刘小丹, 赵忠宝, 李克国. 河北北戴河区农田生态系统服务功能价值测算研究[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(4): 390-396.

LIU Xiao-dan, ZHAO Zhong-bao, LI Ke-guo. Measurement of Farmland Ecosystem Services Evaluation in Beidaihe District, Hebei Province, China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2017, 34(4):390-396.

河北北戴河区农田生态系统服务功能价值测算研究

刘小丹, 赵忠宝, 李克国

(河北环境工程学院, 河北 秦皇岛 066102)

摘要: 农田生态系统是支撑与维持地球生命支持系统的重要组成部分,既具有直接供给农产品功能,又具有调节、支持、文化服务等间接功能。研究选取河北省北戴河区农田生态系统为研究对象,以生态系统服务功能为切入点,运用生态经济学方法,综合测算研究区农田生态系统服务功能价值。研究表明,2014年研究区农田生态系统服务功能所产生的间接价值为直接价值的1.09倍,说明农田生态系统不仅具有高效的、直接的生产功能,而且具有极其重要的生态环境支撑功能。鉴于此在北戴河区农业结构调整过程中,要对其生态系统服务功能给予足够的重视。农田生态系统服务功能的各项指标价值量由大到小排序为农田生产供给价值>休闲旅游价值>固碳释氧价值>废弃物处理价值>涵养水源价值>社会保障价值>土壤形成与保护价值>秸秆还田价值>净化大气价值。因此,研究认为:北戴河区在加快现代农业园区建设过程中,要大力发展生态休闲农业,全力推进农作物秸秆综合利用,积极发展生态循环农业,合理调整农田利用方式,应注重提高调节、支持、文化服务功能价值,使农田生态系统服务功能价值达到最优化。通过对北戴河区农田生态系统服务功能价值测算,为北戴河区有效保护和永续利用农田生态系统提供决策基础和科学支撑。

关键词: 农田生态系统;生态系统服务功能;价值测算;北戴河区

中图分类号:S181

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2017)04-0390-07

doi: 10.13254/j.jare.2017.0005

Measurement of Farmland Ecosystem Services Evaluation in Beidaihe District, Hebei Province, China

LIU Xiao-dan, ZHAO Zhong-bao, LI Ke-guo

(Hebei University of Environmental Engineering, Qinhuangdao 066102, China)

Abstract: Farmland ecosystem is an important part of supporting and maintaining earth's life systems. It has the direct function value of providing agricultural product as well as the indirect function values of adjustment, support and culture. Chose the Beidaihe district in Hebei Province as the study region, the eco-system service functions were evaluated by ecological economics approach. The results showed that the indirect value was 1.09 times of the value direct in 2014. The farmland ecosystem not only had direct production function, but also had important ecological supporting functions. In the process of agricultural structure adjustment, the indirect functions should be given enough attention. The sort of values were production function>tourism function>carbon sequestration and oxygen release function>dispose of waste function>water conservation function>social security function>soil protection value>straw returning to field function>clean air function. In the process of accelerating the construction of modern agricultural park, vigorously developing ecological leisure agriculture, pushing forward the comprehensive utilization of crop straw, and actively developing ecological cycle of agriculture, the Beidaihe district should rationally adjust the use of farmland and focus on improving the values of indirect services to optimize service values. The study can be used as decision basis and scientific support for effective protection and sustainable utilization of farmland resources.

Keywords: farmland ecosystem; ecosystem services; value measure; Beidaihe district

收稿日期:2017-01-04

基金项目:秦皇岛市环境保护局重点咨询项目“秦皇岛市自然生态价值评估及利用保护对策研究”(QHYZB-2016-016)

作者简介:刘小丹(1983—),男,山西吕梁人,博士,讲师,主要从事生态环境监测研究。E-mail:liuxiaodan831121@163.com

生态系统服务功能是指生态系统和生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用,不仅给人类提供食物、原材料,而且具有重要的生态系统服务功能如固碳释氧、涵养水源、保持水土等^[1-3]。随着人口、资源、环境问题的日益加剧,生态系统服务功能价值评估引起广泛关注^[4-5]。从目前对生态系统服务功能相关研究来看,研究成果主要集中于森林、湿地、草原、荒漠等自然生态系统。国家林业局颁布《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T 1721—2008)、《荒漠生态系统服务评估规范》(LY/T 2006—2012),促进了生态系统服务功能价值评估规范化研究。由于农田的功能定位长期侧重于经济功能方面,尤其注重产量指标,再加上农田生态系统是一个半自然生态系统,生态过程的人为影响较大,对其价值测算带来一定困难,因而农田生态系统价值测算研究相对较少。目前大部分学者直接或间接地以 Costanza 等^[6]研究结果为参数进行价值测算,但尚无公认的农田生态系统的价值评估标准与方法,研究主要集中于对农田生态系统功能价值量化,并用于农田生态系统管理等方面。由于农田生态服务功能价值被当作外部价值,无法体现到农田利益相关方身上,导致农田利用效益低下^[6],农田出现不同程度退化,其提供服务功能的能力降低,产生一系列生态安全问题,为此在实践中人们正积极尝试将其作为确定农业生态补偿标准上限的依据。

农田生态系统作为陆地生态系统的重要组成部分,是人类社会存在和发展的基础,深入研究并定量评估其服务功能的价值,有助于科学认识农田生态环境和生态效益,提高农田保护意识,进而合理开发利用和管理农田生态系统,推动农业可持续发展。本文选取河北省北戴河区农田生态系统为研究对象,其农田的功能从传统的单一农产品生产功能向现代农业、旅游休闲农业的多功能拓展,农田的生态功能越来越凸显其重要作用。借鉴生态经济学评估方法,对其农田生态系统服务功能进行价值测算,为开发利用农田资源提供决策基础,为生态保护补偿提供科学依据,也为自然环境因素纳入国民经济核算体系而实现绿色 GDP 提供重要参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北戴河区位于河北省东北部,渤海湾北岸中部,为秦皇岛市辖区。地理坐标北纬 39°47′48″~39°53′

17″,东经 119°24′08″~119°31′58″。北戴河地质构造较为复杂,地形北高南低,具有剥蚀平原、海积平原、洪冲积平原、丘陵低山区等多样性的地貌类型。北戴河区地跨陆域生态系统与海域生态系统 2 种生态介质,南邻渤海,北倚燕山,自然生态系统独特,气候宜人,是全国最大的休闲疗养基地和健身康复中心。北戴河地处中纬度暖温带,属半湿润、季风型大陆性气候。北戴河境内主要有戴河和新河 2 条河流,分别在西部和东部入渤海。北戴河境内的土壤为棕壤和潮土。北戴河植物区系在世界植物地理上属于泛北极植物区的中国日本植物亚区,起源于第三纪植物区系,兼有华北、东北、蒙新三大植被区的特点。主要植被类型有温带常绿针叶林、落叶阔叶混交林、灌丛植被、盐生草甸、水生植被和栽培植被等。2014 年底,辖区面积 72.90 km²,户籍人口 6.9 万,下辖海滨镇和戴河镇 2 个镇,西山街道和东山街道 2 个办事处以及 1 个省级北戴河经济技术开发区。北戴河区各类土地利用类型区域分异明显,北部以园地、耕地和农业建设用地为主;南部沿海以建设用地、滩涂沼泽、耕地、森林和水域为主。作为世界著名旅游胜地,北戴河区积极引导农民进行农业产业结构调整,正逐步实施退出传统大田作物种植,发展效益更高、且与现代旅游业紧密相关的设施蔬菜、果品及花卉、苗木种植业,生态休闲农业发展迅猛,稳步提升了休闲农业建设水平,休闲农业园区得到提档升级,尤其是做大做强以北戴河集发农业观光园为主体的农业旅游产业。2014 年,北戴河区实现地区生产总值 40.87 亿元。

1.2 数据来源

本研究数据来源于《秦皇岛统计年鉴 2015》、《秦皇岛市北戴河区国民经济和社会发展统计资料》(2014 年)、《北戴河志(1988—2003)》、《秦皇岛市农业资源区划》、2014 年北戴河区土地二类调查数据库、北戴河区农牧局提供的数据库以及农田土壤(N、P、K、有机质、含水率等)监测资料。

1.3 农田生态系统服务评价指标体系构建

北戴河区农田生态系统提供的服务功能可分为两大类:一类是直接供给功能,包括食物生产与花卉生产;一类是间接服务功能,包括调节功能、支持功能、文化服务功能。研究参照千年生态系统评估(millennium ecosystem assessment,简称 MA)提出的生态系统服务功能分类方法,构建北戴河区农田生态系统服务评价指标体系(表 1)。

表 1 北戴河区农田生态系统服务评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of farmland ecosystem services in Beidaihe District

功能类型	服务功能	功能指标	评价方法	
直接功能	供给功能	食物生产	农产品	
		花卉生产	花卉盆景	
间接功能	调节功能	固碳释氧	固定二氧化碳	
			氧气生产	
		净化大气	吸收 SO ₂	
			吸收 NO _x	
			阻滞降尘	
		涵养水源	涵养水源	
	支持功能	废弃物处理	农村人口排泄物	替代成本法
			畜禽排泄物	替代成本法
		秸秆还田	还田增加土壤养分	替代成本法
	文化服务功能	土壤形成与保护	土壤保持	替代工程法
			保肥(N、P、K、有机质)	市场价值法
社会保障功能		保障农民	替代成本法	
	休闲旅游价值	景观与美学、旅游	旅行费用法	

1.4 农田生态系统服务功能测算方法

1.4.1 直接价值测算

直接价值主要是农田生产价值，主要由粮食作物、油料、蔬菜、瓜果等农产品及花卉经济价值组成。根据农产品市场价格和相关资料，确定各作物单价，再用单位面积产量乘以种植面积再乘以作物单价计算农产品生产价值^[7]。花卉价值根据统计资料直接得到。

1.4.2 间接价值测算

(1) 固碳释氧价值

农田把大气中的 CO₂ 以农产品生物量的形式固定在植物体和土壤中，根据光合作用方程式，每生产 1 t 植物干物质可以吸收 1.62 t CO₂，释放出 1.2 t 氧气。本研究计算公式参照文献[8]，其中作物含水率参照文献[9]，作物经济系数参照文献[10-11]，固碳价格取值参照国际上通用的碳汇交易价格，瑞典碳税率为 150 美元·t⁻¹，折合人民币为 1 050 元·t⁻¹。释氧价格取值为秦皇岛市场医用氧气多年平均价格为 1 000 元·t⁻¹。

(2) 净化大气价值

农田通过吸附阻滞、吸收同化、阻隔等形式净化大气，主要吸收 SO₂、NO_x 有害气体以及农田植被滞尘。净化价值主要通过净化量乘以治理费用计算得到。目前北戴河区农田单位面积净化各种污染物的具体数据难于获取，参照文献[12-13]获取农田生态系统对各种空气污染物净化效率取值，运用替代法和防护费用法计算出农田作物净化大气环境的价值。根据

《冀发改价格(2014)1717 号关于调整排污费收费标准等有关问题的通知》中公布数据，SO₂ 的治理费用为 2.53 元·kg⁻¹，NO_x 的治理费用为 2.53 元·kg⁻¹；阻滞降尘的治理费参考我国发改委《排污费征收标准及计算方法》中公布数据；降尘的费用为 0.15 元·kg⁻¹。

(3) 涵养水源价值

本研究采用与裸地相比农田保持水分的增加量来计算农田涵养水源量。其价值采用替代成本法估算，即修建相应库容的水库成本来进行计算，计算公式参考文献[14]，公式中北戴河区多年平均降水量取值为 602.3 mm，产流降雨量占降雨总量的比例取值 0.4，产流降雨条件下农田与裸地降雨径流率之差取 0.20^[5]。根据国家统计年鉴及参考水利部门的数据，水库建设单位库容投资为 7.61 元·m⁻³。

(4) 废弃物处理价值

农田担负人畜粪便净化功能，畜禽的年度粪便产生量计算公式为：

$$Q=N \times T \times P$$

式中：Q 为年度粪便产生量；N 为饲养量；T 为饲养期；P 为排泄系数。

北戴河区畜禽主要包括猪、牛(包括肉牛、奶牛，无役用牛存栏)、羊(包括山羊、绵羊)、家禽(包括鸡、鸭)以及兔养殖。计算畜禽粪便产生量时，参考文献[16]的河北省农业站实地调查确定的地市畜禽粪便排泄系数以及文献[17]计算方法。

农田生态系统废弃物处理功能的价值计算式

如下:

$$V_{\text{废弃物处理}}=(\sum Q_i+Q_p)\times C$$

式中: $V_{\text{废弃物处理}}$ 为废弃物降解总价值; Q_i 为不同畜禽的粪便量; Q_p 为农村人口排泄废弃物量,参考张无敌等^[18]的计算方法; C 为人工降解废弃物所需的价格,采用替代成本法,即采用城市生活垃圾处理成本来估算,取值108元·t⁻¹。

(5) 秸秆还田价值

北戴河区秸秆利用主要是还田用作肥料。本研究通过分析北戴河区秸秆还田的数量,按照每100kg鲜秸秆中含氮0.48kg、磷0.38kg、钾1.67kg折算^[9]为化肥的价值。秸秆产量通过粮食作物产量依据不同农作物的产量谷草比系数来测算,其中谷草比系数参考文献^[19]及中国农村能源行业协会数据。秸秆量计算完后,可根据归还率估算归还量,归还率参照文献^[20],最后秸秆还田的N、P、K折算成磷酸二铵、氯化钾化肥的量,折算成纯氮、磷、钾化肥的比例分别为:132/14、132/31、75/39。根据市场磷酸二铵、氯化钾多年平均价格分别为2600元·t⁻¹和2100元·t⁻¹计算。

(6) 土壤形成与保护价值

固土物质量的计算公式为:

$$Q_{\text{固土}}=\sum S_j(K_{pj}-K_{rj})$$

式中: $Q_{\text{固土}}$ 为土壤保持总量; S_j 为第 j 类农作物面积; K_{pj} 为第 j 类农作物潜在土壤侵蚀模数; K_{rj} 为第 j 类农作物的现实土壤侵蚀模数。

固土价值的计算公式为:

$$V_{\text{固土}}=Q_{\text{固土}}\times P/p$$

式中: $V_{\text{固土}}$ 为固土价值量; p 为土壤容重; P 为挖运土壤所需费用。

本研究土壤保持总量以无作物裸地与有作物农田的土壤侵蚀差来表示。根据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007),北戴河区属于水力侵蚀类型区,根据秦皇岛市水务局监测资料,裸地土壤侵蚀模数取值为37.5t·hm⁻²·a⁻¹,农田土壤侵蚀模数取值为15.0t·hm⁻²·a⁻¹。北戴河区的耕作层厚度约30cm,土壤容重取值1.55t·m⁻³。挖运土壤所需费用取值为21.8元·m⁻³。

保肥价值计算公式:

$$V_{\text{肥}}=Q_{\text{固土}}(NC_1/R_1+PC_1/R_2+KC_2/R_3+MC_3)$$

式中: N 为农田土壤平均含氮量(%); C_1 为磷酸二铵化肥价格,单位:元·t⁻¹; R_1 为磷酸二铵化肥含氮量(%); P 为农田土壤平均含磷量(%); R_2 为磷酸二铵化肥含磷量(%); K 为农田土壤平均含钾量(%); C_2

为氯化钾化肥价格,单位:元·t⁻¹; R_3 为氯化钾化肥含钾量(%); M 为农田土壤有机质含量(%); C_3 为有机质价格,单位:元·t⁻¹。

北戴河区土壤全N、全P、全K和有机质的含量分别为0.023%、0.006%、0.007%和2.89%。保肥中N、P、K折算化肥比例同秸秆还田部分,有机质折算有机肥的比例为100:40,有机肥价格为500元·t⁻¹。

(7) 社会保障功能价值

北戴河区农田不仅提供农产品,而且还对农民起着重要的社会保障作用。目前滞留在农业中的剩余劳动力人数就是其所提供的社会保障人数,利用最低生活保障费用间接测算农田所提供的社会保障价值^[21]。

$$V_{\text{社会保障}}=N\times M\times r$$

式中: $V_{\text{社会保障}}$ 为农田担当的社会保障的价值; N 为保障的人数,据农业部的测算,我国农业生产中隐性失业的比例为46.8%^[22],根据北戴河区各年实际农业从业人数,则可推算出农业担负的社会保障人数; M 为城市最低生活保障标准; r 为农村居民生活消费开支与城市居民生活消费开支的比值。根据秦皇岛市社会保障标准规定,2014年北戴河区最低保障标准为450元。

(8) 休闲旅游价值

农业观光旅游是北戴河区农田生态系统十分突出的特点,本研究采用旅行费用法,根据北戴河区观光农业的门票收入累加测算北戴河区观光农业年游憩总价值。

2 结果与讨论

2.1 北戴河区农田生态系统服务功能价值评估

通过对北戴河区2014年农田生态系统服务功能实物量和价值量的定量测算,得到北戴河区农田生态系统服务功能总价值为19742.35×10⁴元,其中直接服务价值为9441×10⁴元,间接服务价值为10301.35×10⁴元(见表2)。测算表明,间接价值是直接价值1.09倍,北戴河区农田生态系统除为人类直接提供农产品价值外,农田所具有的调节、支持、文化服务间接功能也具有较大的经济价值,其间接价值贡献大于农田生态系统提供产品的价值,这说明农田生态系统不仅具有高效的、直接的生产功能,而且具有极其重要的生态环境支撑功能。在北戴河区农业结构调整过程中,要对其生态环境服务功能给予足够的重视。

2.2 北戴河区农田生态系统各服务功能价值对比分析与讨论

北戴河区农田生态系统各项服务功能价值排序

表 2 2014 年北戴河区农田生态系统各服务功能价值
Table 2 Value of farmland ecosystem services in Beidaihe District in 2014

评价项目	评价指标	功能量指标	实物量	服务功能价值(10 ⁴ 元)		
直接价值	供给价值	农产品	农田作物产量(t)	30 521		
		花卉产品	花卉产量(万株)	-	2 114	
		小计		9 441		
间接价值	调节价值	固碳释氧	固定 CO ₂ (t)	23 504.4	2 467.96	
			释放氧气(t)	17 410.7	1 741.07	
		净化空气	吸收 SO ₂ (t)	44.1	11.16	
			吸收 NO _x (t)	8.9	2.26	
			滞尘(t)	0.7	0.011	
			涵养水源	调节水量(m ³)	518 941.7	394.91
		废弃物处理功能	农村人口废物量(万 t)	1.28	137.77	
			畜禽废物量(万 t)	2.99	323.04	
		支持功能价值	秸秆还田价值	N、P、K 还田量(t)	105.0	94.31
				土壤形成与保护	固土量(t)	24 232.5
	保肥量(N、P、K、有机质)(t)		8.7	103.50		
文化服务功能价值	社会保障价值	保障的人数(人)	10 904	261		
	休闲旅游价值	旅游人数(万人)	142.56	4 730.28		
		小计		10 301.35		
		合计		19 742.35		

依次为农田生产供给价值>休闲旅游价值>固碳释氧价值>废弃物处理价值>涵养水源价值>社会保障价值>土壤形成与保护价值>秸秆还田价值>净化大气价值(表 3)。农田生产供给价值占农田生态系统服务功能总价值的 47.82%，在农田生态系统服务功能总价值中占有重要地位，这一方面跟北戴河区农业种植结构的调整密切相关，现代农业快速发展，高科技的投入，产量逐年提高；另一方面随着生活水平的提高，巨大的绿化、美化对花卉的市场需求越来越大，依托北戴河区自身优势，花卉经济蓬勃发展，花卉产量增加，这导致农田供给功能呈现增强趋势。占比中排第 2 位的是农业休闲旅游价值，占 23.96%，作为世界著名旅游胜地，北戴河区积极引导农民发展与现代旅游业紧密相关的设施蔬菜、果品及花卉、苗木种植业，生态休闲农业发展迅猛，稳步提升了休闲农业建设水平，休闲农业园区得到提档升级，尤其是做大做强以北戴河集发农业观光园为主体的农业旅游产业，使得北戴河区农业观光游憩价值占比较高。随着农田主要作物产量的提高，经统计由 2010 年 26 797 t 提高到 2014 年的 30 521 t，进而测算净初级生产力也由 2010 年 14 387.66 t 增高到 2014 年的 14 508.89 t，农田作物固碳释氧能力增强，其价值占比 2014 年达到 21.32%。其他服务功能价值占比较小。因此，北戴河区

表 3 2014 年北戴河区农田生态系统各服务功能价值比例(%)
Table 3 Ratio of value of farmland ecosystem services in Beidaihe District in 2014(%)

服务功能指标	各服务功能价值占总价值比例
农田生产供给	47.82
固碳释氧	21.32
净化大气	0.07
涵养水源	2.00
废弃物处理	2.33
秸秆还田	0.48
土壤形成与保护	0.70
社会保障	1.32
休闲旅游	23.96

在加快现代农业园区建设，大力开发生态休闲农业，全力推进农作物秸秆综合利用，积极发展生态循环农业过程中，应合理调整农田利用方式，在充分发挥农田直接生态系统服务功能价值的同时，应注重提高调节功能、支持功能、文化服务功能价值，使农田生态系统服务功能价值达到最优化。

本研究采用碳税法、替代工程法、市场价值法、旅行费用法等生态经济学方法，定量测算北戴河区农田生态系统服务功能价值。由于受数据来源、测算方法和研究手段的限制，部分指标难以获取，本文通过借

鉴前人成果,间接获取相关资料,个别功能价值比实际价值有偏差,需要在以后的研究中继续修正。另外本研究农田生态系统服务功能测算中并没有考虑由于不合理的农业活动所带来的负面影响,今后再作深入分析。但可以肯定,由于北戴河区的特殊性,其农业生产受到严格管控,化肥、农药使用较少,主要使用有机肥,其畜禽规模也严格限制,农田生态系统的正面功能要远大于其负面功能。

3 结论与建议

北戴河区农田生态系统服务功能总价值是由直接价值和间接价值组成,农田生态系统各服务功能价值占比存在差异,其中农田生产供给价值最大,其次为农业休闲旅游价值、固碳释氧价值,这三者价值占比超过90%,其他服务功能价值占比较小。从测算结果来看,间接价值是直接价值的1.09倍,间接价值贡献大于农田生态系统提供产品的价值,说明农田生态系统具有巨大的生态经济效益。

在农田生态系统的管理中,要注重间接价值开发和保护。具体利用与保护建议如下:(1)加快北戴河区现代农业园区建设,以带动农业供给侧结构性改革,推动区级现代农业园区向一二三产融合、产加销游一体、产业链条完整的方向迈进,加快现代农业发展;(2)大力开发生态休闲农业,提升生态旅游服务功能可以凸显北戴河区生态农业、生态旅游、生态文化、生态家园和生态科技的发展特色;(3)全力推进农作物秸秆还田利用,根据陈春兰等^[23]对秸秆还田模式的研究,秸秆直接还田会增加农田温室气体排放能值,而高量秸秆源生物质炭还田在不减少生物量能值产出的同时,减少了温室气体排放能值,具有更好的可持续发展水平。建议北戴河区积极引入推广秸秆源生物质炭还田技术,以兼顾经济和生态效益的措施来利用秸秆资源;(4)积极发展生态循环农业,保护农业生态资源和农业生物多样性,定期开展农业生态服务价值评估,建立农业生态系统的绿色价值评估体系,并建立和完善相关的政策制度。

北戴河区自然资源丰富,环境条件优越,是驰名中外的旅游休闲和度假胜地,肩负着生态文明建设和生态环境保护的艰巨任务。通过对北戴河区农田生态系统服务功能及其价值评估,界定不同的服务功能,量化其服务价值,为北戴河区开发利用农田资源提供决策基础,为有效保护和永续利用农田资源提供科学支撑。

参考文献:

- [1] Holdren J, Ehrlich P R. Human population and global environment[J]. *American Scientist*, 1974, 62(5):282-297.
- [2] Cairns Jr John. Protecting the delivery of ecosystem services[J]. *Ecosystem Health*, 1997, 3(3):185-194.
- [3] 欧阳志云,郑华.生态安全战略[M].海口:海南出版社,2014:286-287.
OUYANG Zhi-yun, ZHENG Hua. Ecological security strategy [M]. Haikou: Hainan Press, 2014:286-287. (in Chinese)
- [4] 赵士洞,张永民.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[J].地球科学进展,2006,21(6):895-902.
ZHAO Shi-dong, ZHANG Yong-min. Ecosystems and human well-being: The achievements, contributions and prospects of the millennium ecosystem assessment[J]. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(6):895-902. (in Chinese)
- [5] 宋戈,鄂施璇,徐珊,等.巴彦县耕地生态系统服务功能价值测算研究[J].东北农业大学学报,2013,44(5):126-131.
SONG Ge, E Shi-xuan, XU Shan, et al. Study on measurement of cultivated land ecosystem services evaluation in Bayan County[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2013, 44(5):126-131. (in Chinese)
- [6] 蔡运龙,霍勤雅.中国耕地价值重建方法与案例研究[J].地理学报,2006,61(10):1084-1092.
CAI Yun-long, HUO Qin-ya. Reevaluating cultivated land in China: Method and case studies[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(10):1084-1092. (in Chinese)
- [7] 张东,李晓赛,陈亚恒.怀来县农田生态系统服务价值分类评估[J].水土保持研究,2016,23(1):234-239.
ZHANG Dong, LI Xiao-sai, CHEN Ya-heng. Classification evaluation on agriculture ecosystem service value of Huailai County[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(1):234-239. (in Chinese)
- [8] 白杨,欧阳志云,郑华,等.海河流域农田生态系统环境损益分析[J].应用生态学报,2010,21(11):2938-2945.
BAI Yang, OUYANG Zhi-yun, ZHENG Hua, et al. Environmental benefit-loss analysis of agro-ecosystem in Haihe River basin, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(11):2938-2945. (in Chinese)
- [9] 李江波,苏忆楠,饶秀勤.基于高光谱成像及神经网络技术检测玉米含水率[J].包装与食品机械,2010,28(6):1-4.
LI Jiang-bo, SU Yi-nan, RAO Xiu-qin. Detection of water content in corn based on hyperspectral imaging and neural network[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2010, 28(6):1-4. (in Chinese)
- [10] 李佳.秦皇岛市陆地植被碳汇研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2011.
LI Jia. Carbon sink of terrestrial vegetation in Qinhuangdao of China [D]. Yangling: North West Agriculture and Forestry University, 2011. (in Chinese)
- [11] 李克让.土地利用变化和温室气体净排放与陆地生态系统碳循环[M].北京:气象出版社,2000:250.
LI Ke-rang. Land use change, net emission of greenhouse gases and the carbon cycle in terrestrial ecosystems[M]. Beijing: China Meteorological

- cal Press, 2000; 250. (in Chinese)
- [12] 马新辉, 孙根年, 任志远. 西安市植被净化大气物质量的测定及其价值评价[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(4): 83-86.
MA Xin-hui, SUN Gen-nian, REN Zhi-yuan. The values of vegetation purified air and its measure in Xin'an City[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2002, 16(4): 83-86. (in Chinese)
- [13] 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.
YANG Zhi-xin, ZHENG Da-wei, WEN Hua. Studies on service value evaluation of agricultural ecosystem in Beijing region[J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(4): 564-571. (in Chinese)
- [14] 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估[J]. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.
ZHAO Tong-qian, OUYANG Zhi-yun, ZHENG Hua, et al. Forest ecosystem services and their valuation in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(4): 480-491. (in Chinese)
- [15] 李士美, 谢高地. 典型农田生态系统水源涵养服务流量过程研究[J]. 北方园艺, 2014(3): 193-196.
LI Shi-mei, XIE Gao-di. Study on flow process of water conservation service for typical farmland ecosystem[J]. *Northern Horticulture*, 2014(3): 193-196. (in Chinese)
- [16] 刘红艳. 河北省畜禽粪便负荷与警报分级[J]. 农业环境与发展, 2007(1): 75-77.
LIU Hong-yan. The load and alarm grading of animal manure in Hebei Province[J]. *Agro-Environment & Development*, 2007(1): 75-77. (in Chinese)
- [17] 王方浩, 马文奇, 窦争霞, 等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 614-617.
WANG Fang-hao, MA Wen-qi, DOU Zheng-xia, et al. The estimation of the production amount of animal manure and its environmental effect in China[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(5): 614-617. (in Chinese)
- [18] 张无敌, 刘士清, 周 斌, 等. 我国农村有机废弃物资源及沼气潜力[J]. 自然资源, 1997(1): 67-80.
ZHANG Wu-di, LIU Shi-qing, ZHOU Bin, et al. Organic waste resources and their biogas potentiality in rural areas of China[J]. *Natural Resources*, 1997(1): 67-80. (in Chinese)
- [19] 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
BI Yu-yun. Study on straw resources evaluation and utilization in China[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010. (in Chinese)
- [20] Lu F, Wang X K, Han B, et al. Soil carbon sequestrations by nitrogen fertilizer application, straw return and no-tillage in China's cropland[J]. *Global Change Biology*, 2009, 15: 281-305.
- [21] 元 媛, 刘金铜, 靳占忠. 栾城县农田生态系统服务功能正负效应综合评价[J]. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2809-2814.
YUAN Yuan, LIU Jin-tong, JIN Zhan-zhong. An integrated assessment of positive and negative effects of high-yielding cropland ecosystem services in Luancheng County, Hebei Province of North China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(12): 2809-2814. (in Chinese)
- [22] 孙新章, 周海林, 谢高地. 中国农田生态系统的服务功能及其经济价值[J]. 中国人口·资源与环境, 2007, 17(4): 55-60.
SUN Xin-zhang, ZHOU Hai-lin, XIE Gao-di. Ecological services and their values of Chinese agroecosystem[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2007, 17(4): 55-60. (in Chinese)
- [23] 陈春兰, 侯海军, 秦红灵, 等. 南方双季稻区生物质炭还田模式生态效益评价[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(4): 80-91.
CHEN Chun-lan, HOU Hai-jun, QIN Hong-ling, et al. Energy evaluation of a double rice system with biochar-returning in South China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(4): 80-91. (in Chinese)