

# 陕西省关中地区农田生态系统碳源/汇估算

位贺杰, 张艳芳, 朱妮, 栗新巧

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:** 运用改进的CASA(Carnegie Ames Stanford Biosphere)模型,基于化肥、农膜、农地翻耕、农机运用4类主要碳排放,结合2010年相关遥感数据和统计数据,以县(区或市)为单元对陕西省关中地区农田生态系统碳吸收、碳排放及净碳汇进行了测算。结果表明:(1)研究区碳吸收总量约为 $6.44 \times 10^6$  t,其中6,7,8月为碳吸收高值月,12,1,2,3月为碳吸收低值月。碳吸收量高于 $2.0 \times 10^5$  t的县(区或市)分布在宝鸡市北部,咸阳市西部,渭南市中部和西南部。(2)研究区碳排放总量约为 $1.41 \times 10^6$  t,农用化肥为主要碳排放源,约占89%。碳排放量超过 $6.00 \times 10^4$  t的县(区或市)分布在渭南市中部,咸阳市中部偏南。(3)研究区净碳汇总量约为 $5.03 \times 10^6$  t,各县(区或市)净碳汇量均为正值。净碳汇总量超过 $2.00 \times 10^4$  t的县(区或市)主要分布在关中地区西北部。

**关键词:** CASA; 农田生态系统; 碳源/汇; 关中地区

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)03-0121-05

中图分类号: S154.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.023

## Carbon Source/Sink Estimation for Agro-ecosystem in Guanzhong Area

WEI He-jie, ZHANG Yan-fang, ZHU Ni, LI Xin-qiao

(Tourism and Environment College, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** By using the related remote sensing data, statistical data and the four main carbon sources of fertilizer, agro-film, tillage and agro-machinery in 2010, a calculation of the carbon sources and sinks of agro-ecosystem in Guanzhong area was made in reference to the improved CASA (Carnegie-Ames-Stanford Biosphere) model, taking county (district or city) as a unit. The findings are as follows: (1) The total carbon absorption of the Guanzhong agro-ecosystem was about  $6.44 \times 10^6$  tons, with the high values of carbon absorption in June, July and August and the low values in December, January, February and March. The counties whose value of carbon absorption was more than  $2.0 \times 10^5$  tons were distributed in the north of Baoji City, west of Xianyang City, and middle and southwest of Weinan City. (2) The total amount of carbon emission of the Guanzhong agro-ecosystem was about  $1.46 \times 10^6$  tons. Fertilizer was the main carbon source, accounting for 89%. The regions whose value of carbon emission was more than 60 000 tons were distributed in the middle of Weinan City and mid-south of Xianyang City. (3) The total carbon sink of the Guanzhong agro-ecosystem was about 5 033 500 tons. The value of carbon sink more than 200 000 tons was centered in the northwest of Guanzhong area.

**Keywords:** CASA model; agro-ecosystem; carbon source/sink; Guanzhong area

温室气体的增加,引发了一系列的全球变化,对地球生态系统产生长期的影响<sup>[1]</sup>。陆地生态系统作为解释碳“失汇”之谜的关键,其碳源汇或碳平衡问题成为碳循环领域的研究热点<sup>[2-5]</sup>。农田生态系统是由人工建立的生态系统,它是陆地生态系统的重要组成部分,受自然因素和人类活动影响较大,同时也是重

要的碳源和碳汇。以往对农田生态系统碳吸收的测算研究,多集中于运用农作物产量数据、经济系数结合含碳率进行估算<sup>[2,5,6-10]</sup>,CASA(Carnegie Ames Stanford Biosphere)模型是一个主要表征陆地生态系统中水分、碳素和氮素通量随时间变化的生态系统过程模型,它主要应用陆地卫星观测资料和气候驱动因

收稿日期:2013-06-19

修回日期:2013-07-15

资助项目:陕西师范大学中央高校基金项目“西安城市空间增长下碳足迹时空变化与优化模拟研究”(GK201302031);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);教育部人文社科研究规划基金项目“区域土地利用的低碳效应与低碳经济发展模式研究:以西安市为例”(10XJA790011)

作者简介:位贺杰(1988—),男(汉族),河南省项城市人,硕士研究生,研究方向为水土资源评价与低碳研究。E-mail:shanxishidawhj@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、生态安全与低碳研究。E-mail:zhangyf@snnu.edu.cn。

子来估测陆地生态系统生物地球化学循环<sup>[3]</sup>,该模型已被广泛利用估测区域 NPP(植被净初级生产力)<sup>[3,11-14]</sup>,对其稍作改进可用来估算农田作物碳吸收;以往对农田生态系统碳源汇综合估算,多以省域、市域为单元进行<sup>[7-10]</sup>,而站在地理学视角,对小尺度(县域)农田碳状况估算,研究其空间差异,则可以为制定更具有针对性和可操作性的相关政策提供依据。

本文选取陕西“粮仓”关中地区,运用改进的 CASA 模型,测算关中地区农田县域碳吸收量;基于化肥、农膜、农地翻耕、农机运用 4 类主要碳排放源,测算该地区农田县域碳排放量;同时对该地区农田生态系统的碳吸收、碳排放、净碳汇空间格局及空间差异状况进行探讨。

## 1 研究区概况

关中地区地处陕西省中部(附图 2),地势平坦,农田面积广阔,土壤肥沃,属大陆性气候,年均温 6~13℃,年降水量 500~800 mm,其中 6—9 月约占 60%,降水多为短时暴雨,冬春季降水较少,春旱、伏旱频繁,是全国重要的麦、棉产区。研究范围包括西安、宝鸡、渭南、咸阳和铜川的各(市)区,测算对象包括各类农田,含旱地、水田、菜地以及临时性耕地等。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 研究方法

(1) 碳吸收计算。农作物碳汇系数的大小,学术

$$f_{1(x,t)} = 0.8 + 0.02 \times T_{\text{opt}}(x) - 0.0005 \times [T_{\text{opt}}(x)]^2 \quad (7)$$

$$f_{2(x,t)} = 1.184 \times \frac{1 + \exp\{0.3 \times [-T_{\text{opt}}(x) - 10 + T_{(x,t)}]\}}{1 + \exp\{0.2 \times [T_{\text{opt}}(x) - 10 - T_{(x,t)}]\}} \quad (8)$$

$$w_{(x,t)} = 0.5 + 0.5 \times E_{(x,t)} / EP_{(x,t)} \quad (9)$$

式中: $f_{1(x,t)}$ ——低温胁迫系数; $f_{2(x,t)}$ ——高温胁迫系数; $w_{(x,t)}$ ——水分胁迫系数; $\epsilon_{\text{max}}$ ——理想条件下的农田作物最大光能转化率(g/MJ),取 0.542<sup>[14]</sup>;  $T_{\text{opt}}(x)$ ——研究区内一年之中农田 NDVI 值达到最高时当月的平均气温,取 8 月份; $T(x,t)$ —— $t$  月平均气温; $EP_{(x,t)}$ ,  $E_{(x,t)}$ —— $x$  像元  $t$  月份潜在蒸散量和实际蒸散量(mm),两者比值本研究采取 NDVI 与  $T_s$ (地表温度)比值归一化后的值<sup>[15-16]</sup>。

(2) 碳排放计算。对农田生态系统碳排放,研究主要估算了以下 4 类:农用化肥导致的直接或间接碳排放;农用薄膜或地膜导致的直接或间接碳排放;农地翻耕导致的土壤有机碳流失;农机运用消耗能源导致的碳排放。研究未对土壤呼吸碳排放进行估算,农药利用产生的碳排放由于量少且分县数据难得,故未进行估算,而对农地灌溉消耗能源产生的碳排放,为

界一直有争议,本研究利用改进 CASA 模型来估算农田作物各个阶段碳吸收量,原模型是测算 NPP 的,本研究对其稍作改进用于测算农田作物碳吸收。主要公式如下<sup>[13-14]</sup>:

$$C_{(x,t)} = \text{NPP}_{(x,t)} \quad (1)$$

式中: $x$ ——农田类像元; $t$ ——月份; $C_{(x,t)}$ ——像元  $x$  在  $t$  月份的碳吸收量(g/m<sup>2</sup>);  $\text{NPP}_{(x,t)}$ ——像元  $x$  在  $t$  月份的农田作物净初级生产力。下同。

$$\text{NPP}_{(x,t)} = \text{APAR}_{(x,t)} \times \epsilon_{(x,t)} \quad (2)$$

式中: $\text{APAR}_{(x,t)}$ ——像元  $x$  在  $t$  月份吸收的光和有效辐射(MJ/m<sup>2</sup>);  $\epsilon_{(x,t)}$ ——像元  $x$  在  $t$  月份的实际光能利用率(g/MJ)。

APAR 的确定:

$$\text{APAR}_{(x,t)} = \text{SOL}_{(x,t)} \times \text{FPAR}_{(x,t)} \times 0.5 \quad (3)$$

$$\text{FPAR}_{(x,t)} = [\text{FPAR}_{(x,t)\text{NDVI}} + \text{FPAR}_{(x,t)\text{SR}}] / 2 \quad (4)$$

$$\text{SR}_{(x,t)} = \frac{[1 + \text{NDVI}_{(x,t)}]}{[1 - \text{NDVI}_{(x,t)}]} \quad (5)$$

式中: $\text{SOL}_{(x,t)}$ —— $t$  月份像元  $x$  处的太阳总辐射量(MJ/m<sup>2</sup>);  $\text{FPAR}_{(x,t)}$ ——农田作物对入射光有效辐射(PAR)的吸收比例;常数 0.5——作物所能利用的太阳有效辐射占太阳总辐射的比例;  $\text{FPAR}_{(x,t)\text{NDVI}}$  和  $\text{FPAR}_{(x,t)\text{SR}}$ ——由归一化植被指数(NDVI)和比值植被指数(SR)计算而得的植被层对入射光有效辐射的吸收比例<sup>[13]</sup>。

$\epsilon$  的确定:

$$\epsilon_{(x,t)} = f_{1(x,t)} \times f_{2(x,t)} \times w_{(x,t)} \times \epsilon_{\text{max}} \quad (6)$$

$$\epsilon_{\text{max}} = f_{1(x,t)} \times f_{2(x,t)} \times w_{(x,t)} \times \epsilon_{\text{max}} \quad (7)$$

$$\epsilon_{(x,t)} = f_{1(x,t)} \times f_{2(x,t)} \times w_{(x,t)} \times \epsilon_{\text{max}} \quad (8)$$

防止重复计算,将其合并到农机运用产生碳排放中。主要公式如下<sup>[2,9,17]</sup>:

$$E_t = E_h + E_m + E_f + E_j \quad (10)$$

$$= h \times T_h + m \times T_m + f \times T_f + E_j$$

式中: $E_t$ ,  $E_h$ ,  $E_m$ ,  $E_f$ ,  $E_j$ ——农田生态系统总的、化肥利用的、农膜利用的、翻耕以及农机利用的碳排放量(kg);  $h$ ,  $m$ ,  $f$ ——化肥、农膜、翻耕碳排放系数,分别取 0.895 6, 5.18 (kg/kg), 312.6 (kg/km<sup>2</sup>);  $T_h$ ,  $T_m$ ——化肥、农膜使用量(kg);  $T_f$ ——农作物翻耕面积(km<sup>2</sup>)。

$$E_j = (A_m \times B) + (W_m \times C) \quad (11)$$

式中: $A_m$ ——农作物播种面积(km<sup>2</sup>);  $W_m$ ——农机总动力(kW);  $B$ ,  $C$ ——农机利用碳排放系数,分别取 16.47 kg/hm<sup>2</sup>, 0.18 kg/kW。

### 2.2 数据来源

遥感数据主要有 NDVI 数据,  $T_s$ (地表温度)数

据以及土地分类数据,NDVI与 $T_s$ 采用2010年的MODIS数据共72景,数据格式分别为MOD13Q1,MOD11A1,CASA模型中NPP估算以月为步长,而MOD13Q1以16d为步长,采用最大值法获取最终NDVI数据,土地分类采用2009年欧空局全球陆地覆盖数据(ESA GlobCover),为300m分辨率,使用之前结合MCD12Q1格式的土地覆盖数据进行了重分类处理,并将其中的农田类像元提取出来,所用全部遥感数据统一在ArcGIS 9.3平台下,利用关中地区矢量图裁切出来,转为300m分辨率,空间参考系为WGS-1984-Albers。

气象数据主要为2010年各月的平均气温(陕西周边98个气温降水站点)以及月总辐射(陕西周边18个太阳辐射站点),获取自气象数据共享网。将各月气温数据和月总辐射数据使用克里金法插值为300m分辨率栅格图,后利用关中地区矢量图裁切出来。

化肥施用量、农膜使用量、农业机械总动力以及农作物播种面积等数据均源自2011年《陕西统计年鉴》,为研究方便,对部分区、县(市)进行了合并(附图2)。

### 3 结果与分析

#### 3.1 关中地区农田生态系统碳吸收测算与分析

利用改进CASA模型对关中农田生态系统碳吸收量进行逐月估算,后利用ArcGIS 9.3下的统计分析功能,统计各月碳吸收总量。从图1中可以看出2010年各月碳吸收总量变化情况:碳吸收总量值以6,7,8月相对较高,这3个月为关中地区农田作物生长旺季,且这3个月,太阳辐射与降水量相对较好,7月碳吸收总量达到 $1.24 \times 10^6$  t,为各月最高值;12,1,2,3月碳吸收总量相对较低,此段时期产生碳汇的主要为越冬农作物,加之受太阳辐射、降水、气温影响,碳吸收贡献量为一年中最低时期,其中12月份碳吸收总量达到最低,仅为 $1.48 \times 10^5$  t。

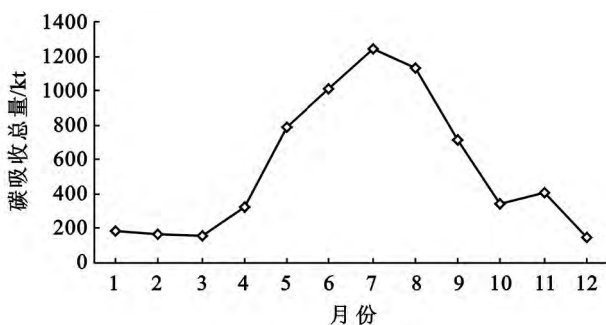


图1 关中地区农田生态系统分月碳吸收量

对逐月碳吸收量进行求和,使用ArcGIS 9.3下的分区统计功能得到2010年关中地区各地市和各县(区或市)的农田碳吸收总量(图1)。2010年,咸阳市碳吸收总量为各地市最高,达到 $1.76 \times 10^6$  t,而后是渭南市 $1.75 \times 10^6$  t,宝鸡市 $1.62 \times 10^6$  t,西安市 $8.02 \times 10^5$  t,最低的为铜川市 $5.10 \times 10^5$  t。

农田碳吸收总量大于 $2.00 \times 10^5$  t的区县(市)按大小排序为:陈仓、陇县、蒲城、彬县、渭南(临渭区)、麟游、富平、乾县、大荔和凤翔,其碳吸收量约占关中地区农田总碳吸收量的37%,这些地区农田面积较为广阔,土壤肥沃,适合农作物生长,碳汇潜力巨大。其中属于宝鸡的有陈仓、陇县、凤翔和麟游,分布在宝鸡北部地区;属于咸阳的有乾县、彬县,分布在咸阳西部地区;属于铜川的仅有耀州区,在铜川西部;属于渭南的有临渭区(渭南)、富平、大荔,分布在渭南中部和西南部地区。农田碳吸收总量小于 $5.0 \times 10^4$  t的区县(市)有潼关、高陵、宝鸡(渭滨区和金台区)、西安(主城区)、太白,这些地区由于农田面积少或主要为市区,农业并非发展重点,故碳吸收量较少,其主要分布区域在行政中心或关中地区南部边缘处。

#### 3.2 关中地区农田生态系统碳排放测算与分析

对2010年关中地区农田生态系统4类碳排放、总碳排放进行逐县(区或市)测算(图2—3)。分地统计碳排放量,其中渭南总量最高,达到 $5.05 \times 10^5$  t,咸阳为 $4.12 \times 10^5$  t,西安为 $2.32 \times 10^5$  t,宝鸡为 $2.10 \times 10^5$  t,最低的铜川为 $4.83 \times 10^4$  t;研究区总碳排放超过 $6.00 \times 10^4$  t的县(区或市)有渭南的富平、大荔和蒲城,主要分布在渭南中部,以及咸阳的乾县、礼泉分布在咸阳中部偏南地区,这些地区一般为农业大县,化肥或农膜使用量大,农机利用率高,故碳排放量较高,而低于 $1.00 \times 10^4$  t的有铜川(王益区和印台区)、宝鸡(渭滨区和金台区)、凤县、太白、潼关、华阴,这些地区农田面积较少,农业相关物质消耗较少,相关农业设备使用率低,故碳排放量较低,大部分分布在行政中心或关中地区南部边缘。

研究区总碳排放构成中,农用化肥为主要碳排放源,约占89%,农膜利用约占7.9%,最低的为农地翻耕产生碳排放,约占0.4%;农用化肥碳排放空间格局与总碳排放类似;农膜利用产生碳排放量以渭南北部的蒲城最为突出,高达约 $2.60 \times 10^4$  t,这是由该地农业种植特征决定的,西安市农膜利用碳排放也较高,体现了都市农业高农膜利用率的特征;农机利用碳排放高值区,多分布在行政中心或农业大县,如西安的2区(长安、临潼)、3县(蓝田、周至和户县),宝

鸡的陈仓区和凤翔县, 咸阳的乾县以及渭南的临渭区、蒲城和富平, 这里应该有两个原因, 一是行政中心

工商业发达, 二是农业大县规模化特征突出, 农机利用率高。

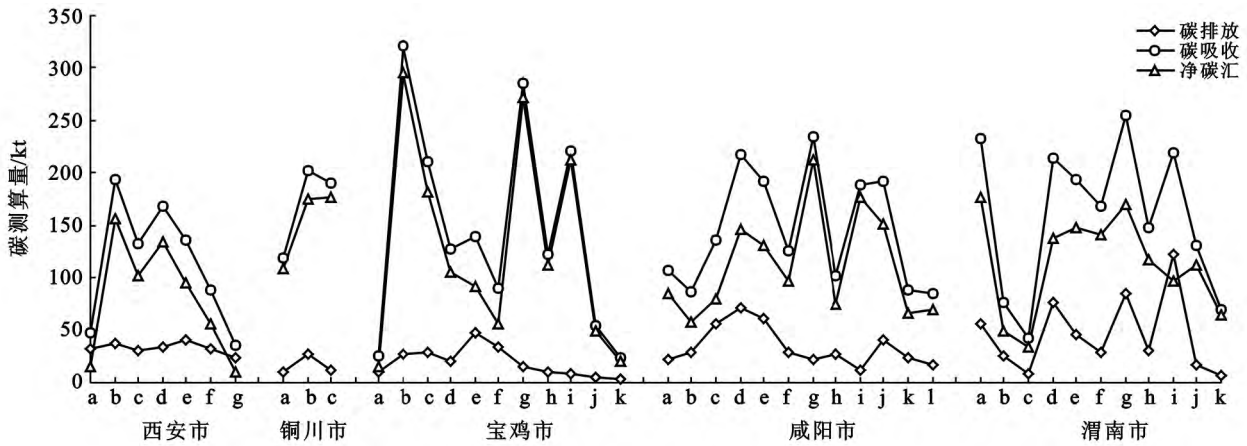


图 2 关中地区农田生态系统分县碳测算量

注: 西安 a, b, c, d, e, f, g 分别指西安主城区、临潼、长安、蓝田、周至、户县、高陵; 铜川 a, b, c 分别指铜川主城区、耀州、宜君; 宝鸡 a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k 分别指宝鸡主城区、陈仓、凤翔、岐山、扶风、眉县、陇县、千阳、麟游、凤县、太白; 咸阳 a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l 分别指咸阳主城区、三原、泾阳、乾县、礼泉、永寿、彬县、长武、旬邑、淳化、武功、兴平; 渭南 a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k 分别指渭南主城区、华县、潼关、大荔、合阳、澄城、蒲城、白水、富平、韩城、华阴”。下同。

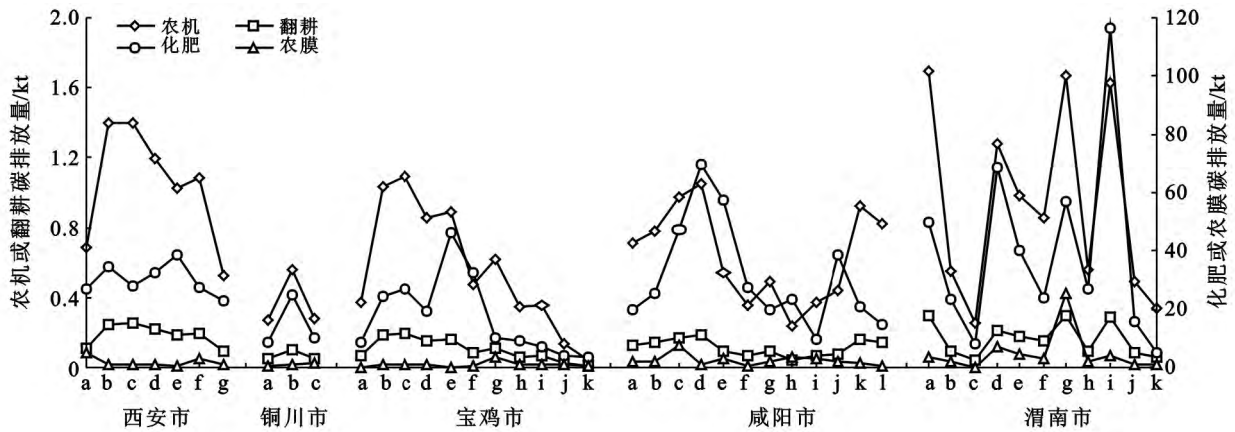


图 3 关中地区农田生态系统分县各类碳排量

### 3.3 关中地区农田生态系统净碳汇测算与分析

农田生态系统净碳汇指碳吸收总量与碳排放总量的差值, 利用 2010 年碳吸收与排放数据对关中地区农田净碳汇进行逐县(区或市)测算(图 2)。分地市统计净碳汇量, 其中宝鸡总量最高, 达到  $1.41 \times 10^6$  t, 咸阳为  $1.35 \times 10^6$  t, 渭南为  $1.25 \times 10^6$  t, 接下来是西安、铜川各为  $5.70 \times 10^5$ ,  $4.62 \times 10^5$  t, 呈现这种空间格局, 主要影响因素是各地市农田面积大小, 其次为各地市的农田种植结构以及对农田的投入特征, 如咸阳市虽然碳吸收量值最高, 但因其对农田的粗放式投入比较严重。2010 年其化肥使用量为关中化肥总使用量的 30%, 下属县(区或市)除旬邑、兴平外, 农田碳排放量均在  $2.20 \times 10^4$  t 以上, 进而导致其净碳汇值降低, 位居宝鸡之后。

关中地区各县(区或市)净碳汇量均为正值, 其中净碳汇总量超过  $2.00 \times 10^5$  t 的有宝鸡的陈仓区、陇县和麟游以及咸阳的彬县, 这些地区也是碳汇总量较大的地区, 大多分布在关中地区西北部; 净碳汇总量的低值区分部在关中地区中部、南部, 如西安(除临潼、长安以外的 5 个区)、高陵、宝鸡(渭滨区和金台区)、太白和潼关等地, 这些地区碳吸收量与碳排放均不高。

## 4 结论

(1) 2010 年关中地区农田生态系统碳吸收总量约为  $6.00 \times 10^6$  t, 其中 6, 7, 8 月为碳吸收高值月, 以 7 月最高达  $1.24 \times 10^5$  t, 12, 1, 2, 3 月为碳吸收低值月, 以 12 月份最低, 仅为  $1.48 \times 10^5$  t。

(2) 分地市统计的碳吸收总量大小顺序为:咸阳>渭南>宝鸡>西安>铜川;碳吸收量高于  $2.00 \times 10^5$  t 的县(区或市)分布在宝鸡北部(陈仓、陇县等),咸阳西部(乾县、彬县),渭南中部(富平、大荔)和西南部(临渭区)。

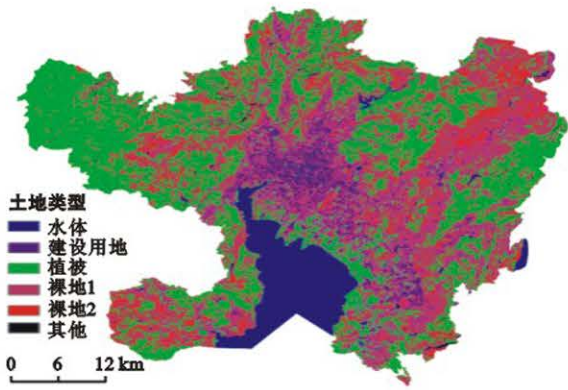
(3) 2010年关中地区农田生态系统碳排放总量约为  $1.41 \times 10^6$  t,分地市统计碳排放总量大小排序为:渭南>咸阳>西安>宝鸡>铜川;碳排放超过  $6.00 \times 10^4$  t 的县(区或市)分布在渭南中部(富平、大荔等),咸阳中部偏南(乾县、礼泉);碳排放构成中,农用化肥为主要碳排放源,约占89%,其次农膜利用约占7.9%。

(4) 2010年关中地区农田生态系统净碳汇总量约为  $5.03 \times 10^6$  t,分地市统计净碳汇总量大小排序为:宝鸡>咸阳>渭南>西安>铜川;各县(区或市)净碳汇量均为正值,净碳汇总量超过  $2.00 \times 10^5$  t 的有宝鸡的陈仓区、陇县、麟游以及咸阳的彬县,分布在关中地区西北部。

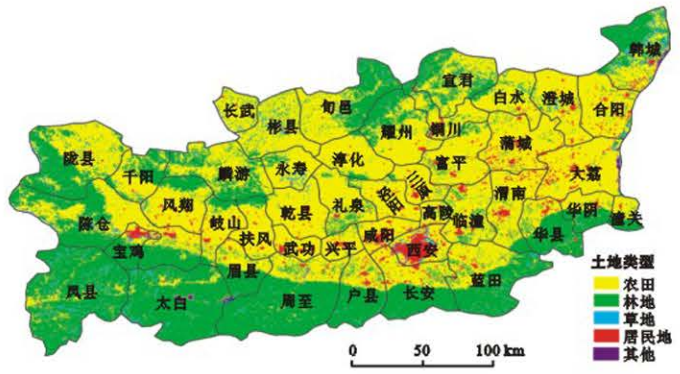
本文的主要不足包括:(1)对改进的CASA模型的测算结果还缺乏实测数据检验;(2)对农田类像元提取的精度有待提高;(3)研究中使用插值获得的气象数据而非使用格网数据,这些因素在一定程度上影响了研究的精度。

#### [ 参 考 文 献 ]

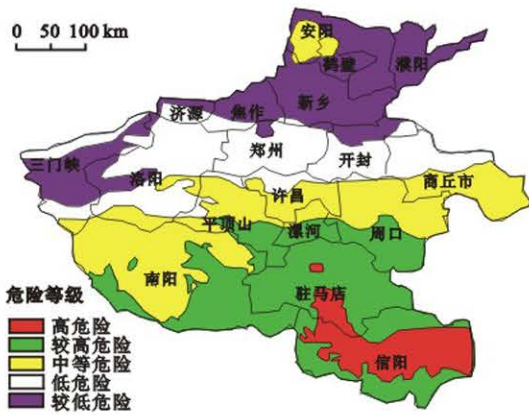
- [1] IPCC. IPCC Report of Climate Change in 2007 [EB/OL]. (2008-07-20) [2013-01-20]. <http://www.ipcc.ch>.
- [2] 颀鹏, 蔺海明, 黄高宝, 等. 河西绿洲农田生态系统碳源/汇的时空差异研究[J]. 草业学报, 2009, 18(4): 224-229.
- [3] 裴志永, 周才平, 欧阳华. 青藏高原高寒草原区域碳估测[J]. 地理研究, 2010, 29(1): 102-110.
- [4] Al-mulali U, Binti Che Sab C N. The impact of energy consumption and CO<sub>2</sub> emission on the economic and financial development in 19 selected countries [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012(16): 4365-4369.
- [5] 赵荣钦, 秦明周. 中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 1-6, 11.
- [6] 祁兴芳. 基于低碳经济的山东省德州市农田生态系统碳汇估算[J]. 水土保持通报, 2013, 33(1): 157-161.
- [7] 王静, 冯永忠, 杨改河. 山西农田生态系统碳源/汇时空差异分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38(1): 195-200.
- [8] 袁再建, 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.
- [9] 段华平, 张悦, 赵建波. 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.
- [10] 钱晓雍. 上海农田生态系统碳源汇时空格局及其影响因素分析[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7): 1460-1467.
- [11] 陈正华, 麻清源, 王建, 等. 利用CASA模型估算黑河流域净第一性生产力[J]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 263-273.
- [12] 董丹, 倪健. 利用CASA模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1855-1865.
- [13] 朴世龙, 方精云, 郭庆华. 利用CASA模型估算我国植被净第一性生产力[J]. 植物生态学报, 2001, 25(5): 603-608.
- [14] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J]. 植物生态学报, 2007, 31(3): 413-424.
- [15] 于勇, 冯朝阳, 陈艳梅, 等. 基于改进光能利用率模型呼伦贝尔植被净初级生产力时空格局[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 154-159.
- [16] 范辽生, 姜纪红, 盛晖, 等. 利用温度植被干旱指数(TVDI)方法反演杭州伏旱期土壤水分[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 230-234.
- [17] 田云, 张俊彪, 李波. 中国农业碳排放研究: 测算、时空比较及脱钩效应[J]. 资源科学, 2012, 34(11): 2097-2105.



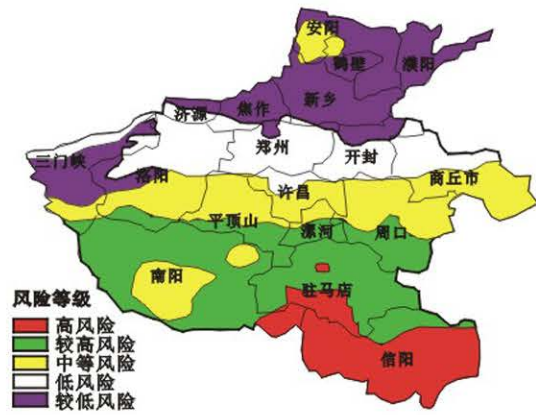
附图1 云南省土地覆被类型



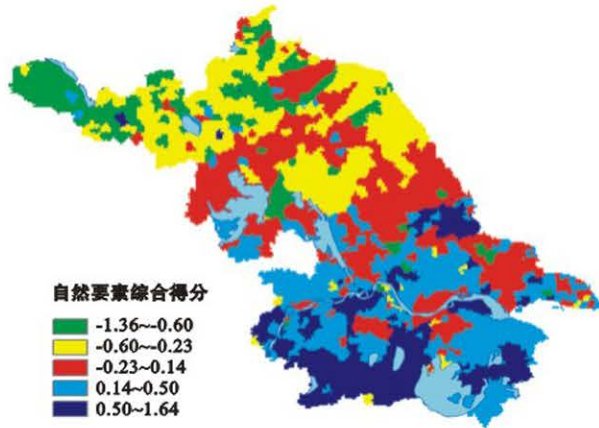
附图2 陕西省关中地区土地覆被类型



附图3 河南省洪水危险等级分布



附图4 河南省洪灾风险等级分布



附图5 江苏省水土保持指标体系中的自然要素、社会经济要素、土地利用要素、水土流失要素空间分布

