

# 县南沟流域种植业生态价值的测算与分析 ——基于碳汇视角

王正淑<sup>1</sup>, 王继军<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 基于碳汇视角, 用实地测量和农户调研数据测算了县南沟流域种植业的净碳汇量及其价值, 以此表征种植业可实现的生态价值。结果表明: 2001—2014年, 种植业的生态价值总体上呈稳步递增趋势, 由2001年的35.34万元增至2014年的901.71万元; 种植业价值的演变过程可分为三个阶段, 第一阶段(2001—2004年), 经济作物>粮食作物>苹果园; 第二阶段(2005—2010年), 经济作物>苹果园>粮食作物; 第三阶段(2011年至今), 苹果园>经济作物>粮食作物; 苹果园、粮食作物、经济作物生态价值占生态经济总价值比例的均值分别为58.22%, 31.19%, 3.60%, 突显了生态价值的重要作用, 为此在农业生产中, 应综合考虑生态价值和经济价值来优化种植结构, 发展低碳农业。

**关键词:** 种植业; 生态价值; 生态经济价值; 净碳汇; 县南沟流域

中图分类号: F326.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)06-0261-06

## Calculation and Analysis on the Ecological Value of Planting Industry in Xiannangou Watershed Based on the Perspective of Carbon Sink

WANG Zhengshu<sup>1</sup>, WANG Jijun<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Based on the perspective of carbon sink, we calculated the net carbon sink of planting industry and its value by field measurements and accumulated 14-year peasant household survey data in the Xiannangou watershed, and evaluated the achievable ecological value of the planting industry. We also analyzed the ecological benefits of planting industry referring to the planting economic value. The results showed that the ecological value of the planting industry present the steady increasing trend, which increased from RMB353,400 to 9.02 million during the period from 2001 to 2014. The evolution of ecological economic value can be divided into three phases: the first phase (2001—2004), commercial crops>grain crops>apple orchards; the second phase (2005—2010), commercial crops>apple orchards>grain crops, the third phase (2011 to present). In the carbon sink market, the ecological value of planting industry accounts for 42.28% of the total ecological and economic value. Among them, ecological value of apple orchards, grain crops, cash crops account for 58.22%, 31.19%, and 3.60% of the total ecological economic value, respectively. That is to say, the ecological value of apple orchards has exceeded its economic value. The ecological value plays the increasingly important role. Therefore, the ecological value and economic value should be taken into comprehensive consideration to optimize planting structure in agricultural production, in addition, to reinforce the concept of low carbon production and progress the low-carbon agriculture. The government should introduce relevant encouragement policies and avoid influencing the ecological value for randomly expanding the scale of facility agriculture.

**Keywords:** planting industry; ecological value; ecological economic value; net carbon sink; Xiannangou Watershed

种植业具有生态价值和经济价值<sup>[1-3]</sup>, 长期以来, 人们仅关注种植业经济价值的提高, 通过投入大量化肥、农药、机械等来增加种植业的经济价值, 造成环境的污染与破坏<sup>[4]</sup>, 即在经济价值增加的同时导致了生

态价值的缩减,而种植业生态价值的维持与提高对于协调经济价值和生态价值关系,提升系统整体功能,具有重要的现实意义。已有研究大多是对种植业生态价值进行定性化描述,例如 Scott M. Swinton 指出农业生态系统能够提供水资源和气候调节服务、审美和文化服务、加强的支持服务,并且近年其提供多种生态服务的潜力已被公认,将潜力变成价值的科学和国家政策设计是生态经济的重要部分<sup>[5]</sup>;任春燕对生态价值的指标体系进行了阐述<sup>[6]</sup>;傅瓦利对土地利用改变前后生态效益的变化进行了定性的比较<sup>[7]</sup>;对生态价值的少许定量研究主要是借鉴 Costanza、谢高地团队等关于生态系统服务价值的相关研究,如叶延琼、张雅杰对农业生态价值的核算<sup>[8-9]</sup>,这些生态价值的定量研究主要针对农业生态系统,而对种植业生态系统生态价值货币化定量表征的研究相对而言更为薄弱,且其中部分价值核算不具有现实可操作性,对种植业生产者的直观感觉不明显,种植业生态价值和系统价值的研究相对滞后。在《京都议定书》生效并实施以后,基于碳汇视角是目前生态价值货币化的着眼点及经济显化的有效途径,故本文用年净碳汇价值定量表征土地利用结构保持不变情况下作物一个生命周期可实现的生态价值,用年净碳汇价值与经济纯收入之和表征种植业的生态经济总价值,选取黄土高原丘陵沟壑区的典型代表流域—县南沟作为研究对象,测算并分析种植业的生态价值,探索目前现实条件下种植业生态价值量化的可实现途径,为农业种植结构和农业土地利用结构的调整、资源的优化配置提供参考。

## 1 研究区概况

县南沟流域位于安塞县沿河湾镇(109°12′12″—109°22′12″E,36°41′24″—36°46′12″N),流域面积 50.64 km<sup>2</sup>,该区位于森林草原区,属典型暖温带干旱半干旱气候,年平均气温 8.8℃,年降水量 500~550 mm,降雨年际差异大,且年内分配不均,集中于夏季。该流域包括 5 个行政村(砖窑沟、方家河、畔坡山、崖窑、寨子湾)和 1 个自然村(何塌),2014 年有农户 544 户,人口 2529 人。农户收入主要来自于种植业、副业、外出务工、畜牧业等,种植业主要类型包括粮食作物、经济作物、苹果,粮食作物主要为传统农业,经济作物主要为设施农业,种植业纯收入由 2001 年的 907 元/人增长至 2014 年的 2945 元/人,总体呈上升趋势。县南沟流域的土地利用类型和结构、种植模式及耕作技术等陕北黄土高原丘陵沟壑区均具有典型的代表性。

## 2 研究方法与数据来源

基于碳汇视角的种植业生态价值计算关键在于

测算其固碳量和碳排量;生长季中作物固碳量与生产投入碳排量的差值为净碳汇,净碳汇与碳汇价格的乘积即为净碳汇价值(生态价值)。

### 2.1 固碳量测算方法

2.1.1 粮食和经济作物固碳量测算方法 种植业固碳量主要考虑农作物生长全生命周期中的碳吸收<sup>[10]</sup>,农作物碳吸收的计算公式<sup>[11]</sup>为:

$$C=\sum C_i=\sum \frac{\alpha_i\beta_i\gamma_i}{C_{fi}}$$

式中: $C$ ——固碳量; $C_i$ ——某种作物的固碳量(kg C); $\alpha_i$ ——作物经济产量(kg); $\beta_i$ ——作物经济产品部分的干重比; $C_{fi}$ ——作物经济系数; $\gamma_i$ ——作物合成有机质(干质量)所需吸收的碳。流域农作物的参数主要引自《省级温室气体清单编制指南》(发改办气候[2011]1041 号)、王修兰<sup>[12]</sup>(表 1)。

表 1 主要农作物参数

农作物	干重比	经济系数	碳吸收率	含氮量	根冠比
玉米	0.86	0.438	0.471	0.0058	0.17
谷子	0.83	0.385	0.45	0.0085	0.166
大豆	0.86	0.425	0.45	0.0181	0.13
糜子	0.83	0.455	0.45	0.0056	0.166
薯类	0.45	0.667	0.423	0.011	0.05
蔬菜类	0.15	0.83	0.407	0.008	0.25
花生	0.9	0.43	0.45	0.0182	0.2
其他粮食作物	0.88	0.4	0.45	0.0056	0.166
瓜类	0.1	0.7	0.45	—	—

注:因瓜类的含氮量和根冠比无从查找,用蔬菜的含氮量和根冠比代替。

2.1.2 苹果园固碳量测算方法 每年的固碳量用异速生长方程<sup>[13]</sup>(表 2)和碳转化系数计算,其计算公式为: $C=\sum A_i\rho[0.46(W_B+W_S+W_R+0.127W_{Fi})+0.176W_{Li}]$ 式中: $C$ ——固碳量(kg C); $i$ ——树龄; $W_B, W_S, W_R, W_{Fi}, W_{Li}$ ——树枝、干、根、果、叶的生物量干重(kg/株); $\rho$ ——种植密度(株/hm<sup>2</sup>); $A_i$ ——面积(hm<sup>2</sup>);0.46, 0.176为碳转化系数<sup>[13]</sup>;0.127 为苹果的干湿比<sup>[14]</sup>。

表 2 苹果树的异树生长方程( $D$  为胸径)

器官	干重/(kg/株)
树枝	$W_B=0.124D^{2.468}$
树干	$W_S=0.178D^{2.202}$
树叶	$W_L=0.160D^{1.312}$
树根	$W_R=0.159D^{1.998}$

### 2.2 碳排量测算方法

2.2.1 直接或间接碳排放 此部分碳排放的计算公式为:

$$E=\sum E_i=\sum \omega_i k_i$$

式中: $E_i$ ——各项生产投入的碳排放量; $\omega_i$ ——各项投入的数量; $k_i$ ——各项投入的碳排放系数(表 3)。

流域内农民使用的农作物种子有购买种子和自备种子,购买种子的碳排通过种子的零售价格来估算种子生产、包装、运输过程中能源消耗产生的碳排放<sup>[15]</sup>。苹果园的碳排还包括剪枝、套袋等。

表 3 农地各项投入碳排放系数及参考来源

碳源	碳排放系数	参考来源
磷肥	165.09 kg C/t	West,美国橡树岭国家实验室 <sup>[16]</sup>
钾肥	120.28 kg C/t	West,美国橡树岭国家实验室
除草剂	4702.38 kg C/t	West,美国橡树岭国家实验室
杀虫剂	4931.93 kg C/t	West,美国橡树岭国家实验室
农业灌溉	23.775 kg C/hm <sup>2</sup>	Dubey <sup>[17]</sup>
地膜	0.68 kg C/kg	陈琳 <sup>[18]</sup>
柴油	0.5927 kg C/kg	IPCC <sup>[19]</sup>

注:Dubey 界定灌溉的碳排放系数为 25 kg·C/hm<sup>2</sup>,但鉴于灌溉碳排主要通过火力发电消费化石燃料间接导致碳排放,故在其基础上乘以陕西火力发电系数<sup>[20]</sup>。

2.2.2 氧化亚氮排放引起的碳源量 氧化亚氮排放包括直接和间接氧化亚氮排放<sup>[21]</sup>,直接氧化亚氮排放量为氮肥、粪肥、残留根<sup>[22]</sup>的含氮量与直接排放因子的乘积,其中根的含氮量=作物总干重×根冠比×含氮率(表 1),排放因子取陕西农用地的平均值0.0056。间接氧化亚氮排放量包括施肥土壤的 NH<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub> 挥发经大气氮沉降和土壤氮淋溶、径流损失进入水体的氧化亚氮<sup>[23]</sup>,其中氮沉降引起的排放量=(N<sub>畜禽</sub>×20%+N<sub>输入</sub>×10%)×0.01,20%,10%,0.01 分别为 N<sub>畜禽</sub>挥发率、N<sub>输入</sub>挥发率、排放因子<sup>[24]</sup>;氮淋溶和径流引起的排放量=N<sub>输入</sub>×20%×0.007 5,20%为氮淋溶和径流损失的氮量占农用地总氮输入量的比例,0.0075 为排放因子<sup>[19]</sup>。氧化亚氮排放量乘以其全球增温潜势值 298 即为碳排放量当量。

2.3 种植业生态价值的表征及计算

本文用年净碳汇价值表征种植业的生态价值,经

济纯收入表征种植业的经济价值,生态价值与经济价值之和表征种植业的生态经济总价值。目前尚缺乏公认的碳汇价值的计算方法<sup>[25]</sup>,国内碳汇货币化多用碳税法和造林成本法<sup>[26]</sup>,欧阳志云比较运用两种方法,结果显示碳税法计算的价值约为造林成本法计算价值的 10 倍,可见碳税法估计的价值量过高,因此取碳税率和造林成本的平均值作为碳汇价格<sup>[27]</sup>。碳税率采用国家林业局的推荐使用价格 1 200 元/t C<sup>[28]</sup>,造林成本采用国家林业部的公布数据 240.03 元/m<sup>3</sup>,换算后为 260.9 元/t C<sup>[27]</sup>。由于通货膨胀,物价波动变化,需将碳税率和造林成本用每年的通货膨胀率进行调整,通货膨胀率数据来自国家统计局及 trading economics 网站。

2.4 数据来源及处理

种植业投入产出情况、经济收入和面积数据等来自课题组 2001—2014 年调研资料的累积;不同树龄果树胸径、栽植密度数据来自于 2014 年 8 月的野外实地测量;不同树龄果树的产果量、剪枝量和套袋量数据来自 2014 年 10 月的实地补充农户调研。利用 SPSS 16.0 和 Microsoft Excel 软件对数据进行处理,用 SigmaPlot 10.0 软件作图。

3 结果与分析

3.1 种植业碳汇的测算

根据《国民经济行业分类》(GB/T4754—2011)和县南沟流域的现实状况,将流域内的种植业分为粮食作物、经济作物、苹果园三大类,流域内的粮食作物主要有玉米、谷子、糜子、薯类等,经济作物主要有大棚蔬菜、西瓜、红葱等。各类作物历年的固碳与碳排情况如表 4 所示。

表 4 各类作物的碳汇量

年份	固碳量			碳排量			净碳汇量		
	苹果园	粮食作物	经济作物	苹果园	粮食作物	经济作物	苹果园	粮食作物	经济作物
2001	346.03	853.24	66.78	742.61	135.63	42.49	-396.58	717.61	24.29
2002	444.48	962.06	67.87	753.21	138.1	49.45	-308.73	823.96	18.42
2003	648.49	910.58	79.65	809.31	134.63	82.73	-160.82	775.95	-3.08
2004	929.64	910.09	96.84	1043.35	139.04	47.69	-113.71	771.05	49.15
2005	1653.94	1054.26	90.61	986.48	155.33	36.50	667.46	898.93	54.11
2006	2393.24	1024.56	64.30	1247.60	113.04	45.70	1145.64	911.52	18.60
2007	3283.7	1182.97	91.20	1188.78	154.10	42.08	2094.92	1028.87	49.12
2008	4215.19	1118.72	110.94	1274.30	131.69	40.27	2940.89	987.03	70.67
2009	5162.32	964.95	133.06	1404.34	163.30	39.78	3757.98	801.65	93.28
2010	5787.28	1039.56	106.37	1488.40	173.12	29.83	4298.88	866.44	76.54
2011	6482.42	1045.67	126.62	1604.09	143.26	53.61	4878.33	902.41	73.01
2012	7090.38	958.21	140.11	1700.59	119.90	65.51	5389.79	838.31	74.60
2013	7583.44	321.02	91.54	1802.60	121.90	70.04	5780.84	199.12	21.50
2014	8066.71	646.39	64.58	1955.19	124.63	52.35	6111.52	521.76	11.97

由表 4 可知,绝大部分年份种植业各类作物的净碳汇量为正。

2001—2004 年新增果园面积 131.53 hm<sup>2</sup>,原有 32.20 hm<sup>2</sup>,刚栽植果树生物量增长慢、固碳能力低,使得流域内平均果园固碳能力较低,而生产投入的碳排放量平均为 5.47 t/hm<sup>2</sup>,高于粮食作物和经济作物的单位碳排,因此净碳汇量为负,成为碳源;2003 年

经济作物虽有大的生产投入(单位碳排为历年平均的 1.56 倍),但因气候、种植技术等各种偶然原因,使其单位固碳仅为历年平均的 72%,出现碳排放量大于固碳量的情况。

3.2 种植业生态价值及分析

种植业生态价值(净碳汇价值)与生态价值占总价值的比例如表 5 所示。

表 5 生态价值占总价值的比例

年份	生态价值/万元				生态经济价值/万元				生态价值占总价值的比例/%			
	苹果园	粮食作物	经济作物	种植业	苹果园	粮食作物	经济作物	种植业	苹果园	粮食作物	经济作物	种植业
2001	-40.59	73.44	2.49	35.34	-12.33	175.8	72.39	235.87	—	41.77	3.43	14.98
2002	-31.34	83.65	1.87	54.18	17.63	208.65	42.43	268.71	—	40.09	4.41	20.16
2003	-16.2	78.15	-0.31	61.64	7.55	225.78	88.27	321.6	—	34.61	—	19.17
2004	-11.9	80.68	5.14	73.92	67	220.7	111.63	399.33	—	36.56	4.61	18.51
2005	71.1	95.76	5.76	172.62	181.4	259.59	107.84	548.83	39.2	36.89	5.34	31.45
2006	123.87	98.55	2.01	224.43	261.83	258.5	75.56	595.88	47.31	38.12	2.66	37.66
2007	237.38	116.58	5.57	359.53	414.88	329.24	151.2	895.33	57.22	35.41	3.68	40.16
2008	352.91	118.44	8.48	479.83	563.61	353.75	189.51	1106.87	62.62	33.48	4.47	43.35
2009	447.8	95.52	11.12	554.44	676.6	313.85	188.17	1178.62	66.18	30.44	5.91	47.04
2010	529.16	106.65	9.42	645.23	925.36	451.8	182.83	1559.99	57.18	23.61	5.15	41.36
2011	629.91	116.52	9.43	755.86	1188.81	423.06	221.57	1833.44	52.99	27.54	4.25	41.23
2012	710.56	110.52	9.83	830.91	1406.36	432.15	291.41	2129.92	50.52	25.57	3.37	39.01
2013	772.79	26.62	2.87	802.28	1005.29	132.81	219.9	1358	76.87	20.04	1.31	59.08
2014	829.25	70.8	1.66	901.71	1205.8	291.91	148.49	1646.19	68.77	24.25	1.12	54.78

注:2001—2004 年的苹果园和 2003 年的经济作物为碳源,因此其生态价值为负,占总价值的比例用“—”表示。

种植业生态价值呈稳步递增趋势,由 2001 年的 35.34 万元增至 2014 年的 901.71 万元,其中苹果园的生态价值逐年增加,主要原因是果树的自然生长和果树面积的不断增加;粮食作物的生态价值先波动上升后波动下降,由于前几年化肥投入的增加及种子的改良等,粮食作物的产量波动增加,近几年,大量青壮劳动力外出从事工副业,导致部分耕地撂荒且农地缺乏管护,粮食作物的产量波动下降;经济作物的生态价值年际波动较大,除 2003 年外,2002 年,2006 年,2013 年,2014 年亦出现了极低值,原因在于 2002 年经济作物的种植面积仅为历年平均值的 58%,2006 年的夏季高温少雨,2013 年遭遇自 1945 年有气象记录以来的大暴雨,致使经济作物和粮食作物的产量骤跌,粮食作物受灾更为严重,产量骤减至历年最低,2014 年在作物的生长季遭遇冰雹且种植面积仅为历年平均值的 78%。

2001—2014 年,种植业生态价值占生态经济总价值的比重总体呈波动上升趋势,增量为 39.79%;苹果园生态价值占总价值的比重呈稳步上升趋势,

2007 年后,其生态价值超过经济价值;粮食作物生态价值占总价值的比重逐渐下降,降幅为 41.94%;经济作物生态价值占总价值的比重波动较大,呈三峰型。总的而言,苹果园的生态价值大于其经济价值,粮食作物的生态价值约为经济价值的 1/2,经济作物的生态价值极其小,仅为经济价值的 3.69%。

3.3 种植业结构价值水平的比较分析

2005 年之前,苹果园的生态价值水平低于粮食作物和经济作物;之后,生态价值水平远高于粮食作物和经济作物,历年粮食作物的生态价值水平略高于经济作物(图 1),2005 年之前新增的大量苹果园使流域内苹果园总的净碳汇量、生态价值为负,生态价值水平亦为负,低于粮食作物和经济作物;经济作物的单位面积固碳能力与粮食作物相当,但其单位面积的碳排放量约为粮食作物的 4 倍,因此经济作物的生态价值水平低于粮食作物。2005 年之前,苹果园的经济价值水平低于粮食作物;之后,苹果园的经济价值水平高于粮食作物,历年经济作物的经济价值水平远高于苹果园和粮食作物(图 2),2005 年之前大部分果

树还没有挂果,因此此时间段其经济价值水平最低。对于生态经济价值水平而言,2005 年之前,经济作物>粮食作物>苹果园;2005—2010 年,经济作物>苹果园>粮食作物;2011 年至今,苹果园>经济作物>粮食作物(图 3)。

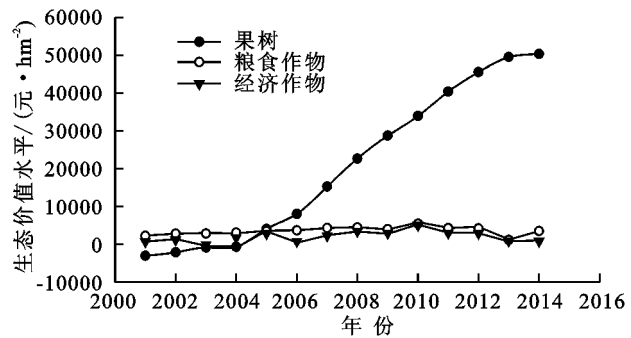


图 1 各类作物的生态价值水平

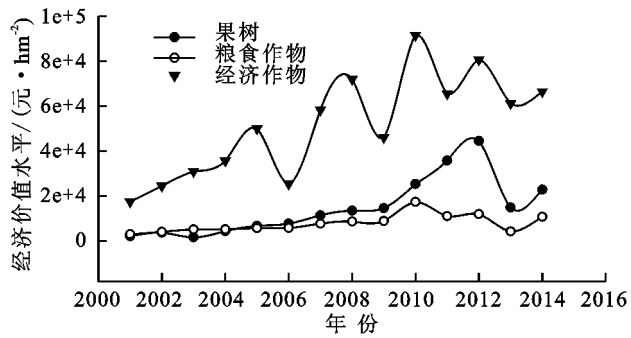


图 2 各类作物的经济价值水平

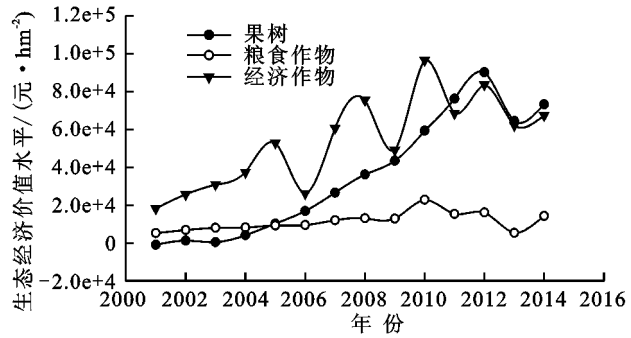


图 3 各类作物的生态经济价值水平

4 结论与讨论

本研究基于碳汇视角,以陕北黄土高原典型流域县南沟为研究对象,利用实地调研和测量的数据对流域主要种植业类型生长季的固碳量和碳排量进行了测算,用货币化的净碳汇价值定量表征碳汇交易下种植业的生态价值,并将种植业的经济价值作为对比参照对象,对比分析种植业的生态效益。结果表明:2001—2014 年,种植业的生态价值总体上呈稳步递增过程,由 2001 年的 35.34 万元增至 2014 年的 901.71 万元;种植业价值的演变过程可分为三个阶段,第一阶段(2001—2004 年),经济作物>粮食作物

>苹果园;第二阶段(2005—2010 年),经济作物>苹果园>粮食作物;第三阶段(2011 年至今),苹果园>经济作物>粮食作物。

长期来看,苹果园每年果树自然生长而增加的生物量高于粮食作物和经济作物,因此其生态价值水平高于后两者;粮食作物和经济作物的单位固碳量相当,但相比经济作物而言,流域内粮食作物没有农药、地膜、灌溉等碳排,化肥投入引起的碳排量也大大少于经济作物,因此粮食作物的生态价值水平高于经济作物;虽然经济作物的生态价值水平最低,但由于经济作物的经济价值水平约为苹果园的 3.5 倍、粮食作物的 6.6 倍,使得经济作物的生态经济总价值水平最高,苹果园和粮食作物次之。

在碳汇市场交易下,种植业可实现的生态价值占总价值的比重达 42.28%,其中苹果园、粮食作物、经济作物生态价值占生态经济总价值的比重为 58.22%,31.19%,3.60%,即苹果园的生态价值已超过其经济价值,因此,种植业生产经营过程中,应重视其生态价值,强化低碳生产理念,谨慎出台设施农业建设鼓励政策,避免因盲目扩大设施农业规模而影响生态价值的发挥<sup>[29]</sup>,做到宜果则果、宜菜则菜、宜粮则粮;改变以大量使用化肥、农药为标志的高投入、高能耗发展模式,逐步增加有机肥、生物农药等<sup>[30]</sup>,降低种植业生产中的碳排放<sup>[31]</sup>,实现生态经济的可持续发展。

基于碳汇视角测算种植业的生态价值具有一定的可操作性和可实现性,能够揭示生态价值在系统中的地位和作用,在目前情况下可为种植业结构调整、资源高效利用及系统优化提供参考。但对于全面揭示种植业的生态价值,还有待于在可测量的生态指标及计算模型方面做进一步的探讨。

参考文献:

[1] Qianwen G, Xiangli M, Limao W, et al. An Analysis on the Ecological Value and Contribution of Agriculture in Tianjin City[J]. Journal of Resources and Ecology, 2014,5(2):171-178.

[2] Westman W E. How much are nature's services worth? [J]. Science,1977,197(4307):960-964.

[3] Philpott S M, Bichier P, Rice R, et al. Field-Testing Ecological and Economic Benefits of Coffee Certification Programs[J]. Conservation Biology,2007,21(4):975-985.

[4] Mosier A R, Duxbury J M, Frenay J R, et al. Mitigating agricultural emissions of methane [J]. Climatic

- Change, 1998, 40(1): 39-80.
- [5] 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(2): 245-252.
- [6] 任春燕, 王继军. 黄土丘陵区农业生态经济效益评价指标体系的构建[J]. *水土保持通报*, 2009, 29(1): 155-159.
- [7] 傅瓦利, 谢德体. 三峡库区开县土地利用空间优化配置及其生态经济效益的比较研究[J]. *经济地理*, 2006, 26(1): 133-136.
- [8] 叶延琼, 李逸勉, 章家恩. 城市化过程中广州市农业生态系统服务价值的变化[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(6): 1523-1530.
- [9] 张雅杰, 邵庆军, 李海彩, 等. 生态景观型灌排系统面源污染防治试验及生态响应[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(1): 133-138.
- [10] 田云, 张俊飏. 中国种植业生态效益与经济效益协调性区域比较研究: 基于净碳汇视角[C]//农业环境与生态安全: 第五届全国农业环境科学学术研讨会论文集, 2013.
- [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, 2002.
- [12] 王修兰. 二氧化碳、气候变化与农业[M]. 北京: 气象出版社, 1996.
- [13] Wu T, Wang Y, Yu C, et al. Carbon sequestration by fruit trees: Chinese apple orchards as an example[J]. *PLoS ONE*, 2012, 7(6): 1-12.
- [14] 陈登文, 王飞, 高爱琴, 等. 果实套袋对矮化砧苹果树干物质生产力的影响[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2003, 31(4): 109-112.
- [15] Börjesson P I I. Energy analysis of biomass production and transportation[J]. *Biomass and Bioenergy*, 1996, 11(4): 305-318.
- [16] West T O, Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 91(1): 217-232.
- [17] Dubey A, Lal R. Carbon footprint and sustainability of agricultural production systems in Punjab, India, and Ohio, USA [J]. *Journal of Crop Improvement*, 2009, 23(4): 332-350.
- [18] 陈琳, 闫明, 潘根兴. 南京地区大棚蔬菜生产的碳足迹调查分析[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(9): 1791-1796.
- [19] Gómez D R, Watterson J D, Americano B B, et al. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [M]. Japan: the Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, 2006.
- [20] 陕西省统计局. 陕西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [21] 李迎春, 林而达, 甄晓林. 农业温室气体清单方法研究最新进展[J]. *地球科学进展*, 2007, 22(10): 1076-1080.
- [22] 逯非, 王效科, 韩冰, 等. 农田土壤固碳措施的温室气体泄漏和净减排潜力[J]. *生态学报*, 2009, 29(9): 4993-5007.
- [23] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. *生态环境*, 2004, 13(4): 656-660.
- [24] IPCC. 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [M]. IPCC/OECD/IEA, Paris, France, 1997.
- [25] 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.
- [26] 谢高地, 李士美, 肖玉, 等. 碳汇价值的形成和评价[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(1): 1-10.
- [27] 周萍, 刘国彬. 黄土丘陵区流域生物量和气体调节服务功能价值动态变化及评价[J]. *生态经济*, 2008, 35(3): 26-31.
- [28] 国家林业局. 《森林生态系统服务功能评估规范 (LY/T 1721-2008)》[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [29] 孙能利, 巩前文, 张俊飏. 山东省农业生态价值测算及其贡献[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(7): 128-132.
- [30] 张莉侠, 曹黎明. 中国低碳农业发展现状与对策探讨[J]. *经济问题探索*, 2011, (11): 103-106.
- [31] 许广月. 中国低碳农业发展研究[J]. *经济学家*, 2010(10): 72-78.