

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 莹,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201106210902

叶延琼, 章家恩, 秦钟, 李逸勉, 李韵. 佛山市农田生态系统的生态损益. 生态学报, 2012, 32(14): 4593-4604.

Ye Y Q, Zhang J E, Qin Z, Li Y M, Li Y. Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4593-4604.

佛山市农田生态系统的生态损益

叶延琼^{1,2}, 章家恩^{1,2,*}, 秦 钟^{1,2}, 李逸勉^{1,2}, 李 韵^{1,2}

(1. 农业部华南热带农业环境重点实验室, 广州 510642; 2. 广东省高等学校农业生态与农村环境重点实验室, 广州 510642)

摘要:农田生态系统是一类半自然半人工生态系统,既具有产品提供、生态缓冲与调节等正效益,也具有水资源消耗、温室气体排放、环境污染等负效益。根据生态系统服务的内涵,运用环境经济学的相关理论,建立了佛山市农田生态系统生态损益评价指标体系,并利用市场价值法、影子工程法、机会成本法、替代市场法等,定量评价了佛山市 2000—2009 年间农田生态系统服务的生态损益。结果表明,佛山市农田生态系统的生态价值由 2000 年的 58.77×10^8 元上升到 2009 年 73.09×10^8 元,10 年间上升了 14.32×10^8 元。根据研究期间农田生态系统的生态价值分析,产品提供功能受人类技术和管理的影响较大,具有较高的提升潜力,是佛山市农田生态系统最主要的服务功能之一。产品提供价值占正效益价值比例由 2000 年的 30.47% 上升到 2009 年的 61.15%,占净效益价值的比例则从 2000 年的 36.86% 上升到 2009 年的 69.33%。可见,除产品提供价值外,佛山市农田生态系统的其他服务功能在逐渐削弱,需引起各部门的高度重视。全市正效益远大于其负效益,且正效益与负效益的差距在逐年扩大,正负效益价值之比由 2000 年的 5.77:1 上升为 2009 年的 8.48:1。水资源消耗以及温室气体排放是佛山市农田生态系统最突出的生态问题,二者所产生的环境成本在 2000 年占总环境成本的 82.79%,在 2009 年仍占 78.40%。因此,有必要采取有效措施减少农田生产的灌溉用水或改变农田耕作制度以减少其负面影响。佛山市农田生态系统的生态损益研究表明,农田生态系统具有多种正、负生态效益,应该重视对农田生态系统各项生态效益价值的评估,从而实现快速城市化地区自然、经济、社会生态系统的持续发展。

关键词:农田生态系统;生态损益;价值评估;佛山市

Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China

YE Yanqiong^{1,2}, ZHANG Jiaen^{1,2,*}, QIN Zhong^{1,2}, LI Yimian^{1,2}, LI Yun^{1,2}

1 Key Laboratory of Agro-Environment in the Tropics, Ministry of Agriculture P. R. China, Guangzhou 510642, China

2 Key Laboratory of Agro-ecology and Rural Environment of Guangdong Regular Higher Education Institutions, Guangzhou, 510642, China

Abstract: Evaluation of ecosystem service has been one of the hottest issues in the field of ecology and ecological economics since the publication of Costanza's famous article in Nature in 1997. Agricultural ecosystem (farmland and orchard) is a semi-natural and semi-manipulated ecosystem, which not only provides people with grains, vegetables, and fiber, but also plays an important role in ecological buffers, regulation for gas regulation, soil and water conservation, and environmental decontamination. However, agricultural ecosystem also has negative effects on our environment, such as excessive water resource consumption, greenhouse gas emission, and environmental pollution caused by fertilizer and pesticide application. Agricultural ecosystem service has profound effects on the sustainable development of human society, and its study is one of the research frontiers in ecology. However, there are only a few research reports on the agricultural ecosystem services in China, especially in the rapid urbanized areas.

基金项目:广东高校优秀青年创新人才培养计划项目(LYM09035);国家科技支撑计划项目(2009BAD6B007);广东省现代农业产业技术体系建设专项(粤农[2009]380号);华南农业大学新学科扶持基金项目(2008X022)

收稿日期:2011-06-21; 修订日期:2012-02-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jeanzh@scau.edu.cn

This paper, based on the connotation of ecosystem service, developed an evaluation index system for assessing the agricultural ecosystem services value in Foshan City in Guangdong Province and quantified the positive benefits and negative benefits of agricultural ecosystem services in Foshan City during the period of 2000—2009, which locates in the Pearl River Delta (PRD), one of the most powerful economic areas in China and covers 5 districts with Chancheng, Nanhai, Shunde, Sanshui and Gaoming. The results showed that the total service value of agricultural ecosystem in Foshan increased from $\text{¥}5.88 \times 10^9$ in 2000 to $\text{¥}7.31 \times 10^9$ in 2009 and a net increase of $\text{¥}1.43 \times 10^9$ was achieved during this decade. The products provision service, which was one of the most important services of agricultural ecosystem in Foshan, was significantly affected by technology and management and there is a potential for its further improvement in this region. The proportion of its products provision value to the positive benefits increased from 30.47% in 2000 to 61.15% in 2009 while its proportion to the total value increased from 36.86% in 2000 to 69.33% in 2009, indicating that the other services were being gradually weakened except for the products provision. For the period of study, the positive benefits of agricultural ecosystem were greater than the negative benefits while the gap between them was widening each year, and the ratio of positive benefits to negative benefits increased from 5.77:1 in 2000 to 8.48:1 in 2009. Water resource consumption and greenhouse gas emission were the most serious problems of agricultural ecosystem services in Foshan City and the combined proportion of these two components in the total environmental costs value was 82.79% in 2000 and 78.40% in 2009, indicating an urgency to take effective measures to decrease the irrigation water consumption and to change the farming system in the region in order to minimize those adverse impacts on the agricultural environment. The current study demonstrated that agricultural ecosystem services have both positive and negative benefits apart from providing agricultural products. To attain sustainable development of the nature, economy and society ecosystem in fast urbanized areas, evaluation of agricultural ecosystem service should be imperative.

Key Words: agricultural ecosystem; ecological benefit-loss; value evaluation; Foshan City

农田生态系统是一类半自然半人工生态系统,是由农田、环境及人工控制组成的复合生态系统,具有高度的目的性、开放性、高效性、易变性、脆弱性与依赖性等特点^[1]。农田生态系统既能提供粮食、蔬菜、水果等农副产品,也承担着生态屏障和社会保障的功能,同时还可能产生环境污染、物种丧失等负面影响^[2]。目前,国外学者对农田生态系统的评价研究主要集中在土地利用变化对农田功能的影响、农田生态系统功能和管理等方面^[3-4]。国内学者也是在近年才开始关注农田生态系统服务的研究^[3-6],且对其价值的评估尚无公认的标准与方法。但近年来,随着经济的快速发展和人口数量的急剧增加,城市周边的大量耕地被建设用地(城市、工业区等)所占用,由此带来的效益也显而易见。而在用地转换过程中,农田生态系统的许多非市场化价值因此而消失,且因消失的价值难以量化而未得到社会各界的关注。此外,长期以来,人们过分注重农田生态系统的产品提供效益,却忽略了因不断追求产量而带来的水资源消耗、化肥流失、农药污染等负生态效益。长此以往,农田生态系统的产品提供也将面临威胁。因此,为合理判断农田生态系统的重要性,学者们开始关注农田生态系统的生态损益价值评价,并逐渐成为当前研究的新热点^[2,3-5]。

佛山市是中国改革开放的前沿城市。20 世纪 90 年代中期以来,全市经济得到快速发展,城市化水平不断提高,但耕地面积却逐年减少^[7-8]。本文在借鉴自然生态系统价值评估方法的基础上,对佛山市农田生态系统的生态损益价值进行了评估,以为为促进全市农业可持续发展提供决策依据。

1 研究区概况

佛山市地处珠江三角洲腹地($22^{\circ}38'—23^{\circ}34' \text{ N}$, $112^{\circ}22'—113^{\circ}23' \text{ E}$),东倚广州,南连珠海,西接肇庆,北通清远,毗邻港澳,地理条件十分优越。位于北回归线以南,属亚热带季风性湿润气候,年均气温 23.2°C ,年均降雨量 1600—2000 mm,自古就是富饶的鱼米之乡。全市总面积 3848.49 km^2 ,现辖禅城区、南海区、顺德区、三水区、高明区 5 个区^[8]。佛山市曾是珠三角桑基鱼塘生产的典型代表,农业开发历史悠久,“广佛同城

化”的提出以及“广佛肇经济圈”的形成,使其农田生态系统成为典型的城郊农田生态系统。自 2000 年以来,其年末常住人口从 332.46 万人增加到 2009 年的 599.68 万人,常用耕地面积则从 2000 年的 842.80 km² 下降到 2009 年的 420.82 km²,10a 间耕地面积减少了一半^[9]。同时,其农业生产水平、土地产出率以及产品商品率较高,农田作物主要以稻谷、旱粮、薯类、花生、蔬菜、水果等为主,但相关的农业生态环境问题却较严重。因此,对该区域农田生态系统的生态损益研究具有较强代表性。

2 研究方法

2.1 评价指标体系构建

本文在参考相关研究^[3-4,9-10]的基础上,结合佛山市农田生态系统的实际,构建了由产品提供、固碳释氧、净化环境、水源涵养、土壤肥力保持、营养物质循环、废弃物净化、文化与娱乐八大农田生态系统服务的正效益和水资源消耗、温室气体排放、化肥流失、农药污染 4 大负效益组成的生态损益评价指标体系。

2.2 评价方法

2.2.1 产品提供功能

农田生态系统的生产经营包括粮食作物(稻谷、旱粮、大豆)、经济作物(花生、糖蔗)、蔬菜、以及各种果园等,将为人类提供丰富的农产品。本文以农业产值(可比价)表示佛山市农田生态系统在各年度给人类提供的农产品价值。

2.2.2 固碳释氧功能

参照杨志新等^[4]的研究,利用佛山市农田生态系统中各作物的经济产量、经济系数等相关资料,折算作物年净生物量,其中果树按果树生产力及果数株数计算年净生长量。佛山市农田生态系统各类作物固碳制氧的计算公式为:

$$\text{作物类} \quad V_1 = QEP, Q = B(1-R)/f \quad (1)$$

$$\text{果园类} \quad V_2 = GSPE \quad (2)$$

式中, V_1, V_2 为固碳或制氧价值(元/a); Q 为各种作物年净生物量(t/a); E 为固碳或制氧系数; P 为固碳或制氧成本(元/a); B 为作物经济产量(t); R 为作物含水率; f 为经济系数; G 为果树年净初级生产力(kg/hm²); S 为果园面积(hm²)。

2.2.3 净化环境功能

Yoshida K^[11]的研究表明,水稻能吸收大气中的 SO₂、NO_x,削减 HF 和粉尘等有害气体。可见,农业尤其是种植业,具有净化环境的显著效应。本文主要采用替代法来计算农田生态系统净化 SO₂、NO_x、削减 HF 和粉尘的价值。计算公式为:

$$V_3 = \sum_{i=1}^n C_i A P_i \quad (3)$$

式中, V_3 为净化环境价值(元/a); C_i 为单位面积吸收 i 气体的量(kg·hm⁻²·a⁻¹); A 为农田面积(hm²); P_i 为削减 i 气体的单价(元/kg)。

2.2.4 水源涵养功能

农田生态系统水源涵养主要表现在农作物(水稻、蔬菜等)在生长过程中需要大量水分,从而减慢了水分流失的速度,使地面不能产生大面积的径流,且在雨季又可有效缓解涝害,其他时期则可储蓄巨大的水源,其价值不容忽视^[12]。因此,本研究用降水总量与径流总量之差表示区域生态系统的水源涵养量,以水源涵养量乘以水价得出水源涵养价值。计算公式为:

$$V_4 = (R_{\text{fall}} - R_{\text{off}}) A P \quad (4)$$

式中, V_4 为水源涵养价值(元/a); R_{fall} 为年降水总量(m³); R_{off} 为年径流总量(m³); A 为耕地面积占总面积的百分比(%); P 为水价(元/m³),水价以全国水库建设投资测算的每建设 1 m³ 库容投入成本费为 0.67 元(1990 年不变价)计算^[13]。

2.2.5 土壤肥力保持功能

本文采用土壤总 N、有效 P、有效 K 持留法对农田生态系统土壤保持的有机质进行量化,从而评价土壤肥力保持的价值。计算公式为:

$$V_5 = \sum_{i=1}^n C_i H A_i P_i \quad (5)$$

式中, V_5 为土壤肥力保持价值 (元/a); n 为农田生态系统组分; $i=1, 2, 3$, 分别表示总 N、有效 P、有效 K; C_i 分别为各组分总 N、有效 P、有效 K 的含量 (%); H 为单位面积的土壤重量 (kg/hm^2); A_i 为各组分面积 (hm^2); P_i 为第 i 类养分的市场价格 (元/kg)。

2.2.6 营养物质循环功能

杨志新等^[4]认为:由于农田生态系统的凋落物量较小,从生物库方面考虑其养分持留能动态地表示农田系统维持营养物质循环的功能。因此,本文利用佛山市各类常见作物的净初级生产力,分析其所需营养元素 N、P、K 的含量,估算各类型作物 N、P、K 的累积量,同时考虑作物收获指数(未收获部分才能体现其循环功能),在此评价农田生态系统维持营养物质循环的价值。计算公式为:

$$V_6 = \sum C_i P_i (1 - r_i) \quad (6)$$

式中, V_6 为营养物质循环价值 (元/a); C_i 分别代表各类型作物 N、P、K 养分累积量 (kg); P_i 为氮、磷、钾肥的市场价格 (元/kg); r_i 为作物收获指数

2.2.7 废弃物净化功能

本文所指废弃物主要是指牲畜粪便(大牲畜牛和小牲畜猪),不包括禽类粪便。由于中国传统农业的无废弃物生产模式和农户分散经营的土地利用方式,使中国农田生态系统担负了重要的环境净化功能^[3]。畜禽粪便作为有机肥直接进入农田,既保持了农田的养分平衡,也减少了这部分废弃物处理的成本。因此,农田生态系统消纳废弃物功能的价值计算公式为:

$$V_7 = \sum_{i=1}^n W_i r_i P_i \quad (7)$$

式中, V_7 为消纳废弃物总价值 (元/a); P_i 为人工降解废弃物所需价格 (元/kg); i 为牲畜类型; W_i 为不同类型的牲畜数量; r_i 为不同类型牲畜个体年粪便排放量 (kg)。

2.2.8 文化与娱乐功能

近年来,城郊休闲农业发展迅速。作为大城市郊区的农田生态系统,研究区的文化与娱乐功能不可忽视,但因目前研究区有关农业观光休闲旅游的收入未单独统计,因此其文化娱乐功能价值仍采用谢高地等^[14]的中国不同陆地生态系统单位面积生态服务当量值进行计算。

$$V_8 = A \times P \quad (8)$$

式中, V_8 为文化娱乐价值 (元/a); A 为农田总面积 (hm^2); P 为单位面积的文化娱乐价值 (元/ hm^2)。

2.2.9 水资源消耗功能

研究区水资源消耗主要体现在为获得高产,农田需要进行持续灌溉方面。因此,根据历年农田面积及其所需灌溉水量,即可计算出农田水资源消耗总量及其价值。

$$V_9 = A \times W \times P \quad (9)$$

式中, V_9 为农田水资源消耗价值 (元/a); A 为农田总面积 (hm^2); W 为单位农田的灌溉水量 (m^3); P 为水价 (元/ m^3), 即 0.67 元(1990 年不变价)^[13]。

2.2.10 温室气体排放功能

CH_4 和 N_2O 是华南地区水稻田、菜地和旱地排放温室气体的主要成分。为计算温室气体排放价值,采用增温潜势将相同质量的 N_2O 气体换算为等温室效应的 CO_2 , 而后按 C 交易成本来计算温室气体的排放成本,计算公式为:

$$V_{10} = P \times W_i \times WP_i \quad (10)$$

式中, V_{10} 为温室气体排放成本(元/a); P 为碳交易成本(元/t); W_i 为第 i 类温室气体的排放量(t); WP_i 为第 i 类温室气体的增温潜势。

2.2.11 化肥流失

农田化肥的投入一定程度上能保持土壤肥力,维持农业产量。但施用化肥在增加粮食产量的同时,也带来了如水体富营养化等环境问题。因计算去除进入水体等的养分价值较难,本文仅考虑化肥流失的成本,即:

$$V_{11} = M \times (1-r) \times P \quad (11)$$

式中, V_{11} 为化肥流失成本(元/a); M 是化肥用量(kg); r 为化肥利用率(%); P 为化肥的当前价格(元/kg)。

2.2.12 农药污染

农药用量在农业生产中的比重逐年上升,造成直接经济损失。此外,农药在土壤、粮食中残留会降低粮食产品的品质,部分粮田因滥用农药使粮食受农药污染导致产量损失。因此,农药污染成本应由农药损失和农药污染造成粮食减产损失两部分构成。即

$$V_{12} = V_c + V_d \quad (12)$$

$$V_c = U_c \times (1-r_c) \times P_c \quad (13)$$

$$V_d = A \times S \times r_d \times P_d \quad (14)$$

式中, V_{12} 为施用农药的环境成本(元/a); V_c 为农药流失成本(元/a); V_d 为农药污染造成的粮食减产损失(元/a); U_c 为农药使用量(kg); r_c 为农药利用率(%); P_c 为农药的当前价值(元/kg); S 为各类作物单产(kg/hm²); A 为各类作物种植面积(hm²); r_d 为农药污染造成的粮食减产率(%); P_d 为各作物的当前价值(元/kg)。

3 结果与分析

3.1 产品提供价值

研究表明,佛山市农田生态系统的产品提供价值呈逐年上升趋势,由2000年的21.66×10⁸元增加到2009年的50.67×10⁸元,10a间增长近2.5倍。表明农产品提供功能受农业生产技术和管理水平的影响较大,具有较高的提升潜力。

3.2 固碳释氧价值

由于新鲜作物含水率一般超过80%,在充分考虑研究区所在地的降水特点并向数位不同作物领域的专家咨询后,本研究确定作物含水率(R)值为88%。经济系数因作物种类、品种、自然条件和栽培措施不同而不同,研究区水稻、旱粮、薯类、大豆、糖蔗、花生、蔬菜的经济系数均取平均值,分别为0.47、0.35、0.70、0.18、0.60、0.50、1^[15]。同时,根据光合作用方程式,作物固碳系数为1.62,制氧系数为1.2。本文采用造林成本法的平均值642.70元/t作为固碳成本、采用造林成本法和工业制氧成本平均值376元/t作为制氧成本^[13]。

从表1、表2可知,佛山市农田生态系统固定CO₂和释放O₂的价值在近10a内明显下降,2009年比2000年分别减少152.75×10⁶元和66.11×10⁶元,且减少最大的依次是稻谷、蔬菜和水果,而旱粮、薯类及大豆固定CO₂和释放O₂的价值则略有增加。

3.3 净化环境价值

由于佛山市农田净化大气的具体数据难于获取,本文采用马新辉等人^[16]研究中的关于农田单位面积净化各种污染物的具体参数,取其水浇地和旱地对污染物净化的均值作为本研究的计算依据,稻田吸收各种污染气体量分别是:SO₂为45 kg·hm⁻²·a⁻¹, HF为0.57 kg·hm⁻²·a⁻¹, NO_x为33 kg·hm⁻²·a⁻¹, 滞尘为0.92 kg·hm⁻²·a⁻¹。其他农田分别是SO₂为45 kg·hm⁻²·a⁻¹, HF为0.38 kg·hm⁻²·a⁻¹, NO_x为33.5 kg·hm⁻²·a⁻¹, 滞尘为0.95 kg·hm⁻²·a⁻¹。并采用佛山市政府网上公布的废气收费标准,即净化SO₂的单位成本为600元/t、净化NO_x、削减HF以及滞尘成本为40元/t^[17],根据公式(3)进行计算。

表 1 佛山市农田生态系统固定 CO₂ 的价值/(10⁶ 元)

Table 1 The value of carbon fixation of agricultural ecosystem in Foshan City

作物 Crop	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
稻谷 Rice	96.31	93.84	55.00	32.96	28.81	28.50	21.79	21.70	17.69	18.42
旱粮 Multigrain	4.00	3.46	3.82	3.36	6.66	4.64	2.07	2.45	4.81	5.13
薯类 Potatoes	2.21	2.75	1.71	1.37	2.96	1.80	0.87	1.20	2.59	2.34
大豆 Soybean	0.40	0.42	0.31	0.26	0.44	0.13	0.07	0.06	0.33	0.52
糖蔗 Sugarcane	2.29	2.17	2.00	1.75	0.58	0.43	1.08	1.01	0.08	0.02
花生 Peanut	2.47	2.32	1.77	1.52	1.42	1.51	0.97	0.90	1.23	1.29
蔬菜 Vegetable	218.42	222.74	238.74	251.39	244.29	248.71	189.59	159.02	165.94	176.33
水果 Fruit	90.69	64.24	62.16	60.39	61.43	62.49	66.99	67.16	64.11	59.98
合计 Total	416.79	391.95	365.52	353.01	346.59	348.22	283.43	253.51	256.78	264.04

表 2 佛山市农田生态系统释放 O₂ 的价值/(10⁶ 元)

Table 2 The value of oxygen release of agricultural ecosystem in Foshan City

作物 Crop	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
稻谷 Rice	41.74	40.67	23.83	14.28	12.48	12.35	9.44	9.40	7.67	7.98
旱粮 Multigrain	1.73	1.50	1.66	1.45	2.89	2.01	0.90	1.06	2.08	2.23
薯类 Potatoes	0.96	1.19	0.74	0.60	1.28	0.78	0.38	0.52	1.12	1.01
大豆 Soybean	0.17	0.18	0.14	0.11	0.19	0.06	0.03	0.03	0.14	0.23
糖蔗 Sugarcane	0.99	0.94	0.87	0.76	0.25	0.18	0.47	0.44	0.03	0.01
花生 Peanut	0.89	0.84	0.64	0.55	0.51	0.55	0.35	0.33	0.45	0.47
蔬菜 Vegetable	94.65	96.53	103.46	108.94	105.87	107.78	82.16	68.91	71.91	76.42
水果 Fruit	39.30	27.84	26.94	26.17	26.62	27.08	29.03	29.10	27.78	25.99
合计 Total	180.44	169.69	158.27	152.87	150.10	150.79	122.76	109.80	111.19	114.33

由表 3 可知,全市农田生态系统净化环境的总价值呈现下降趋势,2009 年同比 2000 年下降 1.21×10^6 元,且净化环境价值的下降与稻田面积的大幅度减少直接相关。

表 3 佛山市农田生态系统净化环境的价值/(10⁶ 元)

Table 3 The value of air purification function of agricultural ecosystem in Foshan City

项目 Items	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
稻田净化气体价值 Value of air purification of paddy field	1.79	1.76	1.08	0.64	0.56	0.55	0.56	0.48	0.39	0.40
旱地净化气体价值 Value of air purification of dry land	0.62	0.62	1.20	1.53	1.10	1.04	0.72	0.77	0.80	0.80
合计 Total	2.41	2.38	2.28	2.18	1.66	1.60	1.28	1.25	1.20	1.20

3.4 水源涵养价值

由佛山市历年水资源公报^[18]获得历年降水总量及径流总量,根据公式(4)即可计算得出其农田生态系统的水源涵养价值。由表 4 可知,因耕地面积的逐年下降以及丰、枯水年的交替,佛山市农田生态系统水源涵养价值也呈现出不规则的变化趋势。

表 4 佛山市农田生态系统的水源涵养价值/(10⁶ 元)

Table 4 The value of water conservation of agricultural ecosystem in Foshan City										
项目 Items	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
降水量 Rainfall (10 ⁸ m ³)	57.34	81.87	66.2	51.91	43.92	56.72	37.89	49.39	75.24	55.17
径流量 Runoff (10 ⁸ m ³)	31.38	44.45	35.60	25.61	21.81	28.01	75.16	24.43	37.21	27.12
水源涵养量/(10 ⁸ m ³) Water conservation	5.87	5.98	6.41	6.75	6.56	6.68	5.09	4.27	4.46	4.73
水源涵养价值/(10 ⁸ 元) Value of water conservation	3.81	5.43	4.25	3.49	2.23	2.79	2.91	1.90	2.78	2.06

3.5 土壤肥力保持价值

根据王勇^[19]的研究,佛山市农田生态系统在土壤肥力保持方面可划分为稻田、菜地和旱地三大不同组分,且稻田 N、P、K 含量分别为 0.19%、0.008%、0.023%;菜地分别为 0.15%、0.009%、0.003%;旱地分别为 0.10%、0.006%、0.018%;单位面积的土壤重量依据《三水县农业自然资源调查和区划报告(1982 年)》,按照 0.25 m 深土层,容重为 1.15 t/m³ 计算。各养分 N、P、K 主要通过施用尿素(含氮量 46%)、过磷酸钙(含 P 量 15%)、氯化钾(含 K 量 55%)获得^[20],化肥的市场价格则采用 2009 年 6 月广东省国产的尿素 1950 元/t、过磷酸钙 630 元/t、氯化钾 4180 元/t^[21]。表 5 表明,研究区土壤肥力保持的价值在 10 年间基本呈逐年减少趋势,其中稻田保持土壤肥力的能力降低明显,占土壤保持总减少量的 98.18%,其主要原因不是稻田土壤有机质的下降,而是稻田面积的大量减少引起的。

表 5 佛山市农田生态系统的土壤保持量及其价值

Table 5 The value of soil conservation of agricultural ecosystem in Foshan City											
生态系统组分 Component of ecosystem	营养元素 Nutrient	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
稻田含量/(10 ⁴ t) Content in paddy field	N	34.25	33.54	20.70	12.24	10.65	10.60	10.65	9.18	7.54	7.65
	P	1.44	1.41	0.87	0.52	0.45	0.45	0.45	0.39	0.32	0.32
	K	4.15	4.06	2.51	1.48	1.29	1.28	1.29	1.11	0.91	0.93
价值 Value/(10 ⁸ 元)		18.28	17.90	11.05	6.53	5.68	5.65	5.68	4.90	4.02	4.08
菜地含量/(10 ⁴ t) Content in vegetable field	N	27.82	28.16	31.35	33.16	33.25	33.12	33.29	22.34	25.01	26.57
	P	1.67	1.69	1.88	1.99	2.00	1.99	2.00	1.34	1.50	1.59
	K	5.56	5.63	6.27	6.63	6.65	6.62	6.66	4.47	5.00	5.31
价值 Value (10 ⁸ 元)		16.72	16.93	18.85	19.94	19.99	19.91	20.01	13.43	15.04	15.97
旱地含量/(10 ⁴ t) Content in dry land	N	5.89	5.66	6.81	6.61	7.68	5.55	6.81	5.72	6.18	6.73
	P	0.35	0.34	0.41	0.40	0.46	0.33	0.41	0.34	0.37	0.40
	K	1.06	1.02	1.23	1.19	1.38	1.00	1.23	1.03	1.11	1.21
价值 Value (10 ⁸ 元)		3.45	3.32	3.99	3.87	4.50	3.25	3.99	3.35	3.62	3.94
合计 Total (10 ⁸ 元)		38.45	38.14	33.89	30.34	30.17	28.82	29.69	21.68	22.68	23.99

3.6 营养物质循环价值

受数据来源影响,本研究仅计算了佛山市的水稻、薯类和蔬菜 3 种作物营养物质的循环价值。各作物体内 N、P、K 的含量分别为:水稻 1.05%、0.42%、0.56%;薯类 1.11%、0.33%、1.53%^[22];蔬菜 0.33%、0.15%、0.49%^①,各作物的收获指数分别为 0.5、0.65 和 0.7^[19]。由表 6 可知,研究区水稻和蔬菜两种作物的营养物质循环价值占据很大比重,处于主导地位。由于耕地面积减少使农作物的产量降低,影响了营养物质的循环,导致营养物质循环的价值在 10a 间也呈逐年减少趋势。其中水稻的营养物质循环价值下降明显,由

① 花椰菜等 10 种蔬菜养分含量的平均值, http://www.ytny.gov.cn/neirong/syjs/index_show.jsp?id=67657

2000 年的 7.85×10^6 元下降到 2009 年的 1.50×10^6 元, 10a 间减少了 12.69×10^6 元。

表 6 佛山市农田生态系统的物质循环价值/(10^6 元)

Table 6 The value of nutrients cycle of different crops in Foshan City

作物 Crop	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
水稻 Rice	7.85	7.65	4.48	2.69	2.35	2.32	1.78	1.77	1.44	1.50
薯类 Potatoes	0.21	0.27	0.16	0.13	0.29	0.18	0.08	0.12	0.25	0.23
蔬菜 Vegetable	5.87	5.98	6.41	6.75	6.56	6.68	5.09	4.27	4.46	4.73
合计 Total	13.92	13.89	11.06	9.57	9.19	9.17	6.95	6.15	6.14	6.46

3.7 消纳废弃物价值

按照大、小牲畜个体年均排放粪便量分别为 1.96 t 和 0.33 t^[3] 计算可获得牲畜年排放粪便总量。而据杨志新^[4] 研究, 为减少牲畜粪便对环境的污染, 一般要采取资源化下理加工成有机肥加以循环利用。因此, 本文采用替代成本法, 根据目前有机肥出厂价格 500—1200 元之间, 取其平均值 850 元/t 计算, 即可获得研究区各年份农田生态系统消纳废弃物的总价值。由表 7 可知, 2000—2009 年, 佛山市因耕地面积减少迅速, 使得牛的年末存栏量也逐年减少, 猪的年末存栏量却急剧增加, 全市农田生态系统消纳废弃物总价值从 2000 年的 2.82×10^8 元上升到 2009 年的 3.43×10^8 元。

表 7 佛山市牲畜年末存栏量与农田生态系统消纳废弃物价值

Table 7 The quantity of livestock at the end of the year and the value of waste management

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
年排放粪便总量 Total discharge of excrement /(10^4 t)	33.17	34.13	33.25	33.99	33.65	36.61	33.67	38.00	40.24	40.22
总价值 Total value /(10^8 元/a)	2.82	2.90	2.83	2.89	2.86	3.11	2.86	3.23	3.42	3.42

3.8 文化娱乐价值

按照谢高地等^[14] 人的中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表, 并按广东省农业生产的实际状况进行修订, 耕地生态服务价值系数为全国平均值的 2 倍, 即其文化娱乐价值按 $17.6 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 计算, 则据公式(8) 计算出佛山市历年农田生态系统的文化娱乐价值(表 8)。

表 8 佛山市农田生态系统的文化娱乐价值

Table 8 The culture and recreation value in Foshan City

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
常用耕地面积 Area of regularly-cultivated land/(10^4 hm^2)	8.43	8.33	7.98	7.62	5.8	5.59	4.48	4.37	4.2	4.21
文化娱乐价值 Culture and recreation value / (10^8 元/a)	0.015	0.015	0.014	0.013	0.010	0.010	0.008	0.008	0.007	0.007

3.9 水资源消耗价值

为保证有效生产, 佛山市农田生态系统中的稻田、菜地以及旱地单位面积需灌溉水量分别为 580 、 $230 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $170 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[19], 由公式(9) 计算得出各类农田的水资源消耗价值。表 9 表明, 2009 年同 2000 年相比, 农田水资源消耗价值降低了 1.90×10^8 元, 相当于稻田的水资源消耗价值。可见, 水资源消耗价值主要是由稻田灌溉产生的。

表 9 佛山市各类农田水资源消耗价值变化/(10⁸ 元)

Table 9 The value of water resources consumption of different crop specials croplands in Foshan City										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
稻田 Paddy field	2.44	2.39	1.47	0.87	0.76	0.75	0.76	0.65	0.54	0.54
菜地 Vegetable field	0.99	1.01	1.12	1.19	1.19	1.18	1.19	0.80	0.89	0.95
旱地 Dry land	0.23	0.22	0.27	0.26	0.30	0.22	0.27	0.23	0.24	0.27
合计 Total	3.66	3.62	2.86	2.32	2.25	2.16	2.22	1.68	1.67	1.76

3.10 温室气体排放价值

据研究^[19],佛山地区水稻田、菜地和旱地的 CH₄ 排放标准分别是 0.068、0.034、0.017 t/hm²、N₂O 分别是 0.026、0.015、0.011 t/hm²。而 1 kg CH₄ 的增温效应是 1 kg CO₂ 的 21 倍,1 kg N₂O 的增温效应是 1 kg CO₂ 的 310 倍^[3],排放 CO₂ 的成本为 642.70 元/t。根据公式(10)计算得出佛山市农田生态系统的温室气体排放价值(表 10)。

表 10 佛山市农田生态系统的排放温室气体及其价值

Table 10 The number and value of greenhouse gases emission of agricultural ecosystem in Foshan City										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CH ₄ 排放量										
Discharge amount of CH ₄ / (10 ⁴ t)	0.68	0.67	0.55	0.45	0.44	0.43	0.44	0.32	0.33	0.34
N ₂ O 排放量										
Discharge amount of N ₂ O / (10 ⁴ t)	0.28	0.40	0.37	0.34	0.34	0.32	0.33	0.24	0.26	0.27
总价值										
Total value / (10 ⁸ 元)	6.54	8.86	8.08	7.38	7.38	7.02	7.25	5.28	5.57	5.90

3.11 化肥流失

广东省正在力图建设农业强省,但目前全省化肥施用量每亩约 240 kg,化肥使用量全世界最高^[23]。按照陈同斌等人^[24]的研究,应属于高施肥量区,化肥利用率为 27.39%。根据公式(11),因受资料可获得性影响,化肥的当前价格按 2009 年 6 月广东省国产三元复合肥(含 N、P、K 各 15%)3220 元/t 计算^[21]。由表 11 可知,佛山市未被作物吸收而直接进入环境造成污染的化肥折纯量从 2000 年的 44792 t 减少到 2009 年的 39212 t,化肥流失价值则由 2000 年的 1.44×10⁸元降低到 1.26×10⁸ 元。

表 11 佛山市化肥施用量及其造成的经济损失

Table 11 The quantity and economic loss of fertilizer in Foshan City										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
施用量(折纯)										
Amount of application (purity, t)	61688	63051	60421	60885	61189	59374	56095	54838	55730	54004
流失量 Losses/t	44792	45781	43872	44209	44429	43111	40731	39818	40466	39212
流失价值										
Losing value/ (10 ⁸ 元)	1.44	1.47	1.41	1.42	1.43	1.39	1.31	1.28	1.30	1.26

3.12 农药污染

由于田间施药时通常有 40%—60% 洒落到地面^[25],因此本文取农药利用率为 50%。农药价格取 2009 年广东省平均价格(22545 元/t),根据公式(13)计算佛山市历年的农药损失价值。同时,根据前人研究,取 1% 粮食产量损失为农药污染所致^[26],由公式(14)计算出粮食减产损失(表 12)。

表 12 佛山市农药施用量及其造成的经济损失

Table 12 The quantity and economic loss of pesticide in Foshan City

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
施用量 Amount of application/t	4071	3700	3327	3421	3389	2861	3641	3062	3092	3015
损失价值 Losing value / (10 ⁸ 元)	0.46	0.42	0.38	0.39	0.38	0.32	0.41	0.35	0.35	0.34
粮食损失 The value of grain loss / (10 ⁸ 元)	0.22	0.22	0.24	0.25	0.26	0.57	0.47	0.43	0.43	0.51
合计 Total	0.68	0.64	0.62	0.64	0.64	0.89	0.88	0.78	0.78	0.85

3.13 佛山市农田生态系统服务功能价值分析

表 13 是对佛山市各项生态系统服务价值的汇总,佛山市农田生态系统服务总价值由 2000 年的 58.77×10^8 元上升到 2009 年的 73.09×10^8 元,增加 14.32×10^8 元。研究期间,产品提供价值增加了 29.01×10^8 元,说明由于农业生产技术和管理水平的改进,耕地的减少并未使农业产值降低,但却削弱了农田生态系统的生态屏障作用。此外,尽管农业生产中温室气体排放、化肥、农药施用等带来了农田生态系统的负效益,但在研究期间变化不大。

表 13 佛山市农田生态系统的各项服务价值/(10⁸ 元)

Table 13 The value of agricultural ecosystem services in Foshan City

类型 Types		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
正效益	产品提供 Products provision	21.66	21.74	24.33	24.88	25.89	56.60	46.86	43.16	43.05	50.67
Positive	固碳释氧 Fixing carbon and releasing oxygen	4.17	3.92	3.66	3.53	3.47	3.48	2.83	2.54	2.57	2.64
benefit	净化环境 Environment purification	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	水源涵养 Water resource conservation	3.81	5.43	4.25	3.49	2.23	2.79	2.91	1.90	2.78	2.06
	土壤肥力保持 Soil conservation	38.45	38.14	33.89	30.34	30.17	28.82	29.69	21.68	22.68	23.99
	营养物质循环 Nutrient cycling	0.14	0.14	0.11	0.10	0.09	0.09	0.07	0.06	0.06	0.06
	消纳废弃物 Waste management	2.82	2.90	2.83	2.89	2.86	3.11	2.86	3.23	3.42	3.42
	文化娱乐 Culture and recreation	0.015	0.015	0.014	0.013	0.010	0.010	0.008	0.008	0.007	0.007
	小计 Total	71.09	72.31	69.10	65.26	64.74	94.92	85.24	72.59	74.58	82.86
负效益	水资源消耗 Water resource consumption	-3.66	-3.62	-2.86	-2.32	-2.25	-2.16	-2.22	-1.68	-1.67	-1.76
Negative	温室气体排放 Greenhouse gases emission	-6.54	-8.86	-8.08	-7.38	-7.38	-7.02	-7.25	-5.28	-5.57	-5.90
benefit	化肥流失 Fertilizer loss	-1.44	-1.47	-1.41	-1.42	-1.43	-1.39	-1.31	-1.28	-1.30	-1.26
	农药污染 Pesticide pollution	-0.68	-0.64	-0.62	-0.64	-0.64	-0.89	-0.88	-0.78	-0.78	-0.85
	小计 Total	-12.32	-14.59	-12.97	-11.76	-11.7	-11.46	-11.66	-9.02	-9.32	-9.77
	总价值 Total value	58.77	57.72	56.13	53.50	53.04	83.46	73.58	63.57	65.26	73.09

4 结论与讨论

(1) 产品提供功能是佛山市农田生态系统最主要的服务功能之一。全市农田生态系统产品提供价值在正效益价值中所占比例呈增加趋势,由 2000 年的 30.47% 上升到 2009 年的 61.15%。在扣除生产的环境成本后,产品提供价值与净效益价值之比从 2000 年的 36.86% 上升到 2009 年的 69.33%。可见,除产品提供价值外,农田生态系统的其他服务功能均被削弱,需要引起各部门的高度重视。

(2) 2000—2009 年间,佛山市农田生态系统所提供的正效益由 2000 年的 71.09×10^8 元上升到 2009 年的 82.86×10^8 元,而负效益则由 2000 年的 12.32×10^8 元减少到 9.77×10^8 元,且农田生态系统的正效益远远大于其负效益,但差距在逐年扩大,正效益与负效益之比由 2000 年的 5.77:1 上升为 2009 年的 8.48:1。因此,需要对农田生态系统进行合理管理与利用以提高其综合生态服务功能。

(3) 尽管农田生态系统具有截蓄径流的作用,但很快会被排空,为提高农田产量,仍需要对其进行灌溉。此外,水稻田在淹水条件下是温室气体的一个主要排放源,华南地区水稻种植制度使其成为温室气体的主要排放区之一。由表 13 可知,佛山市农田生态系统的水资源消耗以及温室气体排放是其最突出的生态问题,二者所造成的环境成本占总环境成本的比值均在 77% 以上。因此,有必要采取有效措施减少农田生产的灌溉用水或改变农田耕作制度以减少其负面影响。

(4) 由于生态系统相互作用和价值核算的复杂性,目前,本文对农田生态系统服务价值的定量评估基本是直接套用国内外的估算方法和标准,难以避免因地区农业经济、农村社会和自然资源之间存在的差异而产生误差。因此,需要对区域农田生态系统服务特性进行详细分析,对农田生态系统服务价值进行区域性修正。

References:

- [1] Yin F, Mao R Z, Fu B J, Liu G H. Farmland ecosystem service and its formation mechanism. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(5): 929-934.
- [2] Zhang W, Ricketts T H, Kremen C, Carney K, Swinton S M. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, 2007, 64(2): 253-260.
- [3] Bai Y, Ouyang Z Y, Zheng H, Xu W H, Jiang B, Fang Y. Environmental benefit-loss analysis of agro-ecosystem in Haihe River basin, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(11): 2938-2945.
- [4] Yang Z X, Zheng D W, Wen H. Studies on service value evaluation of agricultural ecosystem in Beijing region. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(4): 564-571.
- [5] Xiao Y, Xie G D, An K, Liu C L, Chen C C. Ecosystem services of wheat-maize cropland systems in the North China Plain. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(2): 429-435.
- [6] Li F Y, Wu F W. Evaluation of agricultural ecosystem service value in Shanghai suburb. *Shanghai Rural Economy*, 2006, (9): 22-25.
- [7] Guo Z X, Xu S J, Wu X B. Spatio-temporal variability of land use change driving forces in Foshan City based on geostatistics. *Economic Geography*, 2009, 29(9): 1524-1528.
- [8] Li F. Study on spatial-temporal feature of land-use change in Foshan City by Remote Sensing. *Territory and Natural Resources Study*, 2003, (1): 51-52.
- [9] The Editorial Board of the Statistical Yearbook of Foshan. Statistical Yearbook of Foshan in 2001—2010. [2011-06-05]. <http://data.fsstats.gov.cn>.
- [10] Zhang H F, Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y. Evaluation of agricultural ecosystem services value in Manas River Watershed of China. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(6): 1259-1264.
- [11] Yoshida K. An economic evaluation of the multifunctional roles of agriculture and rural areas in Japan [R]. Food & Fertilizer Technology Center, 2001.
- [12] Sun X Z, Zhou H L, Xie G D. Ecological services and their values of Chinese agroecosystem. *China Population Resources and Environment*, 2007, 17(4): 55-60.
- [13] He W Q, Chen Y Q, Gao W S, Yin C B. Economic value of agroecosystem service in typical wind-erosion region of transition zone between agriculture and pasture. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(3): 49-53.
- [14] Xie G D, Lu C X, Leng Y F, Zheng D, Li S C. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2003, 23(3): 49-53.
- [15] Economic Coefficient. (2007-01-13) [2010-10-01]. <http://baike.baidu.com/view/1435132.htm>.
- [16] Ma X H, Sun G N, Ren Z Y. The values of vegetation purified air and its measure in Xin'an City. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2002, 16(4): 83-86.
- [17] Waste gas rate. (2003-12-16) [2011-06-01]. <http://www.foshan.gov.cn>
- [18] Foshan water supplies bureau. Foshan Water Resources Bulletin(2000—2009) (2010-01-01) [2011-10-25]. <http://www.foshan.gov.cn/water/>
- [19] Wang Y. A Case Study on Agricultural Eco-service Function-Foshan Guangdong as an Example [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2008.
- [20] Common sense of the often-used fertilize's selecting. (2010-11-26) [2011-06-10]. <http://www.baiinfo.com/article/danfei/1932/4625572.html>
- [21] Investigating Group of the Chemical Fertilizers' Prices in the Price Monitoring Centre in Guangdong Province. Analysis of the present situation of

- chemical fertilizer market in Guangdong Province. *GD-HK-MO Market & Price*, 2009, (10): 29-34.
- [22] Lu M S, Liang S Y, Huang Z X, Peng Y L. The ratio of N、P、K absorbed by the main crop and the related problems in Guangdong Province. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1983, (2): 22-25.
- [23] Xu J. Guangdong is the biggest province of fertilizer and pesticide consumption in the world. (2010-01-07) [2011-06-02]. <http://www.foodmate.net/news/guonei/2010/01/154140.html>
- [24] Chen T B, Zeng X B, Hu Q X. Utilization efficiency of chemical fertilizers among different counties of China. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(5): 531-538.
- [25] Liu G D. *Methods and Applications to Evaluate the Environmental Impacts of Regional Agriculture — A Case Study on High-Yielding County, Huantai, North China* [D]. Beijing: China Agricultural University, 2004.
- [26] Chen D D, Gao W S, Sui P, Wu T L. Dynamic analysis on energy efficiency of modern planting system and grain production — a case study of Luancheng, Hebei. *Progress in Geography*, 2008, 27(1): 99-104.

参考文献:

- [1] 尹飞, 毛任钊, 傅伯杰, 刘国华. 农田生态系统服务功能及其形成机制. *应用生态学报*, 2006, 17(5): 929-934.
- [3] 白杨, 欧阳志云, 郑华, 徐卫华, 江波, 方瑜. 海河流域农田生态系统环境损益分析. *应用生态学报*, 2010, 21(11): 2938-2945.
- [4] 杨志新, 关大玮, 文化. 北京郊区农田生态系统服务功能价值的评估研究. *自然资源学报*, 2005, 20(4): 564-571.
- [5] 肖玉, 谢高地, 安凯, 刘春兰, 陈操操. 华北平原小麦-玉米农田生态系统服务评价. *中国生态农业学报*, 2011, 19(2): 429-435.
- [6] 李菲云, 吴方卫. 沪郊农田生态系统服务功能价值评估. *上海农村经济*, 2006, (9): 22-25.
- [7] 郭承轩, 徐颂军, 巫细波. 基于地统计学的佛山市土地利用变化驱动力时空分异. *经济地理*, 2009, 29(9): 1524-1528.
- [8] 李凡. 基于 RS 的佛山市土地利用变化的时空特征研究. *国土与自然资源研究*, 2003, (1): 51-52.
- [9] 佛山市统计局. 佛山市 2001—2010 年统计年鉴. [2011-06-05]. <http://data.fsstats.gov.cn>.
- [10] 张宏锋, 欧阳志云, 郑华, 肖燚. 玛纳斯河流域农田生态系统服务功能价值评估. *中国生态农业学报*, 2009, 17(6): 1259-1264.
- [12] 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. *中国人口·资源与环境*, 2007, 17(4): 55-60.
- [13] 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. *生态学杂志*, 2004, 23(3): 49-53.
- [14] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [15] 经济系数. (2007-01-13) [2010-10-01]. <http://baike.baidu.com/view/1435132.htm>.
- [16] 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. *干旱区资源与环境*, 2002, 16(4): 83-86.
- [17] 废气收费标准. (2003-12-16) [2011-06-01]. <http://www.foshan.gov.cn>
- [18] 佛山市水务局. 佛山市水资源公报 (2000—2009). (2010-01-01) [2011-10-25]. <http://www.foshan.gov.cn/water/>
- [19] 王勇. 农业生态服务功能的实证研究——以广东佛山为例 [D]. 广州: 华南农业大学, 2008.
- [20] 常用肥料选用小常识. (2010-11-26) [2011-06-10]. <http://www.baiinfo.com/article/danfei/1932/4625572.html>
- [21] 广东省价格监测中心化肥价格调查组. 广东化肥市场的现状分析. *粤港澳市场与价格*, 2009, (10): 29-34.
- [22] 陆顺满, 梁孝衍, 黄振雄, 彭裕利. 广东主要农作物吸收氮、磷、钾的比例及其有关问题. *广东农业科学*, 1983, (2): 22-25.
- [23] 徐靖. 化肥农药单亩用量广东竟为世界之最. (2010-01-07) [2011-06-02]. <http://www.foodmate.net/news/guonei/2010/01/154140.html>
- [24] 陈同斌, 曾希柏, 胡清秀. 中国化肥利用率的区域分异. *地理学报*, 2002, 57(5): 531-538.
- [25] 刘光栋. 区域农业生产环境影响的价值评估方法及应用——以华北高产粮区桓台县为例 [D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [26] 陈冬冬, 高旺盛, 隋鹏, 吴天龙. 现代种植业系统及粮食生产能量转化效率的动态分析——以山前平原河北栾城县为例. *地理科学进展*, 2008, 27(1): 99-104.

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grailipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 14 (July, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元