

近 20 年来陕西省农作物碳截获的时空特征

张宏运¹, 张艳芳¹, 位贺杰², 王姝¹

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710119; 2. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875)

摘要: [目的] 研究近 20 a 陕西省农作物碳截获的时空特征及其影响因素, 为区域生态系统碳循环研究提供参考依据。[方法] 基于陕西省主要作物的产量、播种面积等数据, 运用系数法、灰色关联模型等进行估算与分析。[结果] (1) 1991—2012 年陕西省主要作物的碳截获量呈波动式增加, 其中粮食作物的碳截获量大于经济作物, 且粮食作物的年际波动比经济作物稳定。(2) 研究区主要作物碳截获量及其变化存在明显的空间差异, 4 个地理区作物碳截获量的大小依次为: 关中地区 > 陕南地区 > 陕北黄土高原区 > 陕北风沙区, 且除陕南地区外, 其他 3 大区域的作物碳截获量都呈增加趋势。主要作物碳截获的重心位于西安和咸阳地区, 呈由西南向东北方向移动的变化趋势。(3) 在各因素中, 作物的有效灌溉面积、旱涝保收面积和播种面积对其碳截获量的影响较大, 且各因素与作物碳截获量的关联度存在明显的空间差异。[结论] 陕西省作物生长过程中起到明显的碳汇作用, 但其碳截获的增速小于中国大部分地区, 提高有效灌溉率和人为投入, 有利于增加作物的碳截获量, 对缓解区域碳减排的压力具有现实意义。

关键词: 农作物; 碳截获量; 重心动态演变; 灰色关联分析; 影响因素

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)02-0065-07

中图分类号: S181

文献参数: 张宏运, 张艳芳, 位贺杰, 等. 近 20 年来陕西省农作物碳截获的时空特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 65-71. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.013

Spatial-temporal Characteristics of Carbon Capture Capacity by Crops in Shaanxi Province During Recent Twenty Years

ZHANG Hongyun¹, ZHANG Yanfang¹, WEI Hejie², WANG Shu¹

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China;

2. College of Resources Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: [Objective] This paper studied spatial-temporal characteristics and the influence factors of carbon capture by crops in Shaanxi Province during the recent twenty years in order to provide a reference for the research of regional ecosystem carbon cycling. [Methods] Based on the data of yield and planted acreage of major crops, and other else, coefficient method and gray correlation model were used to estimate and analyze the spatial-temporal characteristics. [Results] (1) The amount of carbon capture by major crops showed a fluctuated trend from 1991 to 2012 in Shaanxi Province. The amount of carbon capture by food crops was bigger than that of carbon capture by economic crops. Annual fluctuation of carbon capture by food crops was also more stable than that of carbon capture by economic crops. (2) There were obvious spatial differences in the amount of carbon capture by main crops and its change in Shaanxi Province. They were summarized as follows: Guanzhong region > South region of Shaanxi Province > the Loess Plateau in North Shaanxi Province > sand drift region in North Shaanxi Province. The amount of carbon capture by crops in three regions increased, except the south region of Shaanxi Province. The gravity center of carbon captured by major crops in Shaanxi Province mainly located in the districts of Xi'an and Xianyang area, showing a change trend from southwest to northeast. (3) Crops' effective irrigation area, harvest guaranteed coverage despite of drought and waterlogging, and planting area were the major factors on carbon capture by crops. The correlations

收稿日期: 2015-01-18

修回日期: 2015-04-03

资助项目: 国家自然科学基金项目“我国生态脆弱区能源开发生态效应测评与调控研究”(41371523); 国家社会科学基金项目“中国丝绸之路经济带生态文明建设评价与路径研究”(14XKS019)

第一作者: 张宏运(1989—), 女(汉族), 安徽省亳州市人, 硕士研究生, 研究方向为水土资源评价与生态低碳。E-mail: zhongyun_2009@163.com。

通信作者: 张艳芳(1969—), 女(汉族), 陕西省榆林市人, 博士, 副教授, 主要从事水土资源评价、生态安全与低碳方面的研究。E-mail: zhangyf@snnu.edu.cn。

between various factors and carbon capture by major crops were found spatially different. [Conclusion] Crops play an important role in carbon fixation in growing process, but its growth rate of carbon capture by major crops in Shaanxi Province is less than that of carbon capture by major crops in most parts of China. Improving effective irrigation rate and artificial input can help to increase the amount of carbon capture by main crops, and to alleviate the pressure of regional carbon emissions.

Keywords: crops; carbon capture capacity; dynamic evolution of the gravity center; gray correlation analysis; affecting factors

随着全球气候变化与温室效应的加剧,生态系统的碳循环成为全球变化与地学研究的前沿热点问题^[1]。目前,在陆地生态系统碳储量及其变化的研究中,国内外学者^[2-6]对森林和草地生态系统碳储量及其土壤有机碳的研究较为深入,而对农田生态系统碳截获量的研究相对较少。农田生态系统是陆地生态系统的重要组成部分,具有固碳周期短、储量大的特点,且农作物剩余的残留物通过科学的管理和利用可以提高农田土壤有机碳的蓄积量^[7-8]。同时,农田生态系统也是人类活动最活跃的区域,农业管理方式的改变及其他活动的影响对该系统内的碳循环研究具有极大的挑战性。近年来,国内外学者^[9-11]对农田土壤有机碳的研究较多,有部分学者对全国及区域的作物碳储量及其动态进行了估算。鲁春霞^[8]等对我国农田生态系统碳蓄积及其变化特征进行了研究;胡乔利等^[12]研究了冀中南地区农田生物生产力与碳截获能力时空变化;徐素娟^[7]等分析了 1980—2007 年三江平原主要农作物碳蓄积量变化特征;谷家川等^[13]研究了皖江城市带农作物碳储量动态变化特征。研究表明不同地区作物的碳储量及动态变化特征存在明显的差异^[1,13]。总之,对农作物碳储量时间变化特征的研究较多,但对其空间变化特征及其空间变化机理的定量分析较少。学者研究了区域土地利用变化对作物植被碳储量的影响,但系统地研究人为与自然因素对作物植被碳储量区域分布格局及其变化的影响不多^[1]。受气候地形等多种因素的影响,陕西农作物具有明显的地区分异。关中地区播种面积最多且以灌溉设施良好的水浇地为主;陕南播种面积最少,但以水田为主,农业生产的多样化程度高于其他区域;陕北虽耕地不少,但水利设施相对滞后,农业经济较为落后^[14]。且由统计数据得,1991—2012 年陕西省农作物播种面积在不断减少。因此研究陕西省农田生态系统作物碳截获量的时空特征及其影响因素,有利于提高作物的碳截获量,缓解区域的碳减排压力,同时对研究区域生态系统碳循环和粮食安全问题具有十分重要的意义。为此,本研究基于 1991—2012 年陕西省农作物的经济产量、播种面积、收获指数等数据,运用系数法与重心迁移模型,分析近 20 a

该省农作物的碳截获量时空变化规律,并运用灰色关联模型系统地分析人为投入及自然因素对陕西省农作物碳截获量的影响。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 主要作物碳截获的估算

由农业统计中的农作物产量、收获指数等资料估算作物碳截获的原理是根据不同作物的收获部分的含水率和收获指数(经济产量与作物地上部分干重的比值),将农作物的产量转换成其碳截获量(表 1)。由光能合成方程得出,作物含碳量占其生物量的 45%^[12]。由主要作物产量数据估算主要作物碳截获量的公式^[15-16]为:

$$CT = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i \times (1 - MC_i) \times (1 + R_i) \times 0.45}{HI_i} \quad (1)$$

式中:CT——作物一年内的碳截获量(t); Y_i ——作物 i 的经济产量(t); MC_i ——作物 i 收获部分的含水率; HI_i ——作物 i 的收获指数; R_i ——作物 i 的根冠比; i ——作物的种类。

表 1 主要农作物的含水率、收获指数和根冠比^[12,17-20]

作物种类	含水率/%	收获指数	根冠比
小麦	12.5	0.44	0.20
稻谷	14.0	0.46	0.23
玉米	13.5	0.42	0.16
豆类	12.5	0.42	0.13
棉花	8.3	0.35	0.12
油菜	13.5	0.26	0.04
花生	9.0	0.50	0.72
甜菜	85.0	0.71	0.15
烤烟	15.0	0.55	0.32

1.2 重心迁移模型

采用重心迁移模型来描述在某一时段内陕西省农作物碳截获量的空间分异格局。农作物碳截获量分布均衡的区域,其重心就是该区域的几何重心;农作物碳截获量分布不均衡的重心可以通过一定数学模型计算得出。农作物碳截获量的重心迁移公式^[21]为:

$$x_j = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \times M_{ij})}{\sum_{i=1}^n M_{ij}}, y_j = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \times M_{ij})}{\sum_{i=1}^n M_{ij}} \quad (2)$$

$$D=C \times \sqrt{[(x_{j+1}-x_j)^2+(y_{j+1}-y_j)^2]} \quad (3)$$

式中: x_j, y_j ——第 j 年作物碳截获的区域重心坐标; M_{ij} —— i 市第 j 年作物碳截获量; x_{j+1}, y_{j+1} ——第 $j+1$ 年作物碳截获的区域重心坐标; x_i, y_i —— i 市中心城市所在地经纬度坐标; D ——重心迁移距离(km); C ——常数,其值为 111.11 km。

1.3 灰色关联分析

选用农用机械总动力、化肥使用量、薄膜使用量、作物播种面积、劳动力投入、有效灌溉面积、旱涝保收面积、受灾面积及降水量 9 个指标与作物碳截获量进行关联度分析^[22]。

1.4 数据来源

研究所需 1991—2012 年陕西省及各县市农作物的产量与播种面积来源于《陕西省统计年鉴》及各县市统计年鉴,由于 1995 年陕西省各市农作物的经济产量与播种面积的缺失,该值由 5 a 滑动平均值得到。陕西省及各市的降水数据来源于中国气象科学数据共享服务网,该省及各县市农用的机械总动力、化肥、薄膜、劳动力投入量、有效灌溉面积等来源于《陕西省统计年鉴》及各县市统计年鉴。由于研究时期内有行政区划的调整,为了便于数据的统一分析,将杨凌示范区的数据归入咸阳市进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 主要作物碳截获量的年际变化

将作物产量代入公式(1),得出研究年份内陕西省主要作物碳截获量(图 1)。由图 1 可知,1991—2012 年陕西省主要作物的碳截获量由 1.06×10^7 t 波动地增加到 1.30×10^7 t,年均增加量为 1.11×10^5 t。研究年份内农作物的播种面积在逐年减少,由 3.53×10^4 km² 减少到 2.91×10^4 km²,表明农作物单产的增加提高了主要作物的固碳密度,使作物生长期内的碳截获量增加。农作物碳截获量的变异系数为 0.10,说明研究年份内陕西省作物的碳截获量年际变化较大,尤其在 2000 年之前。根据作物碳截获变异系数的大小,可分为两个阶段:1991—2000 年农作物碳截获量出现上升—下降—上升—下降的趋势,其变异系数为 0.11,该时段内波动较大;2001—2012 年为较稳定的上升阶段,农作物的碳截获量以 2.57×10^5 t/a 的趋势增加,虽然 1999 年以来退耕还林工程的实施和城市化的发展,播种面积在减少,但是农业政策的转变和农业投入的增加提高农作物的单产,使得作物碳截获量增加。

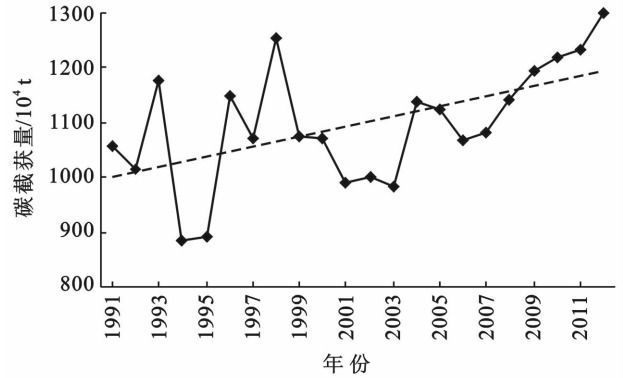


图 1 陕西省主要作物碳截获量的年际变化

2.2 主要作物碳截获量的结构特征

由图 2 可以看出,陕西省主要农作物碳截获量的构成由大到小排列为玉米(42.03%),小麦(41.20%),稻谷(7.93%),油菜(3.76%),豆类(2.74%),花生(0.94%),棉花(0.70%),烤烟(0.68%),甜菜(0.02%)(取多年的均值),其中粮食作物碳截获量占作物碳截获总量的比例最大,为 91.16%,经济作物碳截获量比例为 8.84%。在主要作物的构成上,小麦和玉米作物所占比例较大,为 83.23%,主要与陕西省农作物的播种面积、气候、地形等密切相关。研究期内各种作物碳截获量所占的比重呈现出不同程度的波动,根据其变异系数大小排序为:甜菜>棉花>烤烟>豆类>油菜>稻谷>玉米>花生>小麦,其中小麦和稻谷的碳截获量所占的比重呈下降趋势,其变异系数较小,分别为 0.13,0.15;玉米的碳截获量所占的比重呈上升趋势,其变异系数为 0.14。由此得出粮食作物碳截获量的年际波动比经济作物的稳定。

2.3 主要作物碳截获量的空间分布及其变化

1991—2012 年陕西省作物播种的总面积在不断减少,各市的播种面积存在较大的差异,其中渭南市的播种面积最大,为 6.71×10^3 km²,铜川市的播种面积最小,为 8.07×10^2 km²(取多年均值)。由图 3 可得出,1991—2012 年陕西省农作物碳截获量存在明显的空间差异。关中地区作物碳截获量最大,其范围是 6.30×10^6 t~ 9.89×10^6 t,远大于其他地区,其中铜川市作物碳截获量最小,除铜川市外,其他各市的作物碳截获量均大于 1.20×10^6 t;陕南地区作物碳截获量的范围为 2.19×10^6 t~ 3.05×10^6 t,其中汉中市作物碳截获量较大,年均值为 1.25×10^6 t;陕北黄土高原区作物碳截获量的年均值为 6.53×10^5 t;陕北风沙区作物碳截获量最小,年均值为 4.48×10^5 t。研究期内,4 大地区农作物碳截获量的变化也存在明显的差异(图 3)。陕北风沙区、陕北黄土高原区和关中地区的作物碳截获量都呈增加的趋势,其中陕北风

沙区作物碳截获量从 1.73×10^5 t 快速地增加到 6.71×10^5 t, 年均增长率为 6.67%, 且其变化系数最大, 为 0.40; 陕北黄土高原区作物碳截获量年均增长率为 1.16%; 关中地区作物碳截获量的增加相对较

慢, 其年均增长率为 0.90%; 陕南地区作物碳截获量呈缓慢地减少趋势, 年均减少量为 1.06×10^4 t, 且其变异系数最小, 其中安康市和商洛市作物碳截获量基本不变, 汉中市呈减少趋势。

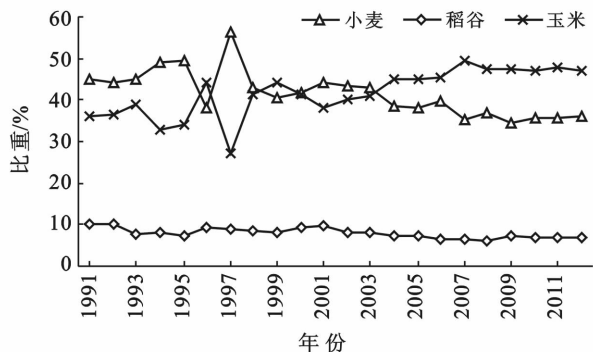


图 2 陕西省主要农作物碳截获量所占的比重变化

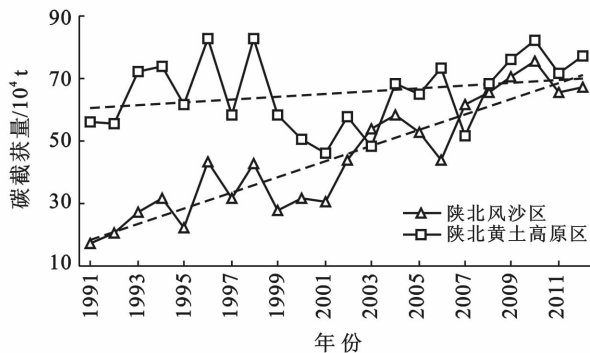
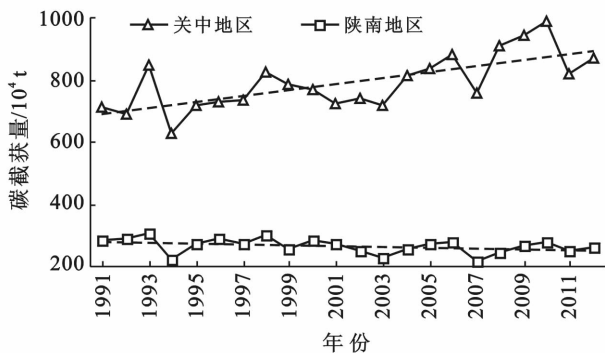
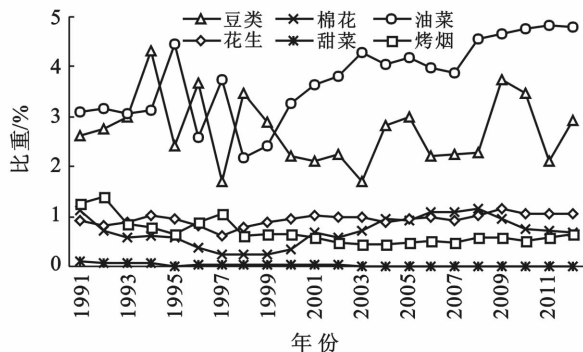


图 3 陕西省各地区主要作物的碳截获量

由重心迁移模型, 得出 1991—2012 年陕西省主要作物碳截获量的重心位于西安和咸阳地区, 偏离该省的几何重心, 且在空间上呈由西南向东北方向移动的变化趋势(图 4)。研究年份内陕西省主要作物碳截获量的重心共移动了 123.19 km, 移动速率为 5.60 km/a, 且在东北方向上移动的距离是西南方向的 1.89 倍。根据重心的空间移动, 可分为 4 个阶段: 1991—1994 年作物碳截获量的重心总体上向东北移动, 且变幅较大, 移动速率为 7.64 km/a; 1994—1999 年作物碳截获量的重心向东北或西南交替移动, 且移动速率较大, 为 9.97 km/a; 1999—2004 年作物碳截获量的重心移动较为缓慢, 移动速率为 5.51 km/a; 2004—2012 年作物碳截获量的重心移动趋于平缓, 移动速率为 2.85 km/a。表明虽然退耕还林工程的实施使作物的播种面积有所减少, 但是在农业政策与管理方式改变的作用下, 陕北地区主要作物的生产力提高较快, 尤其是陕北风沙区, 使研究年份内陕北地区的作物碳截获量在该省所占的比重有所增加。

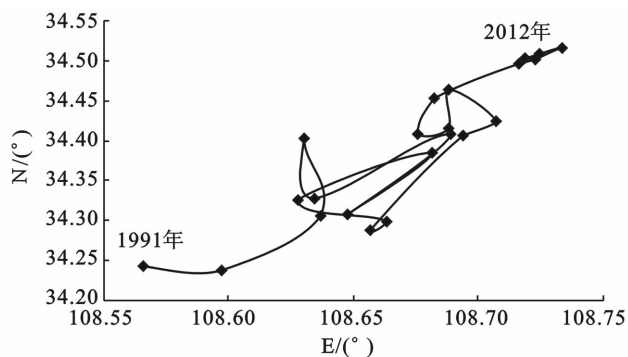


图 4 陕西省农作物碳截获量的重心变化趋势

3 灰色关联度分析结果

由灰色关联度模型得出作物碳截获量与投入的机械总动力、化肥、农用薄膜、有效灌溉面积、旱涝受害面积及降水等 9 个影响因素的关联度(表 2)。从表 2 中可得各因素与该省农作物碳截获量的关联度大小排序为: 有效灌溉面积 (X_6) > 旱涝保收面积 (X_7) > 作物播种面积 (X_4) > 劳动力投入 (X_5) > 降水量 (X_9) > 化肥使用量 (X_2) > 薄膜使用量 (X_3) > 农农机

械总动力(X_1)>受灾面积(X_8)。

在所有影响因素中,有效灌溉面积与作物碳截获量的关联度最大,作物的旱涝保收面积次之,且受灾面积的关联度最小。1991—2012 年陕西省作物的有效灌溉面积从 $8.55 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 增加到 $1.28 \times 10^6 \text{ hm}^2$,变异系数为 0.09,年际波动相对较小,同时旱涝保收面积的波动在所有因素中最小且受灾面积的变异系数最大,表明研究期内,陕西省对作物的救灾工作做得较好,使得受灾面积对作物碳截获量影响较小,而作物有效灌溉面积和旱涝保收面积的微小变化对作物的碳截获将产生较大的影响,这也与关中地区粮食播种面积较多且以灌溉设施良好的水浇地为主有关。总之,较稳定的有效灌溉面积和旱涝保收面积是陕西省作物碳截获量稳定增加的保证。作物的播种面积与其碳截获量关联度居于第 3 位,研究期内作物的播种面积总体呈下降趋势,从 $3.53 \times 10^4 \text{ km}^2$ 减少到 $2.91 \times 10^4 \text{ km}^2$,平均每年减少了 $3.11 \times 10^2 \text{ km}^2$ 。近年来随着退耕还林工程的实施和城市化快速发展,使作物的播种面积不断减少,表明该省作物的单产在不断提高。在以后应该继续提高作物的单产,增加作物的碳截获量。劳动力投入量与作物碳截获量关联度在所有因素中位于第四,但是 1991—2012 年劳动力投入量在不断减少,从 1.04×10^7 人减少到 7.97×10^6 人。同时研究期内农用机械总动力从 $7.25 \times 10^9 \text{ W}$ 增加到 $2.15 \times 10^{10} \text{ W}$,年均增长率为 5.31%,农用机械动力逐渐取代劳动力在农业中的投入,有利于提高生产效率,增加作物的碳截获量。农用化肥和薄膜使用量与作物碳截获量的关联度在所有因素中位于第 6 和第 7 位,且 1991—2012 年该地区投入的农用化肥和薄膜在不断增加,年均增长率分别为 5.63% 和 5.69%。两者的稳定增加利于提高作物的单产,从而增加作物的碳截获量,但是化肥的大量使用会影响土壤的质地,同时薄膜是难降解的物品,两者使用量的不断增加将会严重污染土壤环境、河流、地下水等。降水与作物碳截获量的关联度在所

有因素中位于第 5,降水对作物的碳截获量起着重要的作用。陕西省的降水为南多北少,1991—2012 年降水的变异系数为 0.22,且降水是不受人们所控制的自然因素,对于降水较少的地区只能通过灌溉来缓解作物的需水量。

将各地区作物的碳截获量与因素关联度的大小进行对比,得出该省各地区作物的碳截获量与因素的关联度存在明显的空间差异(表 2),有效灌溉面积与作物碳截获量的关联度表现为:陕南>关中>陕北黄土高原区>陕北风沙区,其中汉中市的关联度最大,为 0.89,榆林南 6 县的最小;旱涝保收面积与作物碳截获量的关联度表现为:陕南>陕北黄土高原区>关中,其中汉中市的关联度最大,为 0.89,铜川市的最小,为 0.65;作物播种面积与其碳截获量的关联度表现为:陕南>关中>陕北黄土高原区>陕北风沙区,其中汉中市的关联度最大,为 0.93,榆林南六省的最小,为 0.73;劳动力投入与作物碳截获量的关联度表现为关中>陕南>陕北风沙区>陕北黄土高原区,其中汉中市的关联度最大,为 0.88,榆林南六省的最小,为 0.71;降水量与作物碳截获量的关联度表现为:陕南>陕北黄土高原区>陕北风沙区>关中,其中商洛市的关联度最大,为 0.86,渭南市的最小,为 0.69;化肥使用量与作物碳截获量的关联度为:关中>陕北风沙区>陕南>陕北黄土高原区,商洛市最大,为 0.86,安康市的最小,为 0.70;薄膜使用量与作物碳截获量的关联度表现为陕北黄土高原区>陕北风沙区>关中>陕南,其中延安市的关联度最大,为 0.84,安康市的最小,为 0.61;农用机械总动力与作物碳截获量的关联度表现为:陕北风沙区>关中>陕北黄土高原区>陕南,其中陕北风沙区的关联度最大,为 0.83,安康市的最小,为 0.64;受灾面积与作物碳截获量的关联度表现为:陕北黄土高原区>陕南>关中,其中渭南市的关联度最大,为 0.68,铜川市的最小,为 0.53。上述分析表明,各因素对该省作物碳截获量的影响存在明显的地区差异。

表 2 作物的碳截留量与各影响因素的关联度

地区	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	关联度排序
陕北风沙区	0.82	0.80	0.76	0.75	0.74	0.74	—	—	0.73	$X_2 > X_1 > X_9 > X_6 > X_4 > X_3 > X_5$
陕北黄土高原区	0.73	0.77	0.78	0.75	0.77	0.78	0.86	0.61	0.75	$X_7 > X_3 > X_6 > X_2 > X_5 > X_4 > X_9 > X_1 > X_8$
关中地区	0.77	0.80	0.75	0.83	0.83	0.83	0.78	0.59	0.73	$X_5 > X_6 > X_4 > X_2 > X_7 > X_1 > X_3 > X_9 > X_8$
陕南地区	0.70	0.79	0.69	0.88	0.83	0.84	0.86	0.59	0.80	$X_4 > X_7 > X_6 > X_5 > X_9 > X_2 > X_1 > X_3 > X_8$
全省	0.65	0.75	0.67	0.82	0.79	0.84	0.83	0.51	0.78	$X_6 > X_7 > X_4 > X_5 > X_9 > X_2 > X_3 > X_1 > X_8$

注: X_1 为农用机械总动力; X_2 为化肥使用量; X_3 为薄膜使用量; X_4 为作物播种面积; X_5 为劳动力投入; X_6 为有效灌溉面积; X_7 为旱涝保收面积; X_8 为受灾面积; X_9 为降水量。

4 讨论

2000—2010年陕西省人类活动碳排放从 2.61×10^7 t增加到 7.76×10^7 t,其作物碳截获量占该省人类活动碳排放的比重从41.07%减少到15.69%,其均值为24.48%。随着人类活动碳排放的快速增加,作物碳截获量所占的比重在减少,但农作物生长过程中仍起到明显的碳汇作用。由于农田生态系统是不断地动态循环的,在作物生长过程中,虽然有大量的 CO_2 被农作物截获,但是作物不能将碳完全固定下来,只有少数进入土壤成为有机碳,大部分 CO_2 伴随着农作物的生长完成了碳循环的过程^[12]。随着农业技术的提高和人为投入的增加,能提高农作物的碳截获量,从而增强农田系统的碳交换能力,同时利于缓解短期内的碳减排压力。

将不同地区作物碳截获量的变化与其构成进行对比,得出不同区域农作物碳截获量的变化及其构成存在明显的差异(表3),这主要与各地区的气候条件、种植结构、播种面积、土壤质地、农业投入和农业政策等因素有关。陕西省作物碳截获量变化的增幅低于大部分地区。虽然在农业政策、农业投入增加和农业管理方式改进的条件下,使近年来该地区作物的单产增加,增加了作物的碳截获量,但是由于退耕还林工程的实施与城市化的发展,大量的农业用地转变为非农业用地,作物播种面积减少,同时陕北地区沟壑面积大,水土流失严重,耕地贫瘠,作物的种植指数低,生产水平较低^[14]。因此这可能使得陕西省作物的碳截获量的增幅低于大部分地区。

本研究对陕西省农作物的碳截获量进行较为粗略地估算,采用作物的收获指数、含水率、含碳量等引用于文献,可能与当地的作物实际情况存在误差,有待进一步提高精度。同时在进行灰色关联度分析时,因素指标的选取只采用了自然因素和人为投入因素,忽略了农业政策、农业事业费用、农民收入水平等因素对作物碳截获量的影响,有待进一步深入研究。

表3 陕西省主要作物碳截获量的变化和其他地区的对比

地区	作物碳截获量/ (%·a ⁻¹)	主要碳截获量的构成	引用文献
陕西省	0.83	小麦和玉米	本文
中国	1.33	水稻、小麦和玉米	[23]
三江平原	8.87	玉米	[7]
皖江城市带	3.66	水稻	[13]
河西绿洲地区	4.03	—	[24]
河北省	2.12	小麦和玉米	[25]

5 结论

(1) 1991—2012年陕西省农作物的碳截获量由 1.06×10^7 t波动式增加到 1.30×10^7 t,年均增加量为 1.11×10^5 t,且根据作物碳截获变异系数的大小,可分为2个阶段:1991—2000年为波动较大阶段;2001—2012年为较稳定的上升阶段。在作物结构上,粮食作物的碳截获量大于经济作物,其中小麦和玉米的碳截获量所占的比重较大,且粮食作物碳截获量的年际波动比经济作物的稳定。

(2) 研究期内陕西省农作物碳截获及其变化存在明显的空间差异,4大地理区作物碳截获量的大小依次为:关中地区>陕南地区>陕北黄土高原区>陕北风沙区。除陕南地区外,其他3大区域的作物碳截获量都呈增加趋势,其中陕北风沙区作物碳截获增加较快。

(3) 研究期内各市农作物碳截获量的重心位于西安和咸阳地区,在空间上呈从西南向东北方向的变化趋势,作物碳截获量的重心共移动了123.19 km,移动速率为5.60 km/a,且在东北方向上移动的距离是西南方向的1.89倍。这反应了在农业政策与管理方式改变的作用下,陕北地区主要作物的生产力提高较快,使研究年份内陕北地区作物的碳截获量在该省中的比重有所增加。

(4) 由灰色关联度模型得出有效灌溉面积与作物碳截获量的关联度较大,旱涝保收面积次之,受灾面积的关联度最小;且各因素对作物碳截获量的关联度大小存在明显的空间差异。表明陕西省对作物的救灾工作做的较好,使得受灾面积对作物碳截获量影响较小,这与关中地区粮食播种面积较多且以灌溉设施良好的水浇地为主有关。总之较稳定的有效灌溉面积和旱涝保收面积是陕西省作物碳截获量稳定增加的保证。

[参 考 文 献]

- [1] 罗怀良. 中国农田作物植被碳储量研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(4): 692-697.
- [2] Fedrigo M, Kasel S, Bennett L T, et al. Carbon stocks in temperate forests of South-eastern Australia reflect large tree distribution and edaphic conditions[J]. Forest Ecology and Management, 2014, 334: 129-143.
- [3] 徐新良, 曹明奎, 李克让. 中国森林生态系统植被碳储量时空动态变化研究[J]. 地理科学进展, 2007, 26(6): 1-10.
- [4] 甄伟, 黄玫, 翟印礼, 等. 辽宁省森林植被碳储量和固碳

- 速率变化[J]. 应用生态学报, 2014, 25(5): 1259-1265.
- [5] 方精云, 杨元合, 马文红, 等. 中国草地生态系统碳库及其变化[J]. 中国科学: 生命科学, 2010, 40(7): 566-576.
- [6] Dlamini P, Chivenge P, Manson A, et al. Land degradation impact on soil organic carbon and nitrogen stocks of sub-tropical humid grasslands in South Africa[J]. *Geoderma*, 2014, 235/236(4): 372-381.
- [7] 徐素娟, 刘景双, 王洋, 等. 1980—2007 年三江平原主要农作物碳蓄积量变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 179-183.
- [8] 鲁春霞, 谢高地, 肖玉, 等. 我国农田生态系统碳蓄积及其变化特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 35-37.
- [9] Kou T J, Zhu P, Huang S, et al. Effects of long-term cropping regimes on soil carbon sequestration and aggregate composition in rained farmland of Northeast China[J]. *Soil & Tillage Research*, 1986, 118(5): 132-138.
- [10] 李忠佩, 林心雄, 车玉萍, 等. 中国东部主要农田土壤有机碳库的平衡与趋势分析[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 351-360.
- [11] 任春颖, 张春华, 王宗明, 等. 松嫩平原玉米带农田表层土壤有机碳储量和固碳潜力研究[J]. 自然资源学报, 2013, 28(4): 596-607.
- [12] 胡乔利, 沈彦俊, 陈福军, 等. 冀中南地区农田生物生产力与碳截获能力时空变化分析[J]. 地理科学, 2012, 32(2): 219-224.
- [13] 谷家川, 查良松. 皖江城市带农作物碳储量动态变化研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(12): 1507-1513.
- [14] 姚涛, 马卫鹏. 陕西省耕地面积变化与粮食生产的相关性研究: 基于 1980—2010 年的数据分析[J]. 中国农业资源与区划, 2013, 34(1): 76-80.
- [15] Li Zhengpeng, Liu Shuguang, Tan Zhengxi, et al. Comparing cropland net primary production estimates from inventory: a satellite-based model, and a process-based model in the Midwest of the United States[J]. *Ecological Modelling*, 2014, 277: 1-12.
- [16] Lobell D B, Hicke J A, Asner G P, et al. Satellite estimates of productivity and light use efficiency in United States agriculture 1982—1998[J]. *Global Change Biology*, 2002, 8(8): 722-735.
- [17] 张福春, 朱志辉. 中国农作物的收获指数[J]. 中国农业科学, 1990, 23(2): 83-87.
- [18] 谢光辉, 韩东倩, 王晓玉, 等. 中国禾谷类大田作物收获指数和秸秆系数[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(1): 1-8.
- [19] 谢光辉, 王晓玉, 韩东倩, 等. 中国非禾谷类大田作物收获指数和秸秆系数[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(1): 9-17.
- [20] 苗果园, 尹钧. 中国北方主要作物根系生长的研究[J]. 作物学报, 1998, 24(1): 1-6. 129-131.
- [21] 徐国良, 黄金贤, 李丽, 等. 1991—2011 年南海周边国家及地区经济发展重心演变分析[J]. 资源科学, 2014, 36(4): 682-690.
- [22] 张艳芳, 栗新巧. 产业碳排放与影响因素的关联度: 基于西北 5 省面板数据的实证分析[J]. 干旱区研究, 2014, 31(3): 424-430.
- [23] 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.
- [24] 颀鹏, 蔺海明, 黄高宝, 等. 河西绿洲农田生态系统碳源/汇的时空差异研究[J]. 草业学报, 2009, 18(4): 224-229.
- [25] 袁再健, 张京京, 付亚男. 河北省农田生态系统碳源/汇时空变化及其影响因素[J]. 水土保持通报, 2012, 32(6): 206-210.