

2001—2010 年中国农作物可还田量的时空演变^①

王轶虹^{1,2}, 史学正^{1*}, 王美艳¹, 赵永存¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 作物收获后的地上秸秆和地下根系部分是农田土壤有机质的主要来源。准确估算农作物收获残余物(CSRE)可归还到农田中的生物量可以帮助认识秸秆和根系在农田土壤碳循环中的作用。本文采用 2011—2012 年全国实测水稻、小麦、玉米、大豆、油菜、棉花 6 种作物的生物量获得的干燥系数(DC)、收获指数(HI)和根冠比(R/S), 结合 2001—2010 年以县为单位的农业统计数据估算了可归还到农田中的农作物收获残余物生物量。2001—2010 年中国农田产生的 CSRE 总量为 3.5 Pg C。6 种作物种, 水稻产生的 CSRE 总量最多, 为 106.4 Tg C, 玉米年均增加量最大, 为 C 6.5 Tg/a。2001—2010 年, 以县级行政单元估算的单位面积 CSRE 值在 0.01 ~ 9.32 t/(hm²·a) 之间变动, 全国平均值为 C 3.20 t/(hm²·a)。农田产生的 CSRE 空间分布不平衡, 黄淮海区、长江中下游区和西南区的四川盆地 CSRE 可还田量较高。2001—2010 年间, 全国大部分地区农田产生的 CSRE 量呈增加趋势, 黄淮海区、长江中下游地区中北部、四川盆地和东北地区上升趋势明显, 且 CSRE 年际波动较小。华南地区农作物 CSRE 量减少趋势明显, 但是年际波动较小。CSRE 量波动较大的区域主要是西北地区。农田产生的 CSRE 量与气温和降水有相关关系, 但是不显著。

关键词: 农作物; 收获指数; 根冠比; CSRE; 空间变化; 气候因子

中图分类号: S141.9

农田土壤中有机碳的直接来源有农作物收获后地上秸秆、地下根系和根系生长过程中产生的分泌物、脱落的组织细胞(rhizodeposition)等, 以及投入的有机肥料等。近 30 年来, 中国农田化肥投入量持续增加, 有机肥料投入不足, 因此农作物收获残余物的还田对维持或增加农田土壤有机碳的含量尤其重要。准确估算可归还到农田土壤中农作物收获残余物的量, 一方面有助于认识农田土壤碳循环的变化机制, 另一方面可以用于模拟气候条件发生改变时农田土壤有机碳的未来的变化方向^[1]。

目前, 估算农田农作物收获残余物量主要有两种途径, 第一种是通过农业统计数据结合收获指数、根冠比、干燥系数等估算地上秸秆量和地下部分的生物量。另一种途径是以遥感数据驱动模型或农作物模型(CASA 模型, GLO-PEM 模型, CROP_C 模型等)估算出农田产生的净初级生产力(NPP)总量或产量, 然后根据收获指数和根冠比转换为作物的秸秆量和地下部分生物量。运用模型估算中国农田产生的 NPP 得到了广泛应用^[2-4], 但是由于在全国尺度上, 很难

从文献或土地利用或土地覆被遥感图像上准确获取每一年的农作物物候信息, 从而导致难于计算出每一种作物的 NPP 量或产量, 进而难于计算出每一种作物的地上秸秆量和地下根系生物量。运用农业统计数据结合每种作物的收获指数和根冠比可以相对准确地估算每一种作物的地上秸秆量和地下部分的生物量, 但是统计数据尺度有国家的、省级的、地市级和县级的。运用国家和省级的数据虽然可以估算每一种作物的地上秸秆量和地下部分的生物量, 但是由于尺度较大, 作图时难于表现出 CSRE 的空间分布的差异。

鉴于以上存在的问题, 本研究利用获得的以县为单元的农业统计数据结合实测的中国水稻、小麦、玉米、大豆、油菜和棉花 6 种农作物的收获指数和根冠比, 估算了中国农田在 2001—2010 年产生的农作物收获残余物量(CSRE), 并绘制了以县为单元的 CSRE 空间分布图, 利用线性趋势法分析了 CSRE 的时空演变特征, 引入相关系数讨论了以县为单元的气候因子对 CSRE 的影响。

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050509)和国家自然科学基金项目(41401240)资助。

* 通讯作者(xzshi@issas.ac.cn)

作者简介: 王轶虹(1984—), 女, 河北高邑人, 博士研究生, 主要从事农田土壤碳循环研究。E-mail: yhwang@issas.ac.cn

1 材料与方 法

1.1 数据来源与处理

2001—2010 年中国县级行政单位的农作物经济产量、年末耕地面积统计数据来自中国农业科学院农业信息研究所。2001—2010 年全国气温和降水数据来自于中国气象数据网(<http://data.cma.gov.cn/>)。

表 1 不同农作物的收获指数(HI)、根冠比(R/S)和干燥系数(DC)
Table 1 Harvest indices (HI), root to shoot (R/S) and dry coefficient (DC) for crops

作物类型	收获指数 HI	根冠比 R/S	干燥系数 DC	含碳量(%)	分泌物系数 YE
水稻	0.54	0.17	0.90	0.45	0.67
小麦	0.44	0.18	0.92	0.45	0.67
玉米	0.50	0.13	0.90	0.45	0.67
大豆	0.34	0.13	0.96	0.45	0.67
油菜	0.31	0.18	0.92	0.45	0.67
棉花	0.49	0.19	0.91	0.45	0.67

1.2 CSRE 计算方法

本研究中将农作物收获残余物(CSRE)分为地上秸秆生物量(CS)和地下生物量(CRS)分别计算, 地下生物量包括收获时采集的根系生物量(CR)和作物生长过程中的分泌物和脱落的组织(CE)。首先用每种作物的产量计算出每个县每种作物的 CSRE, 相加得到每个县 6 种农作物的 CSRE, 每个县的 CSRE 相加得到全国农作物的 CSRE。每个县 6 种作物的 CSRE 相加后除以年末耕地面积得到这个县单位面积的 CSRE 值, 全国所有县 CSRE 相加除以年末耕地面积得到全国单位面积 CSRE 值。

计算公式如下:

$$CS_{ji} = \left[\frac{Y_{ji} \times DC_i}{HI_i} \right] \times 0.45 \quad (1)$$

$$CRE_{ji} = \left[\frac{Y_{ji} \times DC_i \times (R/S)_i}{HI_i} \right] \times 0.45 + \left[\frac{Y_{ji} \times DC_i \times (R/S)_i}{HI_i} \right] \times 0.45 \times 0.67 \quad (2)$$

$$CSRE_{ji} = \left[\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^6 (CS_{ji} + CRE_{ji}) \right] \quad (3)$$

$$CSRE = \frac{\sum_{i=1}^6 CSRE_{ji}}{\sum_{i=1}^6 A_{ji}} \quad (4)$$

式中: Y_{ji} , CS_{ji} , CRE_{ji} 和 A_{ji} 分别表示统计数据中第 j 个县第 i 种作物的产量、地上秸秆生物量、地下生物量和年末耕地种植面积; n 表示全国县级行政单位的

2011—2012 年在全国采集了水稻、玉米、小麦、大豆、棉花、油菜 6 种主要作物的生物量(共计 111 个样点), 计算了每种作物的收获指数 (HI)、根冠比 (R/S) 和干燥系数(DC)的全国平均值(表 1)^[5]。

由于获得的农业统计数据中, 油料作物并没有给出油菜、花生、芝麻等作物的比例, 本研究在计算时, 将统计数据中的油料作物作为油菜处理。

含碳量和分泌物系数来源于文献[1-6]。

个数; DC_i , HI 和 $(R/S)_i$ 分别表示第 i 种作物的干燥系数、收获指数和根冠比; $CSRE$ 表示单位面积农田中产生的农作物收获残余物。

1.3 CSRE 变化趋势分析

每个县 CSRE 年际变化趋势的分析方法采用一元线性回归趋势线法, 回归直线的斜率采用最小二乘法求得。

$$\theta_{slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times Y_i) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (5)$$

式中: n 为每个县级行政单元存在有效 CSRE 数据的年份个数, Y 为县级行政单元的 CSRE 数据, θ_{slope} 表示趋势线的斜率, $\theta_{slope} > 0$ 说明 CSRE 在 n 年间的变化趋势是增加的, 反之则是减少。

1.4 CSRE 与气候因子相关分析

基于每个县级行政单元的 CSRE 与气候因子的相关系数计算公式为:

$$R_{YCj} = \frac{\sum_{i=1}^n [(Y_{ij} - \bar{Y}_j) - (C_{ij} - \bar{C}_j)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y})^2 \sum_{i=1}^n (C_{ij} - \bar{C}_j)^2}} \quad (6)$$

式中: 变量 i 为年序号, n 取值为 1 ~ 10, Y_{ij} 为第 i 年第 j 个县 CSRE 数据, C_{ij} 为第 i 年第 j 个县的气象因子数据, R_{YCj} 为第 j 个县 CSRE 与气候因子的相关系数。

采用的分析软件有 Excel 2007, SPSS13.0, 图件

用 Origin(8.0), ArcMap(version 10.2)完成。

2 结果与讨论

2.1 中国 CSRE 的时间变化特征

2001—2010 年中国农作物产生的 CSRE 总量为 3.5 Pg C, 其中地上秸秆部分为 2.4 Pg C, 地下根系为 1.2 Pg C。对 2001—2010 年中国 CSRE 的量进行统计分析,发现研究时段内 CSRE 年总量先增加后降低, 总体具有增加趋势(图 1)。10 年间 CSRE 总量最低值出现在 2003 年, 为 C 278 Tg/a, 这可能与气象灾害有关, 这一年中国南方地区降雨偏少, 江南、华南为 1961 年以来降雨最少年份, 夏季遭受罕见高温袭击, 同时东北春季、南方夏秋季均出现大范围干旱, 造成农作物减产。2001—2010 年, 农作物地上秸秆部分年均增加量(C 8.1 Tg/a)是地下根系部分年均增

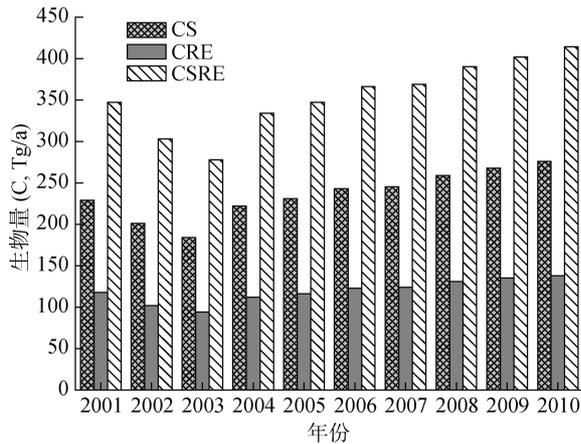


图 1 2001—2010 年 CSRE 总量的年际变化
Fig. 1 Inter-annual variations for total CSRE in China

加量(C 3.9 Tg/a)的 2 倍, 说明 2001—2010 年间地上部分可为农田土壤提供的有机物质越来越多。

2001—2010 年中国农作物单位面积上产生的地上秸秆生物量均值为 C 2.13 t/(hm²·a), 地下根系部分为 C 1.07 t/(hm²·a), 如果认为每年有 25% 地上秸秆归还到农田中, 2001—2010 年, 每年有含 C 量 1.61 t/(hm²·a) 的有机物质归还到农田土壤中。如果将每年地上秸秆归还比例提高到 40%, 每年有含 C 量 1.92 t/(hm²·a) 的有机物质归还到农田土壤中, 增加了 20%, 如果将每年地上秸秆归还比例提高到 80%, 全国每年有含 C 量 2.77 t/(hm²·a) 的有机物质归还到农田土壤中, 增加了 73%。许多模型研究者认为提高农田有机物质的输入量, 尤其是增加地上秸秆部分的还田比例可增加农田有机碳含量^[7-10], 中国农作物秸秆还田比例目前是 20%~40%^[11-14], 如果提高农作物秸秆还田比例, 这有可能改变原有的土壤的碳循环平衡, 增加农田土壤有机碳的储量。

2.2 不同作物类型的 CSRE 时间变化特征

2001—2010 年, 6 种作物中, 水稻产生的 CSRE 总量最多, 为 106.4 TgC, 其次为玉米 96.7 TgC, 棉花产生的 CSRE 总量最少。2001—2010 年不同农作物的 CSRE 还田总量总体都具有增加趋势(图 2A), 说明可输入到农田中的农作物收获残余物总量在增加。其中玉米增加趋势最明显, 年均增加量最大, 为 C 6.5 Tg/a。但从单位面积 CSRE 还田量看, 只有玉米和棉花是增加趋势(图 2B), 其他作物都是减小趋势, 尤其是玉米增加趋势显著($P = 0.05$)。从 10 年均值看, 2001—2010 年单位面积 CSRE 还田量仍然是增加的。

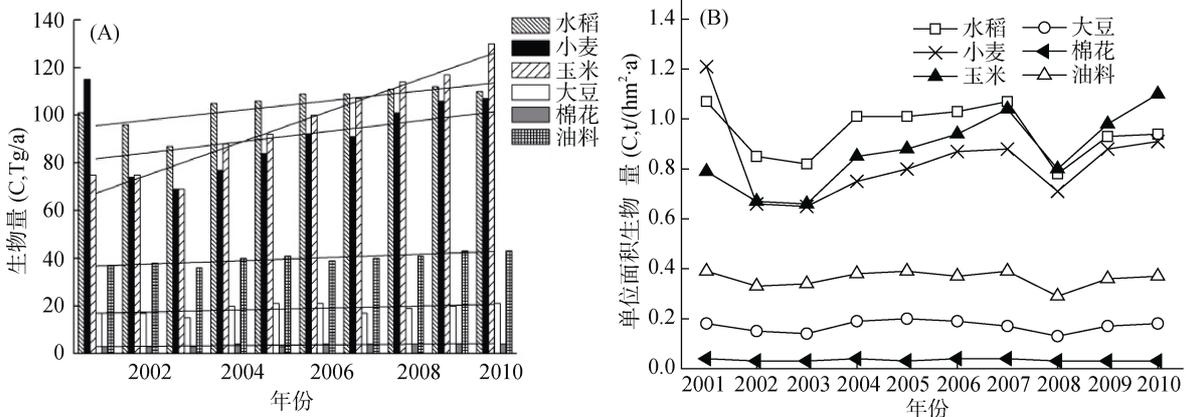


图 2 2001—2010 年不同农作物 CSRE 总量和单位面积 CSRE 量的年际变化
Fig. 2 Inter-annual variations for total CSRE and CSRE values per area among different crops in China

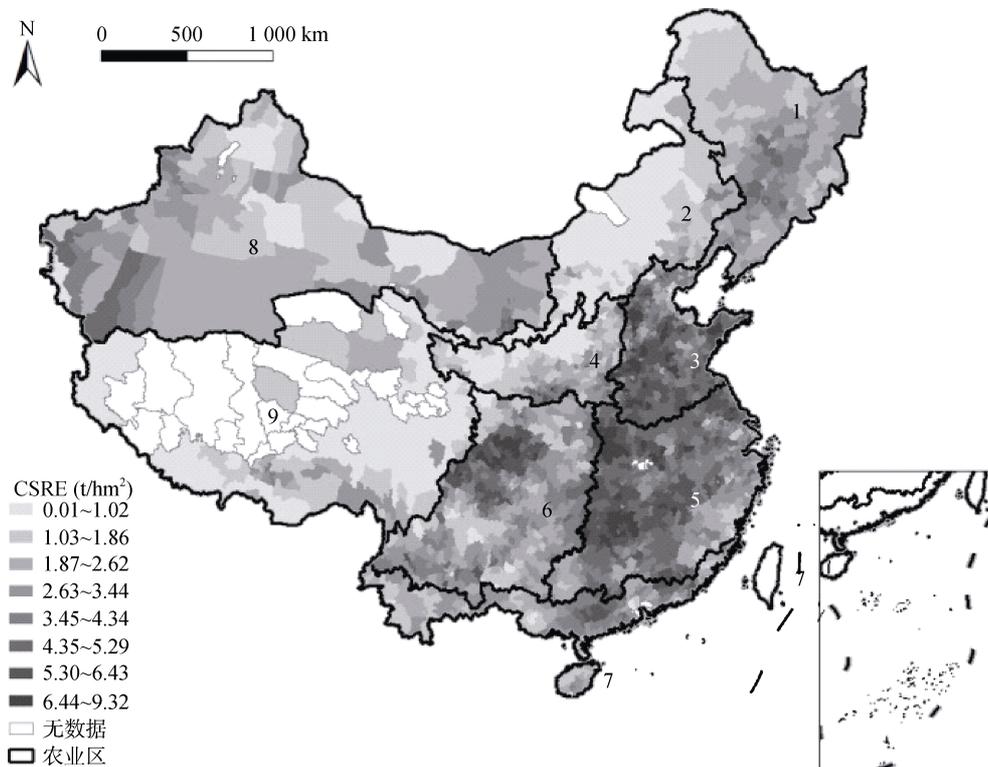
2.3 CSRE 的空间分布及变化趋势

以县级行政单元为单位估算了 2001—2010 年

CSRE 可还田量。结果表明, 2001—2010 年我国 CSRE 年均可还田量介于 C 0.01~9.32 t/(hm²·a) 之间, 平均

值为 $C\ 3.20\ t/(hm^2 \cdot a)$ 。全国有 48% 的县域年均 CSRE 还田量大于全国均值。中国年均 CSRE 可还田量呈现明显空间分异(图 3), 黄淮海区、长江中下游区和西

南区的四川盆地 CSRE 可还田量较高, 内蒙古及沿线区和青藏区较低, CSRE 较高的地区主要分布在重要的商品粮生产基地。



(1.东北区; 2.内蒙及长城沿线区; 3.黄淮海区; 4.黄土高原区; 5.长江中下游区; 6.西南区; 7.华南区; 8.甘新区; 9.青藏区, 下同)

图 3 2001—2010 年 CSRE 年均可还田量的空间分布 ($C, t/hm^2$)

Fig. 3 Spatial distribution of mean value for CSRE between 2001 and 2010 in China

对研究区 2001—2010 年年均 CSRE 可还田量逐县进行趋势分析(图 4), 结果表明, 全国年均 CSRE 可还田量变化趋势线斜率为 0.03, 说明 2001—2010 年中国 CSRE 可还田量在逐年增加。由图 4 可以看出, 全国大部分地区 CSRE 可还田量变化趋势在 0.01~0.13 之间; 黄淮海区、长江中下游地区中北部、四川盆地和东北地区 CSRE 可还田量的变化明显呈上升趋势, 部分地区上升趋势在 0.3 以上; 而华南大部分地区, 华东的浙江、福建一带则呈缓慢下降趋势, 部分地区下降趋势小于 -1。

2001—2010 年间, 根据 CSRE 可还田量的变异系数分析了其年际波动情况(图 5)。内蒙古及长城沿线区、甘新区、黄土高原区和青藏区变异系数较大, 最大值出现在青藏区; 东部地区变异系数相对较小。对比图 3 和图 5 发现, CSRE 可还田量高的地区变异系数较小, CSRE 可还田量少的地区年际波动大, 这可能是由于 CSRE 可还田量高的地区大多位于水热条件较好的农业生产区, 气候条件优越, 农业基础设施完善, 受自然或气象灾害影响较小, 农业生产稳定。

2.4 CSRE 对气候因子的响应分析

植被生长和气候变化关系密切, 许多研究认为陆地植被的净初级生产力 (NPP) 受气候因子的影响较大^[15]。为了说明气候因子对农田生态系统的影响, 本研究亦分析了气候因子对 CSRE 生物量的影响。

2001—2010 年, 全国年均气温和年均降水量都呈增加趋势(图 6), 但增加趋势不显著。将 2001—2010 年年均气温和降水量与 CSRE 年均值做 Pearson 相关分析, 发现 CSRE 年均值和年均气温呈正相关关系($r=0.403$), 与年均降水量呈负相关关系($r=-0.025$), 但是都不显著。进一步将有气象站点的县级行政单元的 CSRE 值与气温和降水量进行相关分析, 并作相关系数分布图(图 7)。经统计在 605 个有气象站点的县级行政单元中, 与温度呈正相关的占 48%, 负相关的占 52%, 其中与温度呈显著正相关和显著负相关($P<0.05$)的各占 4%。在 605 个有气象站点的县级行政单元中, 与降水呈正相关的占 51%, 负相关的占 49%, 其中与温度呈显著正相关($P<0.05$)的占 6%, 和温度呈显著负相关 ($P<0.05$)的仅占 2%。本研究结果

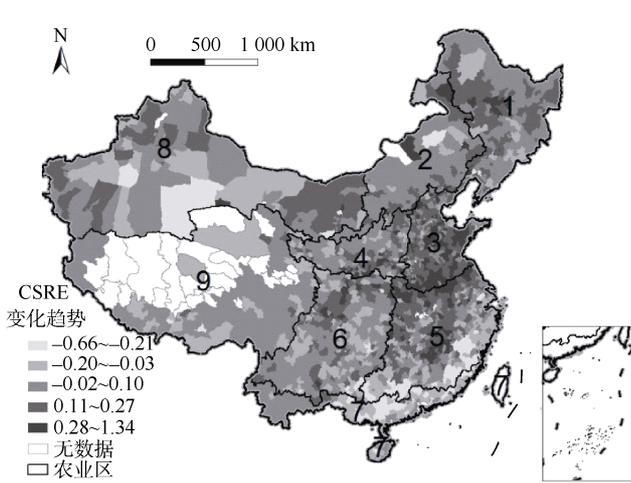


图 4 2001—2010 年 CSRE 可还田量变化趋势
Fig. 4 Trends of variation for CSRE during 2001–2010 in China

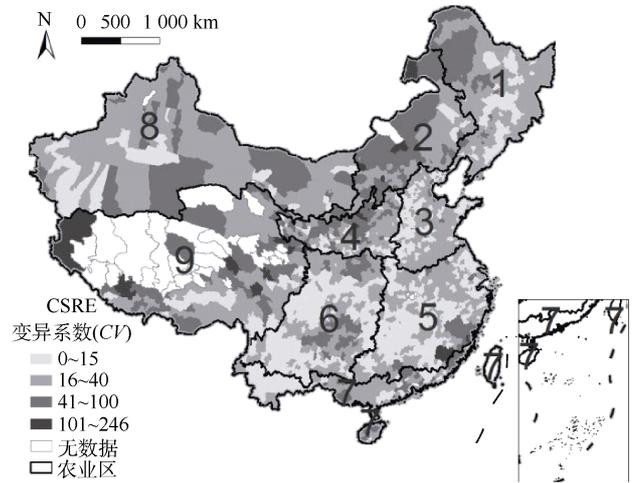


图 5 2001—2010 年 CSRE 的年度波动
Fig. 5 Annual variations for mean annual CSRE during 2001–2010 in China

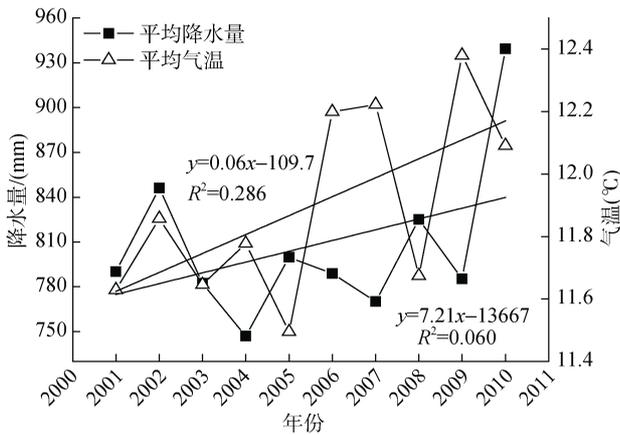


图 6 2001—2010 年中国年均降水量和年均气温的年度变化
Fig. 6 Annual variations in mean annual precipitation and temperature during 2001–2010

同。原因一方面可能是两种不同的数据源的差异,另一方面可能是农田生态系统受人类活动的影响较大,与森林和草地生态系统相比,农田生态系统受耕作方式、种植制度和管理方式(如农药化肥的使用)的影响更大,降低了气候环境因子对生物量变化的影响程度,所以未表现出显著相关关系。

3 结论与讨论

2001—2010 年中国农田产生的 CSRE 总量为 3.5 Pg C,其中地上秸秆部分为 2.4 Pg C,地下根系为 1.2 Pg C,地上秸秆部分可为农田土壤提供更多的有机物质。但是目前中国地上秸秆部分还田比例较低,如果可以将地上秸秆部分的还田比例提高到 80%,全国每年有含 C 量 2.77 t/(hm²·a) 的有机物质归还到农田土壤中,这将有助于维持或增加目前中国农田土壤中有机碳含量。6 种作物中,水稻产生的 CSRE 总量最多,为

与许多研究者用遥感研究方法得出的温度和降水对中国陆地生态系统有很大影响^[16–18]的研究结果不

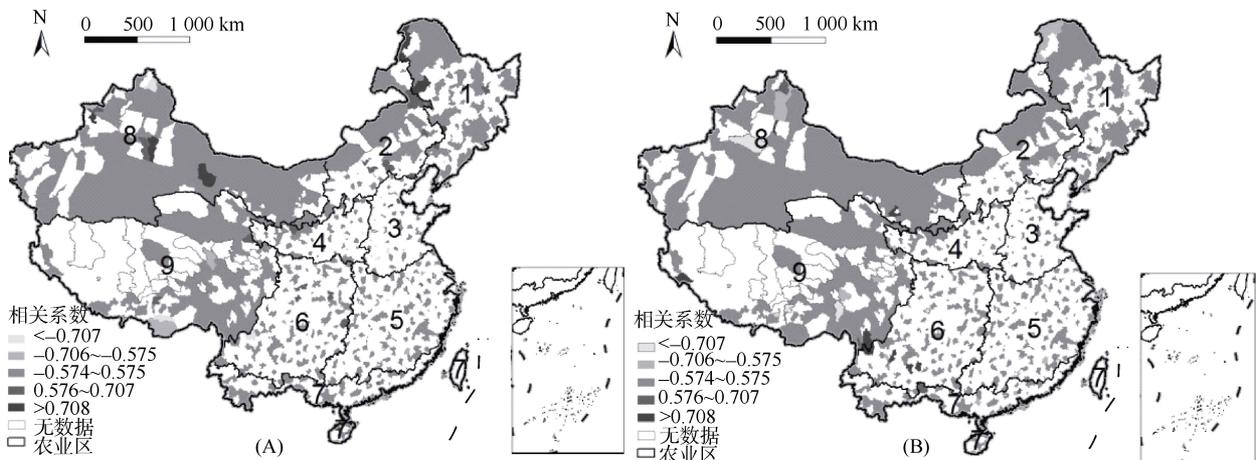


图 7 2001—2010 年中国年均 CSRE 与年均温度、降水量的相关系数分布
Fig. 7 Correlation coefficient between annual CSRE with mean annual precipitation and temperature during 2001–2010 in China

106.4 Tg C。10 年间，每种作物产生的 CSRE 总体呈增加趋势，其中玉米年均增加量最大，为 C 6.5 Tg/a。

2001—2010 年，以县级行政单元估算的单位面积 CSRE 平均值在 C 0.01 ~ 9.32 t/(hm²·a) 之间变动，全国平均值为 C 3.20 t/(hm²·a)。农田产生的 CSRE 空间分布不平衡，黄淮海区、长江中下游区和西南区的四川盆地 CSRE 可还田量较高，内蒙古及沿线区和青藏区较低，还田量较高的区域主要位于重要的农业生产区。全国大部分地区农田产生的 CSRE 量呈增加趋势，黄淮海区、长江中下游地区中北部、四川盆地和东北地区上升趋势明显，且 CSRE 年际波动较小。华南地区农作物 CSRE 量减少趋势明显，但是年际波动较小。CSRE 量波动较大的区域主要是西北地区。

农田产生的 CSRE 量与气温和降水有相关关系，但是不显著，这与草地和森林生态系统有很大差别，主要是人类活动对农田生态系统的影响大于气候环境。

致谢：本研究中全国作物生物量样品由中国科学院南京土壤研究所、沈阳应用生态研究所、西北水土保持研究所、亚热带农业研究所、地理科学与资源研究所、东北地理与农业生态研究所、成都山地灾害与环境研究所、西南大学、新疆地理研究所、遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心等单位共同采集。感谢张旭东研究员、韩晓增研究员、欧阳竹研究员、胡春胜研究员、张甘霖研究员、黄标研究员、赵世伟研究员、赵成义研究员、吴金水研究员、肖和艾副研究员、谢德体教授、朱波研究员以及他们的研究团队提供了生物量样品。

参考文献：

- [1] Wiesmeier M, Huebner R, Dechow R, et al. Estimation of past and recent carbon input by crops into agricultural soils of southeast germany[J]. *European Journal of Agronomy*, 2014, 61: 10–23
- [2] 王斌, 黄耀, 张稳, 等. 中国农业植被净初级生产力模拟()——模型的验证与净初级生产力估算[J]. *自然资源学报*, 2006, 21(6): 790–801
- [3] 闫慧敏, 刘纪远, 曹明奎. 中国农田生产力变化的空间格局及地形控制作用[J]. *地理学报*, 2007, 62(2): 171–180
- [4] 朱锋, 刘志明, 王宗明, 等. 东北地区农田净初级生产力时空特征及其影响因素分析[J]. *资源科学*, 2010, 32(11): 2 079–2 084
- [5] 王轶虹, 王美艳, 史学正, 等. 2010 年中国农作物净初级生产力及其空间分布格局[J]. *生态学报*, 2016, 36(19): 1–11
- [6] Bolinder M A, Janzen H H, Gregorich E G, et al. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2007, 118(1–4): 29–42
- [7] Li C S, Zhuang Y H, Frohking S, et al. Modeling soil organic carbon change in croplands of china[J]. *Ecological Applications*, 2003, 13(2): 327–336
- [8] Lu F, Wang X, Han B, et al. Soil carbon sequestrations by nitrogen fertilizer application, straw return and no-tillage in china's cropland[J]. *Global Change Biology*, 2009, 15(2): 281–305
- [9] Xu S, Shi X, Zhao Y, et al. Carbon sequestration potential of recommended management practices for paddy soils of china, 1980–2050[J]. *Geoderma*, 2011, 166(1): 206–213
- [10] 王世航, 史学正, 赵永存, 等. 推荐管理措施情景下黄淮海地区旱地土壤固碳潜力模拟研究——以河南省获嘉县为例[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(3): 403–408
- [11] 高利伟, 马林, 张卫峰, 等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(7): 173–179
- [12] 高利伟, 王方浩, 马林, 等. 河北省作物秸秆资源及其利用状况分析[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(23): 11 079–11 083
- [13] 刘欢瑶, 周脚根, 周萍, 等. 中南地区作物秸秆处理的区域特征及其影响因素分析[J]. *第四纪研究*, 2014, 34(4): 848–855
- [14] 王如芳, 张吉旺, 董树亭, 等. 我国玉米主产区秸秆资源利用现状及其效果[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(6): 1 504–1 510
- [15] Nemani R R, Keeling C D, Hashimoto H, et al. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999[J]. *Science*, 2003, 300(5 625): 1 560–1 563
- [16] 陈福军, 沈彦俊, 李倩, 等. 中国陆地生态系统近 30 年 NPP 时空变化研究[J]. *地理科学*, 2011, 31(11): 1 409–1 414
- [17] 李洁, 张远东, 顾峰雪, 等. 中国东北地区近 50 年净生态系统生产力的时空动态[J]. *生态学报*, 2014, 34(6): 1 490–1 502
- [18] 姚玉璧, 杨金虎, 王润元, 等. 50 年长江源区域植被净初级生产力及其影响因素变化特征[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(11): 2 521–2 528

Spatial-temporal Patterns of Crop Residues in China During 2001—2010

WANG Yihong^{1,2}, SHI Xuezheng^{1*}, WANG Meiyun¹, ZHAO Yongcun¹

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China*; 2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: In agricultural soils, the plant-derived input of carbon(C) from above- and belowground harvest residues and rhizodeposition (CSRE) is major source of soil organic matter. Thus, precise estimations of the harvest residues is important to monitor the supply of SOC in agricultural soils and model its future development under a changing climate. In this study, a new data bank of dry coefficient (DC), harvest index (HI), and root to shoot ratio (R/S) for rice, wheat, corn grain, soybean, cotton, and oilseed crops based on field samples collected across China from 2011 to 2012 was used. Combined with the information of county-level crop yield reported as national agricultural statistics, the amount of CSRE produced in 2001–2010 was estimated, and its spatial distribution was analyzed. The results showed that total 3.5 Pg C was produced in 2001–2010 in China's cropland, mainly distributed in the Huanghuaihai region, the middle-lower reaches of Yangtze river and Sichuan basin of China. The mean county-level CSRE density was C 3.20 t/(hm²·a), ranging from C 0.01 to 9.32 t/(hm²·a). For the change of CSRE during 2001–2010, most counties had an ascending tendency. The Huanghuaihai region, north and middle part of the middle-lower reaches of Yangtze river, Northeast China and Sichuan basin showed obvious ascending tendencies with small annual fluctuation. The south of China showed an obvious descending tendency but also with the small annual fluctuation. The climate factors such as mean annual temperature and precipitation had no significant correlation with CSRE in China. The agroecosystem was greatly affected by human activities such as the cultivation method, cropping system and chemical fertilizer input.

Key words: Crop; Harvest index; Root to shoot ratio; CSRE; Spatial variability; Climatic factors