

# A Dynamic Evaluation of Agro-Ecosystem at Local Levels—Using Anyang City, Henan Province 2008-2014 as an Example

Feihu Gao<sup>1</sup>, Xiaoshuai Zhao<sup>2</sup>, Xiaoguang Zhang<sup>1,3</sup>, Shimei Li<sup>4</sup>, Yicheng Wang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>College of Resources and Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Zouping County Environmental Protection Bureau, Zouping Shandong

<sup>3</sup>State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Nanjing Jiangsu

<sup>4</sup>College of Landscape Architecture and Forestry, Qingdao Agricultural University, Qingdao Shandong

Email: \*ywangqau@163.com

Received: Apr. 5<sup>th</sup>, 2017; accepted: May 19<sup>th</sup>, 2017; published: May 26<sup>th</sup>, 2017

## Abstract

The research on agro-ecosystem evaluation so far has largely been focusing on large-scale areas such as north China or even the whole China territory; little attention has been paid to local city or county levels, less to dynamic changes of agro-ecosystem values over time. This has become an inconvenience when it comes to make a policy about agro-ecosystem due to the lack of relevant data or information. In this paper, we evaluated the positive and negative effects of the agro-ecosystem on a local city level, using Anyang city of Henan province as an example, and we did a dynamic analysis on the changes of agro-ecosystem value for the years of 2008-2014. We carried out the evaluations of positive and negative effects by using modified methods used in other studies, based on data collected from official Henan Yearbooks of these years. The positive effects include agricultural production, social security, soil conservation, soil carbon fixation, photosynthesis oxygen release, air cleaning, and nutrients cycling, and the negative effects include underground water consumption, greenhouse gas emission, mulching film pollution, pesticide pollution, and fertilizer loss. Results showed that the positive effects value of Anyang agro-ecosystem increased about 1 billion yuan per year, reaching 76 billion yuan in 2014. Agricultural production value is the biggest part, about 33 percent of the total positive value, while the nonproduction values, including soil carbon fixation, nutrients cycling and photosynthesis oxygen release, were the major value component, about 67% of the total positive value. Negative value showed a similar trend of increase, reaching 8.3 billion yuan in the year of 2014. The major component of negative values was underground water consumption, which was more than 72% of total negative effect value, followed by greenhouse gas emission which is about 13%. The gap between positive and negative values, namely the net value of agro-ecosystem, increased over these years, reaching about 67.6 billion in 2014. These findings provided important base data and information to decision-makings related to agricultural ecosystem management in Anyang city; it also offers a methodological framework for agro-ecosystem evaluation in other local areas in China.

\*通讯作者。

## Keywords

Agro-Ecosystems, Positive Effect, Negative Effect, Dynamic Evaluation, Anyang City

# 地方农田生态系统价值动态评价——以2008~2014年河南省安阳市为例

郜飞虎<sup>1</sup>, 赵晓帅<sup>2</sup>, 张晓光<sup>1,3</sup>, 李士美<sup>4</sup>, 王宜成<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>青岛农业大学资源与环境学院, 山东 青岛

<sup>2</sup>山东省邹平县环保局, 山东 邹平

<sup>3</sup>土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏 南京

<sup>4</sup>青岛农业大学园林与林学院, 山东 青岛

Email: ywangqau@163.com

收稿日期: 2017年4月5日; 录用日期: 2017年5月19日; 发布日期: 2017年5月26日

## 摘要

目前农田生态系统价值评价较多关注大尺度空间区域, 地方上的动态评价很少, 县市等地方政府制定农业资源管理等政策时缺少数据支撑。本文使用文献调查法获得河南省安阳市2008~2014有关数据, 基于农田生态系统正负效应评价法核算了安阳市这七年农田生态系统提供的正效应和负效应价值, 分析了动态变化, 其中正效应包括农产品生产、社会保障、土壤保持、土壤固碳、光合作用释氧、净化大气以及维持营养物质循环, 负效应包括地下水资源消耗、温室气体排放、地膜污染、农药损失和化肥流失。结果显示, 安阳市农田生态系统正效应价值以约 $10 \times 10^8$ 元/年的速度增长, 2014年接近 $760 \times 10^8$ 元, 其中农产品生产的价值最大, 约占33%, 而土壤固碳等非生产性价值是主体, 占总价值近67%; 负效应价值基本趋势也是逐年增长, 2014年约为 $83 \times 10^8$ 元, 负效应以地下水消耗为主, 占72%以上, 其次是温室气体排放, 约占13%。正负效应之差呈增大趋势, 2014年为 $676 \times 10^8$ 元。论文为安阳市相关农业政策的制定提供了重要的数据和信息基础, 为我国其他地方农田生态系统价值评价提供了参考范例。

## 关键词

农田生态系统, 正效应, 负效应, 动态评价, 安阳市

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

农田生态系统是依靠自然要素(土地、光照、温度、水分等)和人为投入(种子、化肥、农药、灌溉、机械等), 利用农田生物与非生物环境之间以及生物种群之间的关系进行食物、纤维和其它农产品生产的

半自然生态系统[1]。农田生态系统是陆地生态系统的重要组成部分, 占全球陆地面积 10% 以上, 自 1997 年 Costanza 等人在《自然》杂志发表文章对全球生态系统服务价值进行评价以来, 农田生态系统服务价值评价也受到越来越多的研究[2] [3] [4]。

现在人们已经认识到, 农田生态系统除了粮食蔬菜等食物生产功能, 还有土壤保持、净化大气、物质循环等正效应, 同时也产生水资源消耗、温室气体排放、农药污染等负效应[5] [6]。忽略这些正效应或负效应都会导致其价值评价失于偏颇, 长期以来过分注重食物生产功能而忽略其他正负效应, 导致地下水水位下降、农业面源污染、物种栖息地破坏等生态环境问题就是明证。因此, 在农田生态系统价值评估中全面考虑正负效应, 评价其综合价值, 已成为农田生态系统价值评价新的研究热点。

目前农田生态系统价值评价多集中于大尺度空间, 如华北平原、黄淮海地区甚至全中国, 较少关注地方如县市尺度, 更少关注动态变化, 而县市这些行政单元通常是地方农业政策的具体制定者, 至少是实际的管理者。在这些尺度上评价农田生态系统价值, 可为地方相关政策如农业资源配置、农业生态补偿等的制定提供重要的理论基础和数据支撑。这提出了建立地方农田生态系统价值评价方法体系和动态评价的需要。

安阳市是河南省重要的农产品生产基地, 有“豫北粮仓”之称, 农业资源管理、农业生态补偿等有关政策的制定需要相关基础数据的支持, 但目前针对该市农田生态系统服务评价的研究几近空白, 这种情况国内其它县市也相似。有鉴于此, 笔者借鉴文献中的正负效应评价指标体系[7] [8], 使用文献调查法获得安阳市 2008~2014 年相关数据, 计算了这几年的农田生态系统价值, 对其动态变化进行了分析。研究结果可为该市农业资源管理等政策的制定提供基础数据和信息支持, 为国内其他地方农田生态系统价值评价提供方法借鉴。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 安阳市概况

安阳市位于河南省最北部, 东经 113°37'至 114°58', 北纬 35°12'至 36°22', 北邻河北邯郸, 西依山西长治, 南接鹤壁、新乡, 东连濮阳, 总面积 5599 km<sup>2</sup>。地势西高东低, 地形复杂多样, 平原、山地、丘陵、泊洼分别占总面积的 53.8%、29.7%、10.8%、5.7%。气候为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候, 四季分明, 历年平均气温 14.1℃。极端最高气温 43.2℃, 极端最低气温-21.7℃。全年平均降雨量为 606.1 mm。

安阳是国家历史文化名城, 七朝古都。2015 年全市总人口 445.78 万, 其中常住人口 401 万。安阳是河南省重要的农产品生产基地, 主产小麦、玉米、棉花、油菜籽、芝麻等, 是黄淮平原典型的粮食高产产区, 农业部规划的粮食、棉花、油料优势种植区域, 国家确定的全国优质小麦生产基地市。2015 年粮食种植面积 38.25 × 10<sup>4</sup> ha, 粮食总产量 227.4 × 10<sup>4</sup> t。

### 2.2. 研究方法

本文基于以往研究, 结合黄淮平原高产农田生态系统的实际情况, 从正效应和负效应两方面构建安阳市农田生态系统价值评价方法与指标体系, 其中正效应包括农产品生产、社会保障、土壤保持、土壤固碳、光合作用释氧、净化大气、维持营养物质循环共七项, 负效应包括地下水资源消耗、温室气体排放、地膜污染、农药污染、化肥流失共五项; 使用的价值评价方法包括市场价值法、替代成本法、机会成本法、影子价格法、防护费用法共 5 种[7] [8] [9], 具体见表 1。

本文所使用数据除特别说明外均来自河南省统计网 2009~2015 年统计年鉴。

**Table 1.** Evaluation methods and indicators for positive and negative effects of agro-ecosystem in Anyang City  
**表 1.** 安阳市农田生态系统正负效应评价方法与指标体系

效应分类 Effect category	效应名称 Specific effect	评价方法 Evaluation method	计算公式 Formula	参数解释 Parameter interpretation	
正效应 Positive effect	农产品生产 Agriculture product	市场价值法 Market value	(1) $V_A = \sum p_i q_i$	$V_A$ 为农产品价值(product value); $p_i$ 为第 <i>i</i> 种产品市场价格(market price of <i>i</i> th product); $q_i$ 为第 <i>i</i> 种产品总产量(yield of product <i>i</i> , t·km <sup>2</sup> )	
	社会保障 Social security	替代成本法 Substitution cost	(2) $V_p = NMR$	$V_p$ 为担当的社会保障价值(social security value); $N$ 为保障的人数(amount of people secured); $M$ 为人均最低生活保障标准(minimum life standard); $R$ 为农业生产隐性失业比例(hidden unemployment rate in rural area)	
	土壤保持 Soil conservation	土壤保持 Soil conservation	机会成本法 Opportunity cost	(3) $Q_s = S(E_p - E_R)$	$V_s$ 为保持土壤的价值(soil conservation value); $V_{s1}$ 为减少土地废弃价值(land erosion reduction value); $V_{s2}$ 为保持土壤养分价值(soil nutrient conservation value); $Q_s$ 为土壤保持量(amount of soil conserved,t·km <sup>2</sup> ); $S$ 为农田总面积(farmland area,km <sup>2</sup> ); $E_p$ 为耕地潜在侵蚀模数(farmland potential erosion modulus,t·km <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> ); $E_R$ 为现实侵蚀模数(real erosion modulus,t·km <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> ); $h$ 为耕作层厚度(tillage thickness, cm); $P$ 为土地年收益(annual revenue, yuan·hm <sup>-2</sup> ); $d$ 为土壤容重(soil unit weight,g·cm <sup>-3</sup> ); $C_j$ 为土壤中第 <i>j</i> 类养分含量(percentage of <i>j</i> th nutrient in soil, %); $P_j$ 为第 <i>j</i> 类养分的市场价格(price of <i>j</i> th nutrient)
			影子价格法 Shadow price	(4) $V_{s1} = PQS/(10000hd)$	
			影子价格法 Shadow price	(5) $V_{s2} = Q_s \sum C_j P_j$ (6) $V_s = V_{s1} + V_{s2}$	
	土壤固碳 Carbon fixation	替代成本法 Substitution cost	(7) $V_C = SK_C P_C$	$V_C$ 为固碳总价值(total value of carbon fixation); $K_C$ 为农田土壤固碳速率(rate of carbon fixation, t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> ); $P_C$ 为碳交易价格(carbon transaction price,yuan·t <sup>-1</sup> )	
光合作用释氧 Oxygen release	影子价格法 Shadow price	(8) $NPP_i = Y_i(1 - w_i)/f_i$ (9) $V_o = \sum_i 1.2NPP_i SP_o$	$V_o$ 为释氧总价值(total value of oxygen release); $P_o$ 为工业制氧价格(price of industrial oxygen,yuan·t <sup>-1</sup> ); $NPP_i$ 为第 <i>i</i> 类农产品的净初级生产力(net primary production of <i>i</i> th product, t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> ); $Y_i$ 为第 <i>i</i> 类农产品的产量(production of <i>i</i> th product,t); $f_i$ 为第 <i>i</i> 类农产品的经济系数(economic coefficient of <i>i</i> th product); $w_i$ 为第 <i>i</i> 类农产品的含水率(water content of <i>i</i> th product)		
净化大气 Air cleaning	防护费用法 Protection cost	(10) $V_G = V_D + V_{SO_2}$ (11) $V_{SO_2} = A_{SO_2} SP_{SO_2}$ (12) $V_D = A_D P_D S$	$V_G$ 为净化大气功能价值(value of air cleaning); $V_D$ 为滞尘功能价值(dust retention value); $V_{SO_2}$ 为吸收SO <sub>2</sub> 功能价值(SO <sub>2</sub> absorption value); $A_D$ 为植被的滞尘能力(dust retention capacity of plant, kg·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> ); $P_D$ 为降尘清理费用(dust cleansing cost,yuan·kg <sup>-1</sup> ); $A_{SO_2}$ 为SO <sub>2</sub> 的吸收能力(SO <sub>2</sub> absorption capacity,kg·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> ); $P_{SO_2}$ 为SO <sub>2</sub> 治理费用(SO <sub>2</sub> control cost, yuan·kg <sup>-1</sup> )		
营养物质循环 Nutrient cycling	影子价格法 Shadow price	(13) $V_N = \sum_i \sum_j NPP_i C_j P_j$	$V_N$ 为营养物质循环功能价值(value of nutrients cycling); $NPP_i$ as defined above; $C_j$ 为各类农作物含第 <i>j</i> 类养分含量(content of <i>j</i> th nutrient,%); $P_j$ 为第 <i>j</i> 类养分的市场价格(market price of <i>j</i> th nutrient, yuan·t <sup>-1</sup> )		
负效应 Negative effect	地下水资源消耗 Underground water consumption	市场价值法 Market value	(14) $V_w = PM$	$V$ 为地下水资源消耗成本(underground water consumption cost), $P$ 为单位面积灌溉成本(unit area irrigation cost, yuan/hm <sup>2</sup> ), $M$ 为灌溉面积(irrigation area, hm <sup>2</sup> )	
	温室气体排放 Greenhouse gas release	替代成本法 Substitution cost	(15) $V_E = P_c \sum w_i$	$V_E$ 为温室气体排放成本(cost of greenhouse gas release, yuan); $w_i$ 为第 <i>i</i> 类温室气体排放量(amount of <i>i</i> th greenhouse gas released, measured as CO <sub>2</sub> ,t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	
	地膜污染 Mulching plastics pollution	替代成本法 Substitution cost	(16) $V_{p1} = \lambda V_A$	$V_{p1}$ 为地膜污染损失(cost of mulching plastic film pollution); $\lambda$ 为地膜污染造成的作物减产率(production loss caused by this pollution, %)	
	农药污染 Pesticide pollution	替代成本法 Substitution cost	(17) $V_{p2} = V_e + V_d$ (18) $V_e = V_p(1 - \eta) P_p$ (19) $V_d = \gamma V_A$	$V_{p2}$ 为施用农药的损失(cost of pesticide); $V_e$ 为农药流失损失(cost of pesticide loss); $V_d$ 为农药污染造成的粮食减产损失(production reduction caused pesticide pollution); $U_p$ 为农药使用量(amount of pesticide used, t); $\eta$ 为农药利用率(usage rate of pesticide, %); $P_p$ 为农药当前价格(price of pesticide, yuan·t <sup>-1</sup> ); $\gamma$ 为农药污染造成的粮食减产率(rate of crop loss caused by pesticide pollution,%)	
	化肥流失 Fertilizer loss	替代成本法 Substitution cost	(20) $V_{p3} = U_f(1 - u)P_f$	$V_{p3}$ 为化肥流失成本(cost of fertilizer loss); $U_f$ 为化肥使用量(amount of fertilizer used, t); $u$ 为化肥利用率(usage rate of fertilizer,%); $P_f$ 为化肥当前价格(price of fertilizer,yuan·t <sup>-1</sup> )	

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 农田生态系统服务正效应

##### 3.1.1. 农产品生产

安阳市主要农作物是小麦、玉米、大豆、油料、棉花、蔬菜和红薯。利用公式(1)计算出安阳市 2008~2014 年这些农产品生产价值(表 2)。

##### 3.1.2. 社会保障

安阳市最低生活保障标准按每人 350 元计,我国农业生产中隐性失业比例按 46.8%计[10]。由公式(2)计算出安阳市农田生态系统社会保障价值(表 3)。

##### 3.1.3. 土壤保持

安阳市现实土壤侵蚀模数为  $1950 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,潜在侵蚀模数根据前人研究计算得到  $8448 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  [11]。由公式(3)计算出安阳市的土壤保持量。本市的土壤层厚度按 20 cm,土壤容重  $1.41 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,土地年收益按我国农业生产年均收益  $2.05 \times 10^4 \text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 计,由公式(4)计算出安阳市农田减少土地废弃价值。

该市土壤库中 N、P、K 含量分别为  $0.99 \text{ g/kg}$ 、 $22.6 \text{ mg/kg}$ 、 $138 \text{ mg/kg}$  [12],N、P 主要通过施用化肥磷酸二铵( $2400 \text{ 元}\cdot\text{t}^{-1}$ )获得,K 通过施用氯化钾( $2200 \text{ 元}\cdot\text{t}^{-1}$ )获得,磷酸二铵的 N、P 含量分别为 14%和 15%,氯化钾含 K 量为 50%,由公式(5)计算出农田生态系统的保持土壤养分价值。两者之和即为安阳市农田生态系统土壤保持价值(表 4)。

##### 3.1.4. 土壤固碳

基于肖玉等人的研究[13],本文使用  $36.73 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 为安阳市农田生态系统固碳速率;农田生态系统固定  $\text{CO}_2$ 成本按  $752.90 \text{ 元}\cdot\text{t}^{-1}$ 计[7]。由公式(7)计算出安阳市农田生态系统土壤固碳价值(表 5)。

##### 3.1.5. 光合作用释氧

由公式(8)计算得到安阳市各类农作物的净初级生产力。工业制氧价格按  $1000 \text{ 元}\cdot\text{t}^{-1}$ 计,由公式(9)计算出安阳市农田生态系统释氧价值(表 6)。

##### 3.1.6. 净化大气

农田生态系统净化大气的功能主要是对有毒气体的吸收和对粉尘的吸附,其中有毒气体我们关注最常见的  $\text{SO}_2$ 。农田生态系统  $\text{SO}_2$ 吸收能力本文用  $12.50 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,滞尘能力为  $2.1 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  [14]。 $\text{SO}_2$ 治理费和降尘清理费参考国家林业局发布的《森林生态系统服务功能评估规范(LY/T1721-2008)》,分别为  $1.20$ 和  $0.15 \text{ 元}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。由公式(11)和(12)分别计算安阳市农田生态系统的  $\text{SO}_2$ 净化价值和降尘价值,求和得到净化大气总价值(表 7)。

##### 3.1.7. 营养物质循环

由公式(13),根据安阳市各类农作物产量、农作物植株内的 N、P、K 含量以及各类养分的市场价格,计算得到安阳市农田生态系统维持营养物质循环的价值(表 8)。

##### 3.1.8. 正效应价值汇总

以上计算的各项正效应价值汇总于表 9,图 1 绘出了 2008 与 2014 年的对比(简明起见,其它年份未绘出)。安阳市农田生态系统服务价值最大的是农产品生产,历年大约在  $230\sim 254 \times 10^8$ 元之间,占总价值约 33%;其次是土壤固碳,在  $205 \times 10^8$ 元以上,占总价值近 30%;然后是营养物质循环和光合作用释氧,都在  $124 \times 10^8$ 元以上,占总价值约 18%。这四项是主要的价值组成,占总价值每年都在 97%以上。七项



**Table 2.** Value of agricultural products (unit: 100 million yuan)

**表 2.** 农产品生产功能价值(单位:  $10^8$  元)

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
价值 Value	230.01	234.28	239.79	245.93	251.77	252.94	253.92

**Table 3.** Value of social security (unit: 100 million yuan)

**表 3.** 社会保障价值(单位:  $10^8$  元)

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
价值 Value	3.02	2.97	2.97	2.88	2.72	2.74	3.06

**Table 4.** Value of soil conservation (unit: 100 million yuan)

**表 4.** 土壤保持功能价值(单位:  $10^8$  元)

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
减少土壤废弃 Land erosion reduction	3.71	3.76	3.76	3.77	3.78	3.81	3.88
保持土壤养分 Nutrient conservation	8.58	8.68	8.69	8.71	8.74	8.79	8.96
总价值 Total	12.29	12.44	12.45	12.48	12.52	12.60	12.84

**Table 5.** Value of soil carbon fixation (unit: 100 million yuan)

**表 5.** 土壤固碳价值(单位:  $10^8$  元)

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
土壤固碳价值 Carbon fixation	20.52	20.76	20.79	20.84	20.91	21.03	21.42

**Table 6.** Value of photosynthesis oxygen release (unit: 100 million yuan)

**表 6.** 光合作用释氧价值(单位:  $10^8$  元)

年份 Year	2008	2009	2011	2012	2013	2014
释放氧气价值 Oxygen release	124.63	126.34	127.61	130.87	133.92	135.80

**Table 7.** Value of air cleaning (unit: 100 million yuan)

**表 7.** 净化大气价值(单位:  $10^8$  元)

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
SO <sub>2</sub> 净化价值 SO <sub>2</sub> absorption	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
滞尘价值 Dust retention	2.39	2.42	2.42	2.43	2.44	2.45	2.50
总价值 Total	2.50	2.53	2.53	2.54	2.55	2.56	2.61

**Table 8.** Value of nutrients cycling (unit: 100 million yuan)

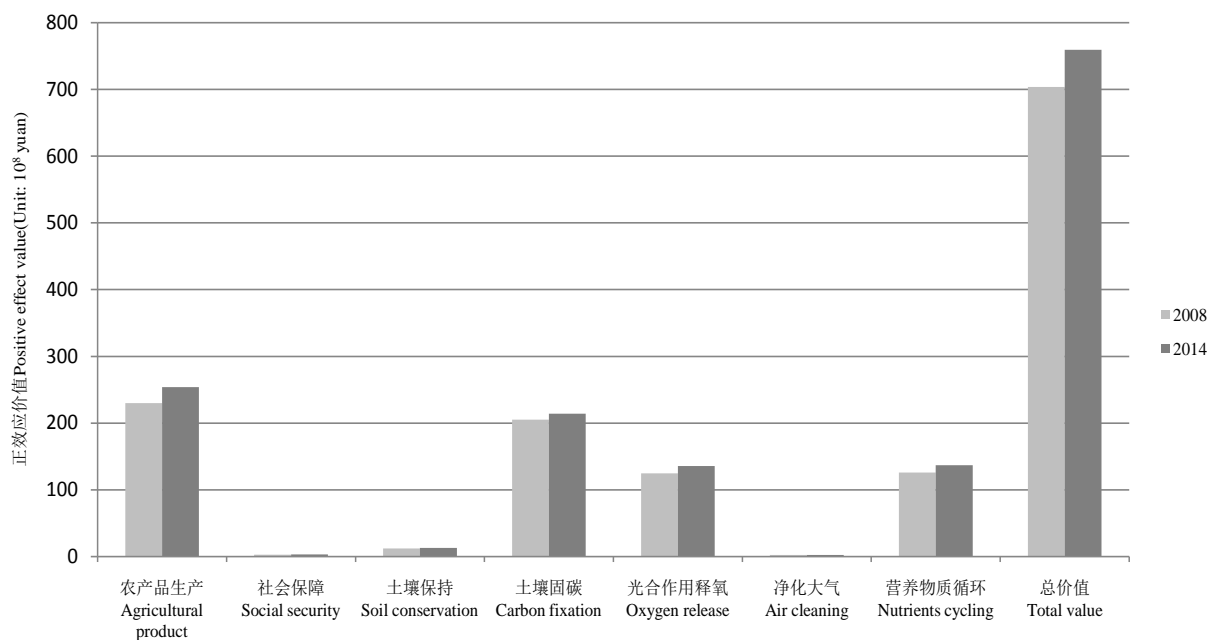
**表 8.** 维持营养物质循环功能价值(单位:  $10^8$  元)

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
价值 Value	125.80	127.52	128.55	128.80	132.09	135.18	137.08

**Table 9.** Positive effects of agro-ecosystem in Anyang 2008-2014 (unit: 100 million yuan)  
**表 9.** 安阳市农田生态系统 2008-2014 年正效应价值(单位: 10<sup>8</sup> 元)

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
农产品生产 Agricultural product	230.01 (32.69%)	234.28 (32.83%)	239.79 (33.23%)	245.93 (33.75%)	251.77 (33.95%)	252.94 (33.71%)	253.92 (33.43%)
社会保障 Social security	3.02 (0.43%)	2.97 (0.42%)	2.97 (0.41%)	2.88 (0.40%)	2.72 (0.37%)	2.74 (0.37%)	3.06 (0.40%)
土壤保持 Soil conservation	12.29 (1.75%)	12.44 (1.74%)	12.45 (1.73%)	12.48 (1.71%)	12.52 (1.69%)	12.60 (1.68%)	12.84 (1.69%)
土壤固碳 Carbon fixation	205.27 (29.18%)	207.56 (29.08%)	207.87 (28.81%)	208.37 (28.60%)	209.14 (28.20%)	210.33 (28.03%)	214.23 (28.21%)
光合作用释氧 Oxygen release	124.63 (17.72%)	126.34 (17.70%)	127.36 (17.65%)	127.61 (17.51%)	130.87 (17.65%)	133.92 (17.85%)	135.8 (17.88%)
净化大气 Air cleaning	2.50 (0.36%)	2.53 (0.35%)	2.53 (0.35%)	2.54 (0.35%)	2.55 (0.34%)	2.56 (0.34%)	2.61 (0.34%)
营养物质循环 Nutrients cycling	125.80 (17.88%)	127.52 (17.87%)	128.55 (17.82%)	128.8 (17.68%)	132.09 (17.81%)	135.18 (18.02%)	137.08 (18.05%)
总价值 Total value	703.51 (100.0%)	713.64 (100.0%)	721.52 (100.0%)	728.61 (100.0%)	741.66 (100.0%)	750.27 (100.0%)	759.54 (100.0%)

括号中数字是该项在当年总价值中的百分比。Numbers in brackets are value percentage in the year.



**Figure 1.** Comparison of positive effects of agro-ecosystem in Anyang between 2008 and 2014

**图 1.** 安阳市农田生态系统 2008 与 2014 年各项正效应价值比较

价值除社会保障外,其它六项都逐年递增,这主要归因于逐年增长的农作物种植面积和总产量。社会保障价值受到保障人数等复杂社会因素的影响有所起伏,约  $3 \times 10^8$  元,占总价值不到 0.5%。另外值得注意的是,土壤固碳、营养物质循环等这些非生产性价值约占总价值的 67%,且近三年来有增加趋势,显示安阳市农田生态系统在生产农产品的同时,更对维护当地自然生态系统平衡起到巨大作用。

### 3.2. 农田生态系统负效应

#### 3.2.1. 地下水资源消耗

安阳市地处黄淮平原,年降水量较少,境内无大河或水库,农田灌溉主要依靠地下水。单位面积灌溉成本以黄淮海地区平均灌溉成本  $2000 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$  计[15],由河南省统计局得到安阳市历年农田灌溉面积,由公式(14)得到安阳市地下水资源消耗费用(表 10)。

#### 3.2.2. 温室气体排放

北方旱地排放的温室气体主要是  $\text{CO}_2$  和  $\text{N}_2\text{O}$ 。基于前人研究,安阳市农田生态系统  $\text{CO}_2$  排放量取  $0.57 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  排放量折算为  $\text{CO}_2$  是  $1.37 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $\text{CO}_2$  排放成本取  $752.90 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$  [16]。由公式(15)计算出安阳市 2008~2014 年温室气体排放成本(表 11)。

#### 3.2.3. 地膜污染

地膜污染成本主要表现为影响土壤物理结构和生物活动从而导致农作物减产。根据已有研究,地膜残留造成的农作物减产损失率为 0.5% [7]。由公式(16)计算出安阳市地膜污染成本(表 12)。

#### 3.2.4. 农药损失

根据农业部最新数据,我国农药利用率为 36.6% [17],按此数值计算安阳市农药流失,农药价格按农药市场信息河南省近期农药平均价格  $37.55 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,由公式(18)计算安阳市农药流失成本。据研究,滥用农药导致农作物减产率约 1% [7],由公式(19)计算粮食减产造成的经济损失。两者之和为农药损失成本(表 13)。

#### 3.2.5. 化肥流失

按农业部最新数据,我国化肥利用率为 35.2% [17],化肥平均价格按  $2300 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$  计,由河南省统计局得到安阳市 2008~2014 年化肥使用量,由公式(20)计算出安阳市化肥流失成本(表 14)。

#### 3.2.6. 负效应成本与构成

以上计算的各项负效应成本总结于表 15,图 2 绘出了 2008 与 2014 年成本对比。可以看出,地下水消耗是负效应最主要的部分,每年都在  $60 \times 10^8$  元左右,占总成本 72% 以上。安阳市地处华北平原,降水量较小,也无大面积的地上水体,灌溉只能以地下水为主,所以安阳市要确保农业可持续发展,一个主要的工作重心是解决灌溉用水问题,一方面保护地下水资源,另一方面要改进灌溉技术,减少水资源消耗。温室气体排放居第二位,每年  $11 \times 10^8$  元左右,占总成本约 13%,且呈增长趋势,主要是由于大量施用化肥特别是氮肥所致。另外地膜和农药的大量施用也导致这两项成本呈逐年增长趋势。

### 3.3. 安阳市农田生态系统正负效应动态分析

图 3 绘出了安阳市农田生态系统 2008~2014 年正负效应及其差值的变化。正效应明显大于负效应,每年大约都是负效应的 9 倍左右。正负效应之差(即综合效应)逐年增长,由 2008 年的  $624 \times 10^8$  元增加到 2014 年的  $676 \times 10^8$  元,这主要归因于农田生态系统生物量的增加以及由此带来的农产品生产、土壤固碳、营养物质循环等价值的增长,而负效应部分则相对增加较小。但前面分析已发现,负效应中 70% 以上是



**Table 10.** Cost of underground water consumption (unit: 100 million yuan)**表 10.** 地下水资源消耗费用(单位:  $10^8$  元)

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
地下水消耗 Underground water consumption	58.65	59.62	59.43	59.77	59.76	59.23	60.26

**Table 11.** Cost of greenhouse gases release (unit: 100 million yuan)**表 11.** 温室气体排放成本(单位:  $10^8$  元)

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
温室气体排放 Greenhouse gas release	10.75	10.87	10.89	10.91	10.95	11.02	11.22

**Table 12.** Cost of mulching plastic film pollution (unit: 100 million yuan)**表 12.** 地膜污染成本(单位:  $10^8$  元)

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
地膜污染 Mulching film pollution	1.15	1.17	1.20	1.23	1.26	1.26	1.27

**Table 13.** Cost of pesticide loss (unit: 100 million yuan)**表 13.** 农药损失成本(单位:  $10^8$  元)

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
流失成本 Cost of loss	0.66	0.67	0.74	0.72	0.76	0.80	0.80
减产成本 Production reduction cost	2.30	2.34	2.40	2.45	2.51	2.53	2.54
总成本 Total	2.96	3.01	3.14	3.17	3.27	3.33	3.34

**Table 14.** Cost of fertilizer loss (unit: 100 million yuan)**表 14.** 化肥流失成本(单位:  $10^8$  元)

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
化肥流失 Fertilizer loss	5.70	5.80	6.30	6.50	6.50	6.80	7.10

**Table 15.** Negative effects of agro-ecosystem in Anyang 2008-2014 (unit: 100 million yuan)**表 15.** 安阳市农田生态系统 2008~2014 年负效应成本(单位:  $10^8$  元)

年份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
地下水消耗	58.65	59.62	59.43	59.77	59.76	59.23	60.26
Underground water consumption	(74.04%)	(74.09%)	(73.41%)	(73.27%)	(73.11%)	(72.55%)	(72.44%)
温室气体排放	10.75	10.87	10.89	10.91	10.95	11.02	11.22
Greenhouse gas release	(13.57%)	(13.51%)	(13.45%)	(13.37%)	(13.40%)	(13.50%)	(13.49%)
地膜污染	1.15	1.17	1.2	1.23	1.26	1.26	1.27
Mulching film pollution	(1.45%)	(1.45%)	(1.48%)	(1.51%)	(1.54%)	(1.54%)	(1.53%)
农药损失	2.96	3.01	3.14	3.17	3.27	3.33	3.34
Pesticide cost	(3.74%)	(3.74%)	(3.88%)	(3.89%)	(4.00%)	(4.08%)	(4.01%)
化肥流失	5.70	5.80	6.30	6.50	6.50	6.80	7.10
Fertilizer loss	(7.20%)	(7.21%)	(7.78%)	(7.97%)	(7.95%)	(8.33%)	(8.53%)
负效应总成本	79.21	80.47	80.96	81.58	81.74	81.64	83.19
Total cost	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)

括号中数字是该项在当年总成本中的百分比。Numbers in brackets are cost percentage in the year.

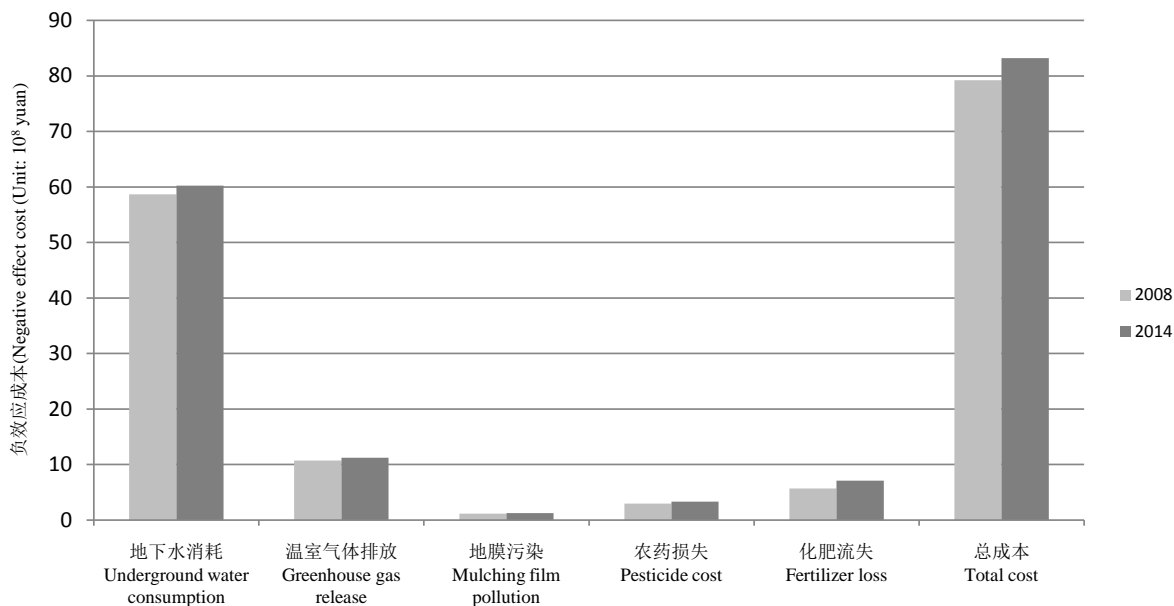


Figure 2. Comparison of negative effects of agro-ecosystem in Anyang, 2008-2014

图 2. 安阳市农田生态系统 2008 与 2014 年各项负效应成本比较

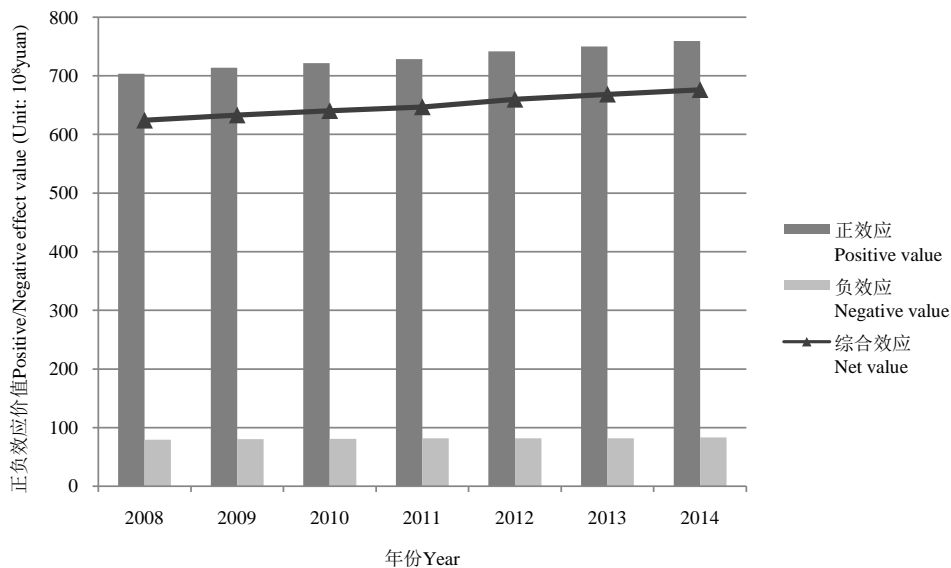


Figure 3. Dynamics of positive and negative effects and their differences (i.e. net effect)

图 3. 正负效应及其差值(综合效应)的历年变化

地下水消耗，而黄淮海地区地下水正越来越成为稀缺资源，地下水位正以每年 1~3 m 的速度下降[15]。由此可以预计，农业灌溉使用地下水的成本有可能迅速升高，导致正负效应的差距迅速缩小。这再一次突显了该地区地下水资源保护和节水灌溉的重要性。

## 4. 总结和讨论

### 4.1. 总结

本文核算了安阳市农田生态系统正负效应的价值，主要发现总结如下：

1) 正效应价值以大约  $10 \times 10^8$  元/年的速度增长, 2014 年接近  $760 \times 10^8$  元, 其中农产品生产价值约占 33%, 其次分别是土壤固碳(28%)、营养物质循环(18%)、光合作用释氧(18%)、土壤保持(1.7%)、社会保障(0.4%)和净化大气(0.3%), 这些非生产性价值占总值约 67%。当地农田生态系统在提供农产品价值的同时, 为自然生态系统平衡提供更大的价值。

2) 负效应价值基本趋势也是逐年增加, 2014 年是  $83 \times 10^8$  元多, 其中主要是地下水消耗, 占总成本 72% 以上, 其次是温室气体排放(13.5%)、化肥流失(8.5%)、农药污染(4.0%)和地膜污染(1.5%)。安阳市农业要实现可持续发展, 必须确保足够的灌溉用水, 重点可从两方面开展工作, 一是保护地下水资源, 二是采用节约型灌溉, 减少水资源消耗。

3) 正效应与负效应之差即农田生态系统净效益逐年增长, 2014 年是  $676 \times 10^8$  元, 主要归因于逐年增长的生物量以及由此带来的农产品生产、土壤固碳、营养物质循环等价值的增长。

## 4.2. 讨论

从正、负效应两方面考察农田生态系统价值是近年来生态农业领域的研究热点之一, 本文选取华北平原一个典型的粮食高产区--河南省安阳市进行了案例研究, 为安阳市以及国内其他县市农业资源管理、农业生态补偿等相关政策的制定提供了基础数据和信息参考。农田生态系统价值评价也可从其它角度展开, 如从生命周期评价角度评价农田生态系统的环境影响[18], 用能值分析法评估农田生态系统服务价值[19], 基于碳足迹的农田生态系统评价[20]等, 多种方法的存在为方法比较和择优提供了可能, 这值得在将来研究中进一步探讨。

本文正负效应各项都比较容易判别和计算, 但并不是农田生态系统价值的全部。选取了小麦、玉米等 7 种主要农作物而忽略其它农产品, 数据获取和处理过程不可避免会出现误差, 动态评价忽略物价变化, 这些都会给评价结果造成一定影响, 但短期内不会太显著, 如果对长期(比如几十年)的生态系统服务价值进行比较则应当考虑物价变化的影响, 必要时包括其它农产品也会提高评估精度。

农田生态系统还有其它如文化功能、审美价值等正效应, 也有物种单一、栖息地破碎、地下水污染等负效应。其中有些能够定量评价, 如用人力资本法评价农业生产区地下水硝酸盐污染造成的损失[21], 但通常难以量化或者数据获取比较困难, 本文没有包括在计算之中, 随着方法的改进和数据的完善, 有待以后在农田生态系统价值评价中包括这些方面。

## 基金项目

土壤与农业国家重点实验室开放基金项目(Y20160007); 山东省高校科技发展计划项目(J14LF04)。

## 参考文献 (References)

- [1] 谢高地, 肖玉. 农田生态系统服务及其价值的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(6): 645-651.
- [2] Costanza, R., d'Arge, R., Groot, R. D., et al. (1997) The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, **387**, 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- [3] Kinzig, A.P., Perrings, C., Chapin III, F.S., et al. (2011) Paying for Ecosystem Services—Promise and Peril. *Science*, **334**, 603-604. <https://doi.org/10.1126/science.1210297>
- [4] Daily, G.C. and Matson, P.A. (2008) Ecosystem Services: From Theory to Implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **105**, 9455-9456. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804960105>
- [5] Zhang, W., Ricketts, T.H., Kremen, C., et al. (2007) Ecosystem Services and Dis-Services to Agriculture. *Ecological Economics*, **64**, 253-260.
- [6] Foley, J.A., Defries, R., Asner, G.P., et al. (2005) Global Consequences of Land Use. *Science*, **309**, 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- [7] 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.

- [8] 杨志新. 北京郊区农田生态系统正负效应价值的综合评价研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006: 15-20.
- [9] 刘鸣达, 黄晓姗, 张玉龙, 等. 农田生态系统服务功能研究进展[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 834-838.
- [10] 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.
- [11] 陈宇, 李子轩, 齐建怀, 等. 漳卫河流域山区土壤侵蚀强度变化特征分析[J]. 海河水利, 2013(6): 20-22.
- [12] 张晓勇. 安阳市土壤养分现状分析[J]. 河南农业, 2014(3): 24-25+27.
- [13] 肖玉, 谢高地, 安凯, 等. 华北平原小麦-玉米农田生态系统服务评价[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 429-435.
- [14] 田耀武, 王建东, 张世平. 郑州西南绕城高速公路不同时期生态系统服务价值研究[J]. 中南公路工程, 2006, 31(3): 81-85.
- [15] 隋鹏, 陈素英, 陈源泉, 等. 黄淮海地下水亏水区农业生产用水生态代价评估——以河北省栾城县为例[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5): 178-181.
- [16] 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.
- [17] 李慧. 我国化肥利用率提高 2.2 个百分点[EB/OL]. 光明日报. [http://epaper.gmw.cn/gmrb/html/2015-12/03/nw.D110000gmrb\\_20151203\\_3-08.htm](http://epaper.gmw.cn/gmrb/html/2015-12/03/nw.D110000gmrb_20151203_3-08.htm), 2015-12-03.
- [18] 梁龙, 陈源泉, 高旺盛, 等. 华北平原冬小麦-夏玉米种植系统生命周期环境影响评价[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(8): 1773-1776.
- [19] 马凤娇, 刘金铜. 基于能值分析的农田生态系统服务评估——以河北省栾城县为例[J]. 资源科学, 2014, 36(9): 1949-1957.
- [20] 段华平, 张悦, 赵建波, 等. 中国农田生态系统的碳足迹分析[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 203-208.
- [21] 刘光栋, 吴文良, 刘仲兰, 等. 华北农业高产粮区地下水面源污染特征及环境影响研究——以山东省桓台县为例[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(2): 125-129.

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ije@hanspub.org](mailto:ije@hanspub.org)