

DOI: 10.5846/stxb201301280176

王录仓,高静.基于小尺度的高寒牧区碳排放估算——以甘南州合作市为例.生态学报,2014,34(21):6337-6345.

Wang L C, Gao J. The estimates of carbon emission based on small-scale in alpine pastures: a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(21): 6337-6345.

## 基于小尺度的高寒牧区碳排放估算 ——以甘南州合作市为例

王录仓\*, 高 静

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

**摘要:** 碳排放是目前国内外研究的热点问题。纵观碳排放计算,关键涉及到两个环节:一是研究尺度的选择,二是评估参数(即碳排放/吸收系数)的确定。高寒牧区还必须充分考虑牲畜碳排放。以甘南州合作市为例,将研究尺度缩小到 41 个行政村,并采用最新的土地二调数据,对土地利用碳排放和碳汇、生活和牲畜碳排放进行了系统地测算。结果表明:(1)从土地利用的角度考察,合作市总碳排放表征为“碳亏”态势。总碳排放量为 24374.82 t/a,其中土地利用碳排放量为 4908.21 t/a,牲畜代谢碳排放量为 3703.94 t/a,城乡居民生活碳排放量为 15762.67 t/a。而碳汇量仅为 1949.74 t/a,“碳亏”量为 22425.08 t/a。(2)牲畜是高寒牧区呼吸碳排放的主体,其碳排量为 3703.94t/a,其中牛是碳排放的主体,其碳排量占 90%以上。(3)城乡居民生活碳排量为 15762.67t/a,城镇明显高于农村,生存型碳排放强度高于发展型碳排放强度。(4)碳排放局分布势面与碳汇分布局势面基本呈反向分布态势,但总的碳排放格局取决于碳排放而非碳汇,空间分布表现为从城区—半农半牧区—纯牧区逐级递减的趋势。

**关键词:** 生存型碳排放; 发展型碳排放; 呼吸释碳; 合作市

## The estimates of carbon emission based on small-scale in alpine pastures: a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China

WANG Lucang\*, GAO Jing

College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

**Abstract:** Carbon emissions are the hot issues of the current domestic and international research. Throughout the calculation of carbon emissions, the key involves two aspects: First, the choice of research scale, second, the definition to assessment parameters (carbon emission / absorption coefficient). The alpine pastoral must also full consider Livestock carbon emissions. The paper carried out a systematic calculation of land use carbon emissions and carbon sinks, which combined characteristics of alpine pastures and the lastest second national survey data of land use, by the way of scale-down to the 41 administrative villages. The results show that: (1) The total carbon emissions characterization show as "carbon deficit" situation. The total carbon emissions 24374.82t/a, Land-use carbon emissions 4908.21t/a, the livestock metabolism carbon emissions 3703.94t/a, and urban -rural residents living carbon emissions 15762.67 t/a. Carbon sinks only have 1949.74 t/a, the amount of "carbon deficit" reaches to 22425.08t/a. (2) In the alpine pastoral, livestock is the main body of breathing carbon emissions, carbon emissions for 3703.94 t/a, which the cattle are the main factors of the carbon emissions, more than 90% of its carbon emissions.(3) Urban-rural residents living carbon emissions reaches to 15762.67 t/a, the towns significantly higher than rural areas, This suggests that the survival-type carbon emission intensity is higher

**基金项目:** 国家自然基金地区项目(41261042); 2011 年度省属高校基本科研业务费专项资金项目; 2010 年度甘肃省高校研究生导师基金项目(1001-22); 西北师范大学青年教师科研能力提升计划-骨干项目(SKQNGG10029)

**收稿日期:** 2013-01-28; **网络出版日期:** 2014-03-13

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Wangle007@nwnu.edu.cn

than the development of carbon emission intensity. (4) From the city-semi-agricultural and semi-pastoral areas- pure pastoral areas, the spatial pattern of carbon emission shows a decreasing trend.

**Key Words:** survival-type carbon emission; developing-style of carbon emission; breathing carbon emissions; Hezuo City

土地利用和覆盖变化(LUCC)的碳排放对全球碳循环的影响已成为目前国内外学术界研究的热点问题<sup>[1-5]</sup>。人类活动对碳循环的影响实质就是通过改变土地利用方式进而改变人为的能源消费格局,从而影响到碳排放的数量和速率<sup>[6-7]</sup>。在过去250a间,大气CO<sub>2</sub>浓度增加(31±4)% ,其中LUCC是其主要影响因素<sup>[8]</sup>。在中国过去300a间,由于LUCC,陆地生态系统的碳储量也随之发生了变化<sup>[9]</sup>。这种变化不仅是全国性的,也体现在各省(区)<sup>[10-11]</sup>。由于土地利用变化导致温室气体排放的作用机理较复杂,它既可以发挥碳源作用,也可以发挥碳汇作用<sup>[12]</sup>。草地是主要的土地利用方式之一,全世界草地面积约占地球陆地面积的51%,中国西部六省区草地面积约为 $2.7 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ,占全国草地总面积的70%<sup>[13]</sup>。世界观察研究所(WWI)在《牲畜与气候变化》报告中指出,牲畜及其副产品至少排放了相当于325.64亿tCO<sub>2</sub>的温室气体,占世界总排放的51%<sup>[14]</sup>。由于高寒牧区整体上处于以传统游牧经济为主的状态,因此草地畜牧业对碳排放具有至关重要的作用。

纵观碳排放计算,涉及到两个关键环节:一是研究尺度的选择。现有研究大多涉及全球、全国或省区,一般通过对遥感影像解译来获得源数据,但受大尺度地理事物复杂性的影响,不可避免地将土地利用类型误判或将小块土地利用类型进行归并,影响了研究精度。本研究将尺度缩小到市域,并采用最新土地“二调”数据,避免数据源造成误测。二是评估参数(即碳排放/吸收系数)的选择,现有的评估参

数大多依托国家或国际组织提供的评估参数,部分专项研究通过实测来获得参数,无论是那种方法,都无法很好的解决参数的适用性与可比性难题。本文通过文献检索,尽可能地选择可比性较强的同类型区,以实测值为依据。对于高寒牧区,除了考虑一般性的碳排放外,更要考虑牲畜因素。

## 1 研究区概况

合作市位于青藏高原东北边缘,境内平均海拔2850—3500m,寒冷阴湿,长冬无夏。年平均气温1.1℃,降雨量630mm。平均天然草地产草量(干草)1300kg/hm<sup>2</sup>,每hm<sup>2</sup>草场载畜量2.4个羊单位。现辖6个乡、4个街道办事处、8个社区居委会、39个村委会、258个村民小组。国土面积 $26.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,其中:草场面积 $17.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,耕地面积 $1 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。全市总人口8.58万人,其中:城镇人口5.18万人,占总人口的60.4%;藏族人口4.6万人,占总人口的54%。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

土地利用类型及面积数据利用合作市第二次土地调查资料(2008),其它经济社会数据源于《合作市统计年鉴》(2011)。

### 2.2 不同土地利用类型的碳排放估算

一个区域的碳收支平衡取决于碳排放(碳源)和碳吸收(碳汇)两方面(图1)。土地利用碳排放包括直接碳排放(生存型碳排放)和间接碳排放(发展型碳排放)两个方面。前者主要是指LUCC类型转变

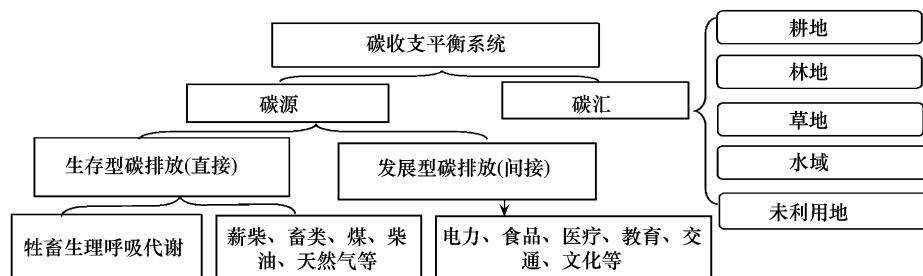


图1 高寒牧区碳排放构成示意图

Fig.1 The Carbon Internal structure in alpine pastoral

导致生态系统类型更替造成的碳排放,后者是指土地经营方式转变所驱动的碳排放。论文着重测算由人类活动所引起的主要土地利用类型的碳排放量和碳吸收量。

### 2.2.1 土地利用碳排放

对于耕地、林地、草地、水域、未利用地等5种类型土地的碳排放量估算,采用直接碳排放系数法,其估算公式是:

$$E = \sum e_i = \sum S_i \times \delta_i \quad (1)$$

式中,  $E$  为碳排放总量;  $e_i$  为各种土地利用类型产生的碳排放量;  $S_i$  为各种土地利用类型对应的土地面积;  $\delta_i$  为各种土地利用类型的单位面积碳排放系数, 排放为正, 吸收为负;  $i=1, 2, 3, \dots$ , 分别代表各种不同土地利用类型。

已有的研究将土地类型分为6大类来计算, 本

文由于研究区域尺度相对较小, 加之有翔实的土地“二调”数据支持。为使计算结果更加可靠, 一方面对土地利用类型参照“二调”标准进行细分; 另一方面, 对于土地利用类型碳排放系数的确定, 首选有实测值的同类研究案例, 如无实测值时, 则考虑地区、地域的可比性(表1)。

### 2.2.2 牲畜呼吸碳排放量

畜牧业在合作市经济体系中, 占有重要的地位。牲畜从草地上摄取的营养元素的80%—95%通过粪尿返还给土壤。畜粪中的C一部分转变为土壤有机碳(SOC), 另一部分则通过呼吸排放到大气中。在放牧草地生态系统中, 大约17%—72%的生物C在草地生态系统内部循环<sup>[15]</sup>。

牲畜呼吸释碳量(t/a)=年均饲养总数× $e_i$ (t/a)。式中,  $e_i$  是  $i$  类牲畜呼吸的平均释碳量(表2)。

表1 合作市各类用地年碳排放

Table 1 Carbon emission coefficient of the different types of land use in Hezuo

| 类型<br>Types            | 面积 Areas/hm <sup>2</sup> | 碳排放系数<br>Carbon emission coefficient | 碳汇系数<br>Carbon sinks coefficient | 碳排放量<br>Carbon emissions | 碳汇量<br>Carbon sinks/(t hm <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ) | 参照依据<br>Frame of reference |
|------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---|----------------------------|
| 耕地 Cultivated land     | 15006.05                 | 0.0479                               | 0.0007                           | 718.79                   | 10.504  | [ 15-16 ]                  |
| 林地 Forest land         | 27136.79                 |                                      | 0.0581                           |                          | 1576.65   | [ 17 ]                     |
| 草地 Lawn                | 158515.18                |                                      | 0.0021                           |                          | 332.88  | [ 18 ]                     |
| 水域 The waters          | 1172.6                   |                                      | 0.0253                           |                          | 29.67   | [ 19-20 ]                  |
| 建设用地 Construction land |                          |                                      |                                  | 1192.86                  |   | [ 21 ]                     |
| 城市建设用地                 | 675.84                   | 1.765                                |                                  |                          |   |                            |
| 农村建设用地                 | 776.92                   | 0.476                                |                                  | 369.81                   |   | [ 22 ]                     |
| 交通用地                   | 940.71                   | 2.7923                               |                                  | 2626.74                  |   | [ 19 ]                     |
| 合计 Total               |                          |                                      |                                  | 4908.2                   | 1949.74   |                            |

表2 合作市各类牲畜碳排放系数和碳排放量

Table 2 Carbon emission of the different types of livestock in Hezuo

| 牲畜 Livestock                              | 牛 Cow         | 马 Horse   | 绵羊 Sheep | 山羊 Goat | 猪 Pig   | 合计 Total |
|---|---------------|-----------|----------|---------|---------|----------|
| 排放系数 Emission coefficient <sup>[23]</sup> | 0.796         | 0.542     | 0.068    | 0.069   | 0.082   |          |
| 牲畜/(羊)<br>Number of livestock             | 数量<br>(羊单位)   | 453728.6  | 4193     | 129     | 13811.7 | 11820.8  |
|   | 所占比例/%        | 38.27     | 0.35     | —       | 1.17    | 60.20    |
| 碳排放量/(t/a)<br>carbon emissions            | 排放量<br>所占比例/% | 361167.97 | 2272.61  | 8.77    | 953.01  | 969.24   |
|   |               | 98.85     | 0.62     | —       | 0.26    | 100.00   |

### 2.2.3 城乡居民生活碳排放量

碳排放量根据IPCC碳排放计算指南<sup>[24]</sup>。

$$E_{if} = k \times C_{if} \times R_{if} \times P_{if} \times O_{if} \quad (2)$$

式中,  $E_{if}$  为  $i$  种燃料燃烧产生的  $\text{CO}_2$  量( $\text{tCO}_2$ );  $C_{if}$  为  $i$  种燃料的消费量( $\text{t}$ );  $R_{if}$  为  $i$  种燃料的热量转换系数( $\text{TJ}/10^3 \text{t}$ );  $P_{if}$  为  $i$  种燃料的单位含碳量( $\text{tC}$ );  $O_{if}$

为*i*种燃料的氧化系数; *k*为CO<sub>2</sub>和C的质量比,取44/12。

$$Eic = Iic \times Cic \quad (3)$$

式中, *Eic*为第*i*类居民家庭消费产生的间接生活碳

排放量(kg CO<sub>2</sub>); *Iic*为居民家庭第*i*类消费的年支出量(元); *Cic*为第*i*类家庭消费的CO<sub>2</sub>排放系数(kg CO<sub>2</sub>/元)。计算结果见表3和表4。

表3 合作市居民生活耗能统计表

Table 3 Living energy consumption in Hezuo

| 能源消费项目<br>Energy consumption<br>items |     | 城镇居民消耗量<br>Consumption of<br>urban residents/<br>(t/a) | 农村居民消耗量<br>Consumption of<br>rural residents/<br>(t/a) | 折算系数<br>Conversion coefficient | 城镇居民碳排放量<br>Carbon emissions<br>of town residents/<br>(t/a) | 农村居民排放量<br>Carbon emissions<br>of rural residents/<br>(t/a) |
|---------------------------------------|-----|--|--|--------------------------------|---|---|
| 生物质能<br>Biomass energy                | 薪柴  | 27.61  | 73.64  | 0.3854                         | 10.64   | 28.38   |
|                                       | 畜粪  | 13.86  | 886.95   | 0.2467                         | 3.42  | 218.84  |
|                                       | 草皮  | 13.39  | 354.05   | 0.1143                         | 1.53  | 40.47   |
|                                       | 秸秆  | 25.59  | 116.80   | 0.2642                         | 6.76  | 30.86   |
| 矿物质能<br>Minerals energy               | 煤   | 145.56   | 17.16  | 1.2737                         | 185.40  | 21.85   |
|                                       | 汽油  | 48.00  | 9.49   | 1.6797                         | 80.62   | 15.94   |
|                                       | 柴油  | 28.74  | 6.94   | 1.7924                         | 51.51   | 12.43   |
|                                       | 液化气 | 60.66  | 1.17   | 1.2158                         | 73.75   | 1.42  |
|                                       | 天然气 | 26.50  | 0.95   | 1.8230                         | 48.30   | 1.73  |
| 总计 total                              |     | 389.90   | 1467.14  |                                | 469.93  | 371.92  |

表4 合作市居民人均消费性支出及其碳排放

Table 4 The residents per capita consumption expenditure and carbon emissions in Hezuo

| 支出项目<br>Expenditures items                                 | 城镇居民消费<br>Consumption of<br>urban residents/<br>元 | 农村居民消费<br>Consumption of<br>rural residents/<br>元 | 碳排放系数<br>Emission<br>coefficient | 城镇居民碳排放量<br>Carbon emissions<br>for urban residents/<br>(kg/a) | 农村居民碳排放量<br>Carbon Emissions<br>of rural residents/<br>(kg/a) |
|--|---|---|----------------------------------|--|---|
| 电力消费 Electricity consumption                               | 9.84  | 3.95  | 0.7404                           | 9.51   | 4.42  |
| 食品消费 Food consumption                                      | 2598.18   | 1044.19   | 0.0161                           | 41.88  | 16.83   |
| 衣着消费 Clothing consumption                                  | 1340.38   | 147.91  | 0.0314                           | 42.05  | 4.64  |
| 居住消费 Residence consumption                                 | 711.84  | 184.7   | 0.0695                           | 49.49  | 12.84   |
| 家庭设备用品支出<br>Household equipment<br>expenditures            | 504.21  | 73.44   | 0.0592                           | 29.87  | 4.35  |
| 交通和通讯支出<br>Transportation and communication<br>expenses    | 692.29  | 222.83  | 0.0178                           | 12.33  | 3.97  |
| 文化教育、娱乐支出<br>Culture, education, entertainment<br>spending | 606.56  | 83.41   | 0.0323                           | 19.56  | 2.69  |
| 医疗保健支出<br>Health care spending                             | 633.31  | 74.08   | 0.0327                           | 20.69  | 2.42  |
| 其他商品和服务支出<br>Other goods and services spending             | 303.81  | 35.35   | 0.1038                           | 31.54  | 3.67  |
| 总计 Total   | 7390.57   | 1865.9  |                                  | 256.91   | 55.83   |

### 3 结论与讨论

(1)合作市总碳排放表征为“碳亏”态势  
碳排量中,土地利用碳排放量为4908.21t/a,牲

畜代谢碳排放3703.94t/a,城乡居民生活碳排放量为15762.67t/a,而碳汇量仅为1949.74 t/a,碳亏22425.08t/a(表6)。合作市地处高寒牧区,高寒缺氧的特殊环境,决定了土地利用方向和强度,决定了

天然植被的类型和分布态势。根据全国第二次土地调查数据成果,合作市土地总面积 209121.69hm<sup>2</sup>,农用地 203276.14hm<sup>2</sup>,占土地总面积的 97.18%。其中:耕地面积 15006.05hm<sup>2</sup>,占总土地面积的 7.18%;林地 27072.73hm<sup>2</sup>,占 12.95%;牧草地 157395.94hm<sup>2</sup>,占 75.26%,建设用地 2073.07hm<sup>2</sup>,占土地总面积的 0.99%。未利用土地(包括裸土地、裸岩、石砾地、田坎)仅占总土地面积的 3.72%。全市土地利用率为 97.80%,而土地垦殖率仅为 6.09%,建设用地率为 0.81%。可见合作市土地利用结构中,农用地比重大且严重偏好牧草地,因此草地利用状况应是碳排放的关键性因子。但由于草地的贮碳能力相对较弱,且不稳定,因此尽管草地所占比例很大,但与林地相比,其碳汇量(332.88 t/a)仅为林地(1576.69t/a)的 21%。从自然环境基质上讲,高寒严酷环境限制了碳汇效应更强的森林生态系统的发育,而与高寒环境相适应的草地生态系统则广泛分布,但由于其天生的弱碳汇能力,因此对区域整体碳汇的贡献度并不高,这决定了高寒牧区尽管分布有大量的草地,但无法改变碳亏的状况。但另一方面,高寒草甸草原是高寒草原上最主要草地类型,在低温、湿润的环境中,高寒草甸土壤有机碳密度和储量巨大<sup>[25]</sup>。据 Yang 等的研究结果,高寒草甸平均土壤碳密度为 9.05 kg/m<sup>2</sup>,有机碳平均贮存量为  $23.17 \times 10^4$  kg/hm<sup>2</sup><sup>[26]</sup>。由于高寒牧区草地畜牧业是主体,因此与草地面积相对应的牲畜释碳量相对较大,在牲畜释碳量中,贡献最大的是牛,其碳排放量占牲畜碳排总量的 98%以上,这与牲畜种群结构大致吻合(表 2)。如果再考虑动物的反刍释碳量,则牛的释碳量将会更大。Prochnow 研究表明,牲畜从草地上摄取的营养元素的 80%—95%通过粪尿返还给土壤。畜粪中的 C 一部分转变为土壤有机碳(SOC),另一部分则通过呼吸排放到大气中。在放牧草地生态系统中,

大约 17%—72% 的生物 C 在草地生态系统内部循环<sup>[27]</sup>。根据 FAO(食品与农业组织)统计,家畜排放的温室气体量占 18%<sup>[28]</sup>。一头体重 250kg 的牛每天排放 200 L 的 CH<sub>4</sub>,内蒙古白绒山羊在牧草旺盛期可产生 CH<sub>4</sub> 19.02g/d<sup>[29]</sup>。减少反刍动物温室气体排放量,要从提高单产,减少养殖数量,降低动物粪便产生量等三个方面入手<sup>[30]</sup>。

从城乡居民生活碳排放看,在表现出共性的同时,也存在着一定的差异性。总体而言,由于整体社会经济发育水平较低,消费能力有限,由食品、衣着、住房引致的碳排放占主导,其中城镇又以住房为主,而农牧村则以食物为主。这从城乡居民家庭消费的恩格尔系数差异上可以得到佐证。2011 年,合作市城镇居民家庭恩格尔系数为 35.16,农牧民家庭恩格尔系数为 57.25,农牧村是城市的 1.63 倍。除了摩托车、电话机外,城镇居民消费耐用品(如洗衣机、电冰箱、移动电话、彩色电视机)的比例远高于农牧村,城镇居民还拥有很多高档耐用消费品,如家用电脑、淋浴热水器、摄像机等,而农村居民家庭中这些消费品的数量非常少。这在一定程度上也映射出农牧村的生活压力远高于城镇地区。通过比较发现,无论是城镇居民还是农村居民,其生活碳排放强度均小于全国平均水平(表 5)。反映了经济社会发育水平对排放的基础性作用。

合作市位于高寒牧区,虽然是甘南州府所在地,但目前仍然处在传统牧业经济社会状态。在生活水平低下的背景下,由生存引致的碳排放是主体,而由消费和发展引致的碳排放相对较弱。同时城乡间在碳排放构成中还存在着一定的差异,城镇居民直接碳排放与间接碳排放比例为 1:1.8;而农村居民的这一比例为 1:6.7。这表明,在广大的农牧村,由于自然条件严酷,生存压力大,由生存而引发的碳排放更占主导地位。

表 5 合作市碳排放与全国比较

Table 5 Hezuo carbon emissions compared with the national

| 生活碳排放量<br>Living carbon emissions | 直接碳排放/kg<br>Direct carbon emissions | 间接碳排放/kg<br>Indirect carbon emissions | 总碳排放量/kg<br>Total carbon emissions |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 城镇居民 Urban residents              | 469.93                              | 256.91                                | 726.84                             |
| 农村居民 Rural residents              | 371.92                              | 55.83                                 | 427.75                             |
| 全国平均 The national average         | 753.47                              | 401.12                                | 1154.59                            |

表6 合作市各行政村(街道办)碳排放量

Table 6 Carbon emissions of villages (street) in Hezuo

| 行政村(街道办)<br>Villages | 土地利用碳汇/(t/a)<br>Land-use carbon sinks | 土地利用<br>碳排放/(t/a)<br>Land use<br>carbon emissions | 牲畜代谢<br>碳排放/(t/a)<br>Carbon emissions<br>of livestock-metabolism | 城乡居民生活<br>碳排放/(t/a)<br>Carbon emissions<br>of urban-rural<br>residents living | 总碳排放/(t/a)<br>Total carbon<br>emissions |
|----------------------|---------------------------------------|---|--|---|---|
| 合计 Total             | 1949.74                               | 4908.21   | 3703.94  | 15762.67  | 22425.08                                |
| 当周街道                 | 30.13                                 | 446.82  | 39.09  | 1101.16   | 1556.94                                 |
| 伊合昂街道                | 4.07                                  | 245.37  | 3.75   | 136.44  | 381.49                                  |
| 坚木克尔街道               | 11.14                                 | 500.89  | 18.63  | 1040.21   | 1548.59                                 |
| 通钦街道                 | 1.01                                  | 257.29  | 0.91   | 73.37   | 330.56                                  |
| 海康村                  | 5.10                                  | 58.22   | 47.31  | 297.74  | 398.17                                  |
| 格来村                  | 5.65                                  | 65.13   | 42.89  | 314.13  | 416.5                                   |
| 新集村                  | 103.41                                | 142.56  | 110.21   | 596.29  | 745.65                                  |
| 香拉村                  | 38.48                                 | 65.22   | 37.09  | 365.33  | 429.16                                  |
| 其乃合村                 | 49.17                                 | 135.56  | 139.73   | 369.65  | 595.77                                  |
| 木道村                  | 1.31                                  | 42.54   | 66.26  | 193.08  | 300.57                                  |
| 日加村                  | 52.12                                 | 94.90   | 163.58   | 347.28  | 553.64                                  |
| 土房村                  | 232.61                                | 161.03  | 60.62  | 155.70  | 144.74                                  |
| 德合茂村                 | 89.38                                 | 173.62  | 196.95   | 346.34  | 627.53                                  |
| 仁多玛村                 | 34.46                                 | 113.07  | 301.00   | 587.89  | 967.5                                   |
| 当江村                  | 106.96                                | 160.44  | 183.40   | 325.00  | 561.88                                  |
| 新寺村                  | 11.11                                 | 82.48   | 163.01   | 275.51  | 509.89                                  |
| 美武村                  | 28.33                                 | 170.28  | 250.09   | 800.82  | 1192.86                                 |
| 地瑞村                  | 7.39                                  | 89.12   | 90.83  | 465.21  | 637.77                                  |
| 岗岔村                  | 100.74                                | 164.96  | 155.00   | 484.55  | 703.77                                  |
| 扎代村                  | 6.93                                  | 76.02   | 154.21   | 504.05  | 727.35                                  |
| 克莫村                  | 15.19                                 | 58.18   | 75.28  | 282.35  | 400.62                                  |
| 地吾鲁村                 | 3.04                                  | 31.76   | 38.28  | 130.55  | 197.55                                  |
| 阿木去乎村                | 161.45                                | 79.31   | 109.91   | 448.19  | 475.96                                  |
| 峡村村                  | 281.31                                | 49.57   | 65.88  | 291.00  | 125.14                                  |
| 仁占道村                 | 113.65                                | 123.25  | 81.13  | 412.22  | 502.95                                  |
| 吉利村                  | 23.71                                 | 96.66   | 96.93  | 387.62  | 557.5                                   |
| 罗哇村                  | 40.38                                 | 84.14   | 87.66  | 351.18  | 482.6                                   |
| 邓应高村                 | 61.97                                 | 42.12   | 25.68  | 195.95  | 201.78                                  |
| 加门村                  | 13.52                                 | 85.64   | 55.88  | 283.00  | 411                                     |
| 俄河村                  | 103.11                                | 65.37   | 60.80  | 309.05  | 332.11                                  |
| 西拉村                  | 25.63                                 | 115.94  | 153.71   | 659.33  | 903.35                                  |
| 麻木索那村                | 17.82                                 | 152.12  | 115.07   | 423.26  | 672.63                                  |
| 多河尔村                 | 12.37                                 | 138.67  | 179.26   | 648.85  | 954.41                                  |
| 达酒村                  | 15.08                                 | 54.84   | 29.03  | 181.96  | 250.75                                  |
| 麻岗村                  | 24.69                                 | 49.35   | 22.94  | 203.26  | 250.86                                  |
| 加拉村                  | 3.07                                  | 69.31   | 32.04  | 349.73  | 448.01                                  |
| 卡四河村                 | 24.14                                 | 57.23   | 33.13  | 164.60  | 230.82                                  |
| 绍玛村                  | 2.78                                  | 73.76   | 27.74  | 314.87  | 413.59                                  |
| 一合尼村                 | 37.53                                 | 56.48   | 28.62  | 174.26  | 221.83                                  |
| 早子村                  | 23.90                                 | 103.57  | 73.56  | 429.71  | 582.94                                  |
| 塔瓦村                  | 25.92                                 | 75.43   | 86.86  | 341.98  | 478.35                                  |

高寒缺氧的特殊环境,导致整个牧区的采暖期长达7个月,在能源替代性非常差的条件下,为了保证采暖和炊事用能,广大农牧村群众主要依靠畜粪和薪草等生物质能源。尽管国家和省、州出台了许多政策,采取了一系列措施保护生态环境,但受传统游牧生产生活方式的深刻影响和其它能源输入的制约,虽然部分牧户已推广使用了太阳灶、沼气池、节能灶、太阳能光电板,但无法改变能源消费结构仍严重偏好生物用能的现状。农牧民仍然通过烧畜粪、草皮等来解决燃料问题。农牧村能源消费中,畜粪是主体(约占31.4%)、其次是薪柴和草皮(分别占30.7%和占12.6%)<sup>[31]</sup>。因此在农村居民碳排放构成中,由畜粪、草皮和秸秆等利用引致的碳排放量占77.35%,仅畜粪一项就占58.8%。尽管草-畜-粪的循环利用模式对碳排放有一定削减作用,但在目前的开发利用水平<sup>[32]</sup>下,畜粪的燃烧仍然造成了大量的碳排放。相比较而言,城镇和近郊地区的能源多样性和替代性较强,煤碳成为城市工业生产、城市采暖的主要能源,其引致的碳排放占城镇居民碳排放总量的39.45%。

(2) 碳排放格局与碳汇格局基本呈反向分布态势,但总的碳排放格局取决于碳排放而非碳汇,空间分布表现为从城区一半农半牧区一纯牧区逐级递减的趋势。

从碳汇的分布格局看,与林地和草地的分布格局具有高度的一致性。尤其是森林集中分布的洮河谷地(如勒秀乡峡村)和太子山区(如卡加道乡土房村)是典型的碳汇高值区,两个纯牧乡(佐盖多玛乡和佐盖曼玛乡)也是碳汇的重要区域。而人口密度较大、耕地较多的城区、郊区和大夏河及其支流(格河)谷地则成为碳汇的低值区(图1,图2)。也就是说,以自然生态系统为主的林地及草地分布区,表现出较高的碳汇功能,而人口较为密集和耕地较多区域,则为碳源。

从总碳排放看,即使在社会经济发育水平低下、人类活动扰动较弱、自然环境屏蔽性强的高寒牧区,总的碳排放仍然大于碳汇。除太子山区的土房村和洮河谷地的峡村外,其余各乡(街道办)均表现为“碳亏”状态。从人类活动的角度讲,尽管高寒缺氧环境一定程度上限制了人类的进入性和人类活动的强度,但由于州府所在地的政治地位和农牧交汇区

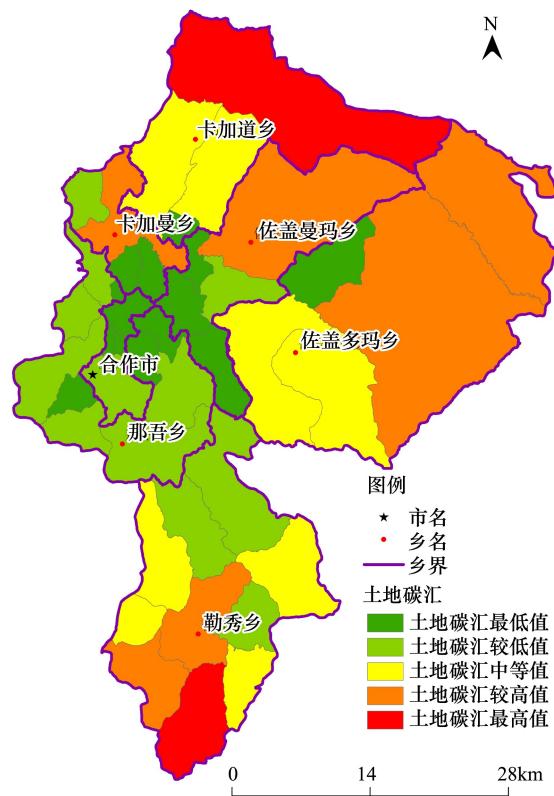


图2 合作市碳汇分布图

Fig.2 The distribution of carbon sinks in Hezuo

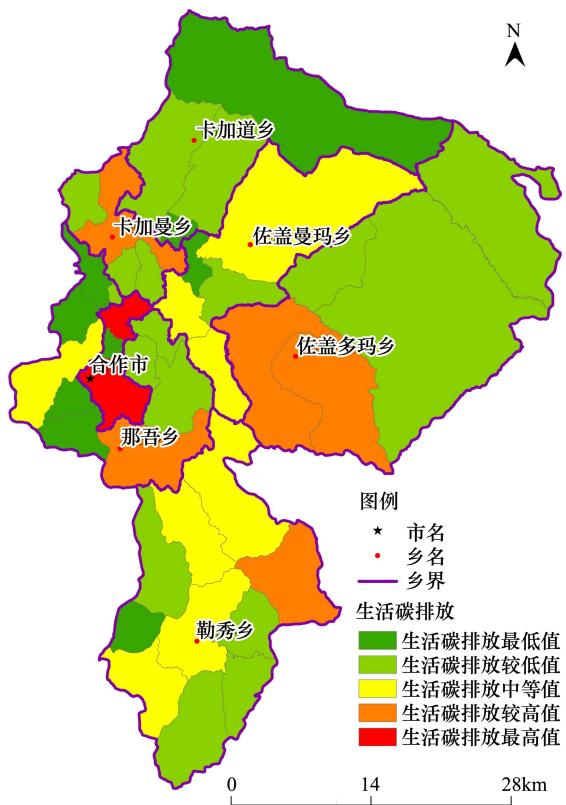


图3 合作市碳排放分布图

Fig.3 The distribution of carbon emission in Hezuo

的地域经济特征,合作市仍然吸引了相当数量的人口和经济要素,在自然和经济承载力均有限的条件下,由于全社会经济的发展,不可避免地驱动了人类消费水平的持续提高。即使在生产水平和消费水平依然低下的背景下,仍排放出大量的碳,并且生存型碳排放正在向发展型碳排放转型。

可以直观的看出,全市生活碳排放表现出明显的空间分异,即从城区向边远纯牧区,碳排放强度大致由高向低递减,基本表征为圈层分异格局。城区和近郊乡村碳排放水平高,而向半农半牧区过渡时,碳排放水平有所下降,碳排放最少的是典型的纯牧区(如佐盖多玛乡和佐盖曼玛乡)。

#### References:

- [ 1 ] de Araújo M S M, Silva C, de Campos C P. Land use change sector contribution to the carbon historical emissions and the sustainability-Case study of the Brazilian Legal Amazon. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 13 ( 3 ) : 696-702.
- [ 2 ] Li H M, Ma Y X, Aide T M, Liu W J. Past, present and future land-use in Xishuangbanna, China and the implications for carbon dynamics. Forest Ecology and Management, 2008, 255 ( 1 ) : 16-24.
- [ 3 ] Sohl T L, Sleeter B M, Zhu Z L, Sayler K L, Bennett S, Bouchard M, Reker R, Hawbaker T, Wein A, Liu S G, Kanengieter R, Acevedo W. A land-use and land-cover modeling strategy to support a national assessment of carbon stocks and fluxes. Applied Geography, 2012, 34: 111-124.
- [ 4 ] Watson R T, Noble I R, Ravindranath N H, Verardo D J, Dokken D J. Land Use, Land-Use Change and Forestry. London: Cambridge University Press, 2000.
- [ 5 ] IPCC. Land-use, land-use change and forestry // Watson R T, Noble I R, Bolin B, Ravindranath N H, Verardo D J, Dokken D J, eds. A Special Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [ 6 ] Houghton R A. Magnitude, distribution and causes of terrestrial carbon sinks and some implications for policy. Climate Policy, 2002, 2(1) : 71-88.
- [ 7 ] Houghton R A. 8.10-the contemporary carbon cycle. Treatise on Geochemistry, 2003, 8: 473-513.
- [ 8 ] Houghton R A, Skole D L, Lefkowitz D S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985 II. Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. Forest Ecology and Management, 1991, 38(3/4) : 73-199.
- [ 9 ] Ge Q S, Dai J H, He F L, Pan Y, Wang M M. LUCC and carbon cycle of the past 300 years in China. Science in China ( Series D : Earth Sciences ), 2008, 38(2) : 197-210.
- [ 10 ] Zhang L, Liu Y Z, Zheng H W. Land carrying carbon emissions and the analysis of its decoupling effects in Jiangsu Province. Resources Science, 2012, 34(6) : 1108-1118.
- [ 11 ] Huang R, Wang Z, Liu H Y, Liu X, Zhai S Y, Ma X Z. Prediction on carbon emission in six provinces of China. Economic Geography, 2012, 32(7) : 12-17.
- [ 12 ] Qu F T, Lu N, Ping S Y. Effects of Land Use Change on Carbon Emissions. China population resources and environment 2011, 21 ( 10 ) : 76-83.
- [ 13 ] Liao G F, Jia Y L. China grassland resources. Beijing: China Science and Technology Press, 1996; 346-347.
- [ 14 ] Zhang W X, Zheng X X. Strategies research to promote low-carbon livestock development. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2012, ( 2 ) : 15-17.
- [ 15 ] Cai Z C, Kang G D, Tsuruta H, Mosier A. Estimate of CH<sub>4</sub> emissions from year-round flooded rice fields during rice growing season in China. Pedosphere, 2005, 15(1) : 66-71.
- [ 16 ] Cai Z C, Tsuruta H, Gao M, Xu H, Wei C F. Options for mitigating methane emission from a permanently flooded rice field. Global Change Biology, 2003, 9(1) : 37-45.
- [ 17 ] He H Y. Plateau forest productivity patterns and simulate the response to climate change [ D ]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2008.
- [ 18 ] Fang J Y, Guo Z D, Piao S L, Estimation of Chinese terrestrial vegetation carbon sinks in 2000—1981. Chen Anping. Science in China ( Series D:Earth Sciences ), 2007, 37(6) : 804-812.
- [ 19 ] Lai L. Carbon emissions effects of land use in China [ D ]. Nanjing: Nanjing University, 2010.
- [ 20 ] Duan X N, Wang X K, Lu F, Ouyang Z Y. Carbon sequestration and its potential by wetland ecosystems in China. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2) : 463-469.
- [ 21 ] Lu N. The effects of land use changes on carbon emission [ D ]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.
- [ 22 ] Xiao H Y, Yun X Z, Li B, Yan W T. The effects of land use changes on carbon emission: take Chongqing as an example. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2012, 29(1) : 38-42.
- [ 23 ] Odum. Ecological burden and ecological footprint: the weight and size of the concept of sustainable development. Beijing: Economic Science Press, 2003.
- [ 24 ] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: volume [ EB/OL ]. Japan: the Institute for Global Environmental Strategies, 2008[ 2008-07-20 ]. <http://www.ipcc.ch/publications-and-data/publications-and-data-reports.shtml>.
- [ 25 ] Zhang J X, Cao G M. The nitrogen cycle in an alpine meadow ecosystem. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(4) : 509-513.
- [ 26 ] Yang Y H, Fang J Y, Tang Y H, Ji C J, Zheng C Y, He J S, Zhu B A. Storage, patterns and controls of soil organic carbon in

- the Tibetan grasslands. *Global Change Biology*, 2008, 14(7): 1592-1599.
- [27] Prochnow A, Heiermann M, Plochl M, Linke B, Idler C, Amon T, Hobbs P J. Bioenergy from permanent grassland-A review: 1. Biogas. *Bioresource Technology*, 2009, 100(21): 4931-4944.
- [28] Li Y L. Environment-friendly design diet of ruminants, *Feed China*, 2008, (11): 37-39.
- [29] Gou X F. Studies on Establishment of methane production prediction model and influencing factors on methane production of grazing Inner Mongolia Cashmere Goats [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2008.
- [30] Li S L, Jin X, Fan X S, Huang W M, Cao Z. Ruminant production and carbon emission reduction measures. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2010, 22(1): 2-9.
- [31] Cai G T, Zhang L. Research on Xizang Rural Energy Consumption and Its Environmental Impact. *Resource Development & Market*, 2006, 22(3): 238-241, 244-244.
- [32] Deng X S. Preliminary on rural energy development strategy in Gannan Tibetan Autonomous Prefecture. *Gansu Agricultural*, 1997, (7): 29-31.

#### 参考文献:

- [ 9 ] 葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 潘嫄, 王梦麦. 过去300年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 2008, 38(2): 197-210.
- [ 10 ] 张兰, 刘友兆, 郑华伟. 江苏省土地承载碳排放及其脱钩效应分析. *资源科学*, 2012, 34(6): 1108-1118.
- [ 11 ] 黄蕊, 王铮, 刘慧雅, 刘晓, 翟石艳, 马晓哲. 中国中部六省的碳排放趋势研究. *经济地理*, 2012, 32(7): 12-17.
- [ 12 ] 曲福田, 卢娜, 冯淑怡. 土地利用变化对碳排放的影响. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(10): 76-83.
- [ 13 ] 廖国藩, 贾幼陵. *中国草地资源*. 北京: 中国科技出版社, 1996: 346-347.
- [ 14 ] 张文学, 郑新霞. 促进我国低碳畜牧业发展的策略研究. *黑龙江畜牧兽医*, 2012, (2): 15-17.
- [ 17 ] 何红艳. 青藏高原森林生产力格局及对气候变化响应的模拟 [D]. 北京: 中国林业科学院, 2008.
- [ 18 ] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 陈安平. 1981—2000年中国陆地植被碳汇的估算. *中国科学:D辑*, 2007, 37(6): 804-812.
- [ 19 ] 赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究 [D]. 南京: 南京大学, 2010.
- [ 20 ] 段晓男, 王效科, 逯非, 欧阳志云. 中国湿地生态系统固碳现状和潜力. *生态学报*, 2008, 28(2): 463-469.
- [ 21 ] 卢娜. 土地利用变化碳排放效应研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [ 22 ] 肖红艳, 袁兴中, 李波, 文涛. 土地利用变化碳排放效应研究——以重庆市为例. *重庆师范大学学报: 自然科学版*, 2012, 29(1): 38-42.
- [ 23 ] 陶在朴[奥]. 生态包袱与生态足迹: 可持续发展的重量及面积观念. 北京: 经济科学出版社, 2003.
- [ 28 ] 李艳玲. 环境友好型反刍动物的日粮设计. *饲料广角*, 2008, (11): 37-39.
- [ 29 ] 郭雪峰. 内蒙古白绒山羊甲烷产生量估测模型的建立及其影响因素的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [ 30 ] 李胜利, 金鑫, 范学珊, 黄文明, 曹志军. 反刍动物生产与碳减排措施. *动物营养学报*, 2010, 22(1): 2-9.
- [ 31 ] 蔡国田, 张雷. 西藏农村能源消费及环境影响研究. *资源开发与市场*, 2006, 22(3): 238-241, 244-244.
- [ 32 ] 邓省三. 甘南州农村能源发展对策初探. *甘肃农业*, 1997, (7): 29-31.