

甘肃省土地利用碳排放变化及影响因素分解

杨文学, 张小平* (西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃兰州 730070)

摘要 [目的]研究土地利用中各类型土地的碳排放量及各土地利用碳排放的影响因素。[方法]以甘肃省为例,在分析1995—2012年土地利用结构变化的基础上,估算了各种土地利用类型的碳排放量,并运用LMDI模型对其影响因素进行了分析。[结果]土地利用结构变化总体表现为建设用地面积持续增加,农用地面积减少;建设用地内部结构变化中居民点及工矿用地面积增加最多,交通用地变化幅度显著;土地利用碳排放量总体呈上升趋势,由1995年的 $1.882.07 \times 10^4$ t增加到2012年的 $7.503.23 \times 10^4$ t,年均增加 341.48×10^4 t;土地利用碳排放强度最大的是居民点及工矿用地,交通用地碳排放强度呈缓慢上升态势,但到2012年有所下降;土地利用变化、经济发展水平提高、人口规模增加促进了土地利用的碳排放,能源效率提高和能源结构优化抑制了土地利用的碳排放。[结论]对甘肃省土地利用碳排放总量的变化趋势影响最大的是居民点及工矿用地,能源效率提高和能源结构优化是今后甘肃省碳减排的重要途径之一。

关键词 土地利用;碳排放;因素分解;甘肃省

中图分类号 S181 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)33-0049-05

Carbon Emission Effect of Land-Use and Influencing Factors Decomposition of Carbon Emission in Gansu Province

YANG Wen-xue, ZHANG Xiao-ping* (College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract [Objective] The study aimed to study carbon emission and the influence factors of carbon emission from various types of land in land use. [Method] Taking Gansu province as a case, based on the analysis of land use structure change from 1995 to 2012, estimating the carbon emissions of various land use types and its influence factors are analyzed using LMDI model. Research shows that Overall, the change of land use structure from 1995 to 2012 illustrates an increasing trend of construction land area and a decreasing trend of farmland area. The internal structure change of construction land for residential areas and mining land area is increasing, traffic land use changes significantly. 1995-2012 general land use carbon emissions is on the rise, increased from 18.8207 million tons in 1995 to 75.0323 million tons in 2012, an average annual increase of 3.4148 million tons. The largest carbon intensity of land use are residential areas and mining land areas, traffic carbon intensity is slowly rising, but fell by 2012. The change of land use, the improvement of economic development, the expand of population scale, enhance the land use carbon emissions. The promotion of energy efficiency and the optimization of energy structure inhibit land use carbon emissions. [Conclusion] The residential and industrial sites have the greatest impact on the change trend of the total land use in Gansu province. Energy efficiency and energy structure optimization will be one of the important ways of carbon emission reduction in Gansu Province in the future.

Key words Land use; Carbon emission; Factor decomposition; Gansu province

近年来,气候变暖成为全球关注的环境问题之一,其不但危害自然生态系统的平衡,而且威胁着人类的食物供应和居住环境^[1]。大气中二氧化碳浓度的增加是全球气候变暖的根源,碳排放由此成为当前一大研究热点。化石燃料的燃烧是空气中二氧化碳的主要来源,而社会建设、经济发展、产业布局、城市扩展和能源消费等活动都与土地利用密切相关,并最终落实在不同的土地利用方式上^[2]。土地利用变化被认为是仅次于化石燃料燃烧使全球大气二氧化碳含量增加的第二大因素^[3]。不合理的土地利用会导致土壤储存和植被含碳减少,使更多的碳释放到大气中,导致大气CO₂浓度增加,从而加剧了全球变暖的趋势以及与之相关的气候变化^[4]。国内外学者对于土地利用碳排放进行了相关研究。赖力^[3]计算了1995—2004年江苏省主要土地利用方式的碳排放,分析了江苏省土地利用方式的碳排放效益,结果表明,建设用地和耕地是主要的碳源,建设用地碳排放量占总碳排放量的50%以上,且建设用地的碳排放量随着面积的增加变化最大。苏雅丽等^[5]计算了1989—2008年陕西省土地利用碳排放量,并采用回归分析、IDW插值和HopfieldH神经网络法分析了不同土地利用方式的碳排放效益,发现建设用地和

耕地是主要的碳源,在林地比例不变的情况下,土地利用结构中建设用地和耕地的比例越大,则碳排放量越大。孙贤斌^[6]采用排放系数法估算了安徽省经济圈耕地、林地、草地、建设用地碳排放量,并研究了土地利用变化的碳排放效益,结果表明,建设用地是主要的碳源,其次是耕地,林地是主要碳汇,而草地的碳吸收能力很小。张俊峰等^[7]对1996—2010年武汉城市圈土地利用碳排放量进行了估算,并利用LMDI模型对武汉城市圈土地利用碳排放的影响因素进行分解研究,得出土地利用变化和经济水平因素是武汉城市圈土地利用碳排放增长的主要因素。Houghton等^[8]估算了1850—1985年美国土地利用变化所引起的陆地生态系统碳储量变化,分析了陆地碳汇形成机制,结果表明,森林砍伐和土地耕种导致美国南部土壤碳损失40%,且热带森林转变为农田或放牧地后,碳储量将减少40%,而转变为牧场将减少20%。以上研究表明,人类的经济活动导致大多数土地利用变化削弱了土地的碳汇作用,促进了碳排放总量的增加。因此,如何合理组织土地利用来增加其碳汇功能,减缓碳排放,以应对全球变暖具有重要的现实意义。笔者以甘肃省为例,在分析该省土地利用结构变化的基础上,估算了各种土地利用类型的碳排放量,并运用LMDI模型对其影响因素进行了分析,以为甘肃省土地的低碳化利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 甘肃省地处青藏、蒙新、黄土三大高原交

作者简介 杨文学(1990-),男,甘肃定西人,硕士研究生,研究方向:区域环境与生态产业。*通讯作者,教授,硕士,硕士生导师,从事区域环境与生态产业研究。

收稿日期 2016-10-12

汇地带,分属长江、黄河、内陆河三大流域。区内地势高亢,山地、高原、平川、河谷、沙漠、戈壁交错分布。地势自西南向东北倾斜,地形狭长,东西长 1 655 km,南北宽 530 km,大致可分为陇南山地、甘南高原、陇中黄土高原、祁连山地、河西走廊、河西走廊以北地带六大区域。2012 年甘肃省土地面积 $4\,258.00 \times 10^4 \text{ hm}^2$,居全国第 7 位,占全国总土地面积的 4.68%,其中,农用地 $2\,544.87 \times 10^4 \text{ hm}^2$,建设用地 $101.43 \times 10^4 \text{ hm}^2$,未利用地 $1\,611.77 \times 10^4 \text{ hm}^2$ [9]。近年来,随着城市化进程的加快,建设用地需求增加,导致土地利用方式发生了巨大变化。如何合理利用土地以达到减排增汇的作用,对于甘肃省低碳发展至关重要。

1.2 研究方法 不同土地利用方式的碳排放效应不同,按土地对碳的排放和吸收划分,土地利用方式分为碳源和碳汇 2 种,笔者讨论的碳源主要包括耕地、交通运输用地、居民点及工矿用地,碳汇主要有林地、草地等。未利用地也具有一定的碳汇效果,但数量少,难以估算,因此忽略不计。

1.2.1 土地利用碳排放量计算。

(1)耕地中农作物吸收空气中的 CO_2 ,但绝大多数在短期内又分解释放到空气中,因此耕地的碳汇作用很小,该研究将耕地视为碳源。其主要的碳排放来源为化肥施用、农药使用、农业机械耗能、农业灌溉、农膜使用[10],计算公式为:

$$E_1 = E_f + E_p + E_m + E_i + E_a = G_f \cdot A + G_p \cdot B + (S_m \cdot C + W_m \cdot D) + S_i \cdot E + G_a \cdot F \quad (1)$$

式中, E_1 为耕地的碳排放总量; E_f 、 E_p 、 E_m 、 E_i 、 E_a 分别为耕地化肥施用、农药使用、农业机械使用、农业灌溉、农膜使用所产生的碳排放量。 G_f 、 G_p 、 S_m 、 W_m 、 S_i 、 G_a 分别为化肥施用折纯量、农药使用量、耕地种植面积、农业机械总动力、灌溉面积、农膜使用量,其中, A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 为转换系数[11],分别为 0.89 kg/kg 、 4.93 kg/kg 、 16.47 kg/hm^2 、 0.18 kg/kW 、 266.48 kg/hm^2 、 5.18 kg/kg 。

(2)林地和草地是重要的碳汇,由于甘肃省的林地面积在研究期内基本无变化,因此不做分析。其草地碳排放的计算公式为

$$E_2 = T \cdot f \quad (2)$$

式中, E_2 为草地碳排放量,t; T 为草地面积, hm^2 ; f 是草地的碳排放(吸收)系数, t/hm^2 ,为 -0.02 t/hm^2 [12]。由于草地为碳汇,因此其排放系数为负。

(3)居民点及工矿用地、交通运输用地是主要碳源,居民点及工矿用地碳排放主要来自工业能源消耗和居民生活能源消耗,交通运输用地碳排放主要来自交通能源使用、道路施工过程中释放的碳。计算公式为

$$E_3 = \sum Q_i \cdot Z_i \cdot f_i \quad (3)$$

式中, E_3 为居民点及工矿用地、交通运输用地碳排放总量; Q_i 为第 i 种能源消耗量; Z_i 为第 i 种能源折标准煤(ce)系数; f_i 第 i 种能源碳排放系数。各种能源碳排放系数和折标准煤系数见表 1。

1.2.2 土地利用碳排放影响因素分解—LMDI 模型。对碳排放驱动因素的分析起源于 1990 年,其中流行的方法有拉

表 1 各种能源碳排放系数和折标准煤系数

Table 1 Coefficient of carbon emission and standard coal of different energy

能源种类 Types of energy	折标准煤系数 Standard coal coefficient tce/t	碳排放系数 Carbon emission coefficient
煤炭 Coal	0.714 3	0.755 9
原油 Crude oil	1.428 6	0.585 7
汽油 Gasoline	1.471 4	0.553 8
柴油 Diesel oil	1.457 1	0.592 1
天然气 Natural gas	1.330 0*	0.448 3
电力 Power	0.122 9**	2.213 2

注: * 表示折标准煤系数的单位为 kgce/m^3 ; ** 表示折标准煤系数的单位为 $\text{kgce/kW} \cdot \text{h}$ 。

Note: *. Unit of standard coal coefficient was kgce/m^3 ; **. Unit of standard of coefficient was $\text{kgce/kW} \cdot \text{h}$.

氏指数法(Laspeyres index)和迪氏指数法(Divisia index)[13] 2 种。拉氏指数法易于理解,但没有迪氏指数法具有的对称性和加法与乘法的易互换性,因此迪氏指数法更具科学性。迪氏指数法包括 AMDI 法(Arithmetic Mean Divisia Index)和 LMDI 法(Logarithmic Mean Divisia Index)。由于 AMDI 法有分解不完全和不能处理零值等缺点,而 LMDI 因为具有易使用、易理解、无残等优点而备受欢迎。LMDI 法可采用“乘积分解”和“加和分解”2 种方法进行分解,分效应与总效应保持一致,用来分析分部门效应与总效应之间的关系。目前,LMDI 被公认为较为精确的指数分解方法,得到了广泛的应用。如徐国泉等[14]采用 LMDI 模型定量分析了能源结构、能源效率和经济发展对我国人均碳排放的影响,得出能源效率对抑制我国碳排放的作用呈减弱趋势,而能源效率和能源结构的抑制作用难以抵销由经济发展拉动的我国碳排放量增长。Chunbo[15]运用 LMDI 法对我国 1980—2003 年的能源强度变化趋势进行了因素分解研究,得出累积的区域内能源强度因素是能源强度变动的主要因素。田云等[16]基于 LMDI 模型对武汉城市圈碳排放的影响因素进行了分解,结果表明,土地利用变化、经济发展水平提高、人口规模增加对城市圈土地利用碳排放存在正效应,而能源效率提高和能源结构优化存在负效应。

笔者基于 LMDI 分析框架,结合前人研究成果,选择土地利用面积、能源消耗量、国内生产总值、人口规模 4 个因素作为甘肃省土地利用碳排放影响因素,构建土地利用碳排放 LMDI 模型。

$$\begin{cases} E = \frac{E}{A} \times \frac{A}{Q} \times \frac{Q}{GDP} \times \frac{GDP}{P} \times P \\ EI = \frac{E}{A} \\ AI = \frac{A}{Q} \\ QI = \frac{Q}{GDP} \\ GI = \frac{GDP}{P} \end{cases} \quad (4)$$

式中, E 、 A 、 Q 、 GDP 分别表示碳排放量、土地利用面积、能源

消耗量、甘肃省生产总值; EI 、 AI 、 QI 、 GI 、 P 分别表示土地利用变化、能源结构因素、能源效率因素、经济水平因素、人口规模因素。对于式(4),以特定的某年作为开始的基年,设基年碳排放总量为 E_0 ,第 t 年的总量为 E_t ,用下标 tot 表示总的碳排放变化。采用加和分解,则差分分解和各分解因素贡献值的表达式分别为

$$\begin{cases} \Delta E_{tot} = E_t - E_0 \\ \Delta EI = \sum \frac{E_t - E_0}{\ln E_t - \ln E_0} - \ln \frac{EI_t}{EI_0} \\ \Delta AI = \sum \frac{E_t - E_0}{\ln E_t - \ln E_0} - \ln \frac{AI_t}{AI_0} \\ \Delta QI = \sum \frac{E_t - E_0}{\ln E_t - \ln E_0} - \ln \frac{QI_t}{QI_0} \\ \Delta GI = \sum \frac{E_t - E_0}{\ln E_t - \ln E_0} - \ln \frac{GI_t}{GI_0} \\ \Delta P = \sum \frac{E_t - E_0}{\ln E_t - \ln E_0} - \ln \frac{P_t}{P_0} \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{总效应为 } \Delta C_{tot} = E_t - E_0 = \Delta EI + \Delta AI + \Delta QI + \Delta GI + \Delta P$$

(6)

1.3 数据来源 能源消费量、土地利用面积、GDP、人口数量等数据来自 1995—2012 年《甘肃省统计年鉴》^[8]。各类能源折标准煤系数来源于《综合能耗计算通则》(GB/T 2589—2008)^[17],排放系数主要来源于 2006 年 IPCC《国家温室气体排放清单指南》(表 1)^[18]。

2 结果与分析

2.1 土地利用结构变化 由甘肃省各类土地利用变化^[8]可知,1995—2012 年土地利用结构变化总体表现为建设用地面积持续增加,农用地面积减少的趋势。其中,建设用地增加 $25.49 \times 10^4 \text{ hm}^2$,增幅为 34.89%。建设用地内部结构变化中居民点及工矿用地面积增加最多,增加 $21.85 \times 10^4 \text{ hm}^2$,交通运输用地变化幅度显著,增幅高达 91.69%。农用地减少 $248.12 \times 10^4 \text{ hm}^2$,年均减少 $13.78 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。农用地内部结构变化情况主要表现为耕地面积增加,牧草地面积减少,其中草地面积减少 $252.96 \times 10^4 \text{ hm}^2$,年均减少 $14.05 \times 10^4 \text{ hm}^2$,是农用地减少的主要原因;草地面积减少的主要原因是草地沙漠化及过度放牧导致草场的退化。综上,随着甘肃省社会经济的快速增长以及城市化进程的不断推进,土地利用结构变化较大,土地利用的非农化趋势明显。

2.2 土地利用碳排放量 基于公式(1)~(3),得到 1995—2012 年甘肃省土地利用碳排放量的变化情况,结果见图 1。从图 1 可见,1995—2012 年甘肃省碳排放总量由 $1882.07 \times 10^4 \text{ t}$ 增加到 $7503.23 \times 10^4 \text{ t}$,增幅为 298.67%。其中居民点及工矿用地的碳排放量最大,由 $1944.90 \times 10^4 \text{ t}$ 增长到 $7159.70 \times 10^4 \text{ t}$,增幅为 268.13%;交通运输用地的碳排放的增长最快,由 $53.68 \times 10^4 \text{ t}$ 增长到 $295.41 \times 10^4 \text{ t}$,增幅高达 450.32%;耕地碳排放由 $190.92 \times 10^4 \text{ t}$ 增长到 $350.48 \times 10^4 \text{ t}$,增幅 83.57%。相比于碳排放的增加,碳吸收显得越来越微不足道,其所占比例越来越小,由 1995 年的 12.31% 下

降到 2012 年的 3.73%。

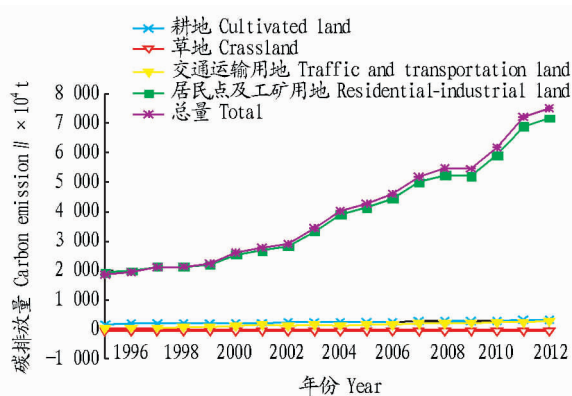


图 1 1995—2012 年甘肃省不同土地利用方式的碳排放量

Fig. 1 Carbon emission of different land use patterns in Gansu Province from 1995 to 2012

从变化趋势上看,甘肃省碳排放总量总体呈增加趋势,1995—2002 年碳排放总量增长较缓;2002 年至今,由于城市化和工业化进程的加快,土地利用方式发生了很大变化,加之能源消耗量的逐年增加,使得碳排放总量的增长速度较快;其中,2009 年因为“十一五”末为了完成国家节能减排任务而放缓基础项目的投资,减少了能源的使用,使碳排放量小幅减少。居民点及工矿用地碳排放量远大于其他土地利用类型碳排放量,至 2012 年占甘肃省碳排放总量的 91.73%,而耕地碳排放和交通运输用地碳排放量分别占 4.49% 和 3.78%。因此,碳排放总量的变化趋势很大程度上受居民点及工矿用地碳排放量的影响。

2.3 土地利用碳排放强度 土地利用碳排放强度为土地利用碳排放量与土地利用面积之比,反映土地利用碳排放能力的强弱。从图 3 可见,1995—2012 年土地利用平均碳排放强度持续增加,在各土地利用方式中,居民点及工矿用地碳排放强度最大,且逐年上升,2012 年达到最大值 78.73 t/hm^2 ,年均增长 3.27%;其次为交通运输用地,2011 年达到最大值 40.22 t/hm^2 ,2012 年有所下降。这是由于部分汽车进行了油

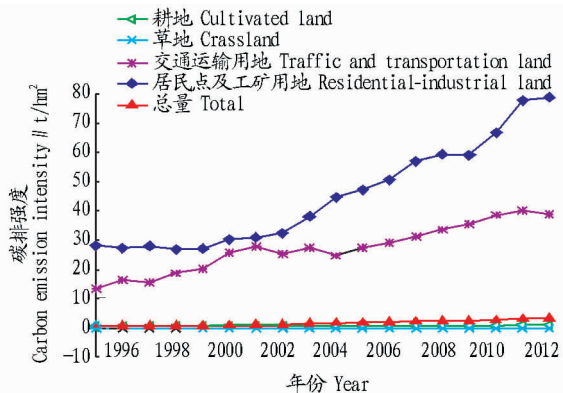


图 2 1995—2012 年甘肃省不同土地利用方式的碳排放强度

Fig. 2 Carbon emission intensity of different land use in Gansu Province from 1995 to 2012

改气,使用了相对清洁的天然气作为燃料。21 世纪,城市化进程的加快以及经济的发展,对能源的需求量增加,使得产

生碳排放的速度超过了建设用地面积的增加,因此建设用地的碳排放强度上升趋势明显加快。

2.4 碳排放因素分解 土地利用碳排放与土地面积、能源使用、人口规模密切相关,也随着土地利用方式、经济发展水

平的不同而变化。因此,采用 LMDI 模型,以 1995 年为基期,从土地利用变化、能源结构、能源效率、经济水平、人口规模等方面对甘肃省土地利用碳排放因素进行分解,结果见表 2 和图 3。

表 2 1995—2012 年甘肃省土地利用碳排放因素分解

Table 2 Analysis result on effecting factors decomposition of land use carbon emission in Gansu Province from 1995 to 2012 $\times 10^4$ t

年份 Year	土地利用变化 Land use change	能源结构因素 Energy structure factor	能源效率因素 Energy efficiency factor	经济水平因素 Economic level factor	人口规模因素 Population size factor	总效应 Total effect
1995	0	0	0	0	0	0
1996	-15.84	-38.62	-360.83	475.03	22.67	82.41
1997	20.49	-43.99	-446.70	658.52	45.55	233.87
1998	-21.31	4.67	-659.19	867.06	65.96	257.19
1999	3.18	5.75	-762.32	1 021.14	86.31	354.06
2000	277.25	-256.71	-703.62	1 346.22	69.61	732.75
2001	354.97	-335.93	-737.20	1 536.43	79.25	897.51
2002	493.38	-443.72	-946.11	1 890.08	93.52	1 087.15
2003	931.39	-818.03	-935.38	2 272.21	102.99	1 553.18
2004	1 438.06	-1 284.19	-1 138.48	3 001.63	117.10	2 134.12
2005	1 664.48	-1 492.17	-1 405.49	3 501.77	125.47	2 394.06
2006	1 950.19	-1 756.06	-1 754.27	4 146.29	132.85	2 719.00
2007	2 478.46	-2 217.41	-2 099.31	5 005.72	144.29	3 311.74
2008	2 699.54	-2 367.21	-2 589.41	5 679.28	152.05	3 574.26
2009	2 690.62	-2 335.25	-2 842.14	5 893.99	157.19	3 564.41
2010	3 335.93	-2 899.21	-3 368.55	7 051.75	176.53	4 296.45
2011	4 261.77	-3 777.60	-3 876.29	8 506.88	200.05	5 314.80
2012	4 404.70	-3 855.18	-4 339.97	9 185.29	226.32	5 621.16

由表 2 可知,1995—2012 年甘肃省土地利用碳排放量累计增加 $5 621.16 \times 10^4$ t,经济水平因素、土地利用变化因素、人口规模因素对碳排放有促进作用,能源效率因素和能源结构因素对碳排放有抑制作用。

从图 3 可见,经济水平因素是促进甘肃省土地利用碳排放量增长的主要因素,其次是土地利用变化。经济发展累计造成碳排放量 $9 185.29 \times 10^4$ t,年均增长 540.31×10^4 t;土地利用变化累计造成 $4 404.70 \times 10^4$ t 碳排放,年均增长 251.66×10^4 t。近年来,由于人口城市化发展加快,建设用地不断扩张,草地不断减少,使得碳源地增加,碳汇地减少,土地利用变化也成为甘肃省土地利用碳排放量增长的主要因素之一。

能源效率的提高和能源结构的改变是降低甘肃省土地利用碳排放的主要途径。1995—2012 年能源效率提高的碳减排作用总体趋于平稳上升,累计实现了 $4 339.97 \times 10^4$ t 的碳减排,占减排总量的 53.96%。若其他因素不变,能源效率的提高会使甘肃省土地利用碳排放每年减少 255.29×10^4 t。能源消耗是土地利用碳排放的重要碳源。随着科技的发展,不仅能源的利用效率逐渐提高,而且能源的使用量不断减少,从而降低了能源使用中的碳排放量。1995—2012 年能源结构优化为甘肃省碳减排累计贡献了 $3 855.18 \times 10^4$ t,占减排总量的 47.04%,平均每年减少 226.78×10^4 t。这主要是由于能源结构的优化可以降低如原煤、石油等能源的使用,而将消费重点转向清洁能源,进而减少碳排放。但是能源结构优化碳减排作用相比能源效率波动性较强。

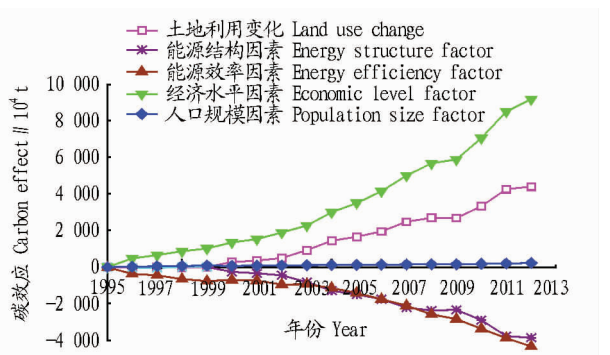


图 3 1995—2012 年甘肃省土地利用碳排放因素分解

Fig.3 Analysis result on effecting factors decomposition of land use carbon emission in Gansu Province from 1995 to 2012

综上,虽然甘肃省能源效率的提高和结构的优化能够实现土地利用的碳减排,但是与土地利用变化和经济水平的提高所带来的碳排放相比,减排能力还远远不够。短期内能源效率的提高和能源结构的优化仍不足以弥补碳排放量的增加。因此,未来甘肃省土地利用碳排放量会继续上升。合理利用土地,加快转变经济发展模式将是实现土地利用碳减排的重要途径。

3 结论

笔者通过对 1995—2012 年甘肃省土地利用碳排放特征及影响因素进行分解研究,得出以下结论:

(1) 甘肃省土地利用结构变化总体表现为建设用地面积持续增加,农用地面积减少的趋势。其中建设用地增加

25.49 × 10⁴ hm², 增幅为 34.89%; 建设用地内部结构变化中居民点及工矿用地面积增加最多, 为 21.85 × 10⁴ hm², 交通运输用地变化幅度显著, 增加 3.64 × 10⁴ hm², 增幅为 91.69%; 农用地减少 248.12 × 10⁴ hm², 变化幅度为 10.18%。

(2) 甘肃省土地利用碳排放量总体呈上升趋势, 由 1995 年的 1 882.07 × 10⁴ t 增加到 2012 年的 7 503.23 × 10⁴ t, 年均增加 330.66 × 10⁴ t。其中, 1995—2002 年增长缓慢, 2002—2012 年增长较快, 且增长幅度越来越大, 由于碳减排能力较弱, 因此短期内仍将持续上升。

(3) 甘肃省土地利用平均碳排放强度逐年增加, 其中以居民点及工矿用地最大。其中, 1995—2002 年增长缓慢, 2002—2011 年增长速度越来越快, 2012 又有所减缓; 交通运输用地碳排放强度一直呈缓慢上升, 但是到 2012 年有所下降。

(4) 从碳排放因素分解结果来看, 土地利用变化、经济发展水平提高、人口规模增加对甘肃省土地利用碳排放存在促进作用, 能源效率提高和能源结构优化存在抑制作用。1995—2012 年能源效率提高和能源结构优化累计贡献了 8 195.15 × 10⁴ t 碳减排。因此, 能源效率提高和能源结构优化是今后甘肃省碳减排的重要途径之一。

参考文献

[1] 雷军, 张利, 张小雷. 中国干旱区特大城市低碳经济发展研究: 以乌鲁木齐市为例[J]. 干旱区地理, 2011, 34(5): 820-829.
[2] 赵荣钦, 刘英, 郝仕龙, 等. 低碳土地利用模式研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 190-194.

(上接第 35 页)

[34] CHEN M N, LI X, YANG Q L, et al. Soil Eukaryotic microorganism succession as affected by continuous cropping of peanut - pathogenic and beneficial fungi were selected[J]. PLoS One, 2012, 7(7): 40659.
[35] CHEN M N, LI X, YANG Q L, et al. Dynamic succession of soil bacterial community during continuous cropping of peanut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. PLoS One, 2014, 9(7): 101355.
[36] LI X G, DING C F, ZHANG T L, et al. Fungal pathogen accumulation at the expense of plant - beneficial fungi as a consequence of consecutive peanut monoculturing[J]. Soil biology and biochemistry, 2014, 72: 11-18.
[37] 颜艳伟, 张红, 刘露, 等. 连作花生田根际土壤优势微生物的分离和鉴定[J]. 微生物学报, 2011, 51(6): 835-842.
[38] 王小兵, 骆永明, 刘五星, 等. 红壤连作花生不同生育期根际微生物区系变化研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2011, 32(4): 23-27.
[39] ZHOU X G, WU F Z. Dynamics of the diversity of fungal and *Fusarium* communities during continuous cropping of cucumber in the greenhouse [J]. FEMS Microbiology Ecology, 2012, 80(2): 469-478.
[40] LI X G, DING C F, LIU J G, et al. Evident response of the soil nematode community to consecutive peanut monoculturing[J]. Agronomy journal, 2015, 107(1): 195-203.
[41] HUANG L F, SONG L X, XIA X J, et al. Plant - soil feedbacks and soil sickness: From mechanisms to application in agriculture[J]. Journal of chemical ecology, 2013, 39(2): 232-242.

[3] 赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究[D]. 南京: 南京大学, 2000.
[4] 李颖, 黄贤金, 甄峰. 江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(S2): 102-107.
[5] 苏雅丽, 张艳芳. 陕西省土地利用变化的碳排放效益研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 152-156.
[6] 孙贤斌. 安徽省会经济圈土地利用变化的碳排放效益[J]. 自然资源学报, 2012, 27(3): 394-401.
[7] 张俊峰, 张安录, 董捷. 武汉城市圈土地利用碳排放效应分析及因素分解研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(5): 595-602.
[8] HOUGHTON R A, LEFKOWITZ D S, SKOLE D L. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985 (II): Net release of CO₂ to the atmosphere[J]. Forest ecology and management, 1991, 38(3/4): 173-199.
[9] 甘肃年鉴编委会. 甘肃发展年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
[10] 张小平, 王龙飞. 甘肃省农业碳排放变化及影响因素分析[J]. 干旱区地理, 2014, 37(5): 1029-1035.
[11] WEST T O, MARLAND G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture ecosystems and environment, 2002, 91(1/2/3): 217-232.
[12] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 等. 1981~2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2007, 37(6): 804-812.
[13] 高振宇, 王益. 我国生产用能源消费变动的分解分析[J]. 统计研究, 2007, 24(3): 52-57.
[14] 徐国泉, 刘则渊, 姜照华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析: 1995-2004[J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(6): 158-161.
[15] CHUNBO. China changing energy intensity trend: A decomposition analysis[J]. Energy Economics, 2008, 30: 1037-1053.
[16] 田云, 李波, 张俊飏. 武汉市碳排放的测算及影响因素分解研究[J]. 地域研究与开发, 2011, 30(5): 88-92.
[17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 综合能耗计算通则: GB/T 2589—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
[18] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: II [M]. Japan: the Institute for Global Environmental Strategies, 2008.

[42] BRUSSAARD L, DE RUITER P C, BROWN G G. Soil biodiversity for agricultural sustainability [J]. Agriculture ecosystems and environment, 2007, 121(3): 233-244.
[43] EISENHAEUER N, SCHEU S, JOUSSET A. Bacterial diversity stabilizes community productivity[J]. PLoS One, 2012, 7(3): 1-5.
[44] CIPOLLINI D, RIGSBY C M, BARTO E K. Microbes as targets and mediators of allelopathy in plants[J]. Journal of chemical ecology, 2012, 38(6): 714-727.
[45] BLUM U, STAMAN K L, FLINT L J, et al. Induction and/or selection of phenolic acid - utilizing bulk - soil and rhizosphere bacteria and their influence on phenolic acid phytotoxicity[J]. Journal of chemical ecology, 2000, 26(9): 2059-2078.
[46] YU J Q, YE S F, ZHANG M F, et al. Effects of root exudates and aqueous root extracts of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals, on photosynthesis and antioxidant enzymes in cucumber[J]. Biochemical systematics and ecology, 2003, 31(2): 129-139.
[47] PERRY L G, THELEN G C, RIDENOUR W M, et al. Concentrations of the allelochemical (±) - catechin IN *Centaurea maculosa* soils[J]. Journal of chemical ecology, 2007, 133(12): 2337-2344.
[48] WEIDENHAMER J D, LI M, ALLMAN J, et al. Evidence does not support a role for gallic acid in *Phragmites australis* invasion success[J]. Journal of chemical ecology, 2013, 39(2): 323-332.
[49] LI X G, DING C F, HUA K, et al. Soil sickness of peanuts is attributable to modifications in soil microbes induced by peanut root exudates rather than to direct allelopathy[J]. Soil biology and biochemistry, 2014, 78: 149-159.