

玛纳斯河流域农田生态系统服务功能价值评估*

张宏锋^{1,2} 欧阳志云^{1**} 郑华¹ 肖焱¹

(1.中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室 北京 100085;

2. 广东省环境科学研究院 广州 510045)

摘要 农田生态系统可为人类提供各种产品及多种间接生态系统服务功能。本文运用环境经济学,借助GIS技术,对玛纳斯河流域农田生态系统1976年和2005年两个时段的产品提供、气候调节、土壤保持、碳固定、O₂释放以及营养物质保持等6项生态系统服务功能价值进行了物质量及价值量的估算和分析。结果表明,农田生态系统服务功能总价值从1976年的352 219.4×10⁴元上升到2005年的767 061.5×10⁴元,29年间上升117%。根据两个时段农田生态系统服务功能价值的分析,农田生态系统的产品提供功能受人类技术和管理的较大影响,具有较高的提升潜力,其价值占总生态系统服务功能价值的比例从1976年的7%上升到2005年的39%;而间接生态系统服务功能体现了农田生态系统的自然属性,为人类提供了巨大的调节、支持服务功能,从1976年至2005年,其生态系统服务功能价值上升43%。玛纳斯河流域农田生态系统服务功能研究表明,农田生态系统具有多种生态系统服务功能,应该重视对农田生态系统各项生态系统服务功能价值的评估,从而达到干旱区流域社会、经济、自然生态系统的和谐发展。

关键词 干旱区 农田生态系统 生态系统服务功能 生态系统服务功能价值估算 驱动力分析 玛纳斯河流域
中图分类号: Q149 **文献标识码**: A **文章编号**: 1671-3990(2009)06-1259-06

Evaluation of agricultural ecosystem services value in Manas River Watershed of China

ZHANG Hong-Feng^{1,2}, OUYANG Zhi-Yun¹, ZHENG Hua¹, XIAO Yi¹

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Guangdong Academy of Environmental Sciences, Guangzhou 510045, China)

Abstract The agriculture ecosystem not only provides products, but also a myriad of indirect ecosystem services. Based on environmental economics and GIS technology, this paper evaluated ecosystem services such as products provision, climate regulation, soil conservation, carbon fixation, O₂ release and nutrient maintenance by agriculture ecosystem of Manas River Watershed for 1976 and 2005. From the study, there is an increase in total value of ecosystem services from 352 219.4×10⁴ yuan in 1976 to 767 061.5×10⁴ yuan in 2005, representing a 117% increase over the 29-year period. The products provision value to total value ratio increases from 7% to 39%, implying that technology and management influence products provision. There also exists a great potential for improving the amount of products in the region. Regarding indirect agricultural ecosystem services value, the nature of the attributes represents enormous regulation and support services. For the period of study, indirect agricultural ecosystem services value increases by 43%. The study of agricultural ecosystem services in Manas River Watershed indicates myriad ecosystem services besides agricultural products provision. To attain harmonious development of the society, economy and nature ecosystem in arid watersheds, agricultural ecosystem services value should be accorded paramount importance.

Key words Arid area, Agriculture ecosystem, Ecosystem services, Ecosystem services evaluation, Driving force, Manas River Watershed

(Received Nov. 21, 2008; accepted March 1, 2009)

* 国家重大基础研究计划(973计划)项目(2009BC421105)和“十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAC01A01)资助

** 通讯作者: 欧阳志云(1962~), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为生态系统服务功能研究、人类活动对生态系统的胁迫过程、生态评价与生态规划、自然、生物多样性保护理论与应用。E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

张宏锋(1978~), 男, 博士, 主要从事生态系统服务功能研究。E-mail: zhanghf77925@sohu.com

收稿日期: 2008-11-21 接受日期: 2009-03-01

农业生态系统是一个直接受人类管理并满足人类需要的生态系统。据估计,全球 38% 的陆地被用于农业^[1],如果去除山地、沙漠、裸岩、冰川,该数字可达 50%^[2]。食物、纤维以及燃料生产是农田生态系统的主导目标。然而,作为一个受人类管理的生态系统,农田生态系统在提供功能、支持功能、调节功能以及文化功能方面起着独有的作用^[3]。目前,对生态系统服务功能的研究主要集中在森林^[4-6]、草地^[7-11]、湿地^[12-14]、水域^[15,16]等生态系统,而对于农田生态系统服务功能的研究不多^[17-21]。

在中国西北干旱区,绿洲是干旱区生态系统结构的核 心,尽管其面积仅占我国干旱区总面积 3%~5%,但它却抚育了干旱区 90% 以上的人口,创造了 95% 以上的工农业产值^[22-24]。农业活动依然是干旱区绿洲人类活动的主要部分。绿洲的扩张,主要表现为农田生态系统面积的增加。农田生态系统除为人类提供各种农产品外,也提供着巨大的间接生态系统服务功能价值,对支撑干旱区绿洲的生态环境条件起着重要作用。自 1950 年以后,由于大规模的水土资源开发,干旱区土地利用/覆盖发生了巨大变化,农田生态系统面积大幅增加,对区域生态环境造成了巨大影响。但长期以来多强调其不利影响,关于农田对绿洲生态环境的改善支撑作用方面的研究不多。农业发展导致的土地利用变化对区域内生态系统服务功能的影响尤其值得关注。正确评价不同时期农田生态系统的服务功能和价值,能够为有效管理农田生态系统,促进干旱区农田生态系统的可持续发展提供参考依据和理论支持。本文以天山北坡的玛纳斯河流域绿洲为例,利用遥感

和地理信息系统技术,分析了玛纳斯河流域 1976~2005 年由于土地利用的改变而引起的生态系统服务功能的变化,对不同时期玛纳斯河流域农业生态系统的价值进行了估算,以期为提高干旱区农业生态系统管理提供参考依据。

1 研究区域概况

玛纳斯河流域绿洲位于天山北坡、准噶尔盆地南缘,地理范围 43°03'~46°03'N、84°48'~86°42'E,主要以河流为依托呈带状或片状形式分布在山前冲积扇扇缘和冲积平原上。流域平原区年平均大于 10 积温 2 400~3 500,无霜期 160~180 d,日照时数丰富,年均 2 600~3 000 h,年降水量 110~200 mm,年蒸发量 1 700~2 200 mm,农田灌溉主要靠天山融水汇集的河流径流水。该流域经过 50 年的大规模开发,目前已经成为新疆最大的绿洲农耕区和我国第 4 大灌溉农业区。流域内农田面积从 1976 年的 3 299 km² 增加到 2005 年的 4 314 km²,人口从 1976 年的 80.2×10⁴ 人增加到 2005 年的 101.5×10⁴ 人。农田作物种类主要以棉花、小麦、玉米、大豆等为主。

2 生态系统服务功能价值评估方法

2.1 生态系统服务功能评估指标

依据联合国《千年生态系统评估》^[25]中对生态系统服务功能的分类,将农田生态系统服务功能分为产品提供功能、调节功能、文化功能、支持功能(表 1)。在干旱区内陆河流域,农田生态系统的生态系统服务功能主要表现在产品提供、气候调节、防止侵蚀、固碳、营养物质保持、释放 O₂ 等方面,而文化

表 1 农田生态系统服务功能指标体系
Tab. 1 Indices system of agriculture ecosystem services

服务类型 Ecosystem services type	功能指标 Function index	评价内容 Evaluation content
产品提供功能 Products provision service	产品提供 Products provision	农田生态系统提供的各种产品价值 The value of products provided by agriculture ecosystem
调节功能 Regulation service	气候调节 Climate regulation	农田生态系统在气温、湿度、降雨、蒸发调节等方面的功能及价值 The value of temperature, humidity, precipitation and evaporation regulation of agriculture ecosystem
	土壤保持 Soil conservation	通过植物根系和土壤生物系统持留土壤的效益 The value of containing soil by vegetation roots and soil organisms
	固碳 Carbon fixation	植物通过光合作用将 CO ₂ 转化为有机碳的价值 The value of fixing carbon by plant photosynthesis
	营养物质保持 Nutrient maintenance	农田生态系统保持营养物质的效益 The value of maintaining nutrient provided by agriculture ecosystem
文化功能 Culture service	文化多样性 Culture diversity	农田生态系统不同耕作方式及其由此产生的教育、美学等知识系统及价值 The value of education, aesthetics provided by agriculture ecosystem's cultivation mode
	休闲旅游 Recreation	各种农业景观的生态旅游效益 The value of recreation provided by agriculture landscape
支持功能 Support service	释放 O ₂ O ₂ release	农田生态系统绿色植物通过光合作用,释放出 O ₂ 的生态效益 The value of O ₂ releasing by plant photosynthesis
	维持生物多样性 Biodiversity maintenance	农田生态系统维持生物多样性的功能及价值 The value of maintaining biodiversity of agriculture ecosystem

多样性、休闲旅游以及维持生物多样性方面的服务功能较小,因此本文从产品提供、气候调节、防止侵蚀、固碳、营养物质保持、释放 O_2 6 个方面,对玛纳斯河流域生态系统服务功能进行物质和价值量的估算。

2.2 生态系统服务功能评估方法

2.2.1 气候调节

由于绿洲效应的存在,使绿洲内部温度低于绿洲外围沙漠的温度,增加了空气湿度,使植物的蒸腾作用减弱,降低了水分的蒸散,节约了水资源,并且农田生态系统的热力和动力效应容易在干旱区诱发中尺度对流^[26],这有利于该地区降水的产生,从而起到增雨的效果。因此将绿洲农田的气候调节价值分为降低水资源蒸散节约的水资源和降雨量增加导致的水资源增加两类调节价值。根据玛纳斯河流域近 50 年来的气象统计数据,该地区绿洲中心降水量增加幅度为 $1.19 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$,蒸发减少幅度为 $2.28 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。降水量和蒸发量的调节量计算公式为:

$$V_1 = SP \quad (1)$$

式中, S 为农田面积, P 为降水量增加幅度。

$$V_2 = SE \quad (2)$$

式中, S 为农田面积, E 为蒸发量减少幅度。

其价值采用替代工程法,以水库建造成本($0.67 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$, 1990 年不变价)进行价值量评价^[27]。

2.2.2 土壤保持功能

生态系统土壤保持量用潜在土壤侵蚀量与现实土壤侵蚀量之差估算。玛纳斯河绿洲内的农田生态系统,由于农田管理水平高,在农作物生长季节,农作物生物量高,防止土壤侵蚀的能力强;而在冬季和春季,又为积雪所覆盖,所以现实侵蚀量很小,将其现实侵蚀量界定为全国土壤侵蚀等级分类中的微度,潜在土壤侵蚀量按全国土壤侵蚀等级分类中的“强度”级对应的风蚀、水蚀模数上限($8\ 000 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)估算农田生态系统抵御风蚀和减少水蚀的土壤保持量,然后相加得到土壤保持总量。计算方法如下^[28]:

$$A_t = A_w + A_s \quad (3)$$

$$A_w, A_s = A_p - A_r \quad (4)$$

式中, A_t 为农田生态系统土壤保持量, A_w 、 A_s 分别为风蚀为主区和水蚀为主区土壤保持量, A_p 为潜在土壤侵蚀量, A_r 为农田生态系统现实土壤侵蚀量。

其价值可以运用机会成本法,估算农田生态系统因控制土壤侵蚀而减少土地废弃所产生的生态经济效益。根据土壤保持量和土壤表土平均厚度 0.5 m ^[29]可以推算出因土壤侵蚀而造成的废弃土地面积。根据玛纳斯河流域单位农田多年平均收益(1990

年价)和银行年利率(2.25%),可以计算出因土地废弃而失去的年经济价值。

$$E_s = A_t \cdot B / (0.5 \cdot 10\ 000 \cdot \rho \cdot r) \quad (5)$$

式中, E_s 为减少土地废弃产生的生态经济价值, A_t 为土壤保持量, B 为单位农田多年年均收益, ρ 为土壤容重, r 为银行年利率。

2.2.3 固碳

农田生态系统的固碳量由两部分组成:一是农田生态系统通过防止土壤侵蚀,避免土壤中的有机碳释放大气中去。根据玛纳斯河流域农田生态系统土壤中的有机质含量^[30],可以计算出农田生态系统通过防止土壤侵蚀而形成的固碳量,其计算公式如下:

$$M_o = AC\lambda \quad (6)$$

式中, M_o 为农田生态系统土壤有机质保持总量, A 为土壤保持量, C 为农田土壤有机质含量, λ 为折算系数(有机质含碳比例)。

二是生态系统通过光合作用和呼吸作用与大气物质的交换,主要是 CO_2 和 O_2 的交换,即生态系统固定大气中的 CO_2 ,同时增加大气中的 O_2 。根据光合作用反应式,生产 1.00 g 植物干物质能固定 1.63 g CO_2 、释放 1.20 g O_2 。在玛纳斯河流域,农作物种类主要有粮食、油料、棉花、甜菜、蔬菜等。除棉花外,粮食、油料、甜菜、蔬菜通过人类的消费,其固定的 CO_2 会重新进入大气中,因此通过调查获得玛纳斯河流域内棉花的播种面积及生物量,由 NPP 计算结果可估算得到农田生态系统中棉花年总固定 CO_2 量。固碳效益采用中国造林成本 $260.90 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ (C, 1990 年不变价)进行评价^[28]。

2.2.4 光合释氧

生态系统通过光合作用和呼吸作用与大气物质的交换,主要是 CO_2 和 O_2 的交换,可固定大气中的 CO_2 ,同时增加大气中的 O_2 。通过调查获得玛纳斯河流域内各种农作物的播种面积及生物量。根据光合作用反应式,生产 1.00 g 植物干物质能释放 1.20 g O_2 ,由 NPP 计算结果可估算得到农田生态系统的年总 O_2 释放量。释氧效益采用 O_2 工业成本 $0.4 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ 进行评价^[27]。

2.2.5 营养物质保持

土壤侵蚀使大量的土壤营养物质,如氮、磷、钾流失,根据绿洲农田生态系统内不同土壤类型的氮、磷、钾含量^[30,31],再依据下式估算出农田生态系统保护土壤肥力的经济效益。

$$E = \sum_{i=1}^3 AC_i P_i / 10\ 000 \quad (i = N, P, K) \quad (7)$$

式中, E 为保护土壤的经济效益, A 为土壤保持量, C_i 为土壤中氮、磷、钾的含量, P_i 为化肥平均价格。

2.2.6 生态系统产品提供

根据玛纳斯河流域绿洲农业生态系统的年农业生产总值估算。

3 结果与分析

3.1 农田生态系统服务功能价值分析

3.1.1 农田生态系统服务功能物质质量评价

根据农田生态系统所提供的生态系统服务功能, 对 1976 年和 2005 年玛纳斯河流域绿洲农田生态系统在产品提供、水源涵养、土壤保持、碳固定、释 O_2 功能以及营养物质保持方面的服务功能进行了物质质量评价(表 2, 表 3)。从表中可以看出, 由于农田生态系统面积的扩大, 气候调节、土壤保持、碳固定、释 O_2 功能以及营养物质保持方面的服务功能都表现为增加, 而直接产品服务提供的物质质量则随农产品的种类有所不同。

在直接服务功能方面, 农田生态系统提供的直接产品服务受人类利益的驱动较强。从 1976 年和 2005 年农田生态系统所提供的产品看, 甜菜产量下降, 粮食、油料、薯类等基本作物增长幅度不大, 而经济效益较高的棉花、蔬菜、果用瓜大幅增加, 其中尤以棉花和果用瓜为甚, 分别增长 36.89 倍和 14.97 倍。

在间接服务功能方面, 农田生态系统面积的增加, 相应增加了其间接服务功能。根据农田生态系统对气候的调节能力, 农田生态系统 1976 年和 2005 年分别相当于增加了 $1.83 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $6.74 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水资源量, 分别相当于流域河川径流量的 8% 和

29%。玛纳斯河流域农田生态系统在土壤保持方面也有巨大的生态系统服务功能, 根据估算, 农田生态系统 1976 年和 2005 年所提供的防止土壤侵蚀能力, 分别相当于增加了 27.2 km^2 和 34.5 km^2 的耕地。在固碳方面, 1976 年和 2005 年农田生态系统的固碳能力分别相当于 $1\,239.9 \text{ km}^2$ 和 $10\,562.3 \text{ km}^2$ 森林的年固碳量^[32]。在 O_2 释放方面, 1976 年和 2005 年农田生态系统的释 O_2 能力相当于 $6\,580.8 \text{ km}^2$ 和 $8\,024.5 \text{ km}^2$ 森林的年释 O_2 量^[32]。在营养保持方面, 1976 年农田生态系统所保持的养分含量相当于 $28.3 \times 10^4 \text{ t}$ 化肥, 2005 年相当于 $35.8 \times 10^4 \text{ t}$ 化肥。从这些数字可以看出, 农田生态系统不仅为人类提供了巨大的直接产品, 还提供了难以估量的间接生态系统服务功能。

3.1.2 农田生态系统服务功能价值量评估

根据获得的统计资料, 玛纳斯河流域农田生态系统在 1976 年和 2005 年的农业产值分别为 2.57×10^8 元和 29.93×10^8 元。应用工程替代法, 以水库建造成本($0.67 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$, 1990 年不变价)进行功能价值量评价, 可以得出农田生态系统在 1976 年和 2005 年的气候调节价值分别为 1.23×10^8 元和 4.51×10^8 元。根据 1976 年和 2005 年单位农田年均收益, 可以估算出农田生态系统在保持土壤方面的价值分别为 5.28×10^8 元和 6.70×10^8 元。采用中国造林成本法, 可以估算出 1976 年和 2005 年的固碳功能效益分别为 0.46×10^8 元和 3.89×10^8 元。根据生产 O_2 的工业成本可以估算出 1976 年和 2005 年的释 O_2 功能效益为 18.49×10^8 元和 22.54×10^8 元。根据平均化肥价格, 可以估算出农田生态系统保持土壤养分的价值分别为 7.20×10^8 元和 9.13×10^8 元(表 4)。

表 2 玛纳斯河流域农田生态系统直接服务功能物质质量评价

Tab. 2 Matter quantity evaluation of direct ecosystem services of agriculture ecosystem in the Manas River Watershed 10^4 t

年份 Year	粮食 Crop	油料 Oil plants	棉花 Cotton	甜菜 Beet	蔬菜 Vegetable	薯类 Potatoes	果用瓜 Fruit	苜蓿 Clover
1976	27.08	0.51	0.91	13.30	10.21	0.41	0.86	—
2005	40.15	1.12	34.59	7.75	131.43	2.68	13.77	9.3

表 3 玛纳斯河流域农田生态系统间接服务功能物质质量评价

Tab. 3 Matter quantity evaluation of indirect ecosystem services of agriculture ecosystem in the Manas River Watershed

年份 Year	气候调节 Climate regulation (10^4 m^3)	土壤保持 Soil conservation (10^4 t)	碳固定 Carbon fixation (10^4 t)	释氧功能 O_2 release (10^4 t)	营养物质保持 Nutrient maintenance (10^4 t)
1976	18 319.93	2 069.33	17.48	462.15	N
					P
					K
2005	67 367.19	2 624.68	148.93	563.53	N
					P
					K

表4 玛纳斯河流域农田生态系统服务功能价值量评价(1990年不变价)

Tab. 4 The evaluation of ecosystem services value of agriculture ecosystem in the Manas River Watershed 10^4 元

年份 Year	产品提供 Products provision	气候调节 Climate regulation	土壤保持 Soil conservation	碳固定 Carbon fixation	O ₂ 释放 O ₂ release	营养物质保持 Nutrient maintenance
1976	25 698.5	12 274.4	52 827.4	4 561.1	184 858.1	72 000.1
2005	299 331.4	45 136.1	67 004.7	38 855.3	225 411.5	91 322.7

1976年,玛纳斯河流域农田生态系统的直接服务功能价值为 2.57×10^8 元,间接服务功能价值为 32.65×10^8 元;2005年,农田生态系统的直接服务功能价值为 29.93×10^8 元,间接服务功能价值为 46.77×10^8 元。从以上农田生态系统服务功能价值可以看出,其间接服务功能价值大于直接服务功能价值,但随着农田管理水平的提高,农业生态系统直接产品服务功能有了很大提高。在1976年,间接生态系统服务功能价值是直接生态系统服务功能价值的12.7倍;而到2005年,农田生态系统间接生态系统服务功能价值仅是直接生态系统服务功能价值的1.6倍。

3.2 生态系统服务功能变化驱动因素分析

由于农田生态系统是受人类管理的半自然生态系统,其提供的生态系统服务功能很大程度上受到人类活动的影响。1976年流域内农田面积 $3\,299.7 \text{ km}^2$,到2005年,农田面积增加到 $4\,314.3 \text{ km}^2$ 。在产品提供服务功能方面,随着流域内农田管理水平的提高,农业单位面积产量有了大幅度提高。以玛纳斯河流域粮食作物为例,1976年粮食作物播种面积为 $1\,504.7 \text{ km}^2$,总产量为 $27.1 \times 10^4 \text{ t}$,2005年流域内粮食作物播种面积为 545.1 km^2 ,但粮食作物产量却增加到 $40.2 \times 10^4 \text{ t}$ 。从1976年至2005年,粮食单位面积产量从 $180.1 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 增加到 $736.6 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$,粮食单位面积产量增加了3.09倍。

在间接生态系统服务功能方面,由于农田生态系统面积的扩展,原来的草原灰漠土被开垦后,进入人工管理的灌耕熟化阶段,改变了土壤结构,使土壤有机质和各种养分提高。新疆荒漠草原的地上生物量为 $77.6 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ [33],而玛纳斯河流域农田生态系统的地上生物量为 $1\,088.5 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$,农田生态系统的生物量远远大于荒漠草原的生物量。土地利用方式的改变,使农田生态系统相对于荒漠草原生态系统具有更大的生态系统服务功能,诸如在防止侵蚀、营养物质保持、碳固定、O₂释放等方面。在调节气候方面,由于土地覆被的改变以及大量水分的输入,形成了绿洲效应,主要表现在绿洲内降水增加、蒸发下降。根据流域50年来降水和蒸发变化数据分析,降水量的年均增幅为 $1.19 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$,蒸发的年均减少幅度为 $2.28 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

4 讨论与结论

据研究,在玛纳斯河流域,大约75%的农田都由荒漠植被转化而来[34]。在西北干旱区,将荒漠草地开垦为农田,通过完善的耕作制度和灌溉制度,其生物生产力远高于原生荒漠草地[33]。通过接纳来自山地生态系统的水源输入,并通过有效的农田管理,玛纳斯河流域农作物的产值大幅提高。2005年与1976年相比,玛纳斯河流域农业产值提高10.6倍。农田生态系统的气候调节、土壤保持、碳固定、O₂释放、营养物质的保持也有大幅上升,农田生态系统的间接生态系统服务功能增加43%。

理解农田生态系统如何产生这些服务功能对于更好地管理农田生态系统极为重要,而更重要的是让人类能够感知和评估这些生态系统服务功能。在水资源匮乏的干旱区内陆河流域,与其他流域一样,农田生态系统与其周围自然生态系统生物量及生物多样性的差异,主要表现在农田生态系统具有较高的生物量和稀少的植物物种。然而,在干旱区,这种高效的单一农田生态系统,是高效利用水资源的一种有效方式,使其在蒸发到大气之前,能够形成更多的生物量,同时也具有较大的生态系统服务功能。其通过生长旺盛的植物,提高了局地水分循环的速度,增加了绿洲内部的空气湿度,营造了局部优良的生态环境,支持了干旱区社会经济的稳定发展。另一方面,为了防止农田生态系统挤占其他生态系统的生态用水,从而导致生态系统退化,应该协调好各类生态系统之间的关系。通过加强对农田生态系统的管理,提高水分利用效率,保证其他自然生态系统的用水,使人工生态系统和自然生态系统协同发展,使之能够更好地为干旱区人民服务,提供更为高效的生态系统服务功能。

参考文献

- [1] Food and Agriculture Organization (FAO). 2004[EB/OL]. www.faostat.fao.org
- [2] Tilman D., Farigione J., Wolff B., et al. Forecasting agriculturally driven global environmental change[J]. Science, 2001, 292: 281-284
- [3] 王勇, 骆世明. 农业生态服务功能评估的研究进展和实施原则[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 212-216

- [4] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491
- [5] 靳芳, 张振明, 余新晓, 等. 甘肃祁连山森林生态系统服务功能及价值评估[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(1): 53-57
- [6] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 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
- [7] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196
- [8] 彭皓, 李镇清. 锡林河流域天然草地生态系统服务价值评价[J]. 草业学报, 2007, 16(4): 107-115
- [9] 姜立鹏, 覃志豪, 谢雯, 等. 中国草地生态系统服务功能价值遥感估算研究[J]. 自然资源学报, 2007, 22(2): 161-170
- [10] 于格, 鲁春霞, 谢高地. 青藏高原草地生态系统服务功能的季节动态变化[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 47-51
- [11] 叶茂, 徐海量, 王小平, 等. 新疆草地生态系统服务功能与价值初步评价[J]. 草业学报, 2006, 15(5): 122-128
- [12] 李建国, 李贵宝, 王殿武, 等. 白洋淀湿地生态系统服务功能与价值估算的研究[J]. 南水北调与水利科技, 2005, 3(3): 18-21
- [13] 王伟, 陆健健. 三垌湿地生态系统服务功能及其价值[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 404-407
- [14] 张天华, 陈利顶, 普布丹巴, 等. 西藏拉萨拉鲁湿地生态系统服务功能价值估算[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3176-3180
- [15] 欧阳志云, 赵同谦, 王效科, 等. 水生态服务功能分析及其间接价值评价[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2091-2099
- [16] 王欢, 韩霜, 邓红兵, 等. 香溪河河流生态系统服务功能评价[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 2971-2978
- [17] 杨志新, 郑大玮, 文化. 北京郊区农田生态系统服务功能价值的评估研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(4): 564-571
- [18] 赵海珍, 李文华, 马爱进, 等. 拉萨河谷地区青稞农田生态系统服务功能的评价——以达孜县为例[J]. 自然资源学报, 2004, 19(5): 632-636
- [19] Zhang W., Ricketts T. H., Kremen C., *et al.* Ecosystem services and dis-services to agriculture[J]. *Ecological Economics*, 2007, 64: 253-260
- [20] Dale V. H., Polasky S. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services[J]. *Ecological Economics*, 2007, 64: 286-296
- [21] Swinton S. M., Lupi F., Robertson G. P., *et al.* Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits[J]. *Ecological Economics*, 2007, 64: 245-252
- [22] 钱云, 郝毓灵. 新疆绿洲[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000: 3-96
- [23] 申元村, 汪久文, 伍光和, 等. 中国绿洲[M]. 开封: 河南大学出版社, 2001: 1-20
- [24] 韩德林. 中国绿洲研究之进展[J]. 地理科学, 1999, 19(4): 313-319
- [25] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment[M]. Washington DC: Island Press, 2003
- [26] 张林源, 王乃昂. 中国的沙漠和绿洲[M]. 兰州: 甘肃教育出版社, 1994
- [27] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613
- [28] 欧阳志云, 赵同谦, 赵景柱, 等. 海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1395-1402
- [29] 薛达元, 包浩生, 李文华. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估[J]. 中国环境科学, 1999, 19(3): 247-252
- [30] 新疆维吾尔自治区农业厅新疆维吾尔自治区土壤普查办公室. 新疆土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1996
- [31] 袁国映, 屈喜乐, 李竟生. 中国新疆玛纳斯河流域农业生态环境资源保护与合理利用研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1995
- [32] 胡会峰, 刘国华. 中国天然林保护工程的固碳能力估算[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 291-296
- [33] 安尼瓦尔·买买提, 杨元合, 郭兆迪, 等. 新疆草地植被的地上生物量[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2006, 42(4): 521-526
- [34] 纪中奎, 刘鸿雁. 玛纳斯河流域近 50 年植被格局变化[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4): 132-136