

# 喀斯特贫困山区土地利用碳排放效应及风隐研究

## ——以贵州省为例<sup>1</sup>

魏媛，吴长勇

(贵州财经大学 管科学院，贵州 贵阳 550025)

**【摘要】**：为促进喀斯特贫困山区低碳土地利用模式构建，文章运用碳排放计量模型对贵州省 2000-2014 年不同土地利用碳排放效应及风险的动态演变进行了分析。研究结果表明：(1) 2000-2014 年贵州省土地利用碳排放和碳吸收总量均表现出明显上升的趋势，分别从 2000 年的 3320 万吨和 462 万吨上升至 2014 年的 8240 万吨和 542 万吨，净碳排放量表现出先升后降的趋势，碳吸收储存能力远远低于碳排放能力。(2) 建设用地是主要的碳源，其碳排放量占 93.93% 以上；林地是主要的碳汇，其碳吸收贮存量占 94.82% 以上。但林地增加的碳汇远小于建设用地增加的碳源，表明建设用地增加是碳排放的最主要因素。(3) 土地利用碳排放风险指数表现出先增后降的趋势，但降低幅度较小，说明研究区绿色低碳发展取得了一定的成效，但碳排放风险程度仍然较高。(4) 根据研究结果提出促进喀斯特贫困山区土地资源低碳可持续利用的对策建议。

**【关键词】**：土地利用；碳排放；碳排放风险；喀斯特贫困山区；贵州省

**【中图分类号】**：F062.2

**【文献标识码】**：A

**【文章编号】**：1671-4407 (2018) 03-031-06

绿色发展、低碳发展既是“十三五”期间我国经济发展的基本要求，也是未来经济发展的方向和目标。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》明确，今后五年，要在已经确定的全面建成小康社会目标要求的基础上，努力实现生态环境质量总体改善。能源资源开发利用效率大幅提高，能源和资源消耗、建设用地、碳排放总量得到有效控制，主要污染物排放总量大幅减少。随着工业化、城镇化的快速推进和人均资源能源消耗量的增长，碳排放量表现出持续上升的趋势。土地利用方式变化是影响碳平衡的重要因素之一。不合理的土地利用结构将导致土壤和植被储存、吸收和固定二氧化碳的能力减弱，导致更多的二氧化碳排放到大气中，全球气候变暖问题日益突出、倍受关注。因此，国内外学者分别从不同尺度运用不同的方法对土地利用碳排放及其变化过程进行了分析<sup>[1-8]</sup>，取得了丰硕的成果。但已有研究大多仅选择主要的几种土地利用类型和几种主要能源，全面系统的研究报道较少，尤其是对喀斯特贫困山区土地利用碳排放效应及风险的研究尚未见报道。喀斯特山区的贵州人口密度大、经济欠发达、贫困程度深、贫困面广，是我国西南典型的生态脆弱地区。党的十八大提出 2020 年全国全面建成小康社会、实现整体脱贫目标。对于喀斯特贫困山区来说迫切需要加速经济发展，而经济快速发展势必加大土地资源的开发利用，改变土地利用方式，进而带来大量的碳排放。限时脱贫下贵州如何协调土地开发利用与生态环境保护的关系，如何在土地开发利用的过程中既考虑增长速度，又考虑与环境相互协调这一困境，确保 2020 年贫困人口全部脱贫宏伟目标的实现，

**【基金项目】**：贵州省科技计划项目“贵州经济发展与生态保护耦合响应机制研究”（黔科合基础（2016）1521-1 号）；国家商务部联合研究项目“喀斯特贫困山区低碳经济与环境系统耦合协调发展研究”（2016SWBZD12）；贵州财经大学青年教师英才计划项目“贵州省能源利用碳足迹和植被碳承载力动态研究”；贵州省高校优秀科技创新人才支持计划项目“退化喀斯特生态系统恢复与重建”（黔教合 KY 字（2012）091 号）

**【第一作者简介】**：魏媛（1976-），女，贵州毕节人，博士，教授，研究方向为生态经济与土地资源可持续利用。E-mail: weiyu-an09876@163.com

与全国同步建成小康社会，实现低碳绿色发展是值得全面深入研究的前瞻性问题。因此，本文以喀斯特贫困山区的贵州为研究对象，根据土地利用变更数据及能源消费资料，运用碳排放计量模型对其 2000-2014 年不同土地利用碳排放效应及风险的动态演变规律进行研究，以期对喀斯特贫困山区制定碳减排政策、构建低碳土地利用模式和实现绿色脱贫提供参考。

## 1、研究区域概况

贵州位于中国西南部（103° 36′~109° 35′E）、（24° 37′~29° 13′N），东毗湖南、南邻广西、西连云南、北接四川和重庆，海拔平均 1100 千米左右。贵州岩溶地貌发育非常典型，喀斯特地貌面积 109084 平方千米，占全省国土总面积的 61.9%，境内岩溶分布范围广泛，形态类型齐全，地域分布明显，构成一种特殊的岩溶生态系统。2016 年贵州省人口数量为 3529.50 万人、地区生产总值为 11734.43 亿元，在全国排名第 25 位，GDP 增量为 10.5，在全国排名第 2 位，仅次于重庆，人均 GDP 为 33242 元，在全国排名第 29 位，说明贵州省人口密度大、经济欠发达、贫困程度深、贫困面广。我国西南典型的喀斯特生态脆弱地区和贫困山区，长期不合理的土地利用方式对生态环境造成了严重的破坏，过度的垦殖、乱砍滥伐等不合理的人类活动造成了土壤退化、水土流失和石漠化等生态环境问题。贵州全省土地总面积为 1760.99 万公顷，土地利用类型主要为耕地、林地、草地、建设用地、水域、园地和其他用地。近年来，随着贵州工业化、城市化和农业现代化的快速发展，建设用地不断扩张，耕地、草地等土地资源逐渐减少，土地利用结构发生了明显变化，碳排放也随之变化。

## 2、研究方法资料来源 2.1 研究方法

### 2.1.1 土地利用类型直接碳排放估算

本文的土地利用类型按照《土地利用现状分类》（GB/T21010-2007）划分为：耕地、园地、林地、草地、水域、建设用地及其他用地。土地利用直接碳排放主要指不同土地利用类型引起的碳排放，采用直接碳排放系数法对耕地、园地、林地、草地、水域用地及其他用地的碳排放进行估算<sup>[3, 5]</sup>，计算公式见式（1）：

$$E_k = \sum e_i = \sum T_i \delta_i \quad (1)$$

式中： $E_k$  为直接碳排放量； $e_i$  为不同土地利用类型产生的碳排放量； $T_i$  为各土地利用类型面积； $\delta_i$  为各土地利用类型的碳排放（吸收）系数，碳排放为正，碳吸收为负。 $i$  分别表示 7 种不同的土地利用类型。本文在众多学者<sup>[2-5, 8-10]</sup>对各土地利用类型碳排放系数研究基础上，结合实际来确定了研究区各土地利用类型碳排放系数（表 1）。

表 1 不同土地利用类型碳排放系数

土地利用类型	碳排放系数/[t/(hm <sup>2</sup> ·a)]
耕地	0.422
园地	-0.730
林地	-0.578
草地	-0.021
水域	-0.460
其他用地	-0.005

注：正数表示碳排放，附属表示碳吸收，表 2 同。

### 2.1.2 土地利用类型间接碳排放估算

土地利用间接碳排放主要是指各类土地利用类型上所承载的所有人作用产生的碳排放量<sup>[11]</sup>。文章采用间接估算方法对建设用地的碳排放进行估算，即通过计算生产生活中能源消耗产生的二氧化碳量来衡量，通过各种能源的消耗量、转标准煤系数及其碳排放系数来间接计算，根据研究区能源消费实际，文章选取了煤炭、焦炭、汽油、柴油、燃料油、煤油、天然气和电力 8 种能源，建设用地碳排放量的计算公式如式（2）所示<sup>[4, 8]</sup>：

$$E_{\eta} = \sum e_i = \sum E_i \times \mu_i \times \varepsilon_i \quad (2)$$

式中： $E_{\eta}$  为建设用地的碳排放量； $e_i$  为第  $i$  种能源对应的碳排放量； $E_i$  为第  $i$  种能源的消耗量； $\mu_i$  为第  $i$  种能源转标准煤系数； $\varepsilon_i$  为第  $i$  种能源的碳排放系数。

### 2.1.3 土地利用类型碳排放计算

土地利用碳排放总量包括直接土地利用类型碳排放和间接土地利用类型碳排放<sup>[8]</sup>，计算公式如式（3）所示：

$$E = E_k + E_{\eta} \quad (3)$$

式中： $E_k$  为直接碳排放量； $E_{\eta}$  为间接碳排放量。

### 2.1.4 碳排放风险指数计算

为探讨不同土地利用类型与研究区生态风险之间的内在关系，利用贵州省各土地利用类型的面积占比，构建不同土地利用类型的碳排放生态风险指数<sup>[7-8]</sup>，计算公式如下：

$$C_{RI} = \sum_i^j \frac{S_j P_j}{S} \quad (4)$$

式中： $C_{RI}$  为研究区土地利用碳排放风险指数； $S_j$  为研究区第  $j$  类土地利用面积； $S$  为研究区总面积， $P_j$  为第  $j$  类土地利用类型的碳排放系数， $j=1, 2, 3, \dots, 7$ 。

## 2.2 资料来源

土地利用类型数据来源于贵州省 2000-2014 年土地利用变更调查统计资料及 2001-2015 年《贵州统计年鉴》，能源消费数据来源于 2001-2014 年的《中国能源统计年鉴》。

## 3、结果与分析

### 3.1 不同土地利用类型面积动态变化

各利用类型土地面积不同引起了碳排放量的差异，从而对全球环境变化带来一定的影响，贵州省 2000-2014 年不同类型土地面积动态变化统计结果见图 1。

从图 1 可以看出，2000-2014 年，贵州耕地、草地和其他类型土地面积总体上表现出下降的趋势，下降幅度分别为 4.74%、35.11%和 26.51%。林地、园地、水域和建设用地面积总体上表现出上升的趋势，上升幅度分别为 17.42%、65.63%、5.27%和 26.04%，

不同类型土地面积增长幅度由大到小的顺序依次为园地>建设用地>林地>水域。李正等<sup>[12]</sup>对贵州喀斯特山区土地利用变化的研究表明,耕地减少,林地、园地增加的驱动因子主要是生态退耕政策实施等,建设用地的扩张是耕地、草地面积减少的主要原因<sup>[13]</sup>,本研究得出的结论与之相似。不同土地利用类型面积占比由大到小的顺序依次为林地>耕地>其他类型土地>草地>建设用地>水域>园地,林地占比最高,为50.78%,园地占比最少,为0.94%。

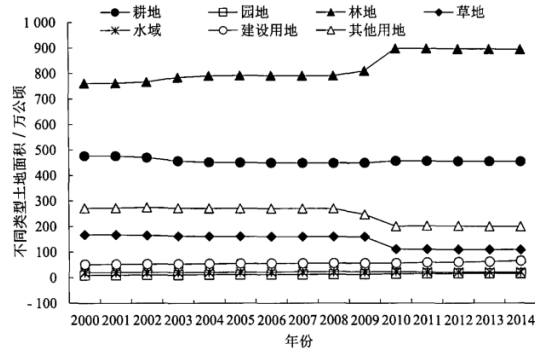


图1 贵州省 2000-2014 年不同类型土地面积动态变化

### 3.2 不同土地利用类型碳排放效应分析

#### 3.2.1 不同土地利用类型碳排放动态变化

土地利用方式对全球气候变化和碳循环平衡有着重大的影响,2000-2014 年贵州省不同土地利用类型的碳排放效应统计结果见表 2。

表 2 不同土地利用类型碳排放动态变化 (万吨)

年份	耕地	园地	林地	草地	水域	建设用地	其他用地
2000	201.30	-7.33	-440.35	-3.53	-9.40	3117.21	-1.36
2001	200.93	-7.59	-440.56	-3.52	-9.40	3131.25	-1.36
2002	198.33	-7.84	-443.41	-3.47	-9.48	3169.67	-1.37
2003	192.75	-8.23	-453.69	-3.41	-9.56	4076.57	-1.36
2004	190.52	-8.62	-457.15	-3.38	-9.64	4762.35	-1.35
2005	190.08	-8.74	-457.87	-3.37	-9.72	4725.05	-1.35
2006	189.63	-8.87	-457.66	-3.36	-10.21	5431.59	-1.35
2007	189.33	-9.15	-457.36	-3.36	-10.78	5861.31	-1.35
2008	189.26	-9.43	-457.15	-3.36	-10.79	6021.00	-1.35
2009	189.74	-10.02	-468.60	-3.35	-10.61	6600.09	-1.24
2010	192.70	-11.50	-518.80	-2.33	-10.57	6659.65	-1.00
2011	192.43	-11.51	-518.66	-2.31	-9.86	7364.58	-1.01
2012	192.19	-12.13	-517.95	-2.30	-9.86	8058.93	-1.01
2013	192.12	-12.27	-517.58	-2.29	-9.94	8348.20	-1.00
2014	191.75	-12.14	-517.07	-2.29	-9.89	8052.32	-1.00

从表 2 可以看出,土地利用类型中的耕地和建设用地为碳源,2000-2014 年耕地碳排放量表现出下降的趋势,下降幅度为 4.74%,建设用地碳排放量表现出上升的趋势,上升幅度为 158.32%。建设用地对碳排放总量的贡献率最高,达 93.93%~97.67%,而耕地对于碳排放总量的贡献率仅为 2.07%~6.33%。园地、林地、草地、水域和其他用地是碳汇,2000-2014 年间,园地、林地和水域对碳的吸收量表现出上升的趋势,上升幅度分别为 65.63%、17.42%和 5.27%;草地和其他用地的碳吸收量表现出下降的趋势,下降幅度分别为 35.11%和 26.51%;碳汇主要是林地、水域和园地,林地对碳吸收总量的贡献率为 94.82%~95.46%,是最主要的碳汇,水域碳吸收总量的贡献率为 1.81%~2.24%,是第二大碳汇,园地对碳吸收总量的贡献率为 1.58%~2.26%,是第三大碳汇。草地和其他用地对碳吸收总量的贡献率为 0.42%~0.76%和 0.18%~0.29%,大大低于林地、水域和园地对碳的吸收能力。

### 3.2.2 碳源动态变化

碳源是指自然界中向大气释放碳的母体,碳汇是指自然界中碳的寄存体。土壤即是碳源,也是碳汇,因为土壤一方面向大气排放二氧化碳、甲烷,含有丰富的有机碳,另一方面植物凋落物源源不断地补充碳,还能通过微生物的作用固碳,维持着土壤的碳平衡。随着工业化、城镇化和农业现代化的快速推进,贵州省土地利用结构发生了明显的变化,不同土地利用类型的碳排放量也随之发生了明显的变化,2000-2014 年贵州省土地利用碳排放总量和净碳排放量统计结果见图 2。

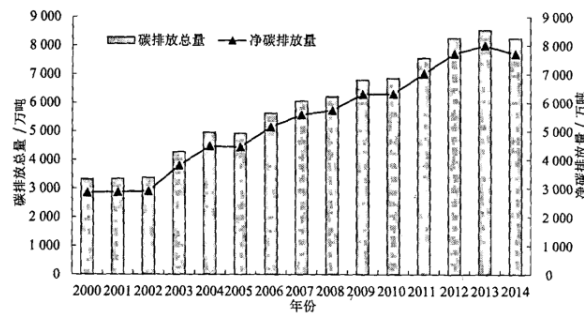


图 2 2000-2014 年贵州省土地利用碳排放总量和净碳排放量的动态变化

从图 2 中可以看出,2000-2014 贵州省土地利用碳排放总量表现出明显上升的趋势,从 2000 年的 3320 万吨上升至 2014 年的 8240 万吨。研究区碳源为耕地和建设用地,2000-2014 年贵州省耕地和建设用地的碳排放总量表现出明显上升的趋势,15 年间上升了 148.43%。净碳排放量表现出先升后降的变化趋势,2013 年达到峰值,之后降低。分析表明贵州省的碳排放总量在不断上升,净碳排放量先升后降,这是因为研究区植被覆盖率在不断增加,吸收并储存了更多的二氧化碳,碳平衡取得了一定的成效。

### 3.2.3 碳汇动态变化

碳汇主要是指从空气中清除二氧化碳的过程、活动、机制。一般是指植被吸收并储存二氧化碳的多少,或者说是植被吸收并储存二氧化碳的能力。2000—2014 年贵州省土地吸收并储存二氧化碳的能力统计结果见图 3。园地、林地、草地、水域和其他用地为研究区碳汇,图 3 中的结果表明,2000—2014 年贵州省这四类土地对碳总量吸收储存能力整体上呈现出明显上升的趋势,分别从 2000 年的 462 万吨上升到 2014 年的 542 万吨,上升幅度为 17.41%。分析表明贵州省土地吸收并储存二氧化碳的能力在不断上升,但与净碳排放相比,碳的吸收储存能力远远低于碳的排放能力。

研究结果表明贵州省耕地、草地和其他用地减少大部分转化为建设用地,而建设用地承载着全部人口消费能源的碳排放,其碳排放系数远远高于碳汇的吸收系数,林地增加所产生的碳汇能力远远不能抵消建设用地增加带来的碳源。因此,建设用地

的增加是影响碳排放的最主要因素<sup>[14]</sup>，说明研究区需要调整并优化土地利用结构，增加碳汇，节约高效利用资源和能源，控制建设用地的扩张，减少碳源，促进碳平衡。

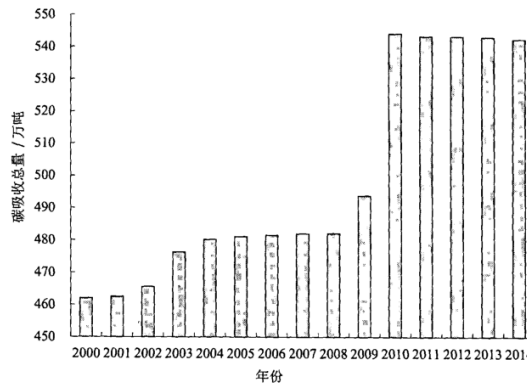


图3 2000-2014年贵州省土地利用碳吸收总量的动态变化

### 3.3 不同土地利用类型碳排放风险分析

土地利用碳排放风险指数用于表征研究区内综合碳排放风险的相对大小，其值越高，表明碳排放风险程度越大，反之，则越小<sup>[8]</sup>。2000-2014年贵州省土地利用碳排放风险指数动态变化计算结果见图4。

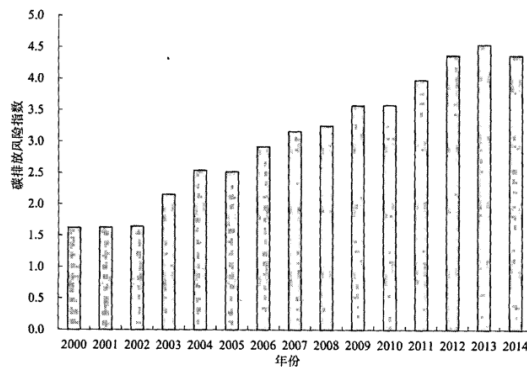


图4 2000-2014年贵州省土地利用碳排放风险指数的动态变化

图4中的分析结果表明，2000-2014年贵州省土地利用碳排放风险指数表现出先升后降的变化趋势，2000-2013年贵州省土地利用碳排放风险指数表现出逐渐增大的趋势，这主要是由于工业化、城镇化和农业现代化的快速推进使得能源消耗量不断增加。2013年达到峰值之后降低，与净碳排放量的变化趋势一致。表明贵州省碳排放风险程度表现出先增加后降低的变化趋势，揭示其节能减排政策的实施取得了一定的成效。

## 4、结论与对策建议

### 4.1 主要结论

---

本文根据 2000-2014 年喀斯特贫困山区贵州省土地利用现状及能源消费数据,运用碳排放测算模型对 2000-2014 年贵州不同土地利用方式的碳排放效应和风险进行了分析。研究主要结论如下:

(1) 2000-2014 年贵州省不同土地利用类型面积变化明显,耕地、草地和其他类型土地面积总体上表现出下降的趋势,下降幅度分别为 4.74%、35.11%和 26.51%;林地、园地、水域和建设用地面积总体上表现出上升的趋势,上升幅度分别为 17.42%、65.63%、5.27%和 26.04%。揭示了园地面积上升幅度最大,建设用地次之,建设用地的扩张是耕地、草地面积减少的主要原因。同时,耕地面积减少表明喀斯特贫困山区贵州省退耕还林政策的实施、城镇化和农业现代化进程的推进取得了一定的成效。

(2) 不同土地利用类型中耕地和建设用为碳源,2000-2014 年贵州耕地碳排放表现出下降的趋势,下降幅度为 4.74%,建设用地排放表现出上升的趋势,上升幅度为 158.32%。建设用地对碳排放总量的贡献率最高,达 93.93%~97.67%,而耕地对于碳排放总量的贡献率仅为 2.07%~6.33%,表明建设用地碳排放量对贵州省土地利用碳排放量的贡献起着决定性的作用,是最主要的碳源。

(3) 园地、林地、草地、水域和其他用地是碳汇,2000-2014 年,园地、林地和水域对碳的吸收量表现出上升的趋势,上升幅度分别为 65.63%、17.42%和 5.27%;草地和其他用地的碳吸收量表现出下降的趋势,下降幅度分别为 35.11%和 26.51%。因此,碳汇主要是林地、水域和园地,碳吸收总量的贡献率由大到小的顺序依次为林地>水域>园地,林地是最主要的碳汇。

(4) 2000—2014 年,贵州省碳源的碳排放总量表现出明显上升的趋势,从 2000 年的 3320 万吨上升至 2014 年的 8240 万吨。净碳排放量表现出先升后降的变化趋势,表明贵州省土地利用类型中的碳源在不断上升,但碳平衡取得了一定的成效。碳汇对碳吸收总量的能力整体上呈现出明显上升的趋势,分别从 2000 年的 462 万吨上升到 2014 年的 542 万吨,上升幅度为 17.41%。分析表明贵州省土地吸收并储存二氧化碳的能力在不断上升,但与净碳排放相比,碳的吸收储存能力远远低于碳的排放能力。

(5) 2000-2014 年,贵州省土地利用碳排放风险指数表现出先增后降的变化趋势,2013 年达到峰值之后降低,碳排放风险指数增大的原因主要是由于研究区工业化、城镇化和农业现代化的快速推进使得能源消耗量增加,2013 年后降低说明研究区节能降耗政策的实施取得了一定的成效。

(6) 建设用地是最主要的碳源,林地是最主要的碳汇,但林地增加所产生的碳汇能力远远不能抵消建设用地增加带来的碳源,揭示建设用地的增加是影响碳排放的最主要因素。土地利用碳排放风险指数表现出先增后降的变化趋势,但降低幅度较小,说明研究区绿色低碳发展取得了一定的成效,但碳排放风险程度仍然较高,急需进行调整优化土地利用结构,构建低碳土地利用模式,提高土地生态系统的固碳减排能力。

#### 4.2 对策建议

根据前述研究结果并结合研究区实际,提出促进喀斯特贫困山区土地资源低碳可持续利用的对策建议。

(1) 调整优化土地利用结构、降低碳排放风险程度。贵州土地利用类型中,建设用地是主要的碳源,林地是主要的碳汇,但林地增加所产生的碳汇能力远远不能抵消建设用地增加带来的碳排放能力,导致碳排放量增加。因此,研究区加强土地利用规划实施监督与管理,需要调整并优化土地利用结构,在严格执行土地利用规划和保护基本农田的基础上,控制新增建设用地总量,防止建设用地过度扩张而占用耕地、林地、草地等。同时,通过植树造林大力提高森林覆盖率,控制耕地、草地、其他类型土地面积减少速度以及建设用地的扩张速度,促进其他未利用地面积向林地、草地和耕地转换,增加碳汇,减少碳源,促进碳平衡,降低土地利用碳排放风险程度,促进喀斯特贫困山区经济绿色低碳可持续发展。

(2) 节约高效利用能源、促进经济低碳绿色发展。建设用地承载着全部人口消费能源的碳排放，是最主要的碳源。因此，需要实行建设用地总量、能源消耗总量及强度双控行动，加强对资源能源使用的控制力度，把资源能源的使用总量控制在资源环境承载能力范围内，对现有存量不断削减，对强度超出一定水平和标准的、碳排放较高的产业和技术必须淘汰；大力发展单位能耗少甚至为零的技术和产业，如可再生能源及以服务业为代表的第三产业等；促进产业结构的转型升级，以实现资源能源的节约和高效利用，减少碳排放。同时，引导人们进行低碳生活、消费，积极开发和利用太阳能、风能等清洁能源，发展循环经济、低碳经济，促进研究区经济社会低碳绿色发展。

(3) 促进碳源地向碳汇地转换，提高生态系统碳汇功能。贵州地处我国西南喀斯特地区的中心，境内多为碳酸岩山地，因陡坡耕地多，垦殖率高，加上生态环境脆弱，植被破坏后很难恢复，水土流失严重，形成“石漠化”。研究表明林地是最主要的碳汇，根据生态文明建设的要求，在保有一定质量的耕地面积前提下，加强“退耕还林草”政策的实施与监督，将 25。以上的坡耕地进行退耕还林还草，减少水土流失、保护生态环境，使原来的碳源地转化为碳汇地<sup>[15]</sup>，提高整个生态系统的碳汇功能<sup>[16]</sup>，促进碳平衡。

(4) 加强农田耕作管理，促进农田生态系统固碳减排。中国农田传统耕作非常重视秸秆还田和有机肥施用，农田土壤有机碳蓄积效果显著，碳排放强度较低，表明合理的农田耕作方式和有效的管理措施可以促进农业生态系统固碳减排。这需要加强农田土壤保持耕作管理，改进施肥、灌水管理措施、提高复种指数、实施合理的作物轮作和减少耕地作业等以提高土壤的碳储存能力，减少农田生态系统的碳排放<sup>[16]</sup>。科学调控农田耕作系统中能量流动和碳循环，提高农田生态系统固碳减排能力，对于促进喀斯特贫困山区低碳绿色农业的发展具有重要意义。

(5) 建立生态补偿激励机制，达到经济发展与环境保护“双赢”。生态补偿是以保护和可持续利用生态系统服务为目的，以经济手段为主调节相关者利益关系的制度安排。建立健全生态补偿激励机制重点落实碳排放补偿机制，从制度上保障林地、草地等主要碳汇地的数量和质量，充分吸收掉已排放的碳，实现碳中和，促进生态环境的保护，最终达到经济发展与生态环境保护“双赢”的目的，实现喀斯特贫困山区绿色脱贫。

(6) 创新农田大数据技术，促进农业碳减排。农业带来的温室气体排放约占全球的 13%，如果要尽可能减小气候变化对环境以及农业造成的损害，就必须降低排放量，这就需要我们运用农田大数据科学技术知识，发展大数据精准农业，促进碳中和并实现农业碳减排。如运用 3S 技术与信息技术，使农户更为准确地了解其所产生的温室气体排放情况，了解喀斯特山区农田种植位置、种植对象和种植密度，肥料施用量、施肥地点和时间以及适宜的浇灌时间等，科学合理地进行农田生产活动，提高作物覆盖率，减少耕地作业，将碳储存在土壤中，促进碳排放量与碳流量减小，实现喀斯特贫困山区农业集约可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] Houghton R A, Hackler J L. Sources and sinks of carbon from land-use change in China[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17 (2) : 1034-1047.
- [2] 李 波, 张俊飏. 基于我国农地利用方式变化的碳效应特征与空间差异研究[J]. *经济地理*, 2012 (7) : 135-140.
- [3] 孙 赫, 梁红梅, 常学礼, 等. 中国土地利用碳排放及其空间关联[J]. *经济地理*, 2015 (3) : 154-162.
- [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 (S2) : 102-107.
- [5] 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 (3) : 394-401.

- 
- [6]魏 媛, 蔡绍洪, 王名绍. 贵州喀斯特山地碳足迹和植被碳承载力动态研究[J]. 生态经济, 2016 (2) : 172-176.
- [7]臧淑英, 梁 欣, 张思冲. 基于 013 的大庆市土地利用生态风险分析[J]. 自然灾害学报, 2005 (4) : 141-145.
- [8]宋洪磊. 铜陵县土地利用碳排放效应及空间格局分析[J]. 安徽农业科学, 2015 (12) : 299-302.
- [9]肖红艳, 袁兴中, 李 波, 等. 土地利用变化碳排放效应研究——以重庆市为例[J]. 重庆师范大学学报 (自然科学版), 2012 (1) : 38-42, 115.
- [10]赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋. 区域土地利用结构的碳效应评估及低碳优化[J]. 农业工程学报, 2013 (17) : 220-229.
- [11]董祚继. 低碳概念下的国土规划[J]. 城市发展研究, 2010 (7) : 1-5.
- [12]李 正, 王 军, 白中科. 喀斯特地区土地利用变化研究——以贵州省为例[J]. 地域研究与开发, 2011 (2) : 143-148.
- [13]魏 媛, 王 阳, 姚 晨, 等. 基于 GIS 与 RS 喀斯特山地土地利用动态变化研究——以贵阳市为例[J]. 江苏农业科学, 2016 (11) : 435-439.
- [14]Guo L B, Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change: A meta-analysis[J]. Global Change Biology, 2002 (8) : 345-360.
- [15]王义祥, 翁伯琦, 黄毅斌. 土地利用和覆被变化对土壤碳库和碳循环的影响[J]. 亚热带农业研究, 2005 (3) : 44-51.
- [16]陈广生, 田汉勤. 土地利用/覆盖变化对陆地生态系统碳循环的影响[J]. 植物生态学报, 2007 (2) : 189-204.