

退耕区域发展碳汇产业的生态经济学思考

王继军^{1,2*} 王正淑^{2,3} 成思敏^{2,4} 顾文² 李玥¹ 李茂森¹

(¹西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100; ²中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; ³重庆市万州第二高级中学, 重庆 404000; ⁴中国科学院大学, 北京 100049)

摘要 碳汇产业,即利用植物吸收二氧化碳的潜力及规律,在人工适度干预下获得清洁空气、满足人们生产和生活对生态环境需求的产业,为原有相对均衡或稳定的农业产业-资源系统的优化升级提供突破口和新的增长点.退耕区域生态系统服务中,固碳释氧功能的经济显化、碳汇潜力的迅速提高,以及国内外碳汇交易与碳汇市场的兴起等,为碳汇产业的发展奠定了理论和现实基础.随着碳汇产业的发展,生产经营者必然以提高碳汇产出为核心,形成对碳源的控制及对碳贮量增加路径的开发,重新布局农业产业-资源结构,因而为退耕区域可持续发展带来新的活力;同时,也隐含了下一步需要研发的重点,即碳汇产业融入后的农业产业-资源的配置结构及良性耦合机制.

关键词 退耕区域; 碳汇产业; 经济增长点; 碳汇潜力; 理论基础

Eco-economic thinking for developing carbon sink industry in the de-farming regions. WANG Ji-jun^{1,2*}, WANG Zheng-shu^{2,3}, CHENG Si-min^{2,4}, GU Wen², LI Yue¹, LI Mao-sen¹ (¹North-west A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; ²Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China; ³Wanzhou No.2 Senior High School, Chongqing 404000, China; ⁴University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China).

Abstract: Based on the potential and the law that plants absorb carbon dioxide, carbon sink industry means certain appropriate artificial intervention to obtain clean air, and to meet people's production and life demand for ecological environment industry. Carbon sink industry is considered as a breakthrough point and a new growth point for optimizing and upgrading of the original relatively balanced or stable agricultural industry-resources system. Among the ecosystem services in the de-farming regions, the rapid increase of the economic manifestation of carbon fixation and oxygen release function and the carbon sink potential, as well as the rise of carbon trading and carbon market both in domestic and international, have established a theoretical and practical basis for the development of carbon industry. With the development of the carbon sink industry, improving the carbon sequestration output will become the core of the carbon sink industry. The producers or marketers will form the controlling of the carbon source, the development of the path for carbon storage increasing and re-layout of agricultural industry-resources structure, and thus bring new vitality to regional sustainable development in the de-farming regions. This indicates the emphasis for the future research and development, that is, allocating the agricultural industry-resources structure and their benign coupling mechanism after integrating the carbon sink industry.

Key words: de-farming region; carbon sink industry; economic growth point; carbon sink potential; theoretical basis.

本文由国家自然科学基金项目(41571515)和国家重点研发计划项目(2016YFC0501707, 2016YFC0503702)资助 This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (41571515) and the National Key Research and Development Program of China (2016YFC0501707, 2016YFC0503702).

2017-05-08 Received, 2017-09-01 Accepted.

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jjwang@ms.iswc.ac.cn

我国以土地利用转换为重点的退耕任务已基本完成,生态环境得到改善,水土流失基本实现有效控制^[1-5],农业资源存量有所增加,但农业资源存量并未有效地转化为现实生产力,农业产业与农业资源的发展趋向缺乏协调性,其相悖态势明显.王继军等^[6]曾对安塞县和宝塔区共建的中尺度生态农业建设试验示范区、吴起县、米脂县等3个典型区域所代表的陕北退耕区域进行调研和农业系统耦合关系分析,结果表明,退耕农户除了种植的苜蓿得到一定程度利用外,其他林草资源大部分都没有得到有效利用;导致农业产业对系统耦合的影响系数为0.54,农业资源对系统耦合的影响系数为0.16,农业产业和农业资源间的相互影响系数只有0.28,即农业经济系统与农业生态系统耦合效果不明显,存在局部“相悖”的态势,潜伏了林草资源与其相关产业链网缺失的现象.所以,解决农业产业与资源的相悖问题成为提高农业资源利用效率、实现农业生态经济系统整体功能增强的现实和基础需求.

随着退耕还林还草工程的深化及农业资源量的稳定增长,面对退耕区域生态文明建设的需求,在退耕还林工程等政策及水土保持法等相关法律法规制约下,如果能够将潜在的生态功能经济显化、提高生态(农业)资源的附加值,对于解决农业产业与农业资源的相悖问题、促进退耕区农业生态经济可持续发展将会产生很重要的作用^[7].清洁发展机制(CDM)为碳汇产业的发展提供了机遇与可能,因为退耕还林工程所带来的大量林草地资源首先可通过碳汇形式实现其商品化,提高其附加值.而这一点也成为值得关注的学术问题^[8-15].基于此,目前迫切需要从理论或实证视角明确碳汇产业发展的必然性,以及碳汇产业是否可成为退耕区域新的经济增长点,是本文试图讨论的问题.

1 碳汇产业的界定及其显化模式

碳汇产业,即利用植物吸收二氧化碳(CO_2)的潜力及规律,在人工适度干预下获得清洁空气、满足人们生产和生活对生态环境需求的产业.碳汇产业是生产力与生产关系发展到一定阶段的产物,是人们解决生存问题后,为改善生存环境及建设生态文明背景下,通过利用植物吸收 CO_2 的潜力及规律,合理布局农业产业-资源系统结构,促使农业生态经济系统优化和良性循环而实现的生态生产与经济生产的有机统一.碳汇产业的基本特征为:1)固碳释氧(生态)功能的经济显化.固碳释氧作为植物的生态

功能具有正的外部性,通过碳汇产业,可将其生态功能所具有的外部性价值经济化,实现生态功能的经济价值.2)与原有农业产业-资源系统链网结构相伴生,并促使形成优化的农业产业-资源耦合系统.植物是一种很重要的农业资源,建立在其上的产业与其形成了一定的链网结构.在其耦合过程中,植物的经济属性得到了较大的发挥和利用,生态属性一直附着其上,并且发挥着作用.长期以来其价值并未得到实现,碳汇产业使这种价值得以实现;并且由于碳汇价值即植物经济功能的增值,为了实现功能最优,自然会形成一种新的耦合结构.3)概念性的商品.碳汇产业的载体是植物和土壤,主要过程就是固碳释氧,尽管通过植物的光合作用,实现了植物、土壤的固碳,同时释放了氧气,但这种产品不像农产品(粮食、蔬菜)给人以直观,但确实存在,并有可能感觉得到.

碳汇产业的显化模式包括:发展模式、生产(实施)模式、流通与交易模式.其中,发展模式通过商品型生态农业的建设来实现,即通过碳汇的商品化实现碳汇的经济价值,通过系统功能最大化实现碳汇产业与其他产业的优化,进而实现农业产业-资源的优化耦合;或者说,建立在资源合理配置、产业合理配置、农业产业-资源优化耦合基础上的碳汇生产,即生态系统与经济系统的优化耦合.生产(实施)模式则是以农用地为载体,以植物栽植与培育为手段,特别是以林草栽植、培育、林分改造、植被群落优化为核心,将碳汇生产融入农业产业-资源系统链网结构.植物等农业资源在利用过程中,本身是生态属性与经济属性的统一,在生产过程中具有自然生产与经济生产的有机统一.但在不同阶段强调的重点和表现形式不一致,在解决生存阶段,以经济生产为主,在解决环境改良与经济发展阶段,二者有机融合为核心,当生产力发展、空间耦合引起人们重视后,生态功能转化为经济功能成为可能.流通与交易模式的初期通过二氧化碳排放企业认购,后期实施商品交易.企业认购已有成功的案例,待碳汇产业被人们普遍认识后,可通过区域中介组织进行碳交易.

2 碳汇产业成为退耕区域新的经济增长点

农业生产是生态生产和再生产与经济生产和再生产的有机融合.从其原始意义而言,生态系统是农业产业-资源耦合系统的主要生产资料来源,是经济生产和再生产的物质基础,经济系统是农业产业-资源耦合系统的动力源,是生态系统功能的延伸.其核

心是农业产业-资源链网结构的构成和耦合^[16]。

随着退耕还林工程的实施与深化,目前土地利用结构趋于稳定,提供给农业产业发展的资源构成与资源量也趋于稳定,由于农业产业主要利用了可产生直接经济价值的农业资源,而对于生态系统所能提供的其他生态系统服务功能尚未直接利用(有时可能是间接在发挥作用),导致区域农业产业构成趋于稳定,在现有的技术水平和经济制度下,农业产业发展趋于稳定或将趋于稳定。为此,为了提高农业系统产出,对生态系统功能的经济延伸成为选择的一条有效路径,在比较成熟的清洁发展机制下,碳汇产业会成为一个突破口,可能会成为区域农业持续发展的新的经济增长点。

2.1 不同需求背景下农业产业-资源(生态经济)系统的关系:碳汇产业产生的必然性

人类的需求大致可以划分为生存需求、生活发展需求、身心健康需求^[17],各个需求类型下农业产业与农业资源系统耦合方式及关系是不一样的。

从表 1 可以看出,不同需求类型下资源(生态)系统的具体生态功能及外在表现形式各异:在生存需求阶段,由于资源供给大于对资源的需求以及人们追求粮食这一目标,资源(生态)系统生态功能不形成市场(需求)短缺,因而无所谓直接感官及生态功能的经济显化;在生活发展需求阶段,基本上仅关

心经济效益,所以资源(生态)系统生态功能未引起人们的重视,在过度的利用与掠夺下,资源(生态)生态功能在满足了区域低层次需要后再无输出之源;在身心健康需求阶段,地理环境上造成的资源(生态)生态功能的不平衡性,使其均衡化成为潜在的需求。随着经济水平的提高及追求身心健康的理念的主导地位的确立,这种均衡化的潜在需求需要变成现实,唯一的路径通过市场来调节和实现,新的产业——生产生态功能的产业应运而生。按照目前的可行性,唯有清洁发展机制提供了碳汇交易的可行性,因而为满足这一需要下的碳汇产业成为必然。

2.2 固碳释氧功能经济化的理论分析:碳汇产业产生的理论基础

碳汇主要源于森林资源^[18-19],所以以森林资源为例进行分析。《森林生态系统服务功能评估规范 LYT 1721—2008》^[20]表明,森林生态系统服务是森林生态系统及其循环过程中所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用,主要包括森林在水源涵养、土壤保育、固碳释氧、营养物质累积、大气环境净化、森林防护、生物多样性保护和森林游憩等方面提供的生态服务功能,即森林生态系统服务功能的表征指标包括 8 项类别^[21-23]。森林包括天然林和人工林,退耕生态林作为人工林的一种类型,提供上述生态服务。

表 1 不同需求层次下农业产业-资源系统的耦合关系
Table 1 Coupling relationship of agricultural industry-resources system under different demands

需求层次 Demand level	农业产业-资源系统关系 Relationship of agricultural industry-resources system	资源利用形式 Ways of resource utilization
生存需求 Existence need	以粮食需求为核心,在生产者能力可控范围内对自然资源进行直接利用。在人类产生及发展初期,自然资源完全能够满足人类的需求,只是劳动力能力所限,勉强满足生存所需,这时资源供给远远大于对资源的需求,形成了资源剩余及可恢复下的狩猎与资源的耦合;真正意义上的农业发展起来后,开始对自然资源进行改造式利用,比如开垦种粮,此时由于人口较少导致需求量较小,因而对资源系统局部造成的破坏在其所依赖的生态环境系统的自恢复能力范围内,形成了系统的可持续发展,这一时期由于资源供给大于对资源的需求,因而(从现代理念而言)人们生存在一个舒适的环境之中,自然所提供的生态功能被人类不自觉的在消费,形成了低水平上农业产业(生产项目)-资源的良性耦合	直接利用资源的经济价值,资源的潜在生态价值被动地被利用,生态功能支撑了经济功能。这个阶段人们只关心资源被利用的经济功能
生活发展需求 Life development need	在满足粮食基本需求的基础上,以经济收入和粮食为核心,按照“粮食-经济收入”逐步过渡到“经济收入-粮食”的需求顺序。在传统农业后期,由于生产技术水平低下,只有靠广种获得粮食需要,依赖于超载放牧获得部分收入,生态系统超出其承载力,所形成的生态资源不断减少,满足不了产业(或生产项目)发展的需求,出现农业产业-资源系统局部相悖的态势。在生态农业初期,依赖于生态系统恢复技术,并在提高土地生产力的基础上,阻隔局部农业产业-资源链网结的循环,集约化利用物、能,提升资源的潜力和可恢复力,形成农业产业-资源耦合系统的逐步优化	直接利用资源的经济价值,通过恢复资源的潜在生态功能促使其经济功能的提升。这个阶段人们只是关心资源被利用的经济功能
身心健康需求 Physical and mental health need	在人们的生活发展需求得到初步满足后,开始关注生活生产环境状况,资源(生态)系统生态功能逐步引起人们的重视。人们趋向于探索恢复、重建及美化环境的路径,探索消除环境污染的方法,即强化生态文明建设,通过这一过程创造宜居环境。也就是说,资源的经济功能不能建立在对生态功能的无限破坏之上,资源(生态)生态功能的吸收 CO ₂ 释放氧气功能、植物多样性功能、保持水土涵养水源功能、食物供给功能等应同时提到一个新的高度。在这个阶段,资源的经济功能与生态功能的本质关系得以体现,资源与产业互动过程得到强化,农业产业-资源进入协调化发展阶段	直接利用资源的经济价值和生态价值,具有外向经济性的资源的生态功能随着需求的增加而趋于市场化。这个阶段作为资源生态功能的提供方,更关注生态功能的经济显化及效应

按照联合生产理论^[24],森林生态系统的8项服务功能依据其属性可划分为经济品或非经济品;外部性理论可将森林生态系统的8项服务功能区分为具有正外部性的服务功能和不具有正外部性的服务功能;边际效用价值论则将森林生态系统的8项服务功能划分为具有经济或不具有经济价值两种类型.通过这3个理论综合运用和比较,可以看出碳汇是近期最应该实现并且能够实现经济显化的生态服务功能(表2).

退耕生态林属于退耕区域农业系统的联合生产,农户栽植和经营的生态林具有多用途性,可根据需要生产多种产品,这些产品可归为经济品和非经济品^[25].在生态林的8项主要生态服务功能中,所累积的营养形成木材,通过木材的交易或销售获得经济收入,是生态林的经济产品,森林防护、生物多样性保护、涵养水源、保育土壤、固碳释氧、净化大气环境和森林游憩是生态林的非经济产品.生态林所产生的产品中,经济产品是可以实现的商品,而非经济产品(生态产品)却因为没有明显接受的产品实体及属于公共物品的性质、不需要购买即可得到等原因尚未进入交易环节.

外部性是相关联的经济主体之间一种主体对其他主体所产生的一种外部影响,且这种外部影响不能通过交易或市场来体现^[26].外部性即外部成本、外部效应或溢出效应,可以分为正外部性和负外部性.正外部性就是生产者生产的产品(商品)在他人使用的情况下而不支付相应费用的现象;负外部性

就是生产者或消费者生产或消费的产品(商品)使一些人受到损失而又得不到相应补偿的现象.

生态林的服务功能中有的具有正外部性,因而对提供这一产品的生产者给予与外部性收益相一致的补偿,并可促进生产者对正外部性产品的供给积极性,能够提高社会效益.涵养水源主要被生态林所在区域生产或居住的人们享用^[27],受益的主要为流域内的居住户,尽管具有好的生态和社会效益,但没有正外部性,不需要补偿;保育土壤(包括固土和保肥两项评估指标)的情况也是如此;森林游憩通常会满足游客的需要,通过旅游者为其支付门票实现其价值,只是其价值受市场供求的影响而具有不稳定性,没有正外部性,不需要进行补偿.

根据正外部性理论,生态林提供的生态服务中,森林防护、净化大气环境、固碳释氧、生物多样性保护有正外部性,需要补偿,积累营养物质、保育土壤、森林游憩、涵养水源没有正外部性,不需要补偿.

从效用价值论来看,效用是一种心理预期的实现程度或感受,是一定背景下物品能够满足自己的某种欲望的程度或人们对物品使用价值的主观心理评价,通过商品的边际效用来度量.边际效用论认为价值起源于效用,并且以物品的稀缺性为条件,稀缺性与效用是价值能够实现的充要条件,只有在物品相对于人的理念或欲望来说稀缺的时候,才构成福利(甚至生命)不可或缺的条件,从而产生人的需要.

尽管正外部性的物品都有一定的社会或生态收益,但都不一定具有市场价格,主要原因之一是这类物品不够稀缺,资源的稀缺性是其市场和价值形成的基本条件.随着人类欲望的提高,越来越多的公共物品、资源或产品因为变为稀缺品而进入市场,成为商品.全球生态破坏、环境污染、资源瓶颈、温室效应,碳排放所占及所需的空间成为稀缺资源^[28].生态林具有正外部性的服务功能中,净化大气环境、生物多样性保护功能非常重要但不足够稀缺,暂时不会进入市场,而固碳释氧服务功能的稀缺性正引起人们的关注并进入市场,需要予以补偿.

综上,退耕生态林生态系统的服务功能中,仅有固碳释氧功能引起人们的关注和价值评估,需要予以补偿以保障这一功能的供给能力;其他服务功能未引起人们普遍的关注及价值评价.这样,固碳释氧生态功能的经济实现——碳汇产业成为可能.

2.3 碳汇潜力显现:碳汇产业的现实基础

随着退耕还林工程的实施,生态系统得以重建、恢复、改善,生态资源量显著增加,碳汇潜力得以提

表 2 森林生态系统服务的分类
Table 2 Classification of forest ecosystem services

森林生态系统服务 Forest ecosystem services	非经济品 Non-commodity	正外部性 Positive externality	经济价值 Economic value
积累营养物质 Accumulation of nutrients	N	N	Y
涵养水源 Water conservation	Y	N	N
保育土壤 Soil conservation	Y	N	N
固碳释氧 Carbon fixation and oxygen release	Y	Y	Y
净化大气环境 Atmospheric cleaning	Y	Y	N
森林防护 Forest protection	Y	Y	N
生物多样性保护 Biodiversity conservation	Y	Y	N
森林游憩 Forest recreation	Y	N	N

Y: 是 Yes; N: 否 No.

高,为碳汇输出和交易提供了物质基础,使碳汇产业的发展变为现实.下面以本课题组在黄土丘陵区典型代表流域县南沟流域的实测结果和代表县域安塞县的测算结果为例进行阐述.

县南沟流域位于安塞县沿河湾镇(36°41′24″—36°46′12″ N,109°12′12″—109°22′12″ E),流域面积 50.64 km²,曾针对生态环境恶化的状况逐步退耕还林还草,1999 年成为退耕还林工程的试点流域,开始了退耕还林还草工程,退耕还生态林为刺槐纯林,退耕还林(草)工程使该流域林草面积及覆盖率显著提高,截至 2015 年,生态林面积 1279.86 hm²,经济林面积 527.33 hm²,耕地:林地:草地面积比例为 1:7.9:10.6,水土流失得到有效控制.

2014、2015 年本课题组对县南沟流域 5 个时点(1995、1999、2000、2002 和 2004 年)及相邻的瓦树塌村 1 个时点(1976 年)栽植的刺槐林进行生物量和土壤测定,采用国家林业局公布的陕西省刺槐异速生长方程^[29],获得了县南沟流域刺槐碳汇量计算模型:

$$C_t = 0.453W_T(t) + 0.477W_B(t) + 0.470W_L(t) + 0.473W_P(t) + 0.459W_R(t)$$

式中: C_t 为刺槐单株碳汇量(kg C); W_T 、 W_B 、 W_L 、 W_P 、 W_R 分别为刺槐干、枝、叶、皮、根的生物量(每株 kg); t 为树龄;0.453、0.477、0.470、0.473、0.459 分别为刺槐干、枝、叶、皮、根各树龄含碳率的平均值.

测算出刺槐一个生产周期的碳汇量(图 1),获得碳汇价值 96484.81 元·hm⁻².如果以树龄 18 a 之后为时段(此树龄段之后碳汇价值大于国家补偿标准,且该流域大部分刺槐林树龄接近 18 a),到刺槐衰退时,平均每年可获得 3692.35 元·hm⁻²^[30].

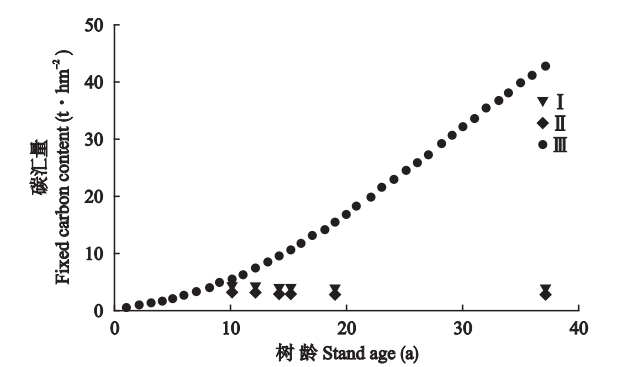


图 1 刺槐林碳汇量
Fig.1 Annual content of fixed carbon in different parts of forestry.
I: 林下草 Understory grass; II: 枯落物 Ground litter; III: 刺槐 *Robinia pseudoacacia* trees.

顾文等^[31]利用相关参数及异速生长方程等计算县南沟流域 2012 年净碳汇量为 6433.63 t,是 1999 年(1982.22 t)的 3.25 倍.其中,林地碳汇量以年平均 1.08 倍的速度递增,是流域净碳增汇的主要来源;耕地碳汇量在波动中保持稳定,但固碳比例在下降,是流域碳汇的次要贡献者;园地在 2011 年之前为碳源,之后为碳汇.在此需要说明,如果作物秸秆焚烧,其又排入大气;如果翻耕进入土壤,则达到了固碳释氧之目的.实现碳汇价值也可以有效防止作物秸秆焚烧.

县南沟流域所在地的安塞县(面积 2950 km²),95%属于山地,自 1999 年实施退耕还林工程以来,2013 年林地面积达到 146900.4 hm²,新增林地面积 90484.0 hm².按照县南沟流域实测所形成的测算系数,2013 年安塞县因退耕增加的生态林带来的碳汇约 170823 t.退耕还林工程实施后,碳汇潜力较大,为碳汇产业的发展提供了现实物质基础.

2.4 碳汇市场的兴起:碳汇产业产品的可交易性及雏形

碳汇交易是随着碳减排的需求而产生与发展的,除了政府间谈判所形成的共识和义务外,企业或者为树立良好的形象、或者为减少生产过程中 CO₂ 减排成本,开始栽植或购买碳汇林.一般而言,在新的工艺技术或替代技术尚未成熟阶段,企业为减少 CO₂ 排放而进行的能源更替或者限产所花费的成本或减少的利润远远高于栽植或购买碳汇林的成本,对于有条件的企业,首先会考虑实施碳汇林以抵消其减排任务.美国应用能源服务公司(AES)为了减少在康涅狄格州一家火电厂的温室气体排放所造成的危害,拟投资 200 万美元建设 18.6 万 hm² 碳汇林地;荷兰电力委员会(SEP)为了抵消其所属电厂的碳排放量,预算 1.8 亿美元建立林业碳汇项目,分别投资马来西亚沙巴州的热带雨林的恢复项目及厄瓜多尔、捷克、荷兰和乌干达的林业碳汇项目^[32].

中国碳汇市场发展相对较晚,虽然未形成关于碳汇市场明确的、可公认的定义及其运行机制,但是初步构建了碳交易市场体系.首先,温室效应和雾霾天气对大气治理的需求、我国政府对清洁发展项目的重视、森林碳汇科研领域的大量阶段性成果的产出等,为碳汇市场的迅猛发展奠定了坚实基础.目前,我国已经在北京、上海、天津、重庆、广东、湖北、深圳等省市建立了碳交易试点,所形成的二级交易市场相对比较活跃^[33].如 2010 年 4 月,上海环境能源交易所网上交易平台第一个月就成交 526 例.同

时,我国政府激励跨地区、跨行业、跨所有制、跨国的投资者投资林业行业,比如云南、四川与保护国际和美国大自然保护协会等非政府组织进行植被恢复和生物多样性保护林业碳汇项目示范;河北省与荷兰 CDM 咨询公司探索建立碳汇项目等^[34]。

随着碳汇交易市场的不断完善,国内的碳汇生产和交易活跃。退耕还林工程实施后,退耕生态林表现出较大的固碳潜力^[35-36],所形成的碳汇量能够通过清洁发展机制中的 CER 与一些国家进行碳汇贸易^[37-38]。如 2006 年 11 月,清洁发展机制执行理事会批准珠江流域在苍梧、环江两县栽植 4000 hm² 碳汇林;世界银行和生物碳基金会董事会计划在广西百色市建造 10000 hm² 碳汇林^[39]。2011 年元月,中国在联合国已成功注册了 1162 个清洁发展机制项目,占已注册项目总数的 42.5%^[40],成为国际碳排放交易的最大供应国,所具备的交易潜力和远景较大。按照清洁发展机制(CDM)的规制,碳汇成为目前生态林生态系统服务功能中唯一能够进行市场交易的“产品”,碳汇贸易具有广阔的国际市场潜力,退耕生态林碳汇是其重要组成之一。

2010 年 8 月,我国成立了以应对气候变化为目的的中国绿色碳汇基金会,鼓励企业捐款建造碳汇林;2011 年 11 月,10 家企业与中国绿色碳汇基金会在华东林业产权交易所签约,以每吨 18 元的价格认购了其首批 14.8×10^4 t 林业碳汇,拉开了我国“林业碳汇指标认购”的序幕^[41]。2011 年,在阿拉善盟经济开发区,苏格兰皇家银行与中盐吉盐化集团正式签订碳减排购买协议,苏格兰皇家银行将购买中盐吉盐化集团电石渣制水泥项目 10 年内(2011 年 1 月至 2020 年 12 月)的温室气体(CO₂)排放量指标,累计约 294×10^4 t^[42]。

国内多种形式的碳汇交易尝试及其市场体系的初步形成为碳汇产业提供了客观基础,已实施的碳汇交易及其所依赖的碳汇生产经营可认为是碳汇产业产生的雏形。

2.5 碳汇产业将形成新一轮农业产业-资源结构调整:结构优化升级和产生新的增长点

碳汇产业是在不增加生产成本的(原始)基础上产生的,因而一旦变为现实必为区域带来较大的冲击,特别是对生产经营者理念的冲击,这时生产经营者就会根据比较利益原则、效益最大化原则、系统互动与优化耦合原则重新调整和布局资源结构。也就是说,碳汇产业的形成与发展,将改变原有的产业结构,进而改变原有的资源利用结构。这一结果使得

目前相对比较稳定的农业结构及由此导致的收入路径受限的状况得以改变,在原有的经济发展格局下产生新的突破口,形成区域农业生态经济新的增长点。

顾文等^[43]曾以县南沟流域为研究对象,分析了该流域商品型生态农业发展的可能路径,设置了 3 个阶段 5 种情景:阶段 I 为现状发展态势,设置一种情境,即现状态势情境;阶段 II 为农业生态系统与农业经济系统“链网”构建阶段,设置全舍饲和半舍饲半放牧两种情境;阶段 III 为农业经济系统与农业生态系统优化耦合阶段,设置全舍饲+碳汇、半舍饲半放牧+碳汇两种情境。经过优化并分析获得如下研究结果:县南沟流域商品型生态农业系统遵循“现状发展态势→农业生态系统与农业经济系统链网构建阶段→农业经济系统与农业生态系统优化耦合阶段”的发展路径,且在农业经济系统与农业生态系统优化耦合阶段土地利用结构发生较大改变。目前该流域林、草资源搁置、浪费,商品型生态农业系统链网结构不完善;通过第一和第二阶段的优化,按照草地等级和可利用潜力,有效利用草地资源,并增加作物秸秆的利用率,形成半舍饲半放牧养殖业的生产经营格局,从而促使商品型生态农业系统链网结构的完善,实现县南沟流域“种植业、林草资源→养殖业→农家肥→果业、大棚业”系统链网结构的良性循环。这两个阶段流域的农林牧土地利用结构为 1 : 6.31 : 7.66,主要是粮食用地和牧草地内部种植结构的调整。而在退耕工程实施一定年限后,林地完全成林,可将碳汇产业融入农业系统链网结构,培育碳汇产业这个新的增长点,生产经营者通过向碳汇市场提供林地碳汇获取收益。此时土地利用结构调整调整为 1 : 12.6 : 4.4,系统经济效益可达到 3567.13 万元,比现状的 2053.66 万元多 1513.47 万元。

3 结 语

碳汇即资源(生态)系统固碳释氧功能具有正的外部性,本质上应该获得补偿或实现其经济价值。随着人类需求层次的提高,在生活发展需求达到一定程度并向身心健康需求转化过程中,以固碳释氧功能为核心的生态功能的效应愈来愈大,并且由于区域生态功能的异质性和非均衡性,其交易及经济价值的实现成为必要。针对目前清洁发展机制(CDM)所提供的机遇及退耕区域拥有较大的碳汇量,碳汇产业成为满足各方需求的必然结果。

碳汇产业,即利用植物吸收 CO₂ 的潜力及规

律,在人工适度干预下获得清洁空气,满足人们生产和生活对生态环境需求的产业.它是原有资源系统(生态系统)在不增加生产成本下的系统经济功能的提升,并为原有相对均衡或稳定的农业产业-资源系统的优化升级提供了突破口和新的增长点.碳汇产业发展起来后,生产经营者就会根据比较利益原则及行为效用大小,重新布局农业产业-资源结构,因而为退耕区域可持续发展带来新的活力.

碳汇产业的发展必然以提高碳汇产出为核心,因而人们自觉不自觉地形成了对碳源的控制及对碳储量增加路径的开发,林分结构调整、生物群落优化、植被可持续经营等都会得到有效实施,甚至作物秸秆焚烧、生活中相关碳源减量等问题也会得到有效解决.这为退耕区域生态文明建设奠定了重要基础.

围绕“碳汇产业成为退耕区域新的经济增点”主线,明确碳汇产业融入后农业产业-资源的配置结构及良性耦合机制,将成为下一步重点要解决的问题.

参考文献

- [1] Wang J-J (王继军). Agricultural eco-economic system coupling in Zhifanggou Watershed in hilly-gully region of Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(11): 2723-2729 (in Chinese)
- [2] Wang B, Gao P, Niu X, *et al.* Policy-driven China's grain to green program: Implications for ecosystem services. *Ecosystem Services*, 2017, **27**: 38-47
- [3] Putz G, Burke JM, Smith DW, *et al.* Modelling the effects of boreal forest landscape management upon stream. *Journal of Environmental Engineering & Science*, 2003, **2**: S87-S101
- [4] Cao S, Chen L, Xu C, *et al.* Impact of three soil types on afforestation in China's Loess Plateau: Growth and survival of six tree species and their effects on soil properties. *Landscape & Urban Planning*, 2007, **83**: 208-217
- [5] Liu J (刘佳), Wang J-J (王继军). Coupling situation of agriculture-ecology-economic system in Zhifanggou Watershed of loess hilly and gully region. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(6): 1511-1517 (in Chinese)
- [6] Wang J-J (王继军), Li H (李慧), Su X (苏鑫), *et al.* Study on coupling relationship of agricultural eco-economic system based on farm level in northern Shaanxi loess hilly-gully region. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 2010, **25**(11): 1887-1896 (in Chinese)
- [7] Xu W, Khoshroo N, Bjornlund H, *et al.* Effects of "Grain for Green" reforestation program on rural sustainability in China: An AHP approach to peasant consensus of public land use policies. *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, 2014, **28**: 867-880
- [8] Wei X-H (魏晓华), Zheng J (郑吉), Liu G-H (刘国华), *et al.* The concept and application of carbon sequestration potentials in plantation forests. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2015, **35**(12): 3881-3885 (in Chinese)
- [9] Yang F (杨帆), Zeng W-Z (曾维忠), Zhang W-K (张维康), *et al.* Foresters' constant participation willingness and affecting factors in forest carbon sequestration project. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2016, **52**(7): 138-147 (in Chinese)
- [10] Yang Z-H (羊志洪), Ju M-T (鞠美庭), Zhou Y-P (周怡圃), *et al.* Clean development mechanism and construction of carbon trading market in China. *China Population, Resources and Environment* (中国人口·资源与环境), 2011, **21**(8): 118-123 (in Chinese)
- [11] Yao P (姚平), Chen X-G (陈先刚), Zhou Y-F (周永锋), *et al.* Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2014, **34**(11): 3025-3037 (in Chinese)
- [12] Silver W, Ostertag R, Lugo A. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restoration Ecology*, 2000, **8**: 394-407
- [13] Montagnini F, Nair PKR. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 2004, **61-62**: 281
- [14] Ning K (宁可), Shen Y-Q (沈月琴), Zhu Z (朱臻). Analysis of rural households' cognition and management willingness of forest carbon sequestration: Surveys of rural households in Zhejiang, Jiangxi and Fujian Provinces. *Journal of Beijing Forestry University* (Social Sciences) (北京林业大学学报:社会科学版), 2014, **13**(2): 63-69 (in Chinese)
- [15] Rohit J, Brent S, John K. Forestry-based carbon sequestration projects in Africa: Potential benefits and challenges. Oxford: Natural Resources Forum, 2008: 116-130
- [16] Wang J-J (王继军), Jiang Z-D (姜志德), Lian P (连坡), *et al.* Coupling analysis of the agricultural ecological economic system over 70 years in the Zhifanggou Watershed, Shaanxi Province. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2009, **29**(9): 5130-5137 (in Chinese)
- [17] Maslow A. Motivation and Personality. Beijing: China Social Sciences Press, 1999 (in Chinese)
- [18] Wang Z-S (王正淑). Study on the Compensation Standard of Farmland Returning to Forest in Xiannangou Watershed Based on the Perspective of Carbon Sink. Master Thesis. Yangling: Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, 2016 (in Chinese)
- [19] Ashton R, Basri C, Boer R, *et al.* How to include terrestrial carbon in developing nations in the overall climate change solution [EB/OL]. (2010-01-03) [2017-03-04]. [http://xueshu.baidu.com/s?wd=paperuri:\(d007fc74abb82a3eb424f5adbae470fd\)&filter=sc_long_sign&sc_ks_para=q%3DHow+to+include+terrestrial+carbon+in+developing+nations+in+the+overall+climate+change+solution&tn=SE_baiduxueshu_c1gjeupa&ie=utf-8&sc_us=14951046247061340939](http://xueshu.baidu.com/s?wd=paperuri:(d007fc74abb82a3eb424f5adbae470fd)&filter=sc_long_sign&sc_ks_para=q%3DHow+to+include+terrestrial+carbon+in+developing+nations+in+the+overall+climate+change+solution&tn=SE_baiduxueshu_c1gjeupa&ie=utf-8&sc_us=14951046247061340939)
- [20] State Forestry Administration of the People's Republic of China (国家林业局). Specifications for Assessment of Forest Ecosystem Services in China. Beijing: China

- Standards Press, 2008 (in Chinese)
- [21] Groot RD, Brander L, Ploeg SVD, *et al.* Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 2012, **1**: 50–61
- [22] Cotton JM, Cerling TE, Hoppe KA, *et al.* Climate, CO₂, and the history of north American grasses since the Last Glacial Maximum. *Science Advances*, 2016, **2**(3): e1501346–e1501346
- [23] Wei H, Fan W, Wang X, *et al.* Integrating supply and social demand in ecosystem services assessment: A review. *Ecosystem Services*, 2017, **25**: 15–27
- [24] Lynne GD. Allocatable fixed inputs and jointness in agricultural production; implications for economic modeling; Comment. *American Journal of Agricultural Economics*, 1988, **70**: 947–949
- [25] Shumway CR, Pope RD, Nash EK. Allocatable fixed inputs and jointness in agricultural production; Implications for economic modeling. *American Journal of Agricultural Economics*, 1984, **66**: 72–78
- [26] Shen M-H (沈满洪), He L-Q (何灵巧). The classification of externality and the evolvement of externality theory. *Journal of Zhejiang University (Humanities and Social Sciences)* (浙江大学学报:人文社会科学版), 2002, **32**(1): 152–160 (in Chinese)
- [27] Roland O, Benítez PC, Koning GHJD, *et al.* How attractive are forest carbon sinks? Economic insights into supply and demand of Certified Emission Reductions. *Journal of Forest Economics*, 2005, **11**: 77–94
- [28] Xie G-D (谢高地), Li S-M (李士美), Xiao Y (肖玉), *et al.* Value of carbon sink concept and evaluation. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 2011, **26**(1): 1–10 (in Chinese)
- [29] State Forestry Administration of the People's Republic of China (国家林业局). Guidelines for Monitoring Carbon Sequestration in Afforestation Projects. Beijing: China Forestry Press, 2014 (in Chinese)
- [30] Wang Z-S (王正淑), Wang J-J (王继军), Liu J (刘佳). Study on the compensation standard of returning farmland to forest in Xiannangou Watershed from the perspective of carbon sink. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 2016, **31**(5): 779–788 (in Chinese)
- [31] Gu W (顾文), Zhao A-L (赵阿丽), Xu J (徐健), *et al.* Evaluation on sloping land conversion program in Xiannangou Watershed based on the concept of carbon sink. *Research of Soil & Water Conservation* (水土保持研究), 2014, **21**(2): 144–151 (in Chinese)
- [32] Lin D-R (林德荣), Li Z-Y (李智勇), Zhi L (支玲). The evolvement and prospect of forest carbon sinks market. *World Forestry Research* (世界林业研究), 2005, **18**(1): 1–5 (in Chinese)
- [33] Li Z-X (李志学), Zhang X-J (张肖杰), Dong Y-Y (董英宇). Research on China's carbon emissions trading market status, problems and measures. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2014, **23**(11): 1876–1882 (in Chinese)
- [34] He Y (何英), Zhang X-Q (张小全), Liu Y-X (刘云仙). Present status and potentiality of forest carbon trade market in China. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2007, **43**(7): 106–111 (in Chinese)
- [35] Deng L (邓蕾). Responding Mechanism of Ecosystem Carbon Sequestration Benefits to Vegetation Restoration on the Loess Plateau of China. Master Thesis. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2014 (in Chinese)
- [36] Chen X-G (陈先刚), Zhan Y-P (张一平), Zhan H (詹卉). Biomass carbon sequestration potential of trees under the grain for green programs in Yunnan Province. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2008, **44**(5): 24–30 (in Chinese)
- [37] He A-J (和爱军). Discussion on estimating the value of forest diversified functions of Japan. *Central South Forest Inventory and Planning* (中南林业调查规划), 2003, **20**(1): 42–48 (in Chinese)
- [38] Pimentel D. Economic benefits of natural biota. *Ecological Economics*, 1998, **25**: 45–47
- [39] Zeng Y-C (曾远城). Study of forest carbon sequestration development in Guangdong Province. *Journal of Green Science and Technology* (绿色科技), 2012(4): 113–117 (in Chinese)
- [40] He Y (何鹰). Legal study of carbon trade in China. *Social Sciences in Nanjing* (南京社会科学), 2012(1): 99–104 (in Chinese)
- [41] Shi Y (施翼). A Pilot Project of the Country's only Forestry Carbon Trading was Launched [EB/OL]. (2011-11-10) [2017-06-18]. <http://zj.sina.com.cn/finance/news/regional/31/2011/1110/8> (in Chinese)
- [42] Li C-Q (李长青), Su M-L (苏美玲), Yang X-J-L-T (杨新吉勒图). Carbon sink industry development potential in Inner Mongolia. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2012, **26**(5): 162–168 (in Chinese)
- [43] Gu W (顾文), Wang J-J (王继军), Zhang W-J (张雯佳). Optimization of ecological agricultural system with commodity based on clean development mechanism. *Bulletin of Soil and Water Conservation* (水土保持通报), 2014, **34**(6): 146–152 (in Chinese)

作者简介 王继军,男,1964年生,研究员,博士生导师.主要从事生态经济、土地资源利用与管理研究.E-mail: jjwang@ms.iswc.ac.cn

责任编辑 杨弘