

基于生态足迹理论的 黄河流域可持续发展研究

刘家旗 茹少峰

摘 要：基于生态足迹理论，采用人均生态赤字、万元 GDP 生态足迹、生态足迹多样性指数和生态可持续指数对黄河流域 2010—2017 年可持续发展状态进行评价，结果表明：黄河流域处于强不可持续发展状态，其原因是黄河流域人均生态赤字逐年加大，生态资源利用效率提高不显著，生态足迹需求不均衡。依据黄河流域生态保护和高质量发展政策导向并结合 GM(1,1)模型，预测了 2020—2025 年四种政策情景下黄河流域的可持续发展状态。结果表明：如果不采取政策措施，黄河流域不可持续状态将进一步恶化。未来黄河流域要坚持生态优先，推行绿色发展模式，这样才能实现生态环境保护与经济的双赢。

关键词：黄河流域高质量发展；生态足迹理论；可持续发展

黄河流域在我国经济社会发展中占据重要地位。然而，目前黄河流域生态环境脆弱，不同区域间的自然资源禀赋差异较大，这对经济社会可持续发展构成了严峻挑战。2019 年 9 月，习近平总书记在郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会并发表重要讲话，强调黄河流域的发展方式必须体现生态保护和经济发展相统一的理念。黄河流域必须摆脱对传统发展方式的路径依赖，以可持续发展为突破口，真正实现发展质量的全面提升。

一、相关文献综述

对黄河流域可持续发展的定性研究主要涉及两方面：一是绿色发展问题。绿色发展是可持续发展的新时代延续。金凤君从黄河流域生态

环境脆弱、水资源短缺、发展与保护矛盾突出等方面剖析了黄河流域生态保护中面临的问题，认为黄河流域未来发展应选择绿色发展模式^[1]。姜长云等也从生态承载、资源约束、产业结构等方面分析了黄河流域绿色发展存在的问题，认为推进黄河流域绿色发展对于提升黄河流域在我国经济社会发展、生态安全 and 文化传承中的战略地位具有重要作用^[2]。二是高质量发展问题。人口、社会、经济与资源环境相协调的发展是经济高质量发展的一个重要指标，有部分学者把可持续发展纳入高质量发展中进行研究。任保平、张倩认为，黄河流域高质量发展要以生态保护为前提，实现流域当前利益和长远利益相结合^[3]；陈晓东、金磊同样强调了生态保护是黄河流域高质量发展的首要问题，是实现经济社会繁荣的根

基金项目：教育部人文社科重点研究基地——西北大学中国西部经济发展研究院研究项目“黄河流域生态承载力评价研究”(XBJY19016)。

作者简介：刘家旗，西北大学经济管理学院博士研究生；茹少峰，西北大学中国西部经济发展研究院研究员，西北大学经济管理学院教授、博士生导师。

本保证^[4]。

从现有文献来看,更多的研究是对黄河流域可持续发展水平进行定量评价。评价方法主要有两种:一是指标体系法,即通过建立综合指标体系,对其进行评价以描述流域可持续发展水平。雷仲敏从压力与状态、响应与动员能力两个方面构建了黄河流域可持续发展评价指标体系,采用等权平均法对 2005 年黄河流域可持续发展水平进行了评价^[5]。二是生态足迹法,依据 1992 年加拿大经济学家 William Rees 提出的生态足迹理论^[6],通过对比生态足迹和生态承载力的大小来评估可持续发展状态。生态足迹法相较于指标体系法的优势在于有理论支撑,考虑到了生态环境在可持续发展中的重要性。一些学者采用生态足迹法对黄河流域部分省区的可持续发展状态进行了评价。如王晓鹏、丁生喜对青海省 2000—2008 年的生态足迹、生态承载力进行了计算,研究结果表明青海省的生态足迹逐年上升,生态资源的消耗严重超过了生态资源的再生能力,生态可持续发展面临巨大压力^[7];梁春玲对黄河三角洲 1994—2008 年的生态足迹和生态承载力进行对比分析,结果表明黄河三角洲对生态资源的需求超出了生态承载的最大限度,处于不可持续状态^[8]。生态足迹理论只衡量了生态的可持续程度,而没有考虑经济、社会等方面的可持续性,作为可持续发展的评价指标是不够全面的。为此,韩文文等在测算生态足迹和生态承载力的基础上,采用万元 GDP 生态足迹、生态足迹多样性指数和发展能力指数对宁夏 2000—2013 年的可持续发展状态进行了评价^[9];田杰、姚顺波利用生态压力指数、万元 GDP 生态足迹、生态足迹多样性指数和生态系统发展能力四个指标对陕西省 2001—2010 年的可持续发展水平进行了评价^[10]。

黄河流域未来可持续发展水平是我们关注的重点问题。已有研究中,王兆华等、姜绵峰和叶春明等采用 ARIMA 模型对地区可持续发展水

平进行了定量预测^[11-12]。该方法根据变量的长期历史发展规律预测将来,仅适用于波动不大的短期预测。向秀容等、李健和张吉辉等则采用一元线性回归进行预测分析,该方法依据变量间的相关关系进行拟合和预测,适用于有明显线性变化趋势的中短期预测^[13-14]。以上两种方法都必须依赖多期样本数据,为了规避这一缺点,郭荣中等、广佳选择灰色 GM(1,1)模型对可持续发展水平进行预测分析^[15-16]。该方法对不确定因素的复杂系统预测精度较高,且所需样本量少。

总体来看,围绕黄河流域可持续发展的研究成果较为丰富,但也存在不足之处。一方面,上述以生态足迹法评价黄河流域可持续发展的研究都是针对黄河流域的部分省区,缺乏从全局视角评价黄河流域整体可持续发展水平的研究成果;另一方面,现有预测研究采用的方法都是建立在“过去的决定因素保持不变且持续影响未来”的假设基础上,如果预测期受到外部影响,预测模型的解释力度就会下降。黄河流域生态保护和高质量发展战略提出后,相关政策规划将相继出台。此时如果仍按照过去的发展趋势进行预测,而不考虑政策实施的作用,显然是不合理的。因此,本文从以下两个方面对现有研究进行拓展:第一,依据生态足迹理论,对 2010—2017 年黄河流域整体及流域各省区的可持续发展状态进行评价;第二,依据当前黄河流域生态保护和高质量发展相关政策,设定不同政策情景并结合灰色预测方法,对 2020—2025 年黄河流域可持续发展水平进行预测。

二、黄河流域可持续发展的内涵及其要求

流域可持续发展既有可持续发展的一般性,又有其特殊性。流域是以自然河流为基础,以水资源综合开发利用为核心的跨区域经济系统。因此,流域可持续发展更强调人口、社会、经济发展与生态资源,尤其是水资源的承载能力相协调。黄河流域可持续发展属于典型的大流域可持续

发展问题。具体来看,黄河流域可持续发展的内涵及其要求如下:

第一,生态优先发展。黄河流域人口、社会和经济发展与生态资源供给不匹配、不协调,导致黄河流域生态资源供给短缺,特别是水资源短缺严重。黄河流域的资源环境容量有限。黄河流域废污水排放量占全国的6%,化学需氧量排放占全国的7%。污染加剧使黄河水体稀释与降解能力愈发薄弱,特别是汾河支流,劣V类断面比例高达61.5%。因此,黄河流域可持续发展应优先进行生态建设和环境保护。

第二,经济绿色发展。黄河流域不仅是我国重要的生态屏障,而且是我国关键的经济地带。2019年,黄河流域GDP达24.7万亿元,占全国的25.1%。然而,这些产出的取得是以过度利用土地资源和环境资源为代价的,这种发展模式不仅不可持续,而且会带来诸多问题。为了经济增长过度牺牲资源环境或为了保护生态环境而放弃经济发展的做法,都是不可取的。黄河流域在发展中应走绿色经济发展模式,实现“生态保护”和“经济发展”共同推进。

第三,高质量发展。黄河流域可持续发展不仅强调生态资源的当代作用,而且要考虑对后代人需要的满足。可持续发展的最终目的是增进人民群众的生活福祉。黄河流域横跨我国的东中西部,流域内经济发展水平差距悬殊。同时,黄河流域贫困人口集中,全国14个集中连片特困地区有5个涉及黄河流域。因此,黄河流域可持续发展更要在生态优先发展和绿色经济发展中坚持以人为本,解决区域协调发展和贫困等问题,满足黄河流域当代和后代人民群众日益增长的美好生活需要,使黄河真正成为造福人民的幸福河。

三、黄河流域可持续发展评价指标的选取及数据来源

(一)评价指标的选取

生态足迹理论认为,经济社会发展是由生态

足迹和生态承载力的大小关系决定的。其中,生态足迹是指生产人们消费的资源 and 吸纳人们产生的废物所需要的生物生产土地总面积,反映了人们对生态资源的需求;生态承载力是指区域能提供的各类生物生产性土地总面积,反映了区域的生态资源总供给。当生态足迹小于生态承载力时,就出现了生态赤字;反之,则为生态盈余。生态赤字说明该地区生态资源供给难以维持该地区人们的需求,发展是不可持续的。生态足迹理论只衡量了生态资源的供给和需求信息,而没有考虑人口数量、GDP产出和生态资源的需求结构等因素。因此,本文在生态足迹理论的基础上,选取人均生态赤字指标来衡量人均生态资源的供需,用万元GDP生态足迹指标来衡量生态资源的利用效率,用生态足迹多样性指数来衡量生态资源利用的均衡程度,用生态可持续指数来衡量生态资源利用的可持续性。指标具体说明如下:

1. 人均生态赤字

人均生态赤字反映了一个国家或地区的人们对生态资源需求和土地生态资源供给能力的大小关系。当出现生态赤字时,说明该地区生态资源供给难以维持需求,发展是不可持续的。其计算公式为: $ed=ec-ef$ 。式中, ed 为人均生态赤字(盈余), ec 为人均生态承载力, ef 为人均生态足迹。当 $ec>ef$ 时, ed 为生态盈余;当 $ec<ef$ 时, ed 为生态赤字。 ef 和 ec 的计算方法分别为:

$$ef = \sum_{i=1}^n \lambda_i \sum_{j=1}^n C_{ij} / (Y_i \times N)$$

式中, i 为第 i 种土地类型; λ_i 为第 i 种类土地的均衡因子,它可将生产能力不同的土地转化为生产能力相同的土地; C_{ij} 和 Y_i 分别为第 i 种资源的地区消费量和世界平均产量; N 为地区总人口数。

$$ec = 0.88 \sum_{i=1}^n \lambda_i \varpi_i L_i$$

式中, ϖ_i 为第 i 类土地的产量因子,其乘以均衡因子 λ_i 能将式中生产能力不同的土地转化

为与生态足迹测算式中属性相同的土地。 L_i 为第*i*类土地的实际面积。根据世界环境与发展委员会的报告《我们共同的未来》的建议,需留出12%的土地面积保护生物多样性,因此实际人均生态承载力应在原有基础上乘以0.88。

2.万元GDP生态足迹

万元GDP生态足迹直接反映了地区每万元GDP所消耗的生态资源,体现了生态资源的利用效率。万元GDP生态足迹越小,说明生态资源利用效率越高;反之,生态资源利用效率越低。计算公式为:万元GDP生态足迹= efl 人均GDP。

3.生态足迹多样性指数

生态足迹多样性指数反映了地区消费所需生物生产性土地面积的均衡程度。生态足迹多样性指数越大,表明生态系统中生态足迹的需求越接近均衡。其计算公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^6 (p_i \times \ln p_i)$$

式中, H 为生态足迹多样性指数, p_i 是第*i*种土地类型在总生态足迹中的比例。

4.生态可持续指数

生态可持续指数反映了生态可持续利用的程度。生态可持续指数越大,说明生态可持续利用程度越高;反之,生态可持续利用程度越低。计算公式为: $ESI = eci / (eci + efi)$ 。式中, ESI 为生态可持续指数。按 ESI 大小可将可持续发展程度分为6个等级^[15]。具体划分标准如表1(下页)所示。

(二)数据来源及处理

本文以2010—2017年为研究区间,选取黄河流域9省(区)73个地级市(州、盟)为研究样本(见表2,下页)。根据黄河流域实际种植、养殖情况,将生态足迹计算中地区人均消费量分为生物资源账户和化石能源账户,选取生物资源账户消费品共39种、化石能源账户消费品5种^①。

各类土地的全球平均产量数据来源于联合国粮食及农业组织数据库和《BP世界能源统计年鉴(2018)》。各种类型土地的均衡因子和产量

因子参考《国家足迹账户2016:工作指导手册》公布的数值。考虑到黄河流域的地理特性,本文以2010—2017年黄河流域粮食单位面积平均产量与全国粮食单位面积平均产量之比的均值作为调整系数,对产量因子进行了修正。修正后耕地、草地、林地、化石能源用地、建筑用地、水域的产量因子分别为1.46、0.17、0.80、0.00、1.46、0.88。均衡因子分别为2.52、0.43、1.28、1.28、2.52、0.35,其余数据来源于黄河流域各省(区)、市(州、盟)水资源公报、统计年鉴和能源统计年鉴。

四、2010—2017年黄河流域可持续发展状态评价分析

(一)人均生态赤字分析

由表3(下页)可知,2010—2017年黄河流域持续处于生态赤字状态。2017年黄河流域人均生态赤字较2010年增长了16.94%,年均增长2.26%。这说明黄河流域人均生态足迹需求已经超出人均生态承载供给能力,可持续发展中出现了生态资源供需失衡问题,并且供需缺口在逐年增大。从各省区来看,除四川外,黄河流域各省区生态资源利用都处于“供不应求”状态,生态资源供需失衡问题突出。2010—2017年,内蒙古、宁夏生态赤字情况最为严重,平均值超过7.0hm²/人,原因是内蒙古和宁夏对生态资源的需求过高,而地区本身生态环境脆弱,现存土地再生能力差,导致生态承载能力逐年下降。陕西生态赤字恶化程度最大,速度也最快。2017年陕西人均生态赤字相较2010年增长了124.64%,年均增长率达到12.26%。造成这一结果的原因在于,陕西经济发展过度依赖于煤炭、石油等资源投入,导致生

①39种生物资源消费品包括:稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、麻类、油料、糖料、蔬菜、烟叶、甜菜、果用瓜、棉花、核桃、板栗、生漆、油桐籽、五倍子、棕片、花椒、水果、蚕茧、茶叶、禽蛋、驴肉、骆驼肉、骡肉、猪肉、兔肉、山羊毛、绵羊毛、禽肉、羊肉、牛肉、奶类、鱼类、虾类、蟹类、贝类。5种化石能源消费品包括:汽油、煤、柴油、焦炭、电力。

表 1 生态可持续指数分级表

等级	ESI	生态可持续利用程度
I	$ESI \geq 0.80$	生态强可持续
II	$0.65 \leq ESI < 0.80$	生态中等可持续
III	$0.50 \leq ESI < 0.65$	生态弱可持续
IV	$0.35 \leq ESI < 0.50$	生态弱不可持续
V	$0.20 \leq ESI < 0.35$	生态中等不可持续
VI	$ESI \leq 0.20$	生态强不可持续

态资源需求总量不断扩增。

(二)万元 GDP 生态足迹分析

如表 4(下页)所示,2010—2017 年,黄河流

域万元 GDP 生态足迹均值为 1.0659hm²/万元。从时间变化趋势来看,黄河流域万元 GDP 生态足迹以年均 6.14%的速度逐年递减,这意味着黄河流域生态资源利用效率正在逐步提升,可持续发展具有较大潜力。在黄河流域各省区中,宁夏生态资源利用效率最低,其万元 GDP 生态足迹均值是四川的 19.45 倍。河南和山东生态资源利用效率得到了显著提高,其万元 GDP 生态足迹年均分别下降 9.86%和 7.60%。生态资源利用效率存在较大差异的原因有二:一是黄河流域各省区间经济发展水平差异悬殊,位于黄河流域西部

表 2 黄河流经的主要地区

省(自治区)	市(州、盟)
青海省	西宁市、海东市、海北藏族自治州、黄南藏族自治州、海南藏族自治州、果洛藏族自治州、玉树藏族自治州、海西蒙古族藏族自治州
四川省	阿坝藏族羌族自治州
甘肃省	兰州市、白银市、天水市、武威市、平凉市、庆阳市、定西市、陇南市、临夏回族自治州、甘南藏族自治州
宁夏回族自治区	银川市、石嘴山市、吴忠市、固原市、中卫市
内蒙古自治区	呼和浩特市、包头市、乌兰察布市、鄂尔多斯市、巴彦淖尔市、乌海市、阿拉善盟
陕西省	西安市、铜川市、宝鸡市、咸阳市、渭南市、延安市、榆林市、商洛市
山西省	太原市、大同市、阳泉市、长治市、晋城市、朔州市、晋中市、运城市、忻州市、临汾市、吕梁市
河南省	郑州市、开封市、洛阳市、安阳市、鹤壁市、新乡市、焦作市、濮阳市、三门峡市、商丘市、济源市
山东省	济南市、青岛市、淄博市、东营市、潍坊市、济宁市、泰安市、莱芜市、德州市、聊城市、滨州市、菏泽市

注:2019 年 1 月,国务院批复同意撤销地级莱芜市,将其所辖区域划归济南市管辖。在本文研究期内,莱芜市为地级市。

表 3 2010—2017 年黄河流域及各省区人均生态赤字(单位:hm²/人)

年份	黄河流域	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东
2010	3.7270	1.8201	-4.2313	0.8672	5.3195	5.8877	1.8607	5.1508	5.2906	3.3012
2011	4.1981	2.3237	-4.2169	1.0745	7.1702	7.4924	2.0731	5.6405	5.7922	3.4195
2012	4.4196	2.7562	-4.1838	1.1823	7.2521	7.8972	2.5006	5.8797	6.0318	3.4712
2013	4.2949	3.5424	-4.1501	1.2575	7.6196	7.6044	3.0382	5.9873	5.2407	3.1723
2014	4.3940	3.2100	-4.0004	1.2959	7.7809	7.8623	3.5096	6.1605	5.1573	3.1780
2015	4.3474	2.3738	-3.9285	1.2342	7.8993	7.8723	3.4356	6.0799	5.0574	3.2264
2016	4.3362	2.7057	-3.9044	1.1829	7.6332	7.9710	3.9088	5.8607	4.9924	3.1174
2017	4.3583	2.6549	-3.9061	1.1319	7.2319	7.6480	4.1799	5.6277	5.2321	3.2448
均值	4.2594	2.6734	-4.0652	1.1533	7.2383	7.5294	3.0633	5.7984	5.3493	3.2664

数据来源:根据 2011—2018 年黄河流域 9 省区的统计年鉴、能源统计年鉴、水资源公报以及联合国粮食及农业组织数据库和《BP 世界能源统计年鉴(2018)》相关数据计算而得。

的省份,如宁夏、甘肃等人均 GDP 较低,而中东部省份,如河南、山东经济发展水平在全国都名列前茅;二是宁夏等地在经济发展过程中并没有将对生态资源高需求转化为相应的经济收益,存在严重的资源浪费。

(三)生态足迹多样性指数分析

如表 5(下页)所示,2010—2017 年,黄河流域生态足迹多样性指数呈现平稳波动趋势,年均下降 0.19 个百分点,总体下降幅度较小,仅为 1.32 个百分点。这意味着黄河流域生态资源利用的均衡程度近年来没有得到明显改善。从各省区来看,青海、甘肃、宁夏、陕西和山西生态足迹多样性指数均有所下降。其中,陕西下降幅度最大,为 32.27%。青海、甘肃、宁夏和陕西均位于我国西北地区,具有丰富的化石能源禀赋,在长期发展过程中形成了资源依赖型产业模式,导致生态资源需求主要集中在化石能源用地上,对其他类型的生态资源利用不充分不均衡。

(四)生态可持续指数分析

黄河流域及各省区生态可持续指数计算结果如表 6(下页)所示。2010—2017 年,黄河流域生态可持续指数均小于 0.20,且 2015 年以来呈现下降趋势。对照表 1 的划分标准可以看出,黄河流域一直处于强不可持续状态。从各省区来看,四川可持续发展指数均值最高,为 0.9310,8 年间均为强可持续发展。而宁夏、陕西、山西、河南

和山东可持续发展指数均值皆小于 0.20,处于强不可持续状态。内蒙古 2010—2011 年处于中等不可持续状态,2012 年为强不可持续状态。青海和甘肃一直处于中等不可持续状态。山西、河南、山东生态不可持续的主要原因在于生态资源的供给能力不足,其他省份生态不可持续则是由于对生态资源的需求过大导致的。

五、黄河流域可持续发展水平预测分析

(一)预测情景设定

1.基准情景

基准情景依据过去发展规律进行预测,不考虑任何的政策实施,方便与其他情景进行比较。这里以 2010—2017 年人均生态足迹、人均生态赤字、人均 GDP 和生态足迹多样性指数为基础,采用灰色 GM(1,1)模型对 2020—2025 年黄河流域可持续发展进行预测。表 7 给出了预测模型的精度检验结果,模型预测精度均达到 2 级及以上标准,模型检验合格。

2.生态优先政策情景

黄河流域 9 省区相继提出了黄河保护治理的工作要点和方向,制定了环境保护、河道滩区综合治理和优化水资源配置等政策。政策实施预期将会改善流域生态承载能力,减少水资源不合理需求。因此,我们假定:黄河流域从 2020 年开始加大环境保护与生态建设力度,但仍保持现

表 4 2010—2017 年黄河流域及各省区万元 GDP 生态足迹(hm²/万元)

年份	黄河流域	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东
2010	1.3309	1.4043	0.1645	1.3738	2.9161	1.7434	0.8711	2.2209	1.5584	0.8397
2011	1.2367	1.3127	0.1333	1.2665	3.0854	1.6989	0.7614	1.9838	1.4255	0.7600
2012	1.1608	1.2959	0.1163	1.1434	2.7808	1.6037	0.7667	1.9203	1.3391	0.6907
2013	1.0446	1.3785	0.1047	1.0671	2.6190	1.4664	0.8033	1.8763	1.0637	0.5907
2014	1.0101	1.1927	0.1413	0.9847	2.4871	1.4361	0.8434	1.9203	0.9877	0.5647
2015	0.9717	0.9408	0.1430	0.9392	2.4232	1.4356	0.8253	1.9044	0.9170	0.5468
2016	0.9186	0.9659	0.1368	0.8661	2.2287	1.4304	0.8550	1.8095	0.8251	0.5039
2017	0.8543	0.9385	0.1213	0.8155	2.0983	1.5629	0.7849	1.4726	0.7536	0.4829
均值	1.0659	1.1786	0.1326	1.0570	2.5798	1.5472	0.8139	1.8885	1.1088	0.6224

数据来源:同表 3。

表 5 2010—2017 黄河流域及各省区生态足迹多样性指数

年份	黄河流域	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东
2010	0.9374	1.3857	0.7778	0.9437	0.8097	0.8435	0.8660	0.7016	0.9019	1.0179
2011	0.8909	1.3053	0.7795	0.8885	0.7139	0.7746	0.8258	0.6866	0.8511	1.0090
2012	0.9099	1.2593	0.7948	0.8987	0.7241	0.7769	0.7795	0.6892	0.9464	1.0069
2013	0.8959	1.2285	0.8013	0.8817	0.7145	0.7994	0.6795	0.6789	0.9198	1.0260
2014	0.9182	1.2843	0.8260	0.8923	0.7151	0.8042	0.8528	0.6916	0.9202	1.0083
2015	0.8980	1.4044	0.8220	0.9098	0.7170	0.8103	0.6405	0.7002	0.9238	0.9952
2016	0.8890	1.3550	0.8247	0.9365	0.7377	0.8179	0.6036	0.7087	0.8939	0.9886
2017	0.9250	1.3691	0.8150	0.8972	0.7534	0.8499	0.5865	0.6965	0.9110	1.1481
均值	0.9080	1.3240	0.8051	0.9060	0.7357	0.8096	0.7293	0.6942	0.9085	1.0250

数据来源:同表 3。

有产业结构。该情景下人均生态承载力年均增速按联合国《2030 年可持续发展议程》中提出的“发展中国家在 2030 年前转向可持续的消费模式”进行推算,取值为 1%,水资源生态足迹同样以年均 1%的速度减少,人均 GDP 年均增速按党的十九大报告提出的 2035 年基本实现社会主义现代化目标推算,取 5.8%,其余变量与基准情景保持一致。

3. 绿色发展政策情景

黄河流域既要加大生态保护力度,又要落实高质量发展要求。黄河流域 9 省区制定了传统产业转型升级以及发展绿色、低碳、循环产业的相关政策。政策实施预期会减少生态足迹需求,尤其是减少对化石能源的资源消耗。因此,我们假定:黄河流域从 2020 年开始大力实施绿色发

展政策(不考虑其他政策)。该情景下人均生态足迹年均减少速度同样依据联合国可持续发展目标推算,取值为 1%;化石能源需求也以年均 1%的速度减少;人均 GDP 年均增速同样取 5.8%(假设绿色发展带来的经济收益将被产业结构调整带来的经济损失所抵消),其余变量与基准情景保持一致。

4. 综合发展政策情景

综合发展政策情景反映了同时实行生态优先与绿色发展政策下的可持续发展状况。考虑到同时兼顾生态优先与绿色发展政策将分散对生态承载力改善和生态足迹优化的投资力度,以及生态改善与绿色发展并行对经济增长的促进作用将日益凸显,我们假定:自 2020 年起,黄河流域人均生态足迹以年均 0.5%的速度下降,

表 6 2010—2017 黄河流域及各省区生态可持续指数

年份	黄河流域	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东
2010	0.1424	0.3149	0.9485	0.3314	0.1266	0.2216	0.1958	0.0902	0.0678	0.0846
2011	0.1314	0.2847	0.9472	0.3062	0.0999	0.1921	0.1839	0.0833	0.0631	0.0869
2012	0.1269	0.2628	0.9444	0.2956	0.0982	0.1856	0.1636	0.0803	0.0615	0.0865
2013	0.1291	0.2308	0.9427	0.2875	0.0937	0.1898	0.1432	0.0788	0.0688	0.0921
2014	0.1257	0.2417	0.9201	0.2835	0.0916	0.1858	0.1287	0.0766	0.0687	0.0898
2015	0.1267	0.2786	0.9141	0.2891	0.0901	0.1855	0.1317	0.0772	0.0711	0.0883
2016	0.1266	0.2616	0.9129	0.2932	0.0920	0.1839	0.1200	0.0794	0.0723	0.0900
2017	0.1259	0.2623	0.9184	0.2981	0.0946	0.1878	0.1146	0.0816	0.0706	0.0857
均值	0.1293	0.2672	0.9310	0.2981	0.0983	0.1915	0.1477	0.0809	0.0680	0.0880

数据来源:同表 3。

表 7 黄河流域可持续发展预测模型

预测类型	时间响应函数	平均相对误差	方差比	小概率误差	模型等级
人均生态足迹	$\hat{x}^{(1)}(k+1)=-221.9203e^{-0.003k}+222.6580$	0.01	0.34	0.98	1 级
人均生态承载力	$\hat{x}^{(1)}(k+1)=4491.1060e^{-0.001k}+4486.0204$	0.03	0.41	0.84	2 级
人均 GDP	$\hat{x}^{(1)}(k+1)=7.7019e^{0.00654k}-7.1938$	0.05	0.47	0.81	2 级
生态足迹多样性指数	$\hat{x}^{(1)}(k+1)=58.6875e^{0.00151k}-57.7692$	0.02	0.38	0.92	2 级

人均生态承载力以年均 0.5%的速度增加,水资源和化石能源的消耗以年均 0.5%的速度减少。人均 GDP 年均增速以 5.8%为基准,之后每年上涨 0.1 个百分点。其余变量与基准情景保持一致。

(二)预测结果分析

图 1(下页)显示了不同政策情景下 2020—2025 年黄河流域可持续发展的走势。从图 1 可以看出,在不采取任何政策措施的情况下,黄河流域利用生态资源换取经济价值的效率虽然会逐步提高,但生态供需失衡将不断加剧。生态资源利用的均衡程度虽然有所改善,但总体水平较低,流域强不可持续发展状态将进一步恶化。而在后三种政策情景下,会出现如下现象:第一,人均生态赤字将得到改善,即生态资源供需逐渐恢复平衡。其中,在绿色发展政策情景下,供需失衡改善速度最快,效果也最为明显。第二,万元 GDP生态足迹均呈现下降趋势,即生态资源的利用效率将逐年提升。其中,绿色发展政策实施效果在当期最为明显,但从长期来看,同时实施生态优先与绿色发展政策对资源利用效率的提升效果最佳,而仅实施生态优先政策反而将减缓生态资源利用效率提升的速度。第三,生态足迹多样性指数逐年上涨,即生态资源利用的均衡程度得到改善。其中,综合发展政策效果略优于绿色发展和生态优先单一政策。第四,生态可持续指数不断提升,即生态资源利用的可持续性逐步增强。提升效果从高到低依次为综合发展政策、生态优先政策、绿色发展政策。综上可知,改善黄河流域未来可持续发展状态,不能仅靠单一政策,而应坚持生态优先与绿色发展齐头并进。

六、结论与政策建议

本文采用人均生态赤字、万元 GDP生态足迹、生态足迹多样性指数、生态可持续指数对黄河流域及流域各省区可持续发展水平进行了定量评价。依据黄河流域生态保护和高质量发展政策导向,设定了基准情景、生态优先政策情景、绿色发展政策情景和综合发展政策情景并结合 GM(1,1)预测模型,对 2020—2025 年黄河流域可持续发展状态进行了预测分析。评价结果表明:2010—2017 年,黄河流域一直处于强不可持续发展状态,存在生态资源供需失衡、生态赤字逐年恶化和生态资源利用不均衡的问题。虽然流域生态资源的利用效率有所改善,但与长江经济带各省市相比仍有较大差距,且流域各省区间生态资源利用效率差异较大。

从 2020—2025 年黄河流域可持续发展基准情景的预测结果来看,如果不采取任何政策措施,未来黄河流域不可持续发展状态将进一步恶化。为实现黄河流域可持续发展,应采取生态优先与绿色发展“两手抓”的方案。一方面,因地制宜开展生态建设工作,加大生态保护力度。通过天然林保护、人工林抚育、退耕还林还草等工程实施,改善流域生态环境,恢复生态资源承载力。同时,依托科技创新,优化农业节水灌溉、实现工业废水减排、生产生活废水净化等,改善水资源利用效率,优化水资源配置,减少水资源需求,提升水资源承载能力。另一方面,推行绿色发展模式。对于青海、甘肃、宁夏和陕西等省区,尤需加快调整产业结构,降低经济增长对化石能源的依赖,减少生态资源需求。严格管控污染物排

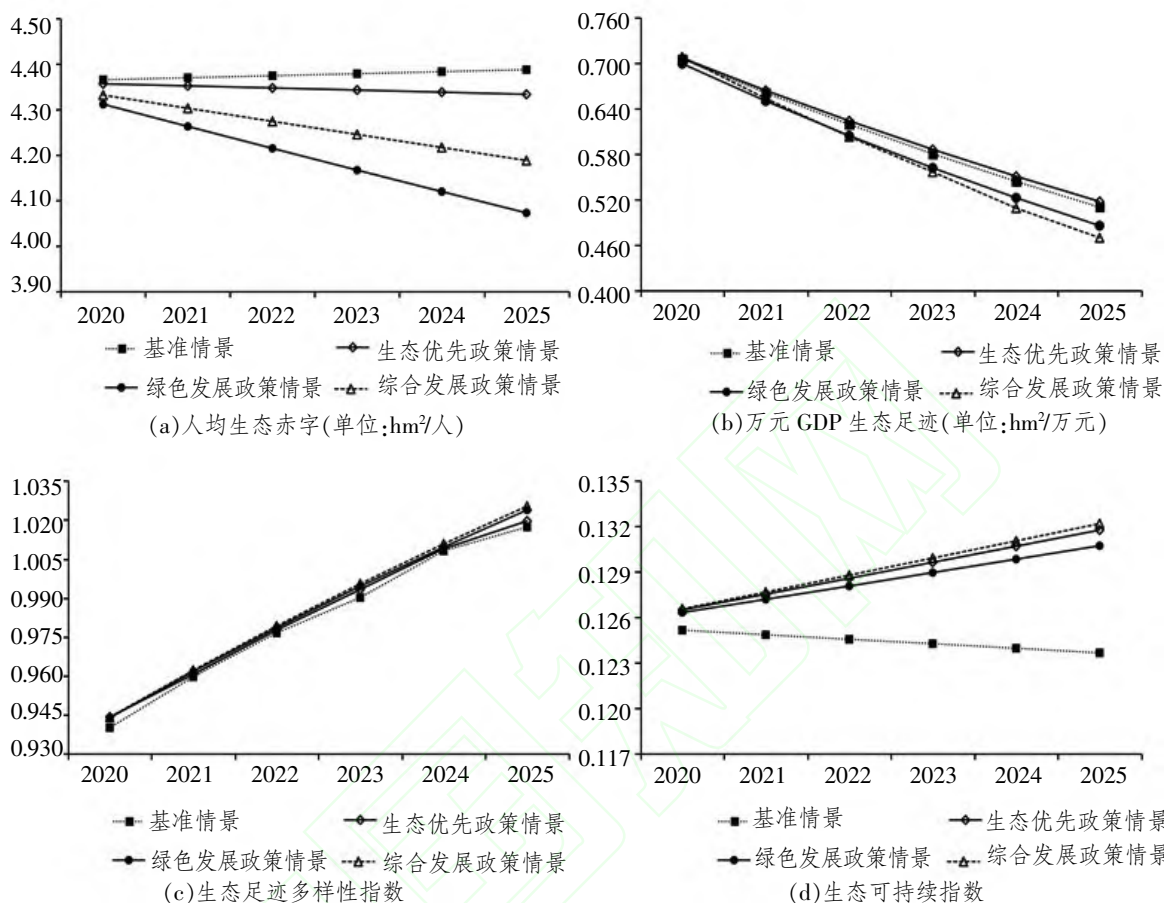


图 1 2020—2025 年不同情景下黄河流域可持续发展预测结果

放量、产能过剩严重的产业,限制高耗能、高耗水、高污染工业项目的新增,倒逼企业向低污染、低排放、低消耗、高品质的生产方式转变,向绿色制造、智能制造转型;上游河套、关中平原和下游平原地区应宜水则水、宜山则山、宜粮则粮,发展现代生态农牧业、生态旅游和文化旅游业等绿色产业;区域中心城市,尤其是黄河入海口地区,应重点发展新一代信息技术、高端装备制造、新材料、节能环保等战略性新兴产业,以吸引东部地区及国际人才、技术、资金等向黄河流域聚集。[Reform]

参考文献

- [1]金凤君.黄河流域生态保护与高质量发展的协调推进策略[J].改革,2019(11):33-39.
- [2]姜长云,盛朝迅,张义博.黄河流域产业转型升级与绿色发展研究[J].学术界,2019(11):68-82.
- [3]任保平,张倩.黄河流域高质量发展的战略设计及其支撑体系构建[J].改革,2019(10):26-34.
- [4]陈晓东,金碚.黄河流域高质量发展的着力点[J].改革,2019(11):25-32.
- [5]REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.
- [6]雷仲敏.黄河可持续发展的经济学分析与评价[M].北京:中国环境科学出版社,2009:145-146.

- [7] 王晓鹏, 丁生喜. 基于生态足迹的青海省社会经济可持续发展研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011(S2): 40–43.
- [8] 梁春玲. 基于生态足迹模型的黄河三角洲可持续发展动态评估[J]. 国土与自然资源研究, 2012(3): 45–47.
- [9] 韩文文, 刘小鹏, 裴银宝, 等. 基于生态足迹的宁夏生态环境可持续发展研究[J]. 水土保持研究, 2016(5): 285–290.
- [10] 田杰, 姚顺波. 基于生态足迹模型的陕西省可持续发展动态研究[J]. 中国科技论坛, 2014(1): 114–120.
- [11] WANG Z, YANG L, YIN J, et al. Assessment and prediction of environmental sustainability in China based on a modified ecological footprint model[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2017, 5(3): 301–313.
- [12] 姜绵峰, 叶春明. 上海城市生态足迹动态研究——基于 ARIMA 模型[J]. 华东经济管理, 2015(1): 18–24.
- [13] 向秀容, 潘韬, 吴绍洪, 等. 基于生态足迹的天山北坡经济带生态承载力评价与预测[J]. 地理研究, 2016(5): 875–884.
- [14] 李健, 张吉辉. 天津市水资源足迹趋势预测与动态调节[J]. 地域研究与开发, 2011(5): 131–134.
- [15] 郭荣中, 申海建, 杨敏华. 基于改进生态足迹因子的长株潭地区可持续发展[J]. 水土保持研究, 2019(5): 174–180.
- [16] 广佳. 基于生态文明理念的区域经济可持续发展研究——以四川省为例[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版), 2014(4): 127–131.

Sustainability Evaluation Based on Ecological Footprints Theory in Yellow River Basin

LIU Jia-qi RU Shao-feng

Abstract: This study assesses the sustainability of the Yellow River Basin from 2010 to 2017 by utilizing four indicators: per capita ecological deficit, ten thousand yuan GDP ecological footprint, ecological footprint diversity index and ecological sustainability index. The result prove that the Yellow River Basin continuously experiences a strongly unsustainable development state because of the raise on the per capita ecological deficit, as well as, the balance of ecological footprint availability and demand does not shrink significantly over the study period. According to the policy guidance of ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin, combined with GM(1,1) model, the sustainable development status of the Yellow River Basin under four policy scenarios from 2020 to 2025 is predicted. The results show that the unsustainable state of the Yellow River Basin will be further worsened if strong policy measures are not taken. In the future, the sustainable development of the Yellow River Basin should not only adhere to the ecological priority, but also strengthen the green development mode to achieve a win-win situation of ecological environment protection and economic development.

Key words: high-quality development in the Yellow River basin; ecological footprints theory; sustainable development