

B.12

基于生态足迹理论的西北地区 可持续发展能力研究*

周子锴 茹少峰**

摘要: 西北地区可持续发展能力的测度是一个重要的问题。本文基于生态足迹理论,计算了2012~2016年西北地区的人均生态赤字,均值为 $2.09\text{hm}^2/\text{人}$;人均水资源赤字,均值为 $0.92\text{hm}^2/\text{人}$ 。西北地区的生态资源和水资源出现赤字说明人们对资源的需求超过了土地的供给。随后本文用人均生态赤字、万元GDP生态足迹和生态足迹多样性指数对西北地区经济可持续发展能力进行评估,结果显示西北地区万元GDP生态足迹增长了2.76%,生态足迹多样性指数降低了4.88%,这说明西北地区资源利用效率正在下降,经济生态系统的稳定性正在变弱。本文认为,西北地区的可持续发展能力面临严峻挑战,生态环境的超载已成为可持续发展的阻碍。

关键词: 生态足迹 水足迹 可持续发展 西部地区

* 本文为教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“丝绸之路经济带战略背景下西部地区经济增长潜力开发推进全面建设小康社会研究”(项目编号:16JJD790046)研究成果之一。

** 周子锴,西北大学经济管理学院硕士研究生,主要研究方向为西方经济学;茹少峰,西北大学中国西部经济发展研究中心研究员,西北大学经济管理学院教授,博士生导师,主要研究方向为数量经济学。



引言

我国西北地区在行政范围上包括陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆五省。一方面，西北地区大部分处于干旱半干旱地区，森林覆盖率低，生态环境脆弱，严重制约了西北经济社会的发展。另一方面，西北地区能源、矿产资源丰富，是主要的能源和原材料的输出地，在我国经济社会中占有重要地位。因此，西北地区经济可持续发展能力如何，生态环境能否支撑其长期持续发展成为西北地区经济发展问题的关键。

很多学者使用了生态足迹法对西北地区可持续发展能力做出了评估。陈东景等（2001）研究了西北五省的生态足迹和生态承载力，发现西北五省的生态足迹都超过了各自的生态承载力，即都出现了生态赤字。其中新疆生态赤字最大，陕西和青海最小。特别的是新疆的耕地出现了生态赤字，说明新疆本省的粮食产出难以维持本省居民的生产生活需求^①。张志强等（2001）测算了西部 12 个省份的生态足迹和生态承载力，发现除了西藏和云南两个省份外，其余 10 个省份皆出现了生态赤字，其中新疆生态赤字最大。^② 杨屹等（2015）研究了陕西省 2000 ~ 2012 年的生态足迹和承载力的变化，发现陕西省一直存在生态赤字，人均生态赤字同生态压力指数逐年增长，生态多样性指数持续下降，说明陕西经济生态系统处于不稳定状态。^③ 张娜等（2017）研究了新疆 2005 ~ 2015 年的生态足迹和承载力的变化，也发现新疆一直存在生态赤字，化石能源用地的生态赤字最为严重^④。从以上研究可以看出，关于西部生态足迹有作为一个整体进行研究，也有关于西部各省份的研究，但西部各省份资源禀赋差距大，不宜一起做研究。本文认为西北各省份具有相同的资源禀赋，可

① 陈东景、徐中民、程国栋、张志强：《中国西北地区生态足迹》，《冰川冻土》2001 年第 23 卷第 2 期。

② 张志强、徐中民、程国栋、陈东景：《中国西部 12 省（区市）的生态足迹》，《地理学报》2001 年第 56 卷第 5 期。

③ 杨屹、加涛：《21 世纪以来陕西生态足迹和承载力变化》，《生态学报》2015 年第 35 卷第 24 期。

④ 张娜、牛翠萍：《新疆经济可持续发展的动态演进分析》，《石河子大学学报》2017 年第 31 卷第 6 期。

以一起研究。此外，学者们关于生态足迹研究时，就生态足迹内容常常不考虑水资源。因此，本文拟用生态足迹法对西北地区的生态足迹和生态承载力、水足迹和水资源承载力进行计算，分析各省份生态环境供求情况，评估各省份可持续发展能力，为西北经济社会发展提供决策依据。

一 生态足迹理论及其计算方法

（一）生态足迹理论

生态足迹理论认为人必须从自然中获取资源以生存，这些资源都必须由土地产生，同时产生的废物都必须由土地消化；并且人们在生产生活中消费的资源 and 产生的废物是确定的，假设这些资源和废物可以被折算成相应类型的土地面积，这样人们的生产生活需求就可以换算为一定的土地面积。人们消费的资源 and 产生的废物折算成的土地面积被称为生态足迹，反映了人们对资源的需求；实际各类型土地面积的加权平均被称为生态承载力，反映了土地能够供给的资源上限。这样，当需求（生态足迹）小于供给（生态承载力）时，就出现了生态赤字；反之，则为生态盈余。生态赤字或盈余反映了一个国家或地区的人们对资源需求（生态足迹）和土地供给资源（生态承载力）的大小关系，当出现生态赤字时，说明该地区资源难以满足该地区人们需求，发展是不可持续的。

生态足迹理论考虑的土地类型有 6 种：耕地、草地、林地、化石能源用地、建筑用地和水域。耕地主要提供农产品如粮食、棉花、蔬菜等。草地主要提供肉制品。林地是吸收 CO_2 和提供林产品的土地。建筑用地主要提供人们工作、生活和交通的土地。人们对化石能源用地的需求主要来自对石油、煤等能源的需求。水域在传统定义中只是提供水产品的土地，在《国家生态足迹账户（2016）》中，水域被更名为渔业用地。由于水域的概念和由此计算出来的生态足迹无法正确评估人们对水资源的需求，所以在本文中设置第七种土地类型：水资源用地。水资源用地主要为人们提供在生活、生产所需的水资源。



(二) 计算方法

1. 生态足迹的计算

Wackernagel 和 Rees 提出了生态足迹的计算模型, 具体计算公式如下:

$$EF = ef \times N \quad (1)$$

其中, EF 为某地区总生态足迹, ef 为该地区人均生态足迹, N 为该地区人口数。

$$ef = \sum_i \lambda_i \sum_j C_{ij} / (Y_{ij} \times N) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

其中, i 为某种土地类型; λ_i 为第 i 种土地类型的均衡因子; C_{ij} 为第 i 种土地上生产的第 j 种产品的地区消费量。 Y_{ij} 为第 i 种土地上生产的第 j 种产品的全球平均产量。在计算时, 首先, 不同类型的土地具有不同的生产能力, 将它们相加时, 需要转化为具有相同生产能力的土地。均衡因子可以使生产能力不同的土地转化为生产能力相同的土地。所以在计算生态足迹时, 需要将各类型土地面积乘以相应的均衡因子。其次, 计算某地区的生态足迹需要其自然资源的消费量, 而某地区自然资源的消费量可以由该地区生产量 P_{ij} 加进口量 I_{ij} 再扣除出口量 E_{ij} 得到。具体公式如下:

$$C_{ij} = P_{ij} + I_{ij} - E_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

最后在计算化石能源的生态足迹时, 要将能源的消费量通过转换系数换算成单位质量的发热量, 再通过全球平均单位面积发热量计算化石能源用地的土地面积。本文能源转化系数采用了文献 1^①。

2. 生态承载力的计算

生态承载力的具体计算公式如下:

$$EC = ec \times N \quad (4)$$

其中, EC 为总生态承载力; ec 为人均生态承载力; N 为该地区总人口。世

① 徐忠民、张志强、程国栋:《甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析》,《地理学报》2000 年第 55 卷第 5 期。

界环境与发展委员会报告《我们共同的未来》建议,为了保护生物多样性,应当留出 12% 的土地面积^①则:

$$ec = 0.88 \sum_i \lambda_i \varpi_i L_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

其中, i 为某种土地类型; λ_i 为第 i 种土地类型的均衡因子; ϖ_i 为第 i 土地类型的产量因子; L_i 为第 i 土地类型的实际面积。由于不同的国家和地区相同类型的土地生产能力差异很大,所以在土地面积加总时,需要将实际土地面积乘以相应的产量因子和均衡因子,使得其与生态足迹所计算出的土地属性相同,可以进行数量比较。产量因子是某一地区某种土地的生产能力与该种土地全球平均生产能力的比值,具体公式如下:

$$\varpi_i = \frac{Y_i^N}{Y_i} \quad (6)$$

其中, Y_i^N 为某地区第 i 种土地的平均产量; Y_i 为第 i 种土地的全球平均产量。

3. 水足迹的计算

基于以下 2 个点的考虑,本文将水足迹从总生态足迹中分离出来单独计算。在传统的生态足迹理论中,水足迹并未被纳入,其具体计算过程虽然与传统的生态足迹计算相似,但仍有差异。西北地区作为极度缺水地区,水资源生态足迹和水资源承载力在各足迹最为重要,需要特别分析。

水足迹的具体计算公式如下:

$$EF_w = ef_w \times N = N\gamma_w(W_d/P_w) \quad (7)$$

其中, ef_w 为人均水足迹; γ_w 为水资源均衡因子; W_d 为水资源消费量; P_w 为全球水资源平均产量。

4. 水资源承载力的计算

根据研究,一个国家或者地区的水资源开发利用超过 40% 则会引起生态环境恶化,所以必须扣除 60% 的水资源以避免环境恶化^②,水资源承载力的

① 徐中民、程国栋、张志强:《生态足迹方法:可持续定量研究的新方法》,《生态学报》2001 年第 21 卷第 9 期。

② 范晓秋:《水资源生态足迹研究与应用》,河海大学,2005 年。



具体计算公式如下：

$$EC_w = ec_w \times N = N \times 0.4\gamma_w \varphi_w (W_s/P_w) \quad (8)$$

其中, ec_w 为人均水资源承载力; φ_w 为水资源产量因子; W_s 为水资源总量。

5. 生态赤字与水资源赤字的计算

人均生态赤字的具体计算公式如下：

$$ed = ec - ef \quad (9)$$

当 $ef \geq ec$, $ed \leq 0$ 时, ed 为生态赤字, 生态赤字的大小为 $|ed|$ 。反之, 当 $ef \leq ec$, $ed \geq 0$ 时, ed 为生态盈余, 生态盈余大小为 ed 。

人均水资源赤字的具体计算公式如下：

$$ed_w = ec_w - ef_w \quad (10)$$

当 $ed_w \leq 0$ 时, ed_w 为水资源赤字, 水资源赤字大小为 $|ed_w|$ 。反之, 当 $ed_w \geq 0$ 时, ed_w 为水资源盈余, 水资源赤字大小为 ed_w 。

二 可持续发展能力的测度指标

可持续发展能力与人均生态赤字、万元 GDP 生态足迹和多样性指数三个指标密切相关^①。其中, 一个地区人均生态赤字和万元 GDP 生态足迹越小, 说明该地区资源利用效率越高, 可持续发展能力越强。而一个地区多样性指数越小, 说明该地区经济生态系统越不稳定, 可持续发展能力越弱。

万元 GDP 生态足迹的具体计算公式如下：

$$\text{万元 GDP 生态足迹} = EF/GDP = ef/\text{人均 GDP} \quad (11)$$

万元 GDP 生态足迹直接反映了每万元产值所消耗的资源, 所以本文用万元 GDP 生态足迹来反映资源利用效率。

生态足迹多样性指数可用 Shannon-Weaver 公式^②计算, 具体如下：

① 陈惠雄、鲍海君：《经济增长、生态足迹与可持续发展能力》，《中国工业经济》2008 年第 8 期。

② 陈惠雄、鲍海君：《经济增长、生态足迹与可持续发展能力》，《中国工业经济》2008 年第 8 期。

$$H = - \sum p_i \times \ln p_i \quad (12)$$

其中 P_i 是第 i 种土地类型在总生态足迹中的比列。 H 越大, 表明各种土地类型的需求越平均, 经济生态系统越稳定; 反之, 越小则说明土地类型需求越单一, 经济生态系统越不稳定。

三 西北地区生态足迹与生态承载力计算

(一) 数据说明

1. 人们需要的资源选取

资源主要包括三类: 生物资源、化石能源和水资源。生物资源包括该区域消费的农产品、林产品、畜产品和水产品, 本文具体选取的产品有: 稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、麻类、油料、糖料、蔬菜、烤烟、甜菜、核桃、板栗、生漆、油桐籽、五倍籽、棕片、花椒、水果、蚕茧、猪肉、羊肉、牛肉、奶类、山羊毛、绵羊毛、禽蛋、水产品。化石能源包括该地区消费的各种形式能源, 本文具体选取的种类有: 煤、石油、天然气、电力(水风电)。水资源则为该地区用水总量。

2. 数据与相关参数来源

本文选取的各类生物产品的产量、进出口量的数据来源于《陕西统计年鉴》(2013~2017)、《宁夏统计年鉴》(2013~2017)、《甘肃统计年鉴》(2013~2017)、《青海统计年鉴》(2013~2017)、《新疆统计年鉴》(2013~2017)。全球平均产量数据来源于1993年联合国粮食及农业组织的统计, 其中禽蛋、蚕茧、花椒、生漆、棕片、甜菜的全球平均产量因为联合粮食及农业组织未统计, 所以本文借鉴了相关学者的研究。各种类型土地的均衡因子和产量因子以《国家足迹账户2016: 工作指导手册》公布为准。全球水资源平均产量采用了范晓秋的研究结果^①。西北五省水资源的产量因子和水资源的均衡因子数据采用了黄林楠的研究^②。

① 范晓秋:《水资源生态足迹研究与应用》, 河海大学, 2005年。

② 黄林楠、张伟新、姜翠玲、范晓秋:《水资源生态足迹计算方法》,《生态学报》2008年第28卷第3期。



表 1 各种土地类型的均衡因子和产量因子

土地类型	均衡因子	产量因子
耕地	2.52	1.66
草地	0.43	0.19
森林	1.28	0.91
化石能源用地	1.28	0
建筑用地	2.52	1.66
水域	0.35	1

表 2 各省水资源用地的均衡因子和产量因子

水资源用地	均衡因子	产量因子
陕西	5.19	0.68
甘肃	5.19	0.22
宁夏	5.19	0.06
新疆	5.19	0.17
青海	5.19	0.28

(二) 生态足迹与生态承载力的计算结果分析

西北地区总量和人均量的计算结果见表 3。2012~2016 年,西北地区总生态足迹均值为 6630.91 万 hm^2 ,总生态承载力均值为 2363.90 万 hm^2 ,总生态赤字均值为 4267.01 万 hm^2 ;人均生态足迹均值为 3.36 hm^2 /人,人均生态承载力均值为 1.27 hm^2 /人,人均生态赤字为 2.09 hm^2 /人。五年间,西北地区总生态足迹增长了 40.31%,总生态承载力增长了 2.88%,这使得总生态赤字增长了 68.23%,人均生态足迹增长了 31.01%。人均生态赤字增长了 30.63%。从表 3 可见,西北地区生态资源被过度消费,存在严重的生态赤字。

表 3 西北地区生态足迹和生态承载力

年份	$EF(10^4 \text{hm}^2)$	$EC(10^4 \text{hm}^2)$	$ED(10^4 \text{hm}^2)$	$ef(\text{hm}^2/\text{人})$	$ec(\text{hm}^2/\text{人})$	$ed(\text{hm}^2/\text{人})$
2012	5447.81	2326.94	-3120.87	2.87	1.26	-1.60
2013	6022.03	2344.08	-3677.96	3.14	1.27	-1.87
2014	6711.78	2363.65	-4348.13	3.39	1.27	-2.12
2015	7328.87	2390.96	-4937.91	3.62	1.28	-2.35
2016	7644.04	2393.86	-5250.18	3.76	1.27	-2.49
均值	6630.91	2363.90	-4267.01	3.36	1.27	-2.09
方差	822647.67	847.37	-821800.30	0.13	0.00	-0.13

西北各省份总量的计算结果见表 4。2012~2016 年西北各省份的总生态足迹均略有上升。2012 年, 陕西省总生态足迹为 9433.92 万 hm^2 , 到 2016 年增长到 14685.77 万 hm^2 , 增长了 55.67%, 年均增速 11.14%, 增长速度最快。此外, 青海增长了 44.89%, 新疆增长了 35.65%, 甘肃增长了 29.25%。宁夏增长速度最慢, 增长了 20.63%。总生态足迹均值最大的是陕西, 为 12333.50 万 hm^2 , 最小的为青海, 1773.90 万 hm^2 。总生态足迹增长的原因有两点: 一是人均资源消费量的增加, 反映在人均生态足迹的增长。二是人口的逐年增加。陕西省近年来总生态足迹增长最快, 主要是因为人均资源消费量增长最快。从表 4 可见, 2012~2016 年总生态承载力均值最大的是陕西, 为 3708.43 万 hm^2 。新疆、甘肃、青海依次减小。宁夏总生态承载力均值最小, 为 660.19 万 hm^2 。西北各省份总生态承载力变化幅度很小, 陕西等四省份的总生态承载力增长都在 3% 左右。只有宁夏从 2012 年的 608.96 万 hm^2 增长到了 2016 年的 700.25 万 hm^2 , 增长了 15%。生态承载力增长缓慢的原因在于西北地区本身生态环境脆弱, 现存可生产的土地再生产能力差, 而每年新增的可以进行生产的土地面积有限。

西北各省份人均量的计算结果见表 5。2012~2016 年西北各省份人均生态足迹都在增长。2012 年, 人均生态足迹最大的是新疆, 为 3.43 $\text{hm}^2/\text{人}$, 宁夏、甘肃、陕西依次减小, 最小的是青海, 为 2.45 $\text{hm}^2/\text{人}$ 。五年间, 陕西省人均生态足迹增长最快, 增长了 53.39%。青海增长速度次之, 为 40.00%。



表 4 西北各省份总生态足迹和总生态承载力

单位: 10^4hm^2

年份	陕西		甘肃		新疆		宁夏		青海	
	EF	EC	EF	EC	EF	EC	EF	EC	EF	EC
2012	9433.92	3705.34	6539.61	3105.46	7665.67	3220.66	2194.17	608.96	1405.68	994.27
2013	10598.67	3671.41	7143.10	3194.97	8388.80	3214.20	2318.23	644.26	1661.35	995.55
2014	12675.32	3707.43	7803.31	3236.94	8862.01	3212.14	2405.84	650.28	1812.43	1011.45
2015	14273.82	3734.97	8169.46	3214.90	9724.85	3293.38	2522.84	697.19	1953.39	1014.36
2016	14685.77	3723.01	8452.22	3197.51	10398.69	3332.50	2646.88	700.25	2036.66	1016.05
均值	12333.50	3708.43	7621.54	3189.95	9008.00	3254.58	2417.59	660.19	1773.90	1006.33
方差	5208015	575	605691	2513	1163618	3040	30894	1488	62749	112

甘肃、新疆、宁夏增长较慢,分别为 27.56%、26.53% 和 15.63%。2016 年,人均生态足迹均值最大的是新疆,为 $3.89 \text{hm}^2/\text{人}$,宁夏、陕西、青海依次减小,甘肃的人均生态足迹均值最小,为 $2.94 \text{hm}^2/\text{人}$ 。2012 ~ 2016 年,西北各省份人均生态足迹增速都大于人口增速,说明拉动西北地区总生态足迹增长的主要因素是人均资源消费量的增长。从表 5 可见,2012 ~ 2016 年西北五省份人均生态承载力变化各不相同。2012 年,人均生态承载力均值最大的是青海,为 $1.74 \text{hm}^2/\text{人}$,最小的是陕西,为 $0.99 \text{hm}^2/\text{人}$ 。五年间,陕西、新疆和青海的人均生态承载力出现了下降,分别为 1.01%、3.47% 和 1.72%。在总生态承载力正增长的情况下,人均生态承载力的负增长说明总生态承载力的增长是人口增加带来的增长,并不是实际承载力的提高。宁夏人均生态承载力出现了正增长,增速为 10.22%,这是由于 2000 ~ 2015 年是宁夏生态工程的快速发展时期。^① 通过退耕还林、封山育林和减少煤炭开发,发展水电、风电等可再生能源,使得宁夏土地生产能力得到恢复,承载力得到提升。

① 皮泓漪、祖拜代·木依布拉、夏建新:《基于生态足迹理论的宁夏可持续发展研究》,《中央民族大学学报》2017 年第 26 卷第 4 期。

表 5 西北各省份人均生态足迹和人均生态承载力变化

单位: $\text{hm}^2/\text{人}$

年份	陕西		甘肃		新疆		宁夏		青海	
	<i>ef</i>	<i>ec</i>								
2012	2.51	0.99	2.54	1.20	3.43	1.44	3.39	0.94	2.45	1.74
2013	2.82	0.98	2.77	1.24	3.71	1.42	3.54	0.99	2.87	1.72
2014	3.36	0.98	3.01	1.25	3.86	1.40	3.63	0.98	3.11	1.73
2015	3.76	0.98	3.14	1.24	4.12	1.40	3.78	1.04	3.32	1.73
2016	3.85	0.98	3.24	1.23	4.34	1.39	3.92	1.04	3.43	1.71
均值	3.26	0.98	2.94	1.23	3.89	1.41	3.65	1.00	3.04	1.73
方差	0.34	0.00	0.08	0.00	0.12	0.00	0.04	0.00	0.15	0.00

从表 6 可见,化石能源用地占西北各省份总生态足迹绝大部分。2012 ~ 2016 年,西北各省份化石能源用地占总生态足迹的 70% 左右。其中,新疆从 62.31% 增长到了 69.43%,增长了 7.12 个百分点,年均增速 1.42%,增速最快。而宁夏下降了 0.31 个百分点。而 2012 ~ 2016 年新疆煤炭消费量增长了 36.65%,陕西为 19.81%,全国为 -1.9%^①,宁夏为 7.04%,对比发现,能源消费量的增加与化石能源用地的增加有着明显的相关性。造成这个结果的原因有两点:一是在生态足迹计算中化石能源用地的均衡因子为 1.28,本身权重较大;二是跟地区经济发展方式有关。西北地区地处大陆腹地,能源储藏丰富,常年来经济发展依靠大量资源投入,能源需求量大,导致化石能源用地在生态足迹中占比较大。

表 6 西北各省份生态足迹的主要构成

单位: %

年份	陕西		甘肃		新疆		宁夏		青海	
	耕地	化石能源用地	耕地	化石能源用地	耕地	化石能源用地	耕地	化石能源用地	草地	化石能源用地
2012	15.39	68.35	24.67	71.94	23.00	62.31	14.78	70.45	14.86	73.74
2013	15.75	69.64	23.22	73.46	23.00	63.72	14.62	70.00	14.50	73.94
2014	14.84	71.40	21.55	75.43	22.00	65.49	14.18	70.40	14.00	74.00

① 按标准煤计算,数据来源于《中国统计年鉴(2012~2016)》。



续表

年份	陕西		甘肃		新疆		宁夏		青海	
	耕地	化石能源用地	耕地	化石能源用地	耕地	化石能源用地	耕地	化石能源用地	草地	化石能源用地
2015	14.16	72.67	20.81	76.43	20.00	68.58	13.94	69.23	13.00	74.00
2016	13.64	72.99	18.82	77.61	19.00	69.43	13.12	70.14	12.00	75.00
均值	14.76	71.01	21.81	74.98	21.40	65.91	14.13	70.04	13.67	74.14
方差	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

四 水足迹与水资源承载力的计算结果分析

西北地区总量和人均量的计算结果见表7。2012~2016年,西北地区总水足迹均值为2933.59万 hm^2 ,总水资源承载力均值为837.79万 hm^2 ,总水资源赤字均值为2095.80万 hm^2 ,人均水足迹均值为1.56 $\text{hm}^2/\text{人}$,人均水资源承载力均值为0.65 $\text{hm}^2/\text{人}$,人均水资源赤字均值为0.92 $\text{hm}^2/\text{人}$ 。五年间,总水资源赤字增长了6.47%,人均水资源赤字增长了12.20%。水资源承载力的下降是水资源出现赤字的主要原因,而水资源承载力下降主要是由于近年来水资源总量的下降。

表7 西北地区水足迹和水资源承载力

年份	$EF_w(10^4\text{hm}^2)$	$EC_w(10^4\text{hm}^2)$	$ED_w(10^4\text{hm}^2)$	$ef_w(\text{hm}^2/\text{人})$	$ec_w(\text{hm}^2/\text{人})$	$ed_w(\text{hm}^2/\text{人})$
2012	2949.80	963.53	-1986.28	1.61	0.79	-0.82
2013	2959.89	851.16	-2108.72	1.61	0.62	-0.98
2014	2938.30	832.02	-2106.28	1.57	0.68	-0.89
2015	2938.76	775.76	-2163.01	1.55	0.56	-0.99
2016	2881.21	766.50	-2114.71	1.48	0.57	-0.92
均值	2933.59	837.79	-2095.80	1.56	0.65	-0.92
方差	936.75	6238.00	4286.65	0.00	0.01	0.01

西北各省份总量的计算结果见表8。2012年,新疆总水足迹最大,为9754.22万 hm^2 ,青海最小,为436.36万 hm^2 。2012~2016年,陕西、甘肃和

青海三省总水足迹分别增长了 3.14%、3.94% 和 3.82%。新疆和宁夏的总水足迹出现了下降，分别下降了 4.19% 和 6.42%。总水足迹均值最大的是新疆，为 9595.22 万 hm^2 ，最小的是青海，为 446.77 万 hm^2 。总水足迹的变化主要来源两个方面：一是人口的增长，二是人均水资源消费量的变化，人均消费量变化反映在人均水足迹的变化上。因为人口增长率总是正的，所以新疆、宁夏两省总水足迹的减少是由于人均水资源消费量的减少。而陕西、甘肃、青海在过去五年间人口增长率为 1.6%、1.2% 和 3.5%。因此，甘肃总水足迹增长的主要原因是因为人均水资源消费量的增长，而青海总水足迹的增长是由于人口膨胀引起的。从表 8 可见，西北各省份中除新疆外总水资源承载力都出现了下降。2012 年，总水资源承载力最大为陕西，达到 1755.56 万 hm^2 ，其次是青海，最小为宁夏，仅为 4.29 万 hm^2 。2012~2016 年，甘肃总水资源承载力下降最大，为 36.92%。青海次之，下降了 31.56%。陕西、宁夏分别下降了 30.47% 和 11.19%。新疆则增长了 21.40%。总水资源承载力变化的原因也有两个：一是人口的增长；二是人均水资源承载力的变化，人均水资源承载力的变化主要受到人均水资源总量的影响。由于西北地区人口总是增长的，所以陕西等四省份总水资源承载力的下降主要是因为人均水资源承载力的快速下降。2012~2016 年，新疆总人口增加了 7.39%，远小于总水资源承载力的增长速度，因此新疆总水资源承载力增长主要是因为人均水资源承载力的增长。

表 8 西北各省份总水足迹和总水资源承载力

单位： 10^4hm^2

年份	陕西		甘肃		新疆		宁夏		青海	
	EF_w	EC_w	EF_w	EC_w	EF_w	EC_w	EF_w	EC_w	EF_w	EC_w
2012	1455.18	1755.56	1956.99	388.28	9754.22	1012.26	1146.26	4.29	436.36	1657.24
2013	1474.52	1590.52	1970.22	391.12	9719.51	1074.48	1192.21	4.52	442.97	1195.16
2014	1484.44	1580.90	1992.86	288.55	9616.71	817.03	1162.13	3.99	435.36	1469.60
2015	1507.41	1498.90	2016.33	239.71	9540.34	1045.61	1163.62	3.65	466.11	1090.92
2016	1500.80	1220.61	2034.18	244.94	9345.31	1228.93	1072.71	3.81	453.05	1134.24
均值	1484.47	1529.30	1994.12	310.52	9595.22	1035.66	1147.39	4.05	446.77	1309.43
方差	437.46	38455.18	1012.42	5585.48	26665.47	21825.89	2017.00	0.13	166.60	59531.23



西北各省份人均量的计算结果见 9。2012 年, 新疆人均水足迹最大, 为 $4.37\text{hm}^2/\text{人}$, 陕西最小, 为 $0.39\text{hm}^2/\text{人}$ 。2012 ~ 2016 年, 陕西、甘肃和青海三省人均水足迹分别增加了 1.51%、2.63% 和 0.32%。新疆和宁夏出现了下降, 分别下降了 10.76% 和 10.17%。2016 年人均水足迹均值最大的是新疆, 为 $4.16\text{hm}^2/\text{人}$ 。最小的是陕西 $0.39\text{hm}^2/\text{人}$ 。过去五年, 新疆和宁夏人均水足迹出现了下降, 说明人均水资源消费量的减小, 社会越来越注重节约用水, 但人口的膨胀会继续增加西北各省份总水足迹, 在 2013 年新疆水资源的开发已经具有相当规模^①, 水资源开发潜力进一步减小, 为了保证经济平稳发展, 水资源利用效率必须得到提高。从表 9 可见, 2012 年青海的人均水资源承载力最大, 为 $2.89\text{hm}^2/\text{人}$, 宁夏的人均水资源承载力最小, 为 $0.01\text{hm}^2/\text{人}$ 。2012 ~ 2016 年, 甘肃人均水资源承载力下降幅度最大, 达到了 40%, 青海、陕西、宁夏下降幅度依次变小, 分别为 33.91%、31.91% 和 14.88%。新疆则增长了 13.33%。2012 ~ 2016 年, 陕西、甘肃、宁夏和青海四省份水资源总量分别下降了 30.47%、36.91%、11.11% 和 31.62%, 新疆则增长了 21.44%。可见水资源总量的变化, 是影响人均水资源承载力变化的主要因素。

表 9 西北各省份人均水足迹和人均水资源承载力

单位: $\text{hm}^2/\text{人}$

年份	陕西		甘肃		新疆		宁夏		青海	
	ef_w	ec_w								
2012	0.39	0.47	0.76	0.15	4.37	0.45	1.77	0.01	0.76	2.89
2013	0.39	0.42	0.76	0.15	4.29	0.47	1.82	0.01	0.77	2.07
2014	0.39	0.42	0.77	0.11	4.18	0.36	1.76	0.01	0.75	2.52
2015	0.40	0.40	0.78	0.09	4.04	0.44	1.74	0.01	0.79	1.86
2016	0.39	0.32	0.78	0.09	3.90	0.51	1.59	0.01	0.76	1.91
均值	0.39	0.40	0.77	0.12	4.16	0.45	1.74	0.01	0.77	2.25
方差	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.20

^① 雷亚君、张永福、张敏惠、梁雪梅、邵新娟:《新疆水资源足迹生态核算与预测》,《干旱地区农业研究》2017年第35卷第5期。

五 可持续发展能力的评估

(一) 人均生态赤字和人均水资源赤字

西北地区的计算结果见表 10。2012 ~ 2016 年，西北地区人均生态赤字均值为 $2.09\text{hm}^2/\text{人}$ ，人均水资源赤字为 $0.92\text{hm}^2/\text{人}$ ；人均生态赤字增长了 55.63%，年均增速 11.03%；人均水资源赤字增长了 12.20%，年均增速 2.46%。从表 10 可见，西北地区人均生态赤字和人均水资源赤字情况逐年变大，反映生态环境对西北地区可持续发展能力的支撑减弱。

表 10 西北地区人均生态赤字和人均水资源赤字

单位： $\text{hm}^2/\text{人}$

年份	ed	ed_w	年份	ed	ed_w
2012	-1.60	-0.82	2016	-2.49	-0.92
2013	-1.87	-0.98	均值	-2.09	-0.92
2014	-2.12	-0.89	方差	0.13	0.01
2015	-2.35	-0.99			

西北各省份的计算结果见表 11。2012 年，人均生态赤字最大的省份是宁夏，为 $2.45\text{hm}^2/\text{人}$ ，最小的省份是青海，为 $0.72\text{hm}^2/\text{人}$ 。2012 ~ 2016 年，青海人均生态赤字增长最快，达到了 138.89%，其次是陕西，人均生态赤字增长了 88.24%，甘肃和新疆分别增长了 51.13%、48.24%，宁夏增长最少为 17.55%。五年间，人均生态赤字均值最大是宁夏，为 $2.66\text{hm}^2/\text{人}$ ，新疆、陕西、甘肃依次减少，青海最少为 $1.31\text{hm}^2/\text{人}$ 。各省份人均生态赤字逐渐变大反映了，西北各省份生态足迹扩张的速度大于其生态承载力提高的速度。2012 年，甘肃、新疆和宁夏三省份出现了人均水资源赤字，其中最大的是新疆，为 $3.91\text{hm}^2/\text{人}$ ，其次是宁夏，为 $1.77\text{hm}^2/\text{人}$ ，最小的是甘肃，为 $0.61\text{hm}^2/\text{人}$ 。陕西、青海两省则出现了人均水资源盈余。五年间，由于水资源承载力的下降，甘肃省人均水资源赤字增长了 13.11%，是人均水资源赤字增长最快的省份。到了 2016 年，除青海外，其余四省份都出现了人均水资



源赤字。新疆最大为 $3.38\text{hm}^2/\text{人}$ ，陕西最小为 $0.07\text{hm}^2/\text{人}$ 。从趋势来看，陕西、甘肃、青海三省水资源环境逐渐恶化，水资源生态压力加大。新疆、宁夏虽然在改善中，但水资源赤字水平却位列第一、第二。

表 11 西北各省份人均生态赤字和人均水资源赤字

单位： $\text{hm}^2/\text{人}$

年份	陕西		甘肃		新疆		宁夏		青海	
	ed	ed_w								
2012	-1.53	0.08	-1.33	-0.61	-1.99	-3.91	-2.45	-1.77	-0.72	2.13
2013	-1.84	0.03	-1.53	-0.61	-2.29	-3.82	-2.56	-1.82	-1.15	1.30
2014	-2.38	0.03	-1.76	-0.66	-2.46	-3.83	-2.65	-1.75	-1.37	1.77
2015	-2.78	-0.002	-1.91	-0.68	-2.73	-3.60	-2.73	-1.74	-1.60	1.06
2016	-2.88	-0.07	-2.01	-0.69	-2.95	-3.38	-2.88	-1.58	-1.72	1.15
均值	-2.28	0.01	-1.71	-0.65	-2.48	-3.71	-2.66	-1.73	-1.31	1.48
方差	0.34	0.00	0.08	0.00	0.14	0.05	0.03	0.01	0.16	0.21

(二) 万元 GDP 生态足迹

西北地区的计算结果见表 12。2012 ~ 2016 年，西北地区万元 GDP 生态足迹均值为 $0.91\text{hm}^2/\text{万元}$ ，五年增长了 2.76%，反映了西北地区资源利用效率正在下降，对西北地区可持续发展能力造成阻碍。

西北各省份的计算结果见表 12。2012 年，万元 GDP 生态足迹最小的是陕西，为 $0.65\text{hm}^2/\text{万元}$ ，最大的是甘肃，为 $1.16\text{hm}^2/\text{万元}$ 。这说明 2012 年陕西的资源利用效率最高，甘肃最低。2012 ~ 2016 年，除宁夏外各省份的万元 GDP 生态足迹都在逐渐增大，其中陕西增长了 15.98%，甘肃增长了 1.42%，新疆增长了 5.51%，青海增长了 6.65%；而宁夏减小了 10.86%。反映了陕西、甘肃、新疆、青海四省份的资源利用效率在逐渐下降，宁夏的资源利用效率则在提高。五年间，万元 GDP 生态足迹均值最小的是陕西， $0.71\text{hm}^2/\text{万元}$ ，说明其平均资源利用效率最高；最大的是甘肃， $1.16\text{hm}^2/\text{万元}$ ，反映其平均资源利用效率最低。

表 12 万元 GDP 生态足迹

单位: $\text{hm}^2/\text{万元}$

年份	陕西	甘肃	新疆	宁夏	青海	西北地区
2012	0.65	1.16	1.02	0.94	0.74	0.90
2013	0.65	1.13	0.99	0.90	0.78	0.89
2014	0.72	1.15	0.96	0.87	0.79	0.90
2015	0.79	1.19	1.04	0.87	0.81	0.94
2016	0.76	1.17	1.08	0.84	0.79	0.93
均值	0.71	1.16	1.02	0.88	0.78	0.91
方差	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(三) 生态足迹的多样性

西北地区的计算结果见表 13。2012 ~ 2016 年, 西北地区生态足迹多样性指数均指为 0.88, 五年下降了 4.88%, 说明西北地区经济生态系统稳定性正在变弱, 反映了西北地区发展的不可持续性。

西北各省份的计算结果见表 13。2012 ~ 2016 年, 生态足迹多样性指数均值最大的是新疆, 为 0.99, 最小的是甘肃, 为 0.69, 反映了新疆经济生态系统的稳定性最好, 甘肃最差。2012 ~ 2016 年, 西北各省份除宁夏外都有所下降, 说明西北地区经济生态系统稳定性逐渐变差, 可持续发展能力变弱。五年间, 新疆的多样性指数下降最多, 为 10.68%。原因在于 2012 ~ 2016 年新疆化石能源用地增速最快, 达到了 7.12%, 生态足迹中各种土地类型需求不均衡导致了生态足迹多样性指数的变小。而宁夏多样性指数的增长了 3.59%, 反映了宁夏经济生态系统稳定性的增强, 发展变得更加可持续。

表 13 生态足迹多样性指数

年份	陕西	甘肃	新疆	宁夏	青海	西北地区
2012	0.94	0.74	1.05	0.92	0.87	0.90
2013	0.92	0.72	1.02	0.93	0.87	0.89
2014	0.89	0.68	0.99	0.92	0.88	0.87
2015	0.87	0.66	0.95	0.97	0.87	0.86
2016	0.88	0.67	0.93	0.95	0.86	0.86
均值	0.90	0.69	0.99	0.94	0.87	0.88
方差	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



根据可持续发展的三个评估指标,结果显示:西北地区普遍存在人均生态赤字;资源利用效率在逐年下降;经济生态系统稳定性在逐年变差。因此,总体上西北地区可持续发展能力较弱,生态环境对地区经济发展的支撑能力有限。生态赤字和资源利用效率低是受西北地区依靠资源拉动经济增长的发展模式的影响。现在,西北地区经济处于经济增长速度放缓和生态环境保护双重压力叠加的困境,想要突破困境则必须要转变发展模式,转换发展理念,推进产业结构升级。这样才能在保护生态环境的情况下加快发展。

六 结论

通过上述研究得出的结论有如下。2012~2016年,西北地区生态足迹出现了增长,增长由人口膨胀和人们资源消费量的增加共同决定,主要原因是因为人们资源消费量的增加;生态承载力增长缓慢,主要是因为西北地区生态环境脆弱,生态系统的恢复能力弱;西北地区水足迹和水资源承载力都出现了下降。2012~2016年,西北各省份生态足迹总量和人均量、总生态承载力都在增长,而人均生态承载力增长缓慢,其中陕西、新疆、青海还出现了下降。西北各省份除新疆、宁夏外,总水足迹都出现了增长,但增长的原因不尽相同,甘肃是因为人均水资源消费量的增长,青海则主要因为人口膨胀,陕西两者皆有。另外也只有新疆、宁夏人均水足迹出现下降,其余三省份都在增加,人均水足迹下降的原因主要在于人均水资源消费减少;2012~2016年,西北地区除新疆外水资源承载力都出现了下降,下降的主要原因在于地区水资源总量的下降。2012~2016年,西北地区和各省份生态赤字、人均生态赤字都在变大。2012~2016年,西北地区总水资源赤字、人均水资源赤字都在逐渐变大,这是由于西北各省份除青海外,都存在水资源赤字,其中陕西、甘肃、青海三省水资源环境正在逐渐恶化。2012~2016年,西北地区万元GDP生态足迹出现增长;西北各省份除宁夏外,其余四省份万元GDP生态足迹都在变大,资源利用效率降低。2012~2016年,西北地区生态足迹多样性指数下降;西北各省份除宁夏外,其余四省份生态足迹多样性指数都在变小,经济生态系统稳定性变差。2012~2016年,总体上西北地区经济可持续发展能力变弱,出现了不可持续的发展信号。

为了扭转西北地区可持续发展能力变差的情况本文提出以下几点建议。继续推行生态保护工程,加大生态保护力度,以改善环境、提升生态承载力。调整产业结构,发展绿色产业、高新技术产业、附加值高的产业,降低经济增长对于资源和化石能源消耗的依赖,提高资源利用效率。加大对风电、太阳能等绿色能源的使用,减少化石能源的使用,以增强地区生态承载力。在社会开展节水教育,提高社会用水效率,减少水资源浪费;保护江河湖泊,预防水资源总量的减少。