

魏媛,李儒童.喀斯特贫困山区土地利用结构优化——以贵州省贵阳市为例[J].江苏农业科学,2017,45(15):228-233.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.060

喀斯特贫困山区土地利用结构优化 ——以贵州省贵阳市为例

魏媛¹,李儒童²

(1. 贵州财经大学管理科学学院,贵州贵阳 550025; 2. 贵州财经大学公共管理学院,贵州贵阳 550025)

摘要:为了解决城市土地利用结构不合理问题,采用计量模型对喀斯特贫困山区贵州省贵阳市土地利用动态变化、生态可持续发展状况进行定量分析和预测,运用多目标线性规划模型对其土地利用结构进行优化。结果表明,2004—2013 年贵阳市土地利用类型变化最大的是林地,呈正向变化,增加了 2.816%,其次是水域;2004—2013 年贵阳市生态足迹表现出先升后降的趋势,生态承载力表现出下降的态势,生态足迹远远高于生态承载力,表现出生态赤字现象;2020 年研究区土地利用结构总体呈现了耕地、林地、建设用地保持不变,草地、水域增加,其他用地减少的趋势,人均生态足迹为 1.080 3 hm²,比 2020 年的预测结果减少了 0.480 9 hm²;人均生态承载力为 0.480 9 hm²,与 2020 年预测结果相比增加了 0.073 7 hm²,表明达到了土地利用结构优化的目的,提高了各类用地的生态经济效益,有利于促进研究区经济绿色可持续发展。

关键词:喀斯特贫困山区;生态足迹;灰色预测;土地可持续利用;多目标线性规划;贵阳市;生态承载力;生态赤字
中图分类号: F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)15-0228-05

十八大提出优化国土空间开发格局。国土是生态文明建设的空间载体,必须珍惜每一寸国土,调整空间结构,有序扩大城市的居住空间、公共设施和绿色空间,保持农业生产空间,逐步、适度地减少农村的生活空间。生态足迹法是评价研究对象可持续发展状况的方法之一^[1-2],目前对土地利用结构优化的研究主要是从理论和方法两方面开展的,在理论方面主要有不确定理论、土地适宜性评价理论、景观生态学理论,方法上主要有线性规划法、灰色预测法等。李鑫等基于不确定理论,对土地利用结构优化进行研究^[3]。余光英等将碳平衡引入土地适宜性评价研究中,并选取多目标规划在适宜性评价的基础上对城市圈的碳排放权进行优化配置研究,得出各城市 2020 年土地利用结构优化结果^[4]。李晓丹等采用景观生态学中“斑块-廊道-基质”模式和景观指数对甘肃省土地利用结构进行研究,得出相应结论并对研究区土地利用结构进行优化^[5]。曲艺等引入生态优先的概念,用碳氧平衡法分析规划目标年区域用地生态约束,以经济效益最大化为目标,构建基于生态用地约束的土地利用数量结构优化模型,并以江苏省南通市为例进行研究,结果发现优化后可保证区域生态安全^[6]。魏媛等运用 GIS 与 RS 技术对贵阳喀斯特山地城市土地利用动态变化进行了研究^[7]。综上所述,目前国内已运用不同方法对土地利用结构优化进行研究,但对

喀斯特贫困山区城市的研究较少,贵阳市是喀斯特地貌极为显著的地区,近年来由于经济快速发展带来了城市不合理的土地利用结构。因此,本研究对喀斯特贫困山区城市土地利用结构优化进行研究,以期对喀斯特贫困山区土地优化配置以及集约高效利用提供参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

贵阳市位于我国西南区域(24°37′~29°13′N、103°36′~109°35′E),该区地貌有高原、山地、丘陵和盆地,以山地和高原为主,全省的 61.7% 是山地,30.8% 为丘陵,喀斯特地貌显著,占全省土地面积的 61.9%,2013 年贵阳市总人口 379.09 万人,土地总面积 8 034 km²,人口基数大增长快,1 m² 的土地上就有 471 人,根据贵阳市土地利用变更报告,总的土地面积(8 034 km²)中有耕地 271 941 hm²,占土地总面积的 33.8%;园地 7 452 hm²,占 0.93%;林地 273 653 hm²,占 34.06%;牧草地 26 670 hm²,占 3.32%;建设用地(含居民点及工矿用地、交通用地和水利设施)63 017 hm²,占 7.84%;未利用地 113 163 hm²,占 14.09%。

1.2 研究方法

1.2.1 生态足迹的计算 在土地面积量化的基础上,在需求层面上计算生态足迹大小,在供给层面上计算生态承载力大小,然后将二者进行比较,最后对生态赤字/盈余进行判断并对生态状况进行评价^[8],计算方法:

$$EF = \sum_{i=1}^n \frac{(P_i + I_i - E_i) \times EQ_i}{EP_i \times N} \quad (1)$$

其中:EF 为生态足迹;P_i 为资源生产量;I_i 为资源进口量;E_i 为资源出口量;i 为生物生产性土地类型;EQ_i 为均衡因子;EP_i 为全球平均生物生产力;N 为总人口。

收稿日期:2017-01-15

基金项目:贵州省科技计划(编号:黔科合基础[2016]1521-1号);国家商务部联合研究项目(编号:2016SWBZD12);贵州省高校优秀科技创新人才支持计划(编号:黔教教 KY 字[2012]091号);贵州财经大学青年教师英才计划。

作者简介:魏媛(1976—),女,贵州毕节人,博士,教授,主要从事土地资源可持续利用、生态经济研究。Tel:(0851) 88628343;E-mail:weiyuan09876@163.com。

1.2.2 生态承载力的计算

$$EC = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{N} \times EQ_i \times Y_i. \quad (2)$$

其中: EC 为人均生态承载力; A_i 为不同类型生物生产性土地面积; EQ_i 为均衡因子; Y_i 为调整系数。

1.2.3 生态盈余或生态赤字

$$ED \text{ 或 } ER = EC - EF. \quad (3)$$

式中: ED 或 ER 为生态盈余或生态赤字, 当生态承载力大于生态足迹则为盈余, 反之则为赤字。

1.2.4 生态压力指数 生态压力指数即某一国家或地区可更新资源的人均生态足迹与生态承载力的比值, 代表该区域生态环境的承载压力, 计算公式如下:

$$T = EF/EC. \quad (4)$$

式中: T 为生态压力指数。

1.2.5 土地利用动态度的计算 土地利用变化量是对不同时期土地利用类型的总量进行统计并分析, 得出土地利用变化趋势, 同时可以表现出该时期由于人为因素造成的土地变化程度。计算公式如下:

$$C_a = \frac{A_e - A_0}{A_0} \times \frac{1}{T} \times 100\%. \quad (5)$$

式中: C_a 为某一土地类型的年变化率; A_e 和 A_0 分别为研究初期和研究末期某一类型土地的总面积; T 为研究时段。

1.2.6 灰色预测模型 设 $x^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)]$ 为原始数列, 其一次累加生成数列为 $x^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)]$, 其中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n$ 。

定义 $x^{(1)}$ 的灰倒数:

$$d(k) = x^{(0)}(k) = x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1);$$

令 $z^{(1)}$ 为数列 $x^{(1)}$ 的邻值生成数列, 即

$$z^{(1)}(k) = ax^{(1)}(k) + (1+a)x^{(1)}(k-1);$$

于是定义 GM(1, 1) 的灰微分方程模型:

$$d(k) + az^{(1)}(k) = b.$$

1.2.7 线性规划模型 把影响土地利用系统的有关因素用一定的参量表示出来, 区分可控量(数值有待确定)和不可控量(数值已定)。把可控量当作未知变量, 按问题给定的相互关系列出数学方程式或不等式或其他数学表达式, 这就是土地利用系统的规划模型。土地利用规划系统的数学模型有很多种类, 但有其共同点, 即由目标函数和约束条件两部分组成, 规划意味着寻求在给定的约束条件下达到最佳目标的途径。用待定变量函数表示土地利用规划系统的功能目标(即效益目标)称为目标函数。设 x_1, x_2, x_n 为待定变量(系统的土地利用类型), 目标函数可表示为

$$F = F(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

目标函数反映系统的功能目标与结构、特性之间相互依存、相互制约的关系, 其极大值或极小值代表系统功能的最优值。结构优化存在的人力、物力、财力、时间和生态、经济、社会、技术以及土地现状、潜力、需求等多方面不可避免的限制, 数量上表现为对待定变量作如下形式的约束条件:

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq (=, \geq) b_1;$$

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq (=, \geq) b_2;$$

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq (=, \geq) b_3.$$

式中: $x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$, 构成系统土地利用结构的类型, 应取非负值, 称为非负性条件。3 式一起构成土地利用规划系统的结构优化模型。其中, 非负性条件也作为约束条件的一部分。若用向量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 、 $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 分别表示待定变量和约束条件, 则土地利用规划系统的数学模型为

目标函数 $\max(\min) F(X)$,

约束条件 $g \leq (=, \geq) B$,

非负条件 $X \geq 0$ 。

根据实际情况建立模型, 编制计算机程序或运用相应软件进行调试计算。

1.3 数据来源

用于生态足迹计算的数据来源于 2005—2014 年《贵阳市统计年鉴》, 为统一数据口径农产品均采用产量代替消费量, 全球平均产量来自联合国粮农组织 (FAO) 统计数据库, 贵阳市各类土地利用面积参考各年贵阳市土地利用变更调查的数据。生态足迹方法中均衡因子和产量因子的取值见表 1^[8]。

表 1 土地用途说明及产量因子均衡因子取值

土地类型	主要用途	均衡因子	产量因子
耕地	提供农产品	2.82	1.66
林地	提供林产品和木材	1.14	0.91
草地	提供畜产品	0.54	0.19
建设用地	人类居住和道路用地	2.82	1.66
化石燃料用地	吸收 CO ₂	1.14	0.00
水域	提供水产品	0.22	1.00

2 结果与分析

2.1 贵阳市土地利用动态度分析

土地利用动态度有 2 种表现形式, 包括特定种类单一的土地利用类型动态度和综合的土地利用动态度, 前者是从局部进行研究, 后者是从整体进行研究。而单一土地利用类型动态度描述的是某特定区域内、在某时间段内, 某土地利用类型的面积变化。从表 2 可以看出, 9 年间土地利用类型变化最大的是林地, 呈正向变化, 增加了 2.82%; 其次是水域, 也呈正向变化, 增加 1.89%。从以上分析可以看出, 2004—2013 年 9 年间各种类型土地面积一直处在变化过程中, 同一时期不同类型土地动态度不同甚至方向相反。影响动态度变化的因数是多方面的, 建设用地动态度最大年均增加 1.81%, 说明研究区大量耕地、草地转化为了建设用地, 经济发展还是建立在资源损耗基础上, 再就是林地年均增加 2.82%, 说明发展经济、改善民生仍是这一时期的工作重点。

表 2 贵阳市 2004—2013 年土地利用动态度

土地利用类型	面积 (hm ²)		2004—2013 年土地利用动态度 (%)
	2004 年	2013 年	
耕地	275 629.21	267 047.71	-0.35
林地	280 136.57	351 124.05	2.82
草地	26 998.92	24 300.00	-1.11
水域	15 864.50	18 568.91	1.89
建设用地	57 895.61	67 334.49	1.81

2.2 贵阳市生态足迹动态变化分析

根据国际通行标准, 贵阳市生态足迹由三大账户组成, 分

别是生物资源账户、能源消耗账户和贸易调整账户,本研究不做贸易调整账户,仅从生物资源账户和能源消耗账户计算贵阳市 2004—2013 年生态足迹。

2.2.1 生物生态足迹 贵阳市的生物资料消费包括农产品、动物产品、林产品和水产品等 26 项,根据联合国粮农组织 1993 年有关生物资源的世界平均产量资料^[9]将贵州省近 10 年的消费转化为提供这类消费需要的生物生产面积,计算结

果见表 3。表 3 表明,2004—2013 年人均生物生态足迹表现出波动下降趋势,从 2004 年的 1.023 3 hm²/人波动下降到 2014 年的 0.917 7 hm²/人,揭示节约高效利用资源取得了一定的成效。各类土地人均生物生态足迹的顺序为草地>耕地>水域>林地,表明在贵州省经济发展过程中,随着人们生活水平的提高,肉类、禽蛋类的消耗占比增大。

表 3 贵阳市 2004—2013 年人均生物生态足迹、能源生态足迹及总生态足迹

年份	人均生物生态足迹				人均能源生态足迹		人均总生态足迹
	耕地	草地	水域	林地	化石能源地	建筑用地	
2004	0.228 9	0.774 2	0.018 2	0.002 0	1.079 6	0.010 1	2.113 0
2005	0.263 6	0.838 1	0.020 5	0.002 2	1.182 9	0.010 9	2.318 2
2006	0.221 6	0.571 2	0.012 2	0.002 5	1.171 4	0.013 2	1.992 1
2007	0.233 7	0.516 3	0.014 0	0.002 6	1.105 3	0.012 9	1.884 8
2008	0.247 8	0.555 7	0.014 8	0.002 6	1.039 9	0.002 8	1.863 6
2009	0.259 5	0.606 9	0.017 3	0.002 6	1.030 9	0.012 8	1.930 0
2010	0.236 0	0.629 9	0.016 1	0.003 1	0.969 2	0.014 0	1.868 3
2011	0.200 9	0.619 7	0.016 6	0.003 3	0.969 2	0.014 0	1.823 7
2012	0.226 5	0.646 1	0.016 7	0.003 8	0.892 3	0.015 9	1.801 3
2013	0.226 1	0.670 6	0.016 9	0.004 1	1.031 5	0.015 5	1.964 7

2.2.2 能源生态足迹 贵阳市能源足迹计算选择了煤炭、焦炭、燃料油、汽油、煤油、菜油、电力,计算时将能源消费转化为化石燃料生产土地面积,数据参考前文献数据以世界上单位化石燃料生产土地面积平均发热量^[10]为标准。能源生态足迹的计算结果见表 3。从表 3 可以看出,2004—2013 年人均能源生态足迹表现出波动下降的趋势,但下降幅度小。2004 年为 1.090 hm²/人,2005 年达到最高,随后逐年下降,在 2013 年为 1.047 hm²/人,说明研究区在经济发展过程中注重能源的节约高效利用,低碳经济发展取得了一定的成效,但还有很大的提升空间。

2.3 贵阳市生态承载力动态变化

通过测度和比较人类社会发展的物质需求与自然生态系统所能提供的生态承载力之间的亏状况有助于对贵阳市资源与环境可持续发展能力进行有效评估。表 4 表明,2004—2013 年贵州省人均生态承载力及其构成总体上均呈稳中略降的趋势,在人均生态承载力中,耕地的人均生态承载力最高,占 68.10%,其次为林地,约占 16.2%,其他草地和水域仅共占 0.33%左右,耕地和林地是生态承载力的主要构成部分,表明耕地和林地在生态平衡中的起着重要作用。这种现象与贵阳土地利用中耕地和林所占比有关。

表 4 贵阳市 2004—2013 年人均生态承载力及可利用人均生态承载力

年份	人均生态承载力					均衡面积	生物多样性面积	可利用人均生态承载力
	耕地	草地	水域	林地	建筑用地			
2004	0.367 8	0.000 8	0.000 9	0.082 8	0.077 2	0.529 5	0.063 5	0.466 0
2005	0.364 4	0.000 5	0.000 9	0.082 7	0.077 6	0.526 1	0.063 1	0.463 0
2006	0.361 9	0.000 8	0.000 9	0.082 3	0.078 8	0.524 7	0.063 0	0.461 7
2007	0.355 4	0.000 8	0.000 9	0.081 1	0.079 3	0.517 5	0.062 1	0.455 4
2008	0.349 8	0.001 6	0.000 8	0.082 2	0.081 1	0.515 5	0.061 8	0.453 7
2009	0.349 2	0.000 7	0.000 9	0.096 4	0.086 9	0.534 1	0.064 2	0.469 9
2010	0.340 7	0.000 7	0.000 9	0.076 1	0.090 2	0.508 6	0.061 0	0.447 6
2011	0.340 7	0.000 7	0.000 9	0.076 1	0.090 2	0.508 6	0.061 0	0.447 6
2012	0.337 0	0.000 7	0.000 8	0.075 8	0.045 0	0.459 3	0.055 1	0.404 2
2013	0.329 8	0.000 7	0.001 0	0.096 1	0.083 1	0.510 7	0.061 3	0.449 4

2.4 生态可持续性分析

根据表 3 和表 4 中的结果计算出 2004—2013 年研究区人均生态盈余或生态赤字及生态压力指数,结果见表 5。

从表 5 可以看出,2004—2013 年贵阳市耕地、林业、建设用地为人均生态盈余,草地、水域及化石能源用地为人均生态赤字,总体上表现出生态赤字的现象,人均总生态赤字表现出波动下降的趋势,在 2005 年最高,随后总体上呈现出波动下降的态势,从 2005 的 1.792 1 hm²/人下降到 2013 年的 1.454 0 hm²/人,下降幅度为 18.87%,研究明研究区经济发

展过程中资源能源的开发利用及排放的废弃物超过了生态环境的承载力,生态环境处于不可持续的状态,但这种情况通过科技水平的提高在逐步缓解;生态压力指数也在 2005 年达到最高,随后表现出波动下降的趋势,由 2005 的 5.006 9 下降到 2013 年的 4.371 8,下降幅度为 12.68%,表明研究区的生态压力得到一定的缓解,可持续发展能力在缓慢增强,但这与绿色低碳发展的目标还有很大的差距。因此,贵阳市应进一步优化土地利用结构、提高土地利用效率、节约高效利用资源能源、减少碳源、增加碳汇,促进土地资源可持续利用。

表5 贵阳市 2004—2013 年各类型土地人均生态赤字或生态盈余及生态压力指数变化

年份	人均生态赤字或生态盈余 (hm ² /人)							生态压力指数
	耕地	草地	水域	林地	化石能源用地	建筑用地	总和	
2004	0.138 9	-0.773 4	-0.017 3	0.080 8	-1.079 6	0.067 1	-1.583 5	4.534 3
2005	0.100 8	-0.837 6	-0.019 6	0.080 5	-1.182 9	0.066 7	-1.792 1	5.006 9
2006	0.140 3	-0.570 4	-0.011 3	0.079 8	-1.171 4	0.065 6	-1.467 4	4.314 7
2007	0.121 7	-0.515 5	-0.013 1	0.078 5	-1.105 3	0.066 4	-1.367 3	4.138 8
2008	0.102 0	-0.554 1	-0.014 0	0.079 6	-1.039 9	0.078 3	-1.348 1	4.107 6
2009	0.089 7	-0.606 2	-0.016 4	0.093 8	-1.030 9	0.074 1	-1.395 9	4.107 3
2010	0.104 7	-0.629 2	-0.015 2	0.073 0	-0.969 2	0.076 2	-1.359 7	4.174 0
2011	0.139 8	-0.619 0	-0.015 7	0.072 8	-0.969 2	0.076 2	-1.315 1	4.074 4
2012	0.110 5	-0.645 4	-0.015 9	0.072 0	-0.892 3	0.029 1	-1.342 0	4.456 5
2013	0.103 7	-0.669 9	-0.015 9	0.092 0	-1.031 5	0.067 6	-1.454 0	4.371 8

3 贵阳市生态足迹与生态承载力预测

3.1 人口预测

采用一元线性回归模型,以 2004 为基准年,2020 年为目标年,对 2014—2020 年人口进行预测并建立回归模型:

$y = -6\,367.459 + 3.352x_0$ 。

模型拟合结果与样本实际值误差较小,拟合优度 $R^2 = 0.969$,说明模型具有统计学意义,所以采用此模型对贵阳市人口进行预测,预测结果见图 1。

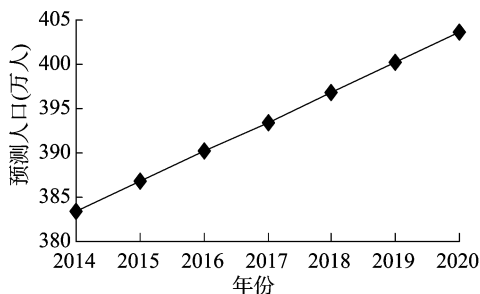


图1 贵阳市 2014—2020 年预测人口

从图 1 预测结果可以看出,2014—2020 贵阳市将表现出不断上升的态势,2020 年全市人口将会达到 403.545 万人。

3.2 生态足迹预测

通过灰色系统分析方法预测贵阳市生态足迹发展趋势和状态。通过建立灰色模型 GM(1,1),得到贵阳市生态足迹和生态承载力预测公式如下:

生态足迹为 $x(k+1) = -51.425\,993e^{(-0.091\,2k)} + 51.891\,993$;

生态承载力为 $x(k+1) = -108.982\,924e^{(-0.193\,28k)} + 111.096\,024$ 。

其中: $k=1,2,3,\cdots,n$ 。表 6 为模拟值与实际值对比结果。表 6 表明,实际值与模拟值拟合效果较好,因此,可利用生态足迹与生态承载力公式对贵阳市 2014—2020 年生态足迹及生态承载力进行预测,结果见表 7。

表 7 表明,2014—2020 年贵阳市人均生态足迹、生态承载力及生态赤字均表现出逐年下降的趋势,分别下降了 10.95%、5.32%、12.77%,表明贵阳市在土地开发利用过程中仍然处于不可持续的状况,人均生态足迹下降幅度生态承载力 2.06 倍,揭示研究区在经济发展的同时资源环境保护取得了一定的成效,但效果不是很明显,因此研究区在未来的发

表6 贵阳市 2004—2013 生态足迹与生态承载力模拟值

年份	与实际值对比			hm ² /人		
	生态承载力			生态足迹		
	实际值	模拟值	残差	实际值	模拟值	残差
2005	0.463 0	0.466 9	0.003 9	2.318 2	2.386 2	0.068 0
2006	0.461 7	0.462 6	0.000 9	1.992 1	2.046 3	0.054 2
2007	0.455 4	0.458 4	0.003 0	1.884 8	2.007 1	0.122 3
2008	0.453 7	0.454 3	0.000 6	1.863 6	1.968 7	0.105 1
2009	0.469 9	0.450 2	-0.019 7	1.930 0	1.931 0	0.001 0
2010	0.447 6	0.446 1	-0.001 5	1.868 3	1.894 0	0.025 7
2011	0.447 6	0.442 0	-0.005 6	1.823 7	1.857 8	0.034 1
2012	0.404 2	0.438 0	0.033 8	1.801 3	1.822 2	0.020 9
2013	0.449 4	0.434 0	-0.015 4	1.964 7	1.787 3	-0.177 4

表7 贵阳市 2014—2020 年生态足迹、生态承载力

年份	与生态赤字预测			hm ² /人
	预测生态足迹	预测生态承载力	生态赤字	
2014	1.753 1	0.430 1	-1.323 0	
2015	1.719 6	0.426 2	-1.293 4	
2016	1.686 6	0.422 3	-1.264 3	
2017	1.654 4	0.418 5	-1.235 9	
2018	1.622 7	0.414 7	-1.208 0	
2019	1.591 6	0.410 9	-1.180 7	
2020	1.561 2	0.407 2	-1.154 0	

展中须要对土地利用结构进行优化调整。

4 贵阳市土地利用结构优化

4.1 模型构建

该研究所采用的线性规划为多目标线性规划,为了保证贵阳市土地资源利用的可持续性,模型在把追求经济效益最大化作为决策目标的前提下,同时将社会效益和生态效益作为约束条件。土地利用变量设置说明见表 8。

表8 贵阳市土地利用变量设置说明

变量	地类	2013 年面积(hm ²)
x_1	耕地	267 047.71
x_2	林地	351 124.05
x_3	草地	24 300.00
x_4	水域	18 568.91
x_5	建设用地	67 334.49
x_6	其他用地	75 024.85

4.1.1 以生态赤字最小为目标 根据生态足迹计算模型,构建生态赤字的目标函数:

$$\min(ED) = \min(EF - EC)。$$

式中:ED 为生态赤字,EF、EC 分别为生态足迹、生态承载力,根据生态足迹计算模型得到生态承载力计算公式:EC = 2.82 × 1.66x₁ + 1.14 × 0.91x₂ + 0.54 × 0.19x₃ + 0.22x₄ + 2.82 × 1.66x₅;由此得到生态足迹目标函数:min(ED) = 6 299 987.16 - 4.681 2x₁ + 1.037 4x₂ + 0.102 6x₃ + 0.22x₄ + 4.681 2x₅。

4.1.2 以经济效益最大为目标

$$B(x) = \sum_{i=1}^7 K_i W_i x_i,$$

其中:K_i 为各类用地效益系数;W_i 为各类用地相应权重;x_i 各

类用地面积。

首先,运用 AHP 层次分析法确定各类用地的响应权重集:W = (0.004 2,0.000 9,0.743 8,0.008 8,0.234 1,1)。其次,通过耕地效益确定权益系数:K:V_{x₁} = W_{x₁} × K_{x₁} = 1.245 5 万元/hm²,由此得到 K 值,并据此求得其他各地类的 K 值,然后乘以相应的权重值,从而求得相应用地类型单位面积上的产出效益:K × W = (2.431 8,0.540 7,305.839 7,9.665 3,107.857 8,0)。由此得到的经济效益目标函数为 B(x) = 2.431 8 × x₁ + 0.540 7 × x₂ + 305.839 7 × x₃ + 9.665 3 × x₄ + 107.857 8 × x₅。

4.2 构建约束条件

根据上述研究结果构建土地利用结构优化约束条件,结果见表 9。

表 9 贵阳市土地利用结构优化约束因素

约束因素	表达式
人口约束	按照规划期 2020 年的人口上限,并根据农用地以及城镇人口密度,得出人口的土地承载约束力为 3.03 × (x ₁ + x ₂ + x ₃) + 418 × 0.070 2 × x ₅ ≤ 4 035 450 hm ²
土地供给约束	土地总面积约束:x ₁ + x ₂ + x ₃ + x ₄ + x ₅ + x ₆ = 803 400 hm ² ,用地面积之和等于全市总面积
	基于耕地面积和基本农田保护面积不能减少的规划原则:x ₁ ≥ 267 047.71 hm ²
	总农业用地不能减少:x ₁ + x ₂ + x ₃ ≥ 642 471.75 hm ²
生态约束	贵阳市总体规划中到 2020 年安排新增水利设施用地 2 991 hm ² :x ₄ ≤ 21 559.91 hm ² ,x ₆ ≤ 75 024.85 hm ²
	建设用地约束:67 334.49 ≤ x ₅ ≤ 84 600 hm ²
	x ₂ ≥ 351 124.05 hm ² ,x ₃ ≥ 24 300 hm ²
非负约束	x _i ≥ 0 (i = 1, 2, …, 6)

对多目标线性规划求解大致分为直接法和间接法,间接算法是指将多目标问题在某种意义下转化成单目标问题进行求解;直接算法是对多目标规划本身直接求解或寻求多目标优化问题整个(或部分)有效解集的算法,多目标线性规划的直接算法主要有单纯形法、目标规划法和模糊规划法等。这些方法的实现有一定困难,因此本研究采用间接算法对土地利用结构进行优化,优化结果图 2。

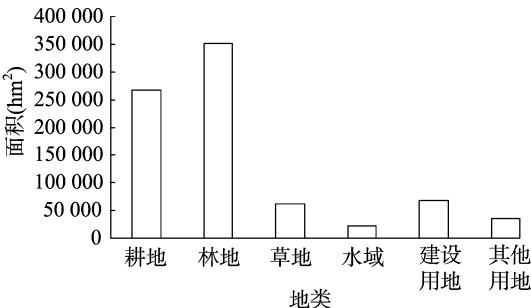


图2 贵阳市2020年土地利用结构优化结果

从图 2 可以看出,2020 年研究区土地利用结构优化大致呈现了耕地、林地、建设用地保持不变,草地、水域增加,其他用地减少的趋势,同时根据 2020 年优化结果对贵阳市 2020 年生态足迹进行重新计算,得出的人均生态足迹为 1.080 3 hm²/人,较之于 2020 年的预测结果减少了 0.480 9 hm²/人;同时对生态承载力进行重新计算得出的结果为 0.480 9 hm²/人,较之于 2020 年预测结果增加了 0.073 7 hm²/人,达到了土地利用结构优化的目的。

5 结论与讨论

5.1 结论

从贵阳市土地利用动态度中可以看出 10 年间土地利用类型变化最大的是林地,呈正向变化,增加了 2.816%,其次是水域,也呈正向变化,增加了 1.894%。从以上分析可以看出,2004—2013 年 10 年间各种类型土地面积一直处在变化过程中,同一时期不同类型土地动态度不同甚至方向相反。影响动态度变化的因素是多方面的,建设用地动态度最大年均增加 1.811%,说明在土地挖潜方面做了大量工作,大量耕地、草地转化为建设用地,经济发展还是建立在资源损耗基础上,再就是林地年均增加 2.816%,说明发展经济、改善民生仍是这一时期的工作重点。

贵阳市 2004—2013 年可持续发展评价分析结果表明,贵阳市人均生态足迹表现出波动下降趋势,从 2004 年的 2.113 0 hm²/人波动下降到 2014 年的 1.964 7 hm²/人,人均生态承载力也表现出波动下降的态势,生态足迹远远高于生态承载力,经济发展处于不可持续的状态。研究区在城镇化进程中,工业发展对生态造成了很大压力,经济发展消耗了大量的化石能源,生态经济系统的发展远远超出其本身拥有的潜力,最终导致生态环境污染等一系列问题;人均生态足迹、生态承载力、生态赤字预测结果表明,2014—2020 年贵阳市人均生态足迹、生态承载力、生态赤字分别下降了 10.95%、5.32%、12.77%,可以看出贵阳市土地利用结构不合理,因为贵阳市是典型的喀斯特山区,特殊的地形地貌导致当地土地利用结构存在一定问题,目前贵阳市土地利用效率很低,处于不可持续发展态势,急需对土地利用结构进行优化。

土地利用结构优化结果表明,2020 年研究区土地利用结构总体呈现了耕地、林地、建设用地保持不变,草地、水域增加,其他用地减少的趋势,人均生态足迹为 1.080 3 hm²/人,比 2020 年的预测结果减少了 0.480 9 hm²/人;人均生态承载

冯万忠,马振朝,张丽娟,等. 河北平原冬小麦/夏玉米高产田土壤肥力质量最小数据集构建及其评价[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):233-238. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.061

河北平原冬小麦/夏玉米高产田土壤肥力质量最小数据集构建及其评价

冯万忠^{1,2}, 马振朝², 张丽娟², 马峙英², 吉艳芝²

(1. 中国地质大学长城学院,河北保定 071000; 2. 河北农业大学资源与环境科学学院,河北保定 071000)

摘要:基于河北平原区冬小麦/夏玉米 11 县高产田的 396 个土壤样点数据,利用主成分分析及相关关系法确定了该区域土壤肥力质量评价的最小数据集,并采用模糊数学隶属度函数法对该区域土壤肥力质量进行评价。结果表明,河北平原区小麦/玉米高产田土壤肥力质量评价的最小数据集(MDS)由 pH 值、土壤容重、有机质含量、速效磷含量、磷酸酶活性、阳离子交换量(CEC)、微生物量碳、微生物量氮等 8 项指标组成;微生物量氮和土壤阳离子交换量的隶属度均值较低,是该地区主要的限制性因子,有机质含量次之,土壤容重的隶属度值最高;曲周、吴桥的土壤肥力综合质量指数(IFI)处于Ⅲ级的中等水平,其他 9 县均为Ⅱ级的良水平。综合分析可知,河北平原小麦/玉米高产田土壤肥力有待于进一步提高。

关键词:最小数据集;隶属度;土壤肥力质量评价;土壤指标权重;冬小麦/夏玉米;河北平原;高产粮田;评价分级
中图分类号: S158 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)15-0233-06

土壤肥力作为土壤质量的重要组成部分,体现了土壤的本质特征。土壤肥力的高低直接影响作物生长与农业生产的结构、布局和效益等方面^[1]。因此,只有对土壤肥力质量进

行准确的评价,才能客观地了解不同土壤管理措施对土壤肥力的影响,才能为土壤的可持续利用提供理论依据。

河北省历来是我国重要的粮食产区,粮食总产量由 1990 年的 12 166.8 万 t 增加到 2012 年的 12 683.23 万 t,产量也由 8 011.8 kg/hm² 上升到 11 086.05 kg/hm²^[2],土壤肥力对小麦产量的贡献率(PSFC)为 44.3%,对玉米的贡献率为 47.3%^[3]。土壤肥力质量成为培育高产粮田的主攻目标,其评价工作成为培育高产粮田的必不可少的一部分。正确地选择参评指标,是科学地揭示土壤肥力的前提,会直接影响土壤肥力综合评价的准确程度^[4]。由于土壤利用方式的多变性、

收稿日期:2016-12-19

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划粮食丰产科技工程河北省项目区(编号:2013BAD07B05、2012BAD04B06、2011BAD16B08)。

作者简介:冯万忠(1975—),男,河北昌黎人,硕士,主要从事土地资源有效利用研究。E-mail:837236545@qq.com。

通信作者:吉艳芝,博士,副教授,主要从事土壤环境质量研究。Tel:(0312)7528229;E-mail:jyazhi@hebau.edu.cn。

力为 0.480 9 hm²/人,与 2020 年预测结果相比增加了 0.073 7 hm²/人,表明达到了土地利用结构优化的目的。经过优化调整后,提高各类用地的生态经济效益,有利于促进研究区经济社会绿色可持续发展的实现。

5.2 讨论

本研究采用计量模型对喀斯特贫困山区贵阳市土地利用动态变化、生态可持续发展状况进行定量分析和预测,运用多目标线性规划模型对其土地利用结构进行优化,优化调整结果基本上可达到经济效益、社会效益和生态效益的有机统一。但本试验还存在有待于深入研究之处,对于生态足迹的计算,虽然参照了前人较为有权威性的研究,不同地区生态状况不同,其影响因子的界定也应当适合于该地区的情况,本研究在影响因子的确定方面由于受数据可获得性等诸多原因限制,仍然参照学者们的研究结果。因此,根据研究区实际对影响因子进行调整有待于进一步研究。

参考文献:

[1] 周涛,王云鹏,龚健周,等. 生态足迹的模型修正与方法改进[J]. 生态学报,2015,35(14):4592-4603.

[2] 魏媛,吴长勇. 基于生态足迹模型的贵州省生态可持续性动态分析[J]. 生态环境学报,2011,20(1):102-108.

[3] 李鑫,欧名豪,刘建生,等. 基于不确定性理论的区域土地利用结构优化[J]. 农业工程学报,2014,30(4):176-184.

[4] 余光英,员开奇. 基于碳平衡适宜性评价的城市圈土地利用结构优化[J]. 水土保持研究,2014,21(5):179-184,192.

[5] 李晓丹,刘学录. 土地利用结构的景观生态学分析——以甘肃省为例[J]. 中国沙漠,2009,29(4):723-727.

[6] 曲艺,舒帮荣,欧名豪,等. 基于生态用地约束的土地利用数量结构优化[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(1):157-163.

[7] 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,2016,44(11):435-439.

[8] 杨屹,加涛. 21 世纪以来陕西生态足迹和承载力变化[J]. 生态学报,2015,35(24):7987-7997.

[9] 刘红娇,常胜. 基于生态足迹的土地利用可持续性评价[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版),2008,26(2):237-240.

[10] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics,1999,29(3):375-390.