

土壤生态系统服务及其价值的研究综述

孙东晓

中铁上海工程局集团市政环保工程有限公司, 上海
Email: 1070855819@qq.com

收稿日期: 2021年3月15日; 录用日期: 2021年4月15日; 发布日期: 2021年4月22日

摘要

本文通过查阅生态系统服务价值相关文章总结土壤生态系统服务价值研究意义、研究进程和最新的研究的进展, 重点关注农业土壤类型。本文包括以下几个部分: 第一部分论述研究农业土壤生态系统的背景意义; 第二部分论述农田生态系统服务价值的国内外研究进展; 第三部分介绍农业土壤生态服务价值发展过程; 第四部分总结现阶段国内外研究的基本问题; 第五部分, 总结与展望。

关键词

土壤, 生态系统, 综述, 农业土壤

A Review of Researches on Soil Ecosystem Services and Their Value

Dongxiao Sun

China Railway Shanghai Engineering Bureau Group Municipal Environmental Engineering Co., Ltd., Shanghai
Email: 1070855819@qq.com

Received: Mar. 15th, 2021; accepted: Apr. 15th, 2021; published: Apr. 22nd, 2021

Abstract

This article summarizes the significance, research process and the latest research progress of the value of soil ecosystem services by consulting related articles on the value of ecosystem services, with a focus on agricultural soil types. This article includes the following parts: The first part discusses the background and significance of studying agricultural soil ecosystems; the second part discusses the domestic and foreign research progress of the service value of farmland ecosystems; the third part introduces the development process of the agricultural soil ecological service value;

the fourth part summarizes the basic issues of domestic and foreign research at this stage; the fifth part, summary and prospects.

Keywords

Soil, Ecosystem, Review, Agricultural Soil

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前耕地土壤和牧区土壤就占地球陆地面积的 24%~38%，因此农业土壤生态环境系统是世界上最重要的土壤生态系统之一[1]。农业土壤生态系统除了保障粮食供应等生态服务功能的同时，还为其他服务系统提供支持，如调节气候和保护水源等。由于我国农业土壤生态系统的价值未能被全面地认识和重视，人类社会往往忽视土壤生态系统价值，结果导致大量优质土壤被破坏、土壤质量急剧下降，严重制约了人类经济社会的发展。因此，如何科学的评价农业土壤生态系统的服务价值，指导人们有效地利用和使用农田土壤，已成为目前相关研究的重点和难点。近年来，学者对于农业土壤生态服务价值的研究取得了重大的进展，同时也发现在研究过程中存在不足。

21 世纪以来，随着经济的快速发展，全球城市化进程逐步地加快，农业土壤的稀缺性和重要性日益突出，土壤生态系统的多功能性越来越受到人们的重视。农业土壤生态系统的价值也受到全球范围的关注，近年来取得的研究成果也为保护农业发展和粮食安全做出了重要的作用，系统服务价值的研究成果正在成为农业生态补偿的理论基础。本文首先论述 2000 年以来农业土壤生态服务价值的研究进展，总结现阶段国内外研究的基本问题，为未来农业土壤发展的方向进行展望。

2. 农田生态系统服务价值的国内外研究进展

2.1. 国外研究进展

随着自然资本和农田生态服务价值概念的提出，农业生态服务价值也逐渐被学者研究。1948 年，自然资源社会资本的概念首先被 Vogt 首次。20 世纪 70 年代以来，Holder J.和 Ehrlich P.R.、de Groot R.S.、Costanza R.等[2] [3] [4] [5] [6]对全球生态环境系统、自然生态环境系统、湿地生态环境系统、森林生态系统等的价值问题作出深入的研究。到 20 世纪 90 年代，由于生态环境问题的日益恶化，可持续发展的理论迅速普及，可持续利用的观点得到广泛的认知[7]。随着，自然资本、生态服务价值以及可持续发展理论的研究，农业生态系统及其土壤生态系统的价值和可持续发展受到越来越多的关注。Daily G.C.等[8] [9]在其著作中系统地介绍了农田生态系统服务功能的含义，其中包括农田土壤生态服务系统的服务功能、农田生态系统的服务价值以及不同生态系统服务功能的联系。

农业生态系统作为生态系统的重要组成部分也受到越来越多的学者的重视。根据 Wade J.C.等[10]的研究成果表明，对于农业土壤价值问题的研究最早源于 1964 年 Nicol [11]关于农业土壤水土流失问题的研究，其为深入研究土壤水土流失后对于土壤生态服务的价值问题。此外，Dyke 等在 20 世纪 80 年代对于由于土壤水土流失而引起的产量的影响进行研究。此后，Glimour、Betters 等对农业系统中森林土壤生态系统进行研究，基于造林对土壤水分保持有促进作用的理论基础，利用最优规划的思想，

对农业森林生态系统进行合理的规划[12] [13]。从此以后关于农业土壤生态系统服务功能与价值的研究逐渐地增加。

20 世纪 90 年代以来, 关于农业生态服务的价值问题研究发展迅速, 主要集中在农用地土壤水土保持的价值和土壤促进环境的改善[14]、农业土壤生态系统对于虫害控制的生态服务价值[15] [16]、农业土壤生态服务价值评价指标体系的建立[17]、土壤生态保护系统对于土壤侵蚀的影响及其经济效益的损失[18]、农业土壤保护的外部融资成本[19]、农业土壤可持续发展及其集约生产的成本及其效益[20]、农业土壤的多功能性[21]、农业土壤生态安全系统[22] [23]的生态服务价值等方面。此外, 学者对于农业系统中, 草地土壤、牧区土壤、森林土壤等生态系统的研究也取得了许多的成果[24]。

20 世纪 70 年代至 90 年代初, 生态服务价值的非市场化研究取得了重要的突破, 其中 Davis [25]首先估算生态系统服务的价值问题, 其利用条件价值估算法(CVM)估算生态系统服务的价值问题, 该方法受到学者的广泛关注。1992 年, 美国国家海洋和大气管理局(NOAA)为了验证该方法的有效性, 任命 Kenneth Arrow 和 Robert Solow 两位诺贝尔经济学奖获得者为领导, 组织高级委员会, 对条件价值估算法(CVM)的可用性进行评估, 结果表明该方法在自然资源管理价值的评估方面具有实用性, 并在该方法的基础上提出了一些指导性的原则[26]。但, 目前学术界对于该方法还处于探究的阶段[27]。

2.2. 国内研究进展

与国际相比, 我国农业生态系统研究起步较晚。20 世纪 80 年代初, 我国开始对于生态服务价值的研究。1982 年张嘉宾等估算了云南省怒江、福贡等地区森林的生态服务价值问题, 包括其森林保土功能和保水功能的价值研究[28]。20 世纪 90 年代中期, 我国许多著名的经济学家对于生态服务的价值问题做出深入的研究, 其中主要有生态学家马世俊、经济学家许涤新、环境经济学者夏光、王金南以及李金昌等[29], 他们从不同学科不同角度分析生态系统的服务价值, 为生态系统的服务价值打下坚实的基础[30] [31] [32]。

随着生态服务价值理论体系的逐渐形成, 我国关于生态系统的研究越来越深入, 其中主要包括森林、草地、农田等生态系统服务价值[33] [34] [35]。在森林生态服务价值中, 主要研究的内容有: 林地生态服务价值的多功能性、林地生态服务价值的评价方法和可持续化[36]等。从研究的内容来看, 其既有自然林生态服务价值, 也有城市、农业系统中林地服务价值的研究[37]; 研究尺度既有全球范围, 也有具体到田块的小尺度研究[38]。在草原生态系统的研究中, 谢高地[39]、许英勤[40]等均做出大量的研究, 他们分别研究了自然草地[41]、塔里木垦区[42]、内蒙古阴山北麓风蚀沙化区[43]、东北三省草地等地区的草原生态服务系统的价值问题, 为后续的研究提供基础。在农田生态系统服务价值研究中, 张壬午等[44]从灌溉收益、投入资产价值、损失价值等三个方面建立评价指标体系, 研究农业生态系统的服务价值; 高旺盛等[45]从农业生态系统的服务价值、维持营养物质循环价值、净化环境价值涵养水分价值、土壤保持价值、固定 CO₂ 和释放 O₂ 价值等出发, 研究黄土高原丘陵沟壑区农田生态服务价值。赵荣钦等[46]将农田生态服务价值进行界定和划分, 指出农田生态服务价值除了提供农产品和轻工业原料来源以外, 还包括提供自然环境的美学、社会文化科学、教育、精神和文化的价值。

3. 农业土壤生态系统服务价值发展过程

为了较为精确的估算农业土壤生态服务价值, 谢高地等依据 Costanza 估算全球生态服务价值的基础上, 制定了“中国陆地农田生态系统服务价值当量因子表”, 该表为农业土壤生态系统服务价值的研究提供坚实的基础[47]。

国内关于农业土壤生态服务功能价值的研究比较得晚。自 1997 年, 土壤生态功能的概念引入国内以

来, 土壤生态功能价值的研究随之开展。土壤生态系统的价值主要包括: 提供养料、水分涵养、土壤保持、植被生长、生物多样性和保持功能。2003 年, 汪权方等[47]通过研究人类活动与土壤生态之间的关系, 发现由于城市化进程的不断推进, 导致可利用的土壤资源不断减少, 加上土壤环境的恶化, 导致土壤生态服务功能的下降; 2006 年, 姜明等[48]依据 Constanza 的研究重新建立农田土壤生态服务功能价值的评价体系, 深入分析土壤的生态服务价值; 2007 年, 张志英等[49]在前人研究土壤生态服务功能的基础上整理添加提供废弃物循环场所的功能, 重新评价土壤生态价值; 2009 年, 韩春健等[50]整理前者研究的观点, 将土壤生态功能定义为养分循环、生物栖息、水源涵养、径流调节、气体调节、土壤保护和废物处理等; 2015 年, 吴绍华等[51]从模型构建方面分析土壤生态系统功能的驱动机制和分析框架, 解析农业生态系统与土壤生态系统之间的关系。

综上可知, 从我国引入生态服务价值以来, 我国对于生态系统价值的研究也越来越多, 但目前大多关注于不同土地利用背景下, 其生态服务价值的问题, 但是对于农业土壤生态系统的价值体现略显不足。土壤是农业生态系统中重要的主城部分, 其生态服务价值、生态功能以及生态服务价值的影响、生态服务价值的评估方面研究较少。

4. 现阶段国内外研究的基本问题

4.1. 研究方法方面的问题

4.1.1. 现有研究多采用静态分析的方法研究, 动静态相结合的分析研究不足

静态分析方法是一种理想化的生态系统服务评价方法。谢高地等指出生态系统为人类提供的生态服务价值的大小并非一成不变的, 而是随着时间的变化呈现动态变化的, 其原因是生物体本身和环境条件均是随着时间的变化而改变, 故生态系统服务价值的动态性研究有待进一步的加强。这种动态的加强主要体现在两个方面, 一方面可以动态的比较两个时间段生态服务价值的变化, 充分考虑不同时间节点下、不同环境下, 生态服务价值的差异; 另一方面可以充分考虑生态服务价值的时间价值, 犹如资金的时间价值一样, 生态系统的服务价值同样具有时间特性。然而, 通过对生态服务价值进展的研究, 国内外学者对于生态服务价值的动态研究较少, 缺少统一生态系统服务价值变动轨迹的动态研究。

4.1.2. 现有研究未区分潜在生态服务价值与实际表达的生态服务价值

研究学者表明生态服务价值具有重要的潜在服务价值, 如森林生态系统, 其不仅具有调节气候、固定 CO₂ 和释放 O₂ 价值等价值, 同样也具有观赏的价值; 土壤生态系统, 其除了保证粮食产量、保持生物多样性以外, 可持续利用的潜在价值体现略显不足。而在目前的研究中并未充分体现生态系统的潜在生态服务价值。就研究方法而言, 值得关注的是, 国内研究以市场价值法和替代市场法为主, 而国外除这两种方法外, 条件价值法也得到广泛运用。

4.2. 研究内容方面的问题

4.2.1. 对农业土壤生态系统服务功能的具体内容尚未达成一致认识

农业生态系统的价值国内外学者已经得到广泛的认可, 但是对于农业土壤(包括农业系统中林地土壤、草地土壤、农田土壤等)的生态服务功能的具体能容尚未达成一致认识。生态系统的服务价值尤其功能决定, 农业土壤的某些作用往往易受到忽视。关于其功能, 杨志新等指出土壤生态系统包括为产品提供养料、环境净化、大气调节、涵养水源、保持土壤、消纳废弃物、维持养分循环、净化污水、保持土壤肥力、积累有机质以及维持生物多样性等功能。但目前多数研究均充经济效益出发, 研究土壤生态服务价值, 并未充分考虑其保持可持续发展条件下的生态功能。

4.2.2. 正、负生态服务价值的联合评估应用较少

国外对于土壤生态系统服务价值正、负生态服务价值联合体现较好,国内略显不足。国内主要关注土壤生态系统的正向服务价值,如提供养料、环境净化、大气调节、涵养水源等正服务,或者关注土壤侵蚀、肥力下降、扰动自然生物多样性等负服务,并未将两者充分考虑。Zhang W.等、Swinton S.M.等均指出研究土壤生态服务价值不仅应关注正的服务(Ecosystem Service, ES)也应关注其负服务(Ecosystem dis-service, EDS)。国内除车裕斌外,均为将两者联合评价,因此该方面需要在未来研究中加强。

4.3. 研究尺度方面的问题

目前国外研究农业土壤生态服务价值的代表人物有 Costanza R.、Sutton P.C.、Constanza R.等其研究的范围以地块为主。但是有学者指出,土壤生态服务价值随着空间尺度的变化而不断变化的,具体景观背景不同,土壤生态系统的服务价值功能不同。国内在重视小尺度研究的同时,中小尺度的研究也在加强。随着习总书记提出的“山水林田湖”一体化的概念以来,我国开展了大量中小尺度的土壤生态服务价值的研究。但是目前的研究多以区域为主,并未体现一个独立的个体的概念,因此,在未来的研究中可以从流域的角度出发,研究土壤生态系统,因为流域是一个相对封闭的环境,从流域尺度出发可以更好的反映土壤生态服务的价值。

5. 结论

通过上述的研究可以看出,从自然环境资本、生态服务价值功能、农田土壤的重要性等概念的提出以来,学术界在林地生态系统、草地生态系统,农田生态系统及其价值方面均取得了丰硕的成果,在农业土壤生态系统方面研究也在逐步地加强。

6. 展望

从研究方法来看,生态系统提供的生态服务是呈现动态变化的,单从静态研究并未能体现其服务功能。同时为了体现研究的科学性和准确性,在研究生态系统服务功能的过程中,不仅仅要体现其实际表现出来的生态服务价值,也要加强表现其潜在服务价值的研究,加强条件价值估算法(CVM)等方法的研究于应用。

从研究内容上来看,需要加强农业土壤生态系统功能的体现方面。对于农业土壤生态系统来说,其生态服务价值的高低取决于其所能提供的生态服务的种类和方式,这主要取决于土壤系统的功能。因此要加强农业土壤生态服务功能的研究,要深入剖析土壤功能结构,划定其功能体系。就其价值构成来看,农业土壤生态服务既具有正向功能(ES),同样也具有负向功能(EDS)。对此均应予以考虑。

从研究视野来看,农业土壤之间是相互联系相互依存的,单从一方面研究其生态服务功能往往会忽视一些价值,如,林地土壤和农田土壤两者功能不同,如何有效结合两者,使其功能得到相互补充,相互促进,这是未来研究的重点和难点,我们可以从流域的角度出发,深挖两者之间的关系,我探究最佳结合模式。

参考文献

- [1] Swinton, S.M., Lupi, F., Philip, R.G. and Hamilton, S.K. (2007) Ecosystem Services and Agriculture: Cultivating Agricultural Ecosystem for Diverse Benefits. *Ecological Economics*, **64**, 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.09.020>
- [2] Holder, J. and Ehrlich, P.R. (1974) Human Population and Global Environment. *American Scientist*, **62**, 282-297.
- [3] de Groot, R.S. (1987) Environmental Functions as a Unifying Concept for Ecology and Economics. *Environmentalist*,

- 7, 105-109. <https://doi.org/10.1007/BF02240292>
- [4] Turner, R.K. and Brooke, J. (1988) Management and Valuation of an Environmentally Sensitive Area: Norfolk Broadland, England, Case Study. *Environmental Management*, **12**, 193-207. <https://doi.org/10.1007/BF01873388>
- [5] Farber, S. and Costanza, R. (1987) The Economic Value of Wetlands Systems. *Journal of Environmental Management*, **24**, 41-51.
- [6] Costanza, R., Farber, S. and Maxwell, J. (1989) The Valuation and Management of Wetland Ecosystems. *Ecological Economics*, **1**, 335-362. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(89\)90014-1](https://doi.org/10.1016/0921-8009(89)90014-1)
- [7] Costanza, R. and Daly, H.E. (1992) Natural Capital and Sustainable Development. *Conservation Biology*, **6**, 37-46. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610037.x>
- [8] Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., *et al.* (1997) The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, **387**, 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- [9] Daily, G.C. (1997) *Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington DC.
- [10] Wade, J.C. and Heady, E.O. (1992) An Interregional Model for Evaluating the Control of Sediment from Agriculture. In: Napier, T.L., Ed., *Economic Models of Agricultural Land Conservation and Environmental Improvement*, Iowa State University Press, Ames, 1-10.
- [11] English, B.C. and Heady, E.O. (1992) Analysis of Long-Term Agricultural Resource Use and Productivity Change for U. S. Agriculture. In: Napier, T.L., Ed., *Economic Models of Agricultural Land Conservation and Environmental Improvement*, Iowa State University Press, Ames, 175-203.
- [12] Betters, D.R. (1988) Planning Optimal Economic Structure for Agroforestry Systems. *Agroforestry Systems*, **7**, 17-31. <https://doi.org/10.1007/BF01890467>
- [13] Glimour, D.A., Bonell, M. and Cassells, D.S. (1987) The Effects of Forestation on Soil Hydraulic Properties in the Middle Hills of Nepal: A Preliminary Assessment. *Mountain Research and Development*, **7**, 239-249. <https://doi.org/10.2307/3673199>
- [14] Vocke, G.F. and Heady, E.O. (1992) *Economic Models of Agricultural Land Conservation and Environmental Improvement*. Iowa State University Press, Ames.
- [15] Bockstael, N., Costanza, R., Strand, I., Boynton, W., Bell, K. and Wainger, L. (1995) Ecological Economic Modeling and Valuation of Ecosystems. *Ecological Economics*, **14**, 143-159. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00026-6](https://doi.org/10.1016/0921-8009(95)00026-6)
- [16] Rigby, D., Woodhouse, P., Young, T. and Burton, M. (2001) Constructing a Farm Level Indicator of Sustainable Agricultural Practice. *Ecological Economics*, **39**, 463-478. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00245-2](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00245-2)
- [17] Naylor, R. and Ehrlich, P. (1997) Natural Pest Control Services and Agriculture. In: Loomes, R. and O'Neill, K., Ed., *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Island Press, Washington DC, 151-174.
- [18] Penning de Vries, F.W.T., Agus, F. and Kerr, J. (1998) *Soil Erosion at Multiple Scale*. CBAI Publishing, Wallingford.
- [19] Holmund, C. and Hammer, M. (1999) Ecosystem Services Generated by Fish Population. *Ecological Economics*, **29**, 253-268. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00015-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00015-4)
- [20] Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Elizabeth Bragg, R., Mason, C.F., Morison, J.I., Raven, H., *et al.* (2000) An Assessment of the Total External Costs of UK Agriculture. *Agricultural Systems*, **65**, 113-136. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00031-7](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00031-7)
- [21] Tilman, D., Cassman, K., Matson, P., Naylor, R. and Polasky, S. (2002) Agricultural Sustainability and the Costs and Benefits of Intensive Production Practices. *Nature*, **418**, 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- [22] Boody, G., Vondracek, B., Andow, D.A., Krinke, M., Westra, J., Zimmerman, J., *et al.* (2005) Multifunctional Agriculture in the United States. *Bioscience*, **55**, 27-38. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0027:MAITUS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0027:MAITUS]2.0.CO;2)
- [23] Zhang, W., Richetts, T.H., Kremen, C., Carney, K.M. and Swinton, S. (2007) Ecosystem Services and Disservices to Agriculture. *Ecological Economics*, **64**, 253-260. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.024>
- [24] 董蕊, 任小丽, 盖艾鸿, 等. 基于中国生态系统研究网络的典型森林生态系统土壤保持功能分析[J]. *生态学报*, 2020, 40(7): 2310-2320.
- [25] Davis, R.K. (1963) Recreation Planning as All Economic Problem. *Natural Resources Journal*, **3**, 239-249.
- [26] Arrow, K., Solow, R., Portney, P.R., Leamer, E.E., Radner, R., Schuman, H., *et al.* (1993) Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation. *Federal Register*, **58**, 4601-4614.
- [27] Bastian, C.T., McLeod, D.M., Germino, M.J., Arnold Reiners, W. and Blasko, B.J. (2002) Environmental Amenities and Agricultural Land Values: A Hedonic Model Using Geographic Information Systems Data. *Ecological Economics*, **40**, 337-349. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00278-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00278-6)

- [28] 武立磊. 生态系统服务功能经济价值评价研究综述[J]. 林业经济, 2007(3): 42-46.
- [29] 辛琨, 肖笃宁. 生态系统服务功能研究简述[J]. 中国人口·资源与环境, 2000, 10(3): 21-23.
- [30] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-639.
- [31] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 王效科. 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[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 481-484.
- [32] 刘向华, 马忠玉, 刘子刚. 我国生态服务价值评估方法的述评[J]. 理论月刊, 2005(7): 130-132.
- [33] 侯元兆. 中国森林资源核算研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [34] 薛达元, 包浩生, 李文华. 长白山自然保护区生物多样性旅游价值评估研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14(2): 140-145. <https://doi.org/10.11849/zrzyxb.1999.02.008>
- [35] 陈心桐, 徐天乐, 李雪静, 等. 中国北方自然生态系统土壤有机碳含量及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2019, 38(4): 1133-1140.
- [36] 姚先铭, 康文星. 城市森林社会服务功能价值评价指标与方法探讨[J]. 世界林业研究, 2007, 20(4): 67-71.
- [37] 靳芳, 余新晓, 鲁绍伟. 中国森林生态服务功能及价值[J]. 中国林业, 2007(7): 40-41.
- [38] 马建伟, 张宋智, 郭小龙, 张会军, 陈立同, 赵长明. 小陇山森林生态系统服务功能价值评估[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(3): 27-30, 35.
- [39] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 郑度, 成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.
- [40] 许英勤, 吴世新, 刘朝霞, 阎新华, 马依尔. 塔里木河下游垦区绿洲生态系统服务的价值[J]. 干旱地区地理, 2003, 26(3): 208-216.
- [41] 何文清, 陈源泉, 高旺盛, 尹存宝. 农牧交错带风蚀沙化区农业生态系统服务功能的经济价值评估[J]. 生态学杂志, 2004, 23(3): 49-53.
- [42] 闵庆文, 谢高地, 胡聃, 沈镭, 严茂超. 青海草地生态系统服务功能的价值评估[J]. 资源科学, 2004, 26(3): 56-60.
- [43] 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[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1101-1110.
- [44] 张壬午, 计文瑛, 成为民. 农田生态系统中水资源利用价值核算方法初探[J]. 农业环境保护, 1998, 17(2): 13-15, 49.
- [45] 高旺盛, 董孝斌. 黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价——以安塞县为例[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 182-188.
- [46] 赵荣钦, 黄爱民, 秦明周, 杨浩. 农田生态系统服务功能及其评价方法研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(4): 267-270.
- [47] 汪权方, 陈百明, 李家永, 刘新卫. 城市土壤研究进展与中国城市土壤生态保护研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 142-145.
- [48] 姜明, 吕宪国, 杨青. 湿地土壤及其环境功能评价体系[J]. 湿地科学, 2006, 4(3): 168-173.
- [49] 孙志英, 吴克宁, 吕巧灵, 赵彦锋, 李玲, 韩春建. 城市化对郑州市土壤功能演变的影响[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 21-26.
- [50] 韩春建, 吴克宁, 刘德元, 宋建军, 许凯. 城市化进程中土壤功能演变及其生态环境效应研究[J]. 河南农业科学, 2009(6): 67-70.
- [51] 吴绍华, 虞燕娜, 朱江, 李保杰, 周生路. 土壤生态系统服务的概念、量化及其对城市化的响应[J]. 土壤学报, 2015, 52(5): 970-978.