

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.06.014

农业种植结构转变对碳效应的影响

——以渭南市大荔县为例

郎睿婷, 周忠学, 刘维

陕西师范大学地理科学与旅游学院, 西安 710119

摘要: 农业种植结构(如作物、土地利用、生产方式等)的变化对种植业碳效应的影响研究可为构建和发展低碳农业、制定农业碳减排政策提供依据。以关中平原农业转型典型区域大荔县为研究区,通过选取碳排放源,细化碳吸收作物,并基于 ArcGIS 平台从像元尺度分析与评价了 1998—2018 年大荔县农作物种植结构影响下的碳效应空间演变,运用地理探测器探究碳效应主要驱动因子。结果表明:① 1998—2018 年,大荔县种植业由粮食作物向水果、蔬菜等经济作物转型,现存的种植结构促使农资投入增多、经济产量提高,导致碳排放与碳吸收量增加,呈净碳吸收效应,但“高投入、高产出”的生产方式使得碳排放增长速率高于碳吸收,不利于今后低碳农业的发展。② 农业碳效应的空间分异与不同地域的农业转变过程(如向水果、蔬菜的转变)及地域适宜性(农业生产条件)密切相关。③ 单位农业用地面积农膜使用量是影响碳效应变化的主要驱动因子,合理利用农用物资、因地制宜发展特色产业、提升农业生产效率有助于大荔县农业经济向低碳发展。

关键词: 大荔县; 种植结构; 碳排放; 碳吸收; 碳效应

中图分类号: F30; K901

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2022)06-0127-11

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Agricultural Carbon Effect under the Change of Planting Structure: A Case Study in Dali County, Weinan

LANG Ruiting, ZHOU Zhongxue, LIU Wei

School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xian 710119, China

Abstract: As one of the high-emitting carbon sources of global greenhouse gases, agricultural carbon emission reduction is an important measure to slow down global warming. Changes in agricultural cultivation structure (such as crops, land use, production methods, etc.) affect the carbon effect of agriculture, and the study of this issue is of great significance to the construction and development of low-carbon agriculture and the formulation of agricultural emission reduction policies. This paper take Dali county, a typical agricultural county in

收稿日期: 2021-02-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071280).

作者简介: 郎睿婷, 硕士研究生, 主要从事区域开发与城乡发展的研究.

通信作者: 周忠学, 教授.

the Guanzhong Plain, as a case, choose five carbon sources (fertilizers, pesticides, agricultural films, irrigation and diesel), use methods and models such as parameter estimation method, IPCC inventory estimation method, ArcGIS spatial analysis, geographic detectors and so on to calculate and evaluate the spatial evolution of planting structure and its carbon effect from 1998 to 2018 on the pixel scale, finally analyzed the main driving factors of agricultural carbon effect. The results showed that: ① From 1998 to 2018, the planting industry in Dali County transformed from food crops to cash crops such as fruits and vegetables. ② At present, the carbon emissions and carbon sequestration of the planting industry in Dali County showed an increasing trend, with an overall net carbon sequestration effect, but the existing planting structure made the growth rate of carbon emissions higher than carbon sequestration, and the net carbon sequestration is decreasing, which is not conducive to the development of low-carbon agriculture in the future. The increases of agricultural inputs and crop production are the main reasons for the increased agricultural carbon emissions and carbon sequestration. Among the crops, fruit tree is a major source of carbon emissions, while grain crop has the strongest carbon sequestration capacity. ③ There are significant spatial differences in the carbon effect intensity of different crops, with high carbon emission values per unit area in the northern part of the region where fruits are dominated, and high carbon sequestration values per unit area in the southern part of the region where food crops are dominated. Except grain crop, all other crops show a net carbon emission effect. Input of agricultural materials per unit area and yield per unit area of crops greatly affect the spatial pattern of carbon emission and carbon sequestration. The effect of spatial differentiation is closely related to the process of agricultural structure transformation and the regional adaption of agricultural production. ④ The amount of agricultural film used per unit agricultural land area is the main driving factor influencing the change of carbon effect per unit area in Dali County. Therefore, reducing agricultural material input and improving production efficiency will make agriculture of Dali County turn to low carbon development.

Key words: Dali county; planting structure; carbon emission; carbon sequestration; carbon effect

农业生产活动产生的温室气体是导致全球气候变暖问题加剧的重要原因之一, 1990 年以来, 全球农业碳排放增加了 14%^[1], 农业碳减排已成为当前国内外学者及政府机构关注的重要环境问题. 据统计, 我国农业生产所排放的温室气体已占全国碳排放总量的 17%^[2]. 随着农业转型升级加快, 农业土地利用、种植结构、生产方式均发生了较大的变化. 化肥、农药及农业机械的使用, 使农业碳排放日趋增加; 作物种植结构调整导致的作物覆被及土地利用变化使农业碳吸收及碳排放发生变化, 影响农业碳效应. 分析种植结构转变下的种植业碳效应及其驱动因子, 可以为优化农业种植结构、构建低碳农业及生产模式、发展低碳经济等提供理论借鉴.

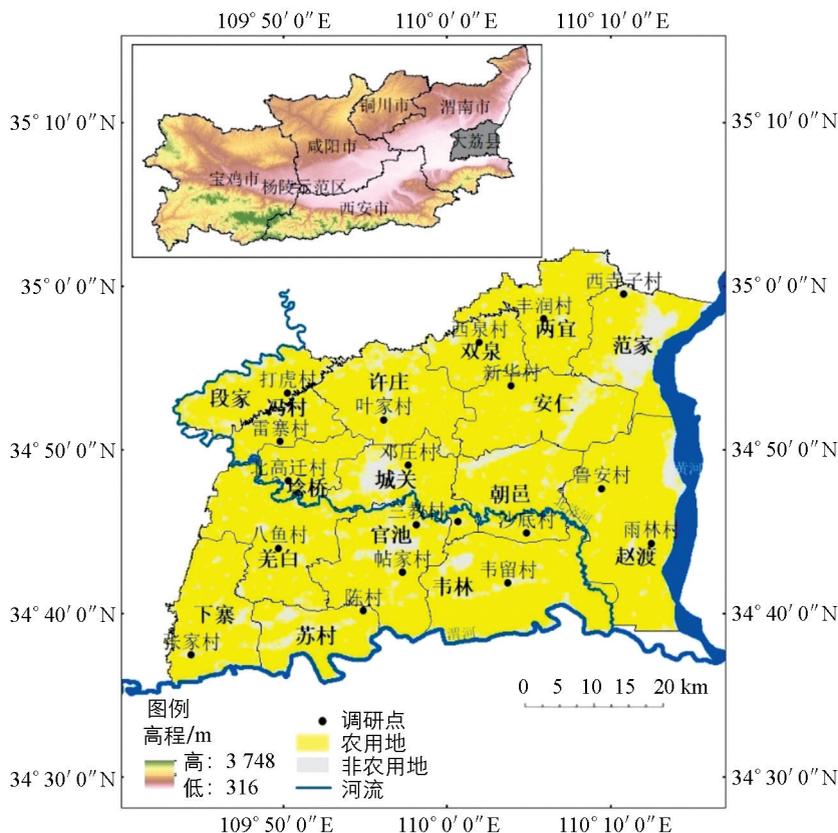
农业碳排放是由农地利用、稻田 CH₄ 排放以及牲畜养殖产生的^[3]. 本文中的农业碳排放主要为农地利用活动中由于农业生产资料的使用、农业灌溉及农用机械间接涉及化石燃料消耗产生的碳排放^[4]. 对农业碳排放的研究主要包括碳排放量测算^[5-7]、农田碳足迹^[8-9]及碳排放效率^[10-11]、碳排放影响因素分解^[12-13]以及农业碳排放与产业发展关系研究^[14-15], 研究以耕地利用转型^[16]、生产方式^[17]、农业投入^[18]及地区公平性^[19]为切入点, 进行测算分析. 目前关于农业碳排放的研究角度较为多样, 但鲜有人基于作物种植结构变化动态分析地区碳排放的空间差异. 农业既能产生碳排放, 也能进行碳吸收. 诸多学者认为, 农业碳吸收是通过农作物光合作用将二氧化碳和水转化为有机物并释放出氧气的过程^[20], 如谢婷等^[21]利用作物呼吸过程中对碳的吸收利用系数分析了湖北省农田系统主要作物碳吸收的变化; 而陈晓辉^[22]、Wiesmeier 等^[23]及苏文等^[24]学者从物质循环的角度将肥料投入、秸秆还田及土地免耕等导致的土壤碳库的增加也归入农

业碳吸收之中,并研究了不同地区农业生产过程中碳吸收量以及单位面积碳密度分析其空间差异,以上研究丰富了农业碳吸收的内涵与方法.为综合分析区域碳排放量与碳吸收量之间的关系及空间格局,学者们提出了净碳效应的概念,即农业碳吸收与碳排放之间的差值^[25].国内外学者从农户调查^[26-27]、可持续发展^[28]角度对净碳效应的评估、碳效应的因素分解等方面进行了研究.综上,当前对农业碳排放、碳吸收及其碳效应的研究中,鲜有学者从农业转型角度对小尺度综合碳效应空间格局进行研究,尤其是从种植结构动态变化的视角研究农业生产碳效应及其空间特征,更缺乏栅格尺度的精细化空间分析与表达.

大荔县是关中平原典型的农业大县,境内地形平坦,土壤肥沃,适合农作物种植.近年来在城市化及农业转型升级的推动下,该县种植结构已由传统的商品棉粮种植转向水果、蔬菜等多元经济作物种植,农业投入、生产方式等均发生了较大转变,以大荔县为例探究种植结构转变对碳效应的影响具有一定的典型性.本文基于像元尺度探究这一背景下农业碳效应及其空间格局的变化,可为同类区域农业结构调整、农业布局、发展低碳农业及制定农业碳税政策提供借鉴.

1 研究区概况

大荔县隶属陕西省渭南市,总面积 1 800 km²,辖 15 个镇、2 个街道,总人口达 75 万人,农业人口占 62%.大荔县地处关中平原东部偏北拗陷区,属渭河断陷地堑构造,主要由中部的渭洛河冲积平原、南部的洛南沙苑、东部的黄河滩地和北部的黄土台塬构成,海拔 330~500 m,地势平坦.该地属暖温带半湿润半干旱季风性气候,年均温 13.4℃,年降水量 514 mm,降雨较少,但因地处黄、渭、洛三河交汇地带,地下水位浅、灌溉水源丰富;土壤以垆土和沙土为主,农业生产条件较为优越.本区地处关中平原城市群中心地带,有韦罗高速、108 国道、沿黄旅游环线等交通干线穿过,交通便利,区位优势,城市化与农业产业化驱动了本区由传统种植农业向现代都市农业的快速转变.



审图号: GS(2019)1822 号

图 1 研究区地理位置

大荔县主要用地类型有耕地、果园、建筑用地、草地、林地、园地和沙地,分别占用地总面积的 40%、31%、2%、10%、7%、0.4%和 0.6%。可用耕地与果园面积达 108 598 hm²,主要种植作物有小麦、玉米、苹果、冬枣、葡萄等。大荔县北部台塬区气候相对干旱,昼夜温差大,利于作物糖分积累;中部洛灌区农业灌溉条件便利(有效灌溉面积达 80%),地形平坦、土壤肥沃;南部沙苑区土壤以沙土为主,农业耕种过程中漏水漏肥、农业基础薄弱;东部黄河滩区地形平坦,紧邻黄河,灌溉水源充足。20 世纪 90 年代,大荔县北部以种植苹果、梨杏等果树为主;中东部以种植粮食、棉花为主;南部主要种植黄花菜、花生、西瓜等作物,是全国粮棉油基地县。2018 年大荔县已形成以冬枣、葡萄等多种经济作物为主的种植结构,农业生产方式上设施农业规模不断扩大,2018 年大荔县设施农业面积达到 29 800 hm²,占农用地总面积的 40%。农业用地、种植结构及生产方式的变化对大荔县农业碳效应产生了很大影响。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文采用的数据包括遥感数据、土地利用(农业类型)数据和社会经济数据。遥感数据采用 Landsat TM(1998 年)和 Landsat OLI(2018 年)影像,均下载自地理空间数据云平台(<http://earthexplorer.usgs.gov/>)。土地利用(农业类型)数据是在 ArcGIS 10.2 平台对遥感影像进行人工解译的基础上,结合农作物种植结构图(来自大荔县农业农村局)和野外实地考察进行绘制,得到农业类型(景观)图。社会经济数据均来源于《大荔县统计年鉴》(1998 年、2018 年)《大荔年鉴 2019 年》《渭南统计年鉴 2019》《大荔县志》(1990—2005)以及野外调研数据,其中化肥使用量取折纯量,有效灌溉面积取水浇地与水田面积之和。

2.2 研究方法

2.2.1 农业碳效应测算

农业碳效应是指农业碳排放与碳吸收的差值,若差值大于零则为净碳排放效应,反之则为净碳吸收效应。测算方法为:

$$N = E - S \quad (1)$$

式中: N 是指净碳效应(净碳吸收或排放量); E 为碳排放量; S 为碳吸收量。

2.2.2 农业碳排放测算

本文依据农业生产的主要碳源使用量和碳源含碳系数^[29-30]测算。碳源主要有化肥、农药、农膜、灌溉和农用柴油 5 类。在碳排放测算中,主要碳源使用量通过实地调查获取。测算公式如下^[29]。

$$E_I = \sum_{i=1}^n \epsilon_i e_i \quad (2)$$

式中: E_I 是指在不同作物的生产过程中产生的碳排放量; e_i 是指各作物在生产中的碳源使用量; i 是指碳源类型(5 种碳源); ϵ_i 是指各碳源排放系数。

2.2.3 农业碳吸收测算

种植业的碳吸收主要是农作物生长过程中对碳的吸收,即作物在光合作用下形成的净初级生产量^[31]。可通过经济产量计算出作物生物量,进而测算出作物的含碳量,即为作物在生长期内的碳吸收量。

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i \times (1 - X_i) \times Y_i}{\delta_i} \quad (3)$$

式中: C 表示大荔县种植业碳吸收总量, t/a(a 表示年); C_i 表示第 i 类农作物碳吸收量, t/a; β_i 表示农作物的碳吸收率,即通过光合作用合成单位有机质所吸收的碳量; X_i 表示农作物经济产品含水率, %; Y_i 表示农作物经济产量,即作物经济产品收获量, t/a; δ_i 表示农作物经济系数; Y_i 表示农作物经济产量,即作物产量; n 表示农作物种类数(本文选取小麦、玉米、棉花、花生、蔬菜和水果进行计算)。由于果树牢固量变化不大,故本文不予以考虑,只测算果实的碳吸收量。各农作物含碳率、含水率和经济系数参考相关文

献[29,32]获得.

2.2.4 地理探测器

地理探测器(GeoDetector)是一种评价样本空间分异性的统计学方法,通过探测自变量的空间分异性来揭示影响因变量的驱动力^[34-37].其测算公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (4)$$

式中: q 为自变量 x 对碳效应变化表征指标空间分布的解释力; h 为自变量样本的分层数, $h=1, \dots, L$ (本文依据自然断点法对研究区样本进行分层,共分为10层,故 $L=10$); N 为研究区样本量(本文以每个乡镇每一种作物作为一个样本,统计大荔县样本量为50), N_h 表示自变量 x 的 h 层样本数量; σ^2 表示全区因变量的方差; σ_h^2 表示层 h 的方差.若因子 x 对碳效应变化指标具有解释力,则 σ_h 值较小,当 σ_h 趋近于0,则接近碳效应变化趋势系数完全由该因子决定的理想状态,此时 $q=1$.

3 结果与分析

3.1 大荔县种植结构变化

本文运用 ArcGIS 空间叠置分析得到大荔县作物种植面积转移矩阵(表1),探究农业用地及作物种植类型的转变.1998—2018年大荔县农业用地总面积增加了25 634 hm²,主要以果园面积的增加为主.耕地面积总体上呈现出粮食、花生、棉花种植用地面积减少,果园、蔬菜种植用地面积增加的变化特征.其中,粮食种植用地减少最多,平均每年有0.02%的粮食用地面积向其他作物种植用地面积转变,其中向果园面积转变最多,占转移面积的63%;棉花种植用地面积减少了7 025.63 hm²,花生种植用地面积仅减少了5 959.31 hm².瓜类种植用地面积与果园面积增加最多,增加了32 152.94 hm²,所占比重由1998年的11%上升到2018年的48%;其次是蔬菜,用地面积增加了6 854.36 hm²,蔬菜种植面积比重由1998年的3%上升到2018年的12%.

表1 1998—2018年大荔县作物种植面积转移矩阵

/hm²

1998年	2018年						
	粮食	花生	棉花	蔬菜	水果	非农用地	总计
粮食	29 721.36	3 050.30	210.70	4 453.00	24 536.56	6 911.80	68 883.72
花生	4 127.25	704.60	11.01	1 475.74	4 410.85	1 482.69	12 212.15
棉花	1 783.26	982.11	8.10	1 278.86	2 393.24	861.83	7 307.41
蔬菜	1 878.00	724.87	1.99	910.78	510.54	453.31	4 479.49
水果	4 422.25	130.53	28.16	826.27	20 621.86	2 911.25	28 940.31
非农用地	8 938.41	660.42	21.83	2 389.20	8 620.20	26 636.44	47 266.49
总计	50 870.54	6 252.84	281.78	11 333.86	61 093.25	39 257.32	169 089.58

3.2 大荔县种植业碳效应变化

随着种植结构的调整,大荔县碳排放、碳吸收总量及各作物的碳效应发生了较大的变化(表2).1998—2018年大荔县碳排放量由 9.82×10^4 t变为 22.87×10^4 t,增长了1.33倍.其中水果种植碳排放量由占总碳排放量的25%上升到51%,成为大荔县种植业碳排放主要作物.碳排放增长速度加快与种植结构转变及作物种植品种变化使农用物资投入量增加有直接关系.果树单位面积农药使用量 0.2 t/hm²,是粮食作物的6倍.1998—2018年,大荔县作物种植结构由粮食、棉花种植转为果树、蔬菜种植,种植结构的变化(包括内部品种的变化)使农药化肥使用量增长.碳吸收量由1998年的 34.81×10^4 t增长到2018年的 41.39×10^4 t,增长了18.9%.在不同作物的碳吸收测算中粮食作物占比最大.2018年除棉花和花生碳吸收量降低外,其余作物碳吸收量均较1998年有所上升,其中水果的碳吸收量上升最快,

是 1998 年的 3.3 倍, 主要受作物单产提高(温室大棚等农业科学技术的使用)影响. 通过计算农业碳效应即农业碳吸收与农业碳排放之差, 发现大荔县种植业碳吸收总量大于碳排放总量, 呈净碳吸收效应, 表明总体上大荔县种植结构具有低碳特征. 但现存的种植结构导致农业碳排放量不断增大, 净碳吸收量减少了 26%. 大荔县种植结构转变导致的“高投入、高产出”的生产方式是碳排放增速高于碳吸收的主要原因, 这一趋势不利于今后低碳农业的发展.

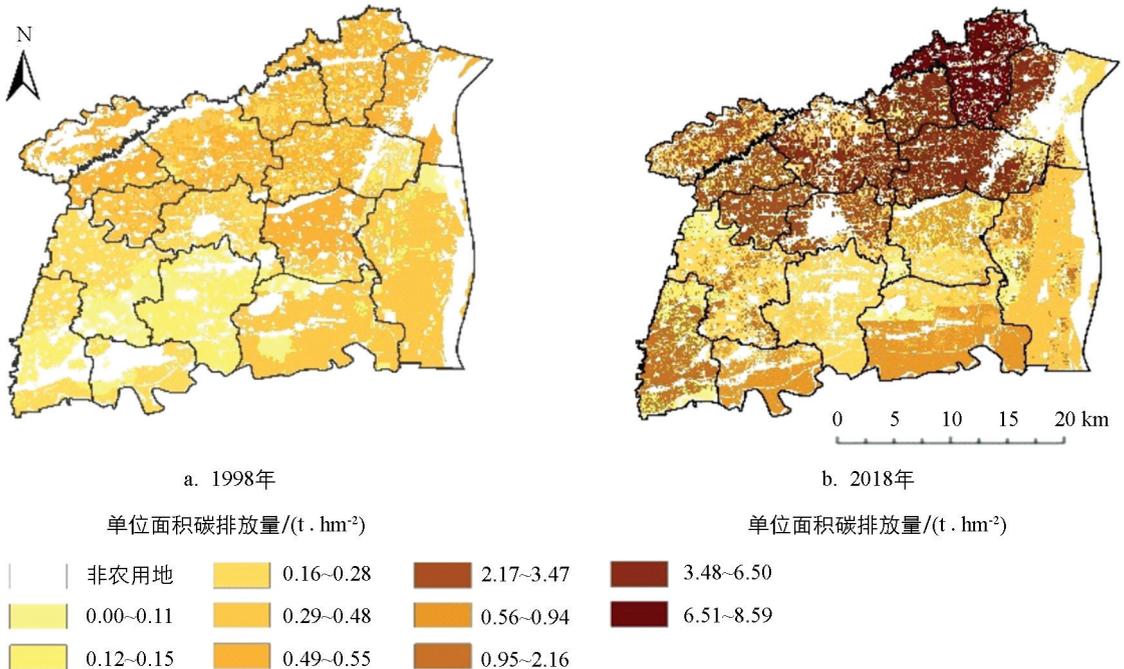
表 2 不同作物种植的碳效应对比

/10⁴ t

作物类别	碳排放量		碳吸收量		净碳吸收	
	1998 年	2018 年	1998 年	2018 年	1998 年	2018 年
粮食	3.17	4.9	28.56	30.54	25.39	25.64
棉花	1.51	3.8	0.75	0.03	-0.76	-3.77
花生	0.82	2.57	3.14	2.27	2.33	-0.3
蔬菜	1.84	5.46	0.77	3.3	-1.07	-2.15
水果	2.48	6.14	1.59	5.25	-0.89	-0.89
总计	9.82	22.87	34.81	41.39	25	18.53

3.2.1 碳排放空间分析

图 2 从空间上反映出大荔县 1998 年与 2018 年不同作物种植单位农业用地面积碳排放量的变化特征. 总体上看, 1998 年与 2018 年的单位农业用地面积碳排放量空间差异较大, 均呈现出北高南低的分布特征. 南北种植结构不同(北果南杂)导致单位面积碳排放出现差异. 年际对比发现, 1998 年至 2018 年单位农业用地面积碳排放量由 0~0.55 t/hm² 增长到 0.56~8.59 t/hm². 2018 年单位面积碳排放量总体较 1998 年高, 空间差异较大, 高值区(3.48~8.59 t/hm²)分布于大荔县北部的两宜镇、双泉镇、范家镇、安仁镇, 这些乡镇以种植高品质水果(如冬枣、黄金蟠桃)为主, 单位面积农资投入多, 其中单位农业用地面积农膜使用量达到 0.75 t/hm². 单位农业用地面积碳排放量的低值区(0~0.11 t/hm²)主要位于大荔县南部沙苑区, 该区以小面积的花生种植为主, 单位面积农药、化肥、农膜使用量分别为 0.02 t/hm²、0.75 t/hm²、0.06 t/hm², 种植面积较 1998 年有所减少, 灌溉面积少, 故单位面积碳排放量少. 总体上看, 大荔县单位面积碳排放量主要受农资投入量影响, 不同作物中, 水果种植的单位面积碳排放值最高.

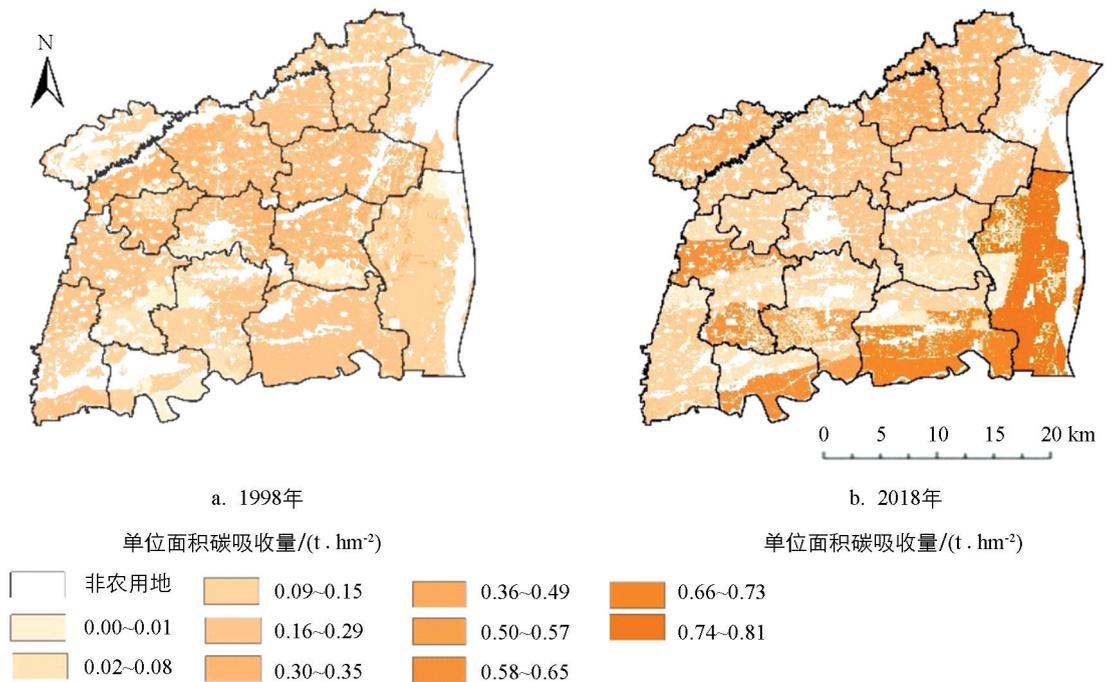


审图号: GS(2019)1822 号

图 2 大荔县单位面积碳排放量分布

3.2.2 碳吸收量空间分析

大荔县作物种植过程中单位农业用地面积碳吸收量空间差异如图3所示。整体上看,1998—2018年单位面积碳吸收量处于 $0\sim 0.81\text{ t/hm}^2$ 之间,且呈现增长趋势。在空间上,1998年单位农业用地面积碳吸收量空间差异较小,2018年空间差异较大且呈现出中间低、四周高的空间特征。2018年除中部洛灌区外,其他区域的单位面积碳吸收量均较1998年增加。南部赵渡镇、苏村镇、韦林镇、官池镇属单位农业用地碳吸收高值区($0.66\sim 0.81\text{ t/hm}^2$),这些乡镇以种植大田作物(如粮食、花生、黄花菜等)为主,种植面积大且集约化程度高,单位农业用地碳吸收量较高。北部双泉镇、两宜镇及段家镇属单位农业用地面积碳吸收量中低值区($0.09\sim 0.29\text{ t/hm}^2$),主要种植果树,随着果园面积扩大、大棚覆盖技术的逐渐成熟以及农药、化肥等农用物资使用量增加,水果产量得到提升,其中北部乡镇的冬枣每公顷产量可达 $22.5\sim 30\text{ t}$,单位农业用地碳吸收量较1998年明显增加,但水果含水率高,含碳率低,固碳能力相较于粮食作物低,所以单位面积碳吸收量略少于南部粮食作物。综上所述,种植业碳吸收能力主要取决于作物单位面积经济产量,从不同作物单位面积碳吸收量来看,粮食作物的固碳能力最强。



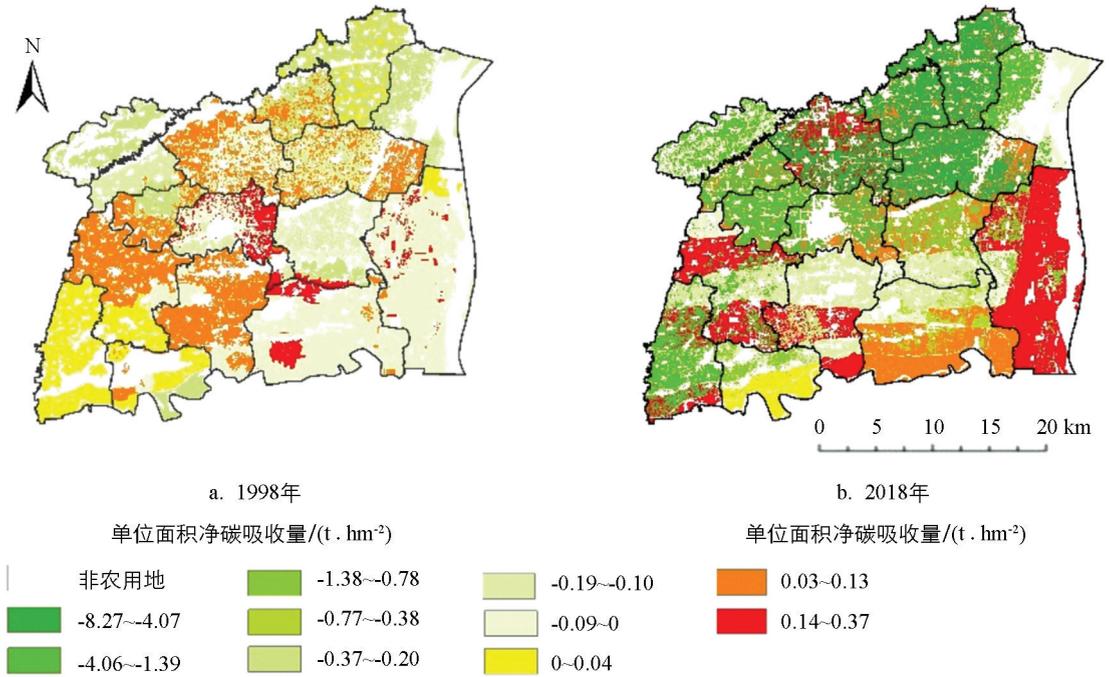
审图号:GS(2019)1822号

图3 大荔县单位面积碳吸收量分布

3.2.3 净碳吸收量空间分析

大荔县单位农业用地面积净碳效应空间变化如图4,整体上看,1998—2018年单位农业用地面积净碳吸收量处于 $-8.27\sim 0.37\text{ t/hm}^2$ 之间,差值较大,表明各乡镇单位农业用地碳排放量与单位农业用地碳吸收量空间分布差异大。1998年南部下寨镇、官池镇、苏村镇、羌白镇及中部洛灌区的城关镇、埕桥镇、许庄镇、安仁镇均属净碳吸收量高值区($0\sim 0.37\text{ t/hm}^2$),这些乡镇以种植粮食和花生为主,化肥、农药使用量为 750 kg/hm^2 和 3 kg/hm^2 ,单位农业用地面积碳排放量少,但单位面积产量高,单位面积碳吸收量远大于碳排放量,故呈现净碳吸收效应。2018年净碳吸收量最高值(0.37 t/hm^2)分布于赵渡镇,该镇耕地面积 $14\,975.59\text{ hm}^2$,主要以种植大田作物(如小麦、玉米、花生)为主,种类较为丰富,种植粮食作物的单位面积碳吸收量为 0.81 t/hm^2 、碳排放量为 0.44 t/hm^2 ,单位面积碳吸收量大于碳排放量,呈现净碳吸收效应。综上所述,目前大荔县种植业碳排放增长速率高于碳吸收,种植作物中仅粮食及花生呈净碳吸收效应,

其余水果、蔬菜、棉花均呈现净碳排放效应。

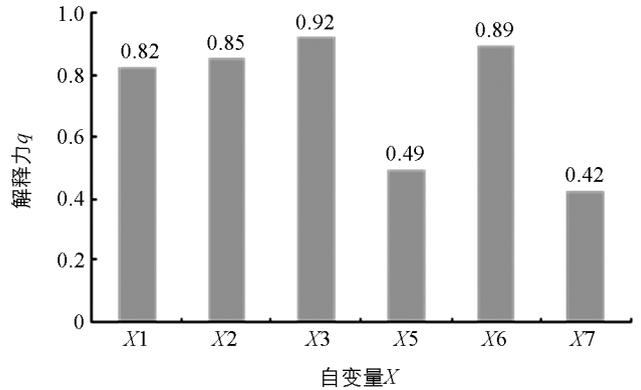


审图号: GS(2019)1822 号

图 4 大荔县单位面积净碳吸收量分布

3.3 种植业碳效应影响因素分析

因子探测器主要用来探测某驱动因子 X 对变量 Y 空间分异的解释力^[43], 用 q 值来衡量. 本文选取单位农业用地面积化肥、农药、农膜和柴油使用量、农业用地灌溉面积、不同作物单位农业用地面积产量(后简化为作物单产)、各乡镇不同作物种植面积占种植总面积的比重(后简化为作物占比)为自变量, 对 7 项影响因子进行分析可得到各变量对碳效应的解释程度. 测算结果中, p 值小于 0.05 即通过显著性检验, 除单位农业用地面积柴油使用量外, 其余的 6 项影响因子均对单位农业用地面积净碳效应量具有不同程度的解释力. 6 项影响因



X1: 单位农业用地面积化肥使用量; X2: 单位农业用地面积农药使用量; X3: 单位农业用地面积农膜使用量; X5: 农业用地灌溉面积; X6: 作物单产; X7: 作物占比.

图 5 影响因子 q 值

子 q 值范围为 0.42~0.92(图 5), 作物单产、单位农业用地面积化肥使用量、单位农业用地面积农药使用量、单位农业用地面积农膜使用量 4 种因子对单位农业用地面积净碳效应量变化解释力较高, 说明这 4 种因子的变化直接影响着单位农业用地面积净碳效应的空间分布格局与量的变化. 其中, 单位农业用地面积农膜使用量是大荔县碳效应变化的主导因素, 解释力高达 0.92, 表明单位农业用地面积碳排放的变化直接影响了单位农业用地碳效应量的空间格局及变化趋势, 其中单位农业用地面积农膜的使用量正向推动单位面积碳效应量的变化, 表明净碳效应变化与农户生产方式变化有着密切的联系. 作物占比虽然对单位农业用地面积净碳效应变化具有一定的解释能力, 但影响相较于其他因子低.

4 讨论

目前关于农业碳效应的研究多集中于单一碳排放的测算分析及影响因素分解,忽视了作物的固碳效果,本文参考学者田云等^[25]对碳效应的定义,通过差值反映出种植业的碳排放与碳吸收之间的关系,从种植结构转变的角度动态探究种植业内部碳效应差异,具有一定的新颖性,可为低碳农业发展、农业碳税的制定提供依据。

本文通过地理探测器探究了影响碳效应变化的驱动因子,发现单位农业用地面积农膜使用量是净碳效应空间变化的主要驱动因子,这与学者陈晓辉^[22]所得结论一致。本文基于栅格这一更精细的空间尺度开展农业碳效应空间变化研究,发现农业碳效应的空间分异主要取决于农业种植结构即农业类型的空间格局变化,这不仅与不同农业类型生产的地域条件有关,也与不同地域的农业转变过程(或类型)有关,这一认识对低碳农业的空间规划与布局具有一定的指导意义。鉴于此,提出以下建议:① 改变农业生产方式、减少农资过度投入。开展测土配方施肥,鼓励农户选取农家肥、有机肥、油渣代替化肥的使用;减少农药、农膜使用量,推广使用有效的生物、物理手段进行病虫害防治,推广可降解、污染小的清洁农膜;② 控制高投入的果业生产、保障粮食种植面积。在农业转型升级过程中,适当限制向经济效益高、但碳净排放高的水果、蔬菜种植的转变;适当扩大以净碳吸收为主的粮食、油料作物的种植面积,通过提高对粮食作物种植政府补贴,增加农户经济收益。

目前种植业的碳排放源种类较多,除了本文所提及的变化之外,还包括反刍动物排放的 CH_4 、作物种植排放的 CH_4 、粪肥排放的 CH_4 和 N_2O 、土壤翻耕过程中产生的碳排放以及秸秆还田所产生的碳排放等多个方面。本文仅从种植业结构、土地利用变化、生产方式变化的视角,依据农资投入对种植业碳排放量进行了测算,具有一定的局限性,但从当地农业结构来看,动物反刍、粪肥排放以及土壤翻耕产生的碳排放相对较少,不会影响研究结论;此外在碳吸收测算中,虽兼顾了较多的主要农作物,但由于果树自身在生长过程中具有一定的固碳功能,在本研究中未予以测算,主要是考虑到当地果树多以矮化品种为主,加上定期修剪,每年木材蓄积量不大,固碳作用有限。

5 结论

1) 大荔县种植业主要由以棉粮种植为主的传统农业转向以瓜果种植为主的现代都市农业,是关中平原农业种植结构及产业升级的典型代表。大荔县农资投入量及作物产量增加导致碳排放与碳吸收量增加。1998—2018年,种植结构的变化使种植业碳排放与碳吸收总量呈增长趋势。不同作物中,水果是碳排放最主要的碳源,这与果园面积增加、农用物资投入增加有关;粮食作物碳吸收能力强,受机械化投入增加,粮食产量提高影响。

2) 大荔县目前的种植结构导致农资投入增多、经济产量提高,呈现出“高投入、高产出”的生产方式,使得碳排放增长速率高于碳吸收,不利于今后低碳农业的发展。

3) 农业碳效应的空间分异主要取决于农业种植结构的转变过程及农业类型(如粮食、水果等)生产的地域条件的空间分异。大荔县水果种植集中分布于北部,单位农业用地碳排放高;南部沙苑区以种植花生、黄花菜等作物为主,农资投入小,属单位农业用地面积碳排放量变化低值区;粮食作物集中分布于南部,单位农业用地碳吸收最高。农业碳效应的空间分异与不同地域的农业转变过程(如向水果、蔬菜的转变)有关,也与不同农业类型布局的地域适宜性(农业生产条件)有关。

4) 单位农业用地面积碳排放、碳吸收、净碳效应空间分布主要受农用物资投入及作物单产的影响,单位农业用地农膜使用量是单位农业用地面积碳效应空间变化的主导因素。除单位农业用地柴油使用量之

外,其余影响因子均对单位面积碳效应具有一定的解释力,其影响程度大小依次为单位农业用地农膜使用量、单位农业用地作物产量、单位农业用地农药使用量、单位农业用地化肥使用量、灌溉面积、作物占比。通过调查发现,农户农业生产积极性也是影响农业碳效应变化的间接因素。

参考文献:

- [1] CHAPA O. Global Anthropogenic Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020. U. S. Environmental Protection Agency(EPA), 2006.
- [2] 张志高,袁征,刘雪,等. 基于投入视角的农业碳排放与经济增长的脱耦效应分析——以河南省为例 [J]. 水土保持研究, 2017, 24(5): 272-278.
- [3] 贺亚亚,田云,张俊飏. 湖北省农业碳排放时空比较及驱动因素分析 [J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2013(5): 79-85.
- [4] 张晓萱,秦耀辰,吴乐英,等. 农业温室气体排放研究进展 [J]. 河南大学学报(自然科学版), 2019, 49(6): 649-662, 713.
- [5] GUAN X L, ZHANG J B, WU X R, et al. The Shadow Prices of Carbon Emissions in China's Planting Industry [J]. Sustainability, 2018, 10(3): 753.
- [6] ALAM M K, BELL R W, BISWAS W K. Increases in Soil Sequestered Carbon under Conservation Agriculture Cropping Decrease the Estimated Greenhouse Gas Emissions of Wetland Rice using Life Cycle Assessment [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 224(7): 72-87.
- [7] 何慧爽,付帮杰. 我国粮食主产区农业碳排放测度与减排压力研究 [J]. 生态经济, 2019, 35(11): 99-104.
- [8] 李春喜,骆婷婷,闫广轩,等. 河南省不同生态区小麦-玉米两熟制农田碳足迹分析 [J]. 生态环境学报, 2020, 29(5): 918-925.
- [9] 白义鑫,盛茂银,胡琪娟,等. 贵州喀斯特农田生态系统碳足迹时空差异研究 [J]. 四川农业大学学报, 2019, 37(5): 685-694.
- [10] 杨龙,徐明庆,蒲健美,等. 农业碳排放效率及影响因素研究 [J]. 中国经贸导刊(中), 2020(6): 101-105.
- [11] 夏四友,赵媛,许昕,等. 1997—2016年中国农业碳排放率的时空动态与驱动因素 [J]. 生态学报, 2019, 39(21): 7854-7865.
- [12] 胡婉玲,张金鑫,王红玲. 中国农业碳排放特征及影响因素研究 [J]. 统计与决策, 2020, 36(5): 56-62.
- [13] 丁宝根,杨树旺,赵玉. 长江经济带种植业碳排放时空特征及驱动因素研究 [J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(10): 1252-1258.
- [14] 陈炜,殷田园,李红兵. 1997—2015年中国种植业碳排放时空特征及与农业发展的关系 [J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(2): 37-44.
- [15] 陈柔,何艳秋,朱思宇,等. 我国农业碳排放双重性及其与经济协调性研究 [J]. 软科学, 2020, 34(1): 132-138.
- [16] 江艳军,黄英. 耕地利用转型对农业碳排放的影响研究 [J]. 天津农业科学, 2019, 25(3): 33-39.
- [17] MENG W Q, HE M X, LI H Y, et al. Greenhouse Gas Emissions from Different Plant Production System in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 235: 741-750.
- [18] 杨欣,张华,董玥. 经济社会转型期武汉城市圈农业碳排放影响因素分解研究——基于农业投入视角 [J]. 国土资源科技管理, 2019, 36(4): 1-11.
- [19] 罗红,罗怀良,李朝艳,等. 泸州市农业碳收支时空变化及公平性评价 [J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(4): 409-418.
- [20] 余玮,黄璜,官春云,等. 我国主要农作物生产碳汇结构现状与优化途径 [J]. 中国工程科学, 2016, 18(1): 114-122.
- [21] 谢婷,张慧,苗洁,等. 湖北省农田生态系统温室气体排放特征与源/汇分析 [J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(5):

839-848.

- [22] 陈晓辉. 中国种植业结构演变及其资源环境代价研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- [23] WIESMEIER M, MAYER S, BURMEISTER J, et al. Feasibility of the 4 Per 1000 Initiative in Bavaria; a Reality Check of Agricultural Soil Management and Carbon Sequestration Scenarios [J]. *Geoderma*, 2020, 369: 114333.
- [24] 苏文, 陈春兰, 党廷辉, 等. 2005-2015年中国生态系统研究网络农田生态系统生态站表层土壤有机碳密度数据集 [J]. *中国科学数据*, 2020, 5(1): 56-68.
- [25] 田云, 张君. 地理分区视角下的农业碳效应驱动机理研究 [J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2020(2): 78-87, 165.
- [26] 张若焰, 陈儒, 王秀娟, 等. 现代烟草农业的碳效应核算与分析——以陕西省烟草合作社为例 [J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2019, 27(12): 1903-1915.
- [27] 陈儒, 邓悦, 姜志德. 农业生产项目的综合碳效应分析与核算研究——基于陕西安塞的农户调查数据 [J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2017(3): 23-34, 150.
- [28] GONZALEZ-SANCHEZ E J, VEROZ-GONZALEZ O, CONWAY G, et al. Meta-Analysis on Carbon Sequestration through Conservation Agriculture in Africa [J]. *Soil and Tillage Research*, 2019, 190: 22-30.
- [29] 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.
- [30] MACKAY A. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2008, 37(6): 2407.
- [31] 吴昊玥, 黄瀚蛟, 何艳秋, 等. 净碳排放约束下的中国耕地利用效率评价及空间关联研究 [J]. *浙江农业学报*, 2019, 31(9): 1563-1574.
- [32] 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.
- [33] 吴金凤, 王秀红. 1995—2012年宁夏盐池县种植业碳足迹变化特征 [J]. *资源科学*, 2015, 37(8): 1677-1684.
- [34] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望 [J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.
- [35] 罗瑶, 彭文甫, 董永波, 等. 基于地理探测器下的川西高原地表温度空间格局及影响因子分析——以西昌市为例 [J]. *干旱区地理*, 2020, 43(3): 738-749.
- [36] ZHANG W. Analysis of CO₂ Emissions and the Mechanism of the Industrial Enterprises above Designated Size (IEDS) in Resource-Based Cities by Application of Geographical Detector Technology [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2019, 10(5): 537.
- [37] 陈锋, 贺婧, 崔文斌. 基于地理探测器的宁夏贺兰山东麓土壤有机碳驱动分析 [J]. *北方园艺*, 2020(17): 87-93.

责任编辑 胡杨

孙文静