种植物可以食用,而人类历史上仅利用了 7 千种植物(Wilson,1989),只有 150 种粮食植物被人类广泛种植与利用,其中 82 种作物提供了人类 90%的食物(Prescott-Allen,1990)。那些尚未为人类驯化的物种,都由生态系统所维持,它们既是人类潜在食物的来源,又是农作物品种改良及新的抗逆品种的基因来源。

生态系统还是现代医药的最初来源,最新研究表明,在美国用途最广泛的 150 种医药中,118 种来源于自然,其中 74%源于植物,18%来源于真菌,5%来源于细菌,3%来源于脊椎动物(Grifo

和 Rosenthal, 1997)。在全球, 约有 80% 的人口依赖于传统医药, 而传统医药的 85% 是与野生动、植物有关的。

2.3 调节气候

从人类诞生以来, 地球气候变化比较剧烈, 在 2 万年前的冰期, 地球上大多数陆地仍覆盖着厚厚的冰盖。尽管近 1 万年来, 全球气候比较稳定, 但其周期性变化, 仍极大地影响了人类活动与人口分布, 甚至在 1550—1850 年间, 欧洲发生了所谓的小冰期, 气温明显降低。

气候对地球上生命进化与生物的分布起着主要的作用, 尽管一般认为, 地球气候的变化主要是受太阳黑子及地球自转轨道变化的影响。但生物本身在全球气候的调节中也起着重要的作用, 例如: 生态系统通过固定大气中的 CO_2 而减缓地球的温室效应 (Alexander, 1998)。生态系统还对区域性的气候具有直接的调节作用, 植物通过发达的根系从地下吸收水分, 再通过叶片蒸腾, 将水分返回大气, 大面积的森林蒸腾, 可以导致雷雨, 从而减少了该区域水分的损失, 而且还降低气温, 如在亚马逊流域, 50% 的年降水量来自于森林的蒸腾 (Salati, 1987)。

2.4 减轻洪涝与干旱灾害

每年, 地球上总降水量约 119 千亿 m^3 , 大多数雨水首先由土壤吸收, 然后再由植物利用或转入地下水。但如果没有生态系统的作用, 雨水直接降到裸露的地面, 不仅大大减少土壤对水分的吸收量, 使地面径流增加, 还将导致土壤与营养物的流失 (Hillel, 1991)。美国新罕布什尔州的径流研究发现, 裸地平均径流增加 40%, 而在森林砍伐后的 4 个月, 地表径流通常比砍伐前增加 5 倍 (Bormann, 1968)。据研究, 喜马拉雅山大范围的森林砍伐加剧了孟加拉国的洪涝灾害 (Ives 等, 1989), 在非洲, 大范围的干旱可能也与大规模的森林砍伐有关。我国 1998 年长江全流域洪涝灾害的

形成与中上游植被减少、水源涵养能力下降、水土流失加剧的密切关系,已为人们所广泛认识。

水土流失的发生不仅使土壤生产力下降,降低雨水的可利用性,还造成下游可利用水资源量减少,水质下降。河道、水库淤积,降低发电能力,增加洪涝灾害发生的可能性(Pimentel 等,1995)。全球上,仅水土流失导致水库淤积所造成的损失约 60 亿美元。

湿地调蓄洪水的作用已为人们所熟知,泛洪区的森林不仅能减缓洪水速度,还能加速泥沙的沉积,减少泥沙进入河道、湖泊与海洋。如密西西比流域保留的小面积湿地,对预防密西西比河的洪水泛滥起到重要的作用。

2.5 土壤的生态服务功能

土壤是一个国家财富的重要组分,但这份通过成千上万年积累形成的财富,几年的时间就可以流失殆尽。在世界历史上,肥沃的土壤养育了早期的文明,也有的古代文明因土壤生产力的丧失而衰落(Adam,1981),在今天,世界约有 20%的土地由于人类活动的影响而退化(Oldeman 等,1990)。除在水分循环中的作用外,土壤的生态服务功能至少可以归纳为如下五个方面:

(1)为植物的生长发育提供场所,植物种子在土壤中发芽、扎根、生长、开花、结果,在土壤的支撑下,完成其生命周期。

(2)为植物保存提供养分,土壤中带负电荷的微粒(主要是腐殖质与粘土粒,直径通常 $<2\mu\text{m}$)可吸附可交换的营养物质,以供植物吸收。同时,土壤还作为人工施肥的缓冲介质,将营养物离子吸附在土壤中,在植物需要时释放。

(3)土壤微生物在有机质的还原和营养物的循环中起着关键作用,同时在还原过程中,还将许多人类潜在的病原物无害化。人类每年约生产废弃物 1300 亿 t,其中 30%是源于人类活动,有幸的是,土壤中不同种类的微生物像流水线上的工人将特定的化合物还原成最简单的无机化合物。不过,有的有机废物(如塑料、杀虫