

2013—2020 年内蒙古锡林郭勒草地资源承载力变化

木其尔¹, 敖登高娃^{1,2}

(1.内蒙古师范大学 地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010022;

2.内蒙古土地利用与整治工程研究中心, 内蒙古 呼和浩特 010022)

摘要: [目的] 草地承载能力的高低影响草地利用的可持续性和草地生态系统的安全性。内蒙古锡林郭勒盟作为北方重要生态屏障, 研究其草地资源承载力变化, 为区域草地生态安全与可持续利用、生态文明建设提供科学依据。[方法] 利用 2013, 2015, 2018 和 2020 年土地利用及其他相关数据, 基于三维生态足迹模型、生态赤字(ED)/盈余(ER)和生态压力指数等方法与指标, 分析评价内蒙古锡林郭勒盟草地资源承载力状况。[结果] ① 2013—2020 年锡林郭勒盟草地资源生态足迹持续高于生态承载力, 总生态足迹与总生态承载力呈现先增后减趋势, 7 a 内分别下降了 2.76% 和 7.35%; 人均生态足迹与人均承载力 7 a 间变化率分别为 -9.62%, -13.19%; 生态足迹在空间上呈现出由东向西递减的变化规律, 生态承载力东部及北部高于西部及南部; ② 草地资源生态足迹深度先上升后下降, 总体上升 4.95%, 均大于 1, 草地生态系统持续处于生态赤字状态, 草地生态系统呈现出不可持续性; ③ 4 个时期 ER/ED 均小于 0, 生态压力指数均大于 1, 草地生态承载状况多年连续超载, 生态安全稳定性持续降低。[结论] 锡林郭勒盟所处的干旱半干旱地理位置及其资源禀赋, 叠加高强度的人类经济社会活动, 导致全盟草地生态承载力降低, 生态处于极不安全状态。

关键词: 三维生态足迹; 典型草原带; 草地资源承载力; 锡林郭勒盟; 内蒙古

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)02-0446-09

中图分类号: X826

文献参数: 木其尔, 敖登高娃. 2013—2020 年内蒙古锡林郭勒草地资源承载力变化[J]. 水土保持通报, 2024, 44(2): 446-454. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.02.044; Muqier, Aodenggaowa. Changes in carrying capacity of grassland in Xilingol League of Inner Mongolia from 2013 to 2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(2): 446-454.

Changes in Carrying Capacity of Grassland in Xilingol League of Inner Mongolia from 2013 to 2020

Muqier¹, Aodenggaowa^{1,2}

(1. School of Geographical Sciences, Inner Mongolia Normal University, Hohhot, Inner Mongolia 010022, China;

2. Inner Mongolia Land Use and Improvement Project Research Center, Hohhot, Inner Mongolia 010022, China)

Abstract: [Objective] The level of grassland carrying capacity affects the sustainability of grassland utilization and the security of grassland ecosystems. The carrying capacity of grassland resources in Xilingol League, Inner Mongolia (an important ecological barrier in the north) was analyzed in order to provide a scientific basis for the regional ecological security and sustainable use of grassland and the construction of ecological civilization. [Methods] We analyzed and evaluated the status of grassland resource carrying capacity, ecological deficit (ED)/remainder (ER), and ecological pressure index of Xilingol League of Inner Mongolia based on a three-dimensional ecological footprint model. We used land use and other relevant data in 2013, 2015, 2018, and 2020. [Results] ① The ecological footprint continued to be higher than the ecological carrying capacity. The total ecological footprint and total ecological carrying capacity showed a

收稿日期: 2023-08-15

修回日期: 2023-11-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于土地利用变化轨迹的脆弱草原带农牧交错区土壤质量变化机理研究”(42161044); 内蒙古自治区自然科学基金项目(2020MS04019); 内蒙古师范大学高层次人才科研启动项目(2018YJRC039)

第一作者: 木其尔(1999—), 女(蒙古族), 内蒙古自治区锡林郭勒盟人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源可持续利用。Email: 1726502971@qq.com。

通信作者: 敖登高娃(1969—), 女(蒙古族), 内蒙古自治区乌拉特前旗人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事土地资源可持续利用方面的研究。Email: adgw_90@126.com。

trend of first increasing and then decreasing, decreasing by 2.76% and 7.35%, respectively, over 7 years. The change rates of per capita ecological footprint and per capita carrying capacity over 7 years were -9.62% and -13.19%, respectively. The ecological footprint decreased from east to west, and the ecological carrying capacity in the east and north was higher than that in the west and south. ② The ecological footprint depth first increased and then decreased, with an overall increase of 4.95%, which was greater than 1. The grassland ecosystem remained in an ecological deficit state for many years, indicating that the grassland ecosystem was unsustainable and unhealthy. ③ The results of ecological profit and loss and ecological pressure index reflecting the ecological security of grassland showed that ER/ED was less than 0 and the ecological pressure index was greater than 1 in the study area during the four periods of the study. The ecological carrying capacity of grassland has been continuously overloaded for many years, and the ecological security and stability have continued to decrease. [Conclusion] The arid and semi-arid geographic location of Xilingol League and its resource endowment, combined with high-intensity human economic and social activities, have led to a reduction in the ecological carrying capacity of the grasslands of Xilingol League, and the ecology of this area is in an extremely insecure state.

Keywords: three-dimensional ecological footprint; typical grassland belt; carrying capacity of grassland resources; Xilingol League; Inner Mongolia

草地作为一种可再生自然资源,是全球陆地生态系统的重要组成部分,具有生态、社会、经济、科学研究等多项功能^[1],是生态系统可持续发展的基础资源,其承载能力的高低直接影响草地利用的可持续性和草地生态系统的安全性。

草地承载力是指在维持良好生态状况的前提下^[2],草地所提供的资源和环境对人类社会发展的支持能力^[2-3]。因此草地及其承载力研究,对于探究草地生态系统的良性循环和掌握草地生态功能的正常发挥具有重要意义。就此不仅政府将草地及其承载力研究作为保护生态环境,发挥其生态功能的重要工作议题,国内外诸多学者围绕草地及其承载力也做了大量研究。如王娜等^[4]、俞慧云等^[5]、李文凤等^[6]、高婕等^[7]、赵玉红等^[8]及张佳宁等^[9]人,以西藏、甘肃、青海、内蒙古等区域草地资源为研究对象,从省(自治区)、县(旗)不同尺度,分别采用模糊综合评价法、遥感与地面测定及实验室检测相结合的方法、GIS和RS技术^[10-11]、供给—消耗关系比值^[12]、生态足迹模型等^[13]多种方法,探究了草地资源承载力水平及其草地生态安全,并发现草地承载力和草地生态安全性,存在普遍下降的趋势。其中作为内蒙古典型草原主要组成部分的锡林郭勒盟草地承载力,在过去 30 a 内出现了承载力下降,生态盈余转为生态赤字,且快速增长的趋势^[14]。2012 年内蒙古被定位为国家重点生态功能区,成为国家“两屏三带”生态安全屏障格局的重要组成部分后,政府将保护草地生态系统的工作列为政府重要责任之一。在这种背景下,锡林郭勒盟草地承载力及生态安全性是否有所改善或仍处于恶化趋势,值得去深入探讨和研究。锡林郭勒盟位于内

蒙古中部典型草原带,是内蒙古草地资源的主要组成部分,由于其特殊的地理位置,现已经成为中国华北地区重要的生态屏障。但近年来,随着人类活动强度的加剧,对草地资源的大规模占用、开采、利用及践踏,使得草地处于超载状态,其生态功能持续衰退,草地生态系统被干扰,草地生态屏障作用无法很好地得到发挥。因此,开展锡林郭勒草地资源承载能力的科学研究,对当前草地可持续利用与生态安全的维持具有重大意义。基于此,本文运用三维生态足迹模型、生态赤字(ED)/盈余(ER)和生态压力指数等方法与指标,分析评价 2013—2020 年内蒙古锡林郭勒盟草地资源承载力状况及生态安全性。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

锡林郭勒盟地处内蒙古自治区中部,地理位置 $41^{\circ}35'—46^{\circ}40'N$, $111^{\circ}03'—119^{\circ}47'E$,属温带大陆性气候,风大、四季分明、雨热同期,年均气温 $3^{\circ}C$,年平均降水量 290 mm 左右,海拔在 745~1 903 m 之间,以高平原为主体,兼有多种地貌类型,地势南高北低。锡林郭勒盟境内植被类型丰富,其中以草原为主,草原类型自东向西分布为草甸草原、典型草原、荒漠草原、草原化荒漠及荒漠类草地,属于内蒙古典型草原区域,也是京津冀地带的重要生态屏障。土地面积为 $2.03 \times 10^5 km^2$,根据 2020 年土地利用数据草地面积为 $1.74 \times 10^5 km^2$,截止到 2020 年常住人口为 110.88 万人,下辖锡林浩特市、二连浩特市 2 个县级市,多伦县 1 个县,乌拉盖管理区 1 个区,东乌珠穆沁旗、西乌珠穆沁旗、阿巴嘎旗、苏尼特左旗、苏尼特右旗、正蓝

旗、正镶白旗、镶黄旗、太仆寺旗 9 个旗。

1.2 数据来源与处理

本文土地利用分类数据来源于中国科学院资源科学与数据中心(<https://resdc.cn>),空间分辨率为 1 km;NPP 数据来源于 NASA 的 MOD17A3 HGF

Version 6.0 数据集(<https://lpdaac.usgs.gov/>),空间分辨率为 500 m,时间分辨率为 1 a;社会经济数据来源于 2013,2015,2018 和 2020 年《锡林郭勒盟统计年鉴》及联合国粮农组织数据库(<https://www.fao.org/home/zh/>),数据来源详见表 1。

表 1 主要数据来源
Table 1 Primary data sources

数据类型	数据名称	数据来源
土地数据	土地利用数据(空间分辨率为 1 km) NPP 数据(空间分辨率为 500 m)	中国科学院资源科学与数据中心 NASA 的 MOD17a3 数据集
生物资源账户	奶类、羊毛绒(绵羊毛、山羊毛和山羊绒)、肉类(牛肉、羊肉、驼肉)	《锡林郭勒盟统计年鉴》联合国粮农组织数据库
人口数据	常住人口	《锡林郭勒盟统计年鉴》

2 研究方法

2.1 三维生态足迹模型

生态足迹是指能够持续地为人类提供资源并消纳废物且具有生物生产力的地域空间。生态足迹法是从供给和需求两个方面来评判区域的发展是否处于生态承载力的范围内^[8]。三维生态足迹模型引入足迹深度(EF_{depth})和足迹广度(EF_{size})两个指标^[15],以此刻画人类生产生活对区域自然资源占用情况,其中,EF_{depth}代表人类生活生产占用自然资源的程度且具有双重属性,从空间属性分析,EF_{depth}表示占用多少现有土地面积能满足人类对资源的需求量^[16],其值>1.0,表明区域土地需求量>供应量,处于生态赤字状态,反之相反;从时间属性分析,EF_{depth}表示生成一年内消耗的等量自然资源所需要的时间。EF_{size}代表区域人类活动占用自然资源的状况,不能超过该区域的生态承载力^[17]。运用三维生态足迹模型对草地资源供需状况进行研究时,需先以研究区内草地主要产品的消费量构建资源消费账户。本文从研究区实际及参考现有研究成果^[9,14,18],草地资源账户主要从肉类(牛肉、羊肉、驼肉)、奶类、羊毛绒(绵羊毛、山羊毛和山羊绒)等 3 大类构建。

2.1.1 均衡因子和产量因子 在三维生态足迹模型中,引入均衡因子和产量因子 2 个重要参数^[8],将不同生产力的各类土地转换为统一生产力标准面积的转换系数^[18],对应不同研究范围以“国家公顷”“省公顷”“市公顷”等因子构建模型^[9],使研究区均衡因子、产量因子进行本地化及标准化。研究区锡林郭勒盟作为市级行政区域,其均衡因子和产量因子,基于盟市尺度,运用 NPP 的“市公顷”模型^[19-21]构建(表 2),计算公式为:

$$r = \frac{NPP}{NPP_j} \quad (1)$$

$$y = \frac{NPP}{NPP} \quad (2)$$

式中: r 为均衡因子;NPP为锡林郭勒盟草地平均NPP; NPP_j 为锡林郭勒盟平均NPP; y 为产量因子; NPP 为内蒙古自治区草地平均NPP。

基于 NPP 数据,借用 ArcGIS,ENVI 软件获得研究区 2013,2015,2018 和 2020 年草地 NPP 数据,并利用公式(1)–(2)计算获得盟市对应年份的均衡因子和产量因子,计算结果详见表 2。

表 2 2013—2020 年锡林郭勒盟均衡因子与产量因子
Table 2 Equilibrium factors and yield factors in Xilingol League from 2013 to 2020

年份	均衡因子	产量因子
2013	0.96	0.53
2015	0.97	0.50
2018	0.96	0.51
2020	0.92	0.48

2.1.2 生态足迹 生态足迹(ecological footprint, EF)代表人类生产生活活动所占用的生物生产性土地面积,计算公式为:

$$EF = N \times ef = N \times r \times \sum \frac{C_i}{P_i} \quad (3)$$

式中:EF为区域总生态足迹(hm²);N为区域常住人口数量;ef为人均生态足迹(hm²/人); r 为均衡因子; C_i 为产品*i*的人均年消耗总量(kg/人); P_i 为产品*i*的全球单位面积平均生产能力(kg/hm²)。

2.1.3 生态承载力 生态承载力(ecological carrying capacity, EC)是指在一定的环境条件下,为保证生物

活动正常运行,生态系统所能达到的最佳服务水平。根据联合国世界环境与发展委员会的提议,需扣除 12% 的生物多样性保护面积^[14],其计算公式为:

$$EC = N \times ec = N \times (1\% \sim 12\%) \times a \times r \times y \quad (4)$$

式中:EC 为区域总生态承载力(hm²);ec 为人均生态承载力(hm²/人);a 为区域人均草地面积(hm²/人)。

2.1.4 生态足迹深度与广度 三维生态足迹模型引入足迹深度(EF_{depth})和足迹广度(EF_{size})两个指标,进行横向和纵向对比,判断人类消费在横向上是否超载,并计算出纵向超载程度,可较好地揭示自然资本和经济发展之间的互补关系,其计算公式为:

$$EF_{depth} = 1 + \frac{EF - EC}{EC} \quad (5)$$

$$EF_{size} = \min\{EF, EC\} \quad (6)$$

$$EF_{3D} = EF_{size} \times EF_{depth} \quad (7)$$

式中:EF_{depth}为足迹深度;EF_{size}为足迹广度;EF_{3D}为三维生态足迹。

2.2 评价指标

2.2.1 生态赤字(ED)/盈余(ER) ED/ER 是指生态足迹与生态承载力间的差值^[9],计算公式为:

$$ER/ED = EC - EF \quad (8)$$

若 ER/ED > 0,说明区域处于生态盈余状态,生态环境可以健康运转;ER/ED < 0,表示处于赤字状态,生态环境处于危机中。

2.2.2 生态压力指数(ETI) ETI 是衡量一个区域资源消耗和生态系统承受能力之间相互关系的指标。ETI 越大,说明该区域难以维持生态环境的稳定和可持续发展。在三维生态足迹模型框架下的生态压力指数,通常用来表示生态安全程度,其计算公式为:

$$ETI = ef/ec \quad (9)$$

在参考现有研究成果^[22-23]的基础上,引用世界自然基金会(WWF)相关研究结论中的生态安全评价指标与等级划分标准^[24],划分本文草地生态安全程度等级(表 3)。

表 3 草地资源生态安全程度等级划分标准

Table 3 Criteria for classifying the degree of ecological security of grassland resources

等级	生态压力指数(ETI)	生态安全程度
1	<0.50	很安全
2	0.51~0.80	较安全
3	0.81~1.00	稍不安全
4	1.01~1.50	较不安全
5	1.51~2.00	很不安全
6	>2.00	极不安全

3 结果与分析

3.1 草地生态足迹与生态承载力时空变化

3.1.1 生态足迹时空变化 研究期内锡林郭勒盟草地总生态足迹呈现出先增后减的变化态势,总生态足迹最高值出现在 2015 年(图 1)。人均生态足迹从 2013 年的 27.37 hm²增加到 2015 年的 32.59 hm²,又减少到 2020 年的 24.93 hm²,总体下降率为 8.89%,下辖各旗(县)的变化差异性较明显,其中阿巴嘎旗、西乌珠穆沁旗、正镶白旗人均生态足迹呈现出逐期增长的趋势,二连浩特市、东乌珠穆沁旗、正蓝旗、苏尼特左旗人均生态足迹以先增后减的趋势发生了变化,其余 6 个旗(县)人均生态足迹总体呈下降趋势(表 4)。

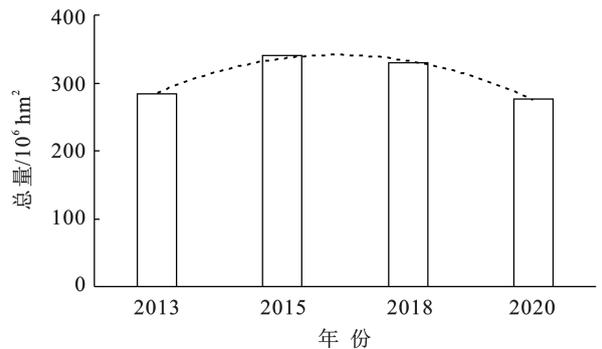


图 1 锡林郭勒盟总生态足迹变化

Fig.1 Changes in the total ecological footprint of Xilingol League

表 4 锡林郭勒盟各旗(县)草地人均生态足迹变化
Table 4 Changes in per capita ecological footprint of grassland in each county of Xilingol League

区域	人均生态足迹变化/(hm ² ·人 ⁻¹)				总体增长率/%
	2013 年	2015 年	2018 年	2020 年	
锡林郭勒盟	27.37	32.59	31.20	24.93	-8.89
二连浩特市	3.61	4.43	6.01	5.55	53.60
锡林浩特市	10.54	14.50	11.62	7.06	-33.06
阿巴嘎旗	70.03	82.84	91.63	98.02	39.96
苏尼特左旗	63.43	69.00	75.51	63.44	0.01
苏尼特右旗	30.75	36.00	36.52	22.34	-27.34
东乌珠穆沁旗	52.91	79.13	70.48	70.75	33.72
西乌珠穆沁旗	40.69	41.19	46.70	52.85	29.90
太仆寺旗	9.66	14.38	11.26	5.24	-45.73
镶黄旗	53.60	59.62	56.15	27.27	-49.12
正镶白旗	31.14	32.63	33.27	39.38	26.45
正蓝旗	36.59	56.52	53.47	37.47	2.40
多伦县	11.35	17.41	9.99	8.99	-20.77
乌拉盖管理区	35.54	45.09	37.56	27.22	-23.40

研究区总生态足迹在空间上呈现出由东向西递减的变化规律(乌拉盖管理区除外)。其中,位于东北端的东乌珠穆沁旗草地总生态足迹连续 7 a 最高,其南面紧邻的西乌珠穆沁旗草地总生态足迹较高且逐

期增加,7 a 间增加较明显;中部旗(县)的总生态足迹低于东部的两个旗(县),但高于西部及南部的各旗(县);西部、南部的旗(县)及最东端的乌拉盖管理区生态足迹较低,其中二连浩特市生态足迹最少,7 a 间变化幅度不显著,生态足迹相对稳定(图 2)。

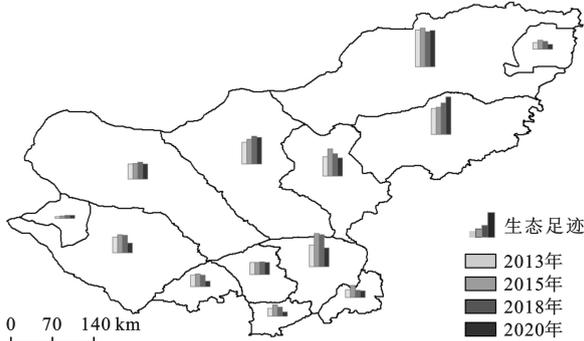


图 2 锡林郭勒盟各旗(县)总生态足迹时空变化

Fig.2 Spatial and temporal variation of total ecological footprint in each county of Xilingol League

3.1.2 生态承载力时空变化 研究期内锡林郭勒盟草地资源总生态承载力在前期缓慢增加,2018—2020 年呈下降趋势,总体下降 $5.93 \times 10^5 \text{ hm}^2$,下降率为 7.35%(图 3)。人均生态承载力在 2013—2015 年增加了 $0.18 \text{ hm}^2/\text{人}$,随后在 2015—2020 年减少了 $1.34 \text{ hm}^2/\text{人}$,7 a 间共减少 13.19%。下辖各旗(县)苏尼特左旗人均生态承载力持续 7 a 最高,太仆寺旗草地人均生态承载力最低;正镶白旗人均承载力呈逐期增长的趋势,东乌珠穆沁旗、正蓝旗和阿巴嘎旗人均生态承载力以波动变化趋势增长,其余旗(县)草地人均生态承载力总体呈下降态势(表 5)。

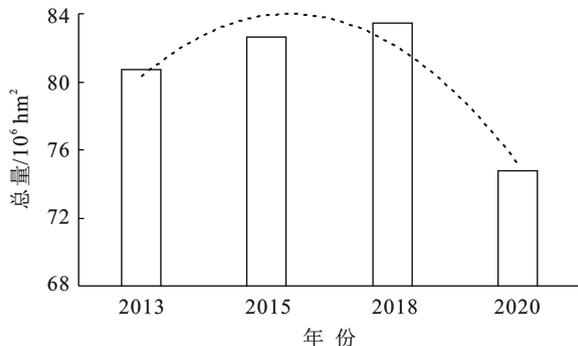


图 3 锡林郭勒盟总生态承载力变化

Fig.3 Changes in total ecological carrying capacity of Xilingol League

研究区总生态承载力空间上整体呈现出南部及西部低于北部及东部的特点(乌拉盖管理区和苏尼特右旗除外),下辖各旗(县)总生态承载力水平差异较大(图 4)。位于东北端的东乌珠穆沁旗草地总生态承载力最高且变化幅度小,年均下降率为 6.34%;位于北部的苏尼特左旗和阿巴嘎旗、东南端的西乌珠穆

沁旗及中部偏西的苏尼特右旗草地生态承载力较高,且多年相对稳定;位于南部的 5 个旗(县)、中南部的锡林浩特市、最西端的二连浩特市及最东端的乌拉盖管理区的草地总生态承载力较低且变化幅度大,其中多伦县和太仆寺旗草地总生态承载力极低。

表 5 锡林郭勒盟各旗(县)草地人均生态承载力变化

Table 5 Changes in per capita ecological carrying capacity of grassland in each county of Xilingol League

区域	人均生态承载力变化/($\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$)				总体增长率/%
	2013 年	2015 年	2018 年	2020 年	
锡林郭勒盟	8.83	9.01	8.99	7.66	-13.19
二连浩特市	2.49	2.63	2.76	2.26	-9.02
锡林浩特市	2.82	2.78	2.56	1.75	-37.86
阿巴嘎旗	31.00	31.21	31.09	31.12	0.36
苏尼特左旗	47.93	50.85	51.75	44.29	-7.60
苏尼特右旗	15.63	15.38	15.91	15.60	-0.18
东乌珠穆沁旗	19.38	28.09	27.96	24.69	27.36
西乌珠穆沁旗	11.57	11.83	11.20	9.53	-17.58
太仆寺旗	0.73	0.72	0.71	0.64	-11.37
镶黄旗	8.57	8.51	8.72	8.27	-3.57
正镶白旗	4.96	4.97	5.52	6.02	21.46
正蓝旗	4.52	5.59	5.39	5.79	27.93
多伦县	1.09	1.39	0.89	0.80	-26.52
乌拉盖管理区	8.89	8.58	7.51	7.98	-10.17

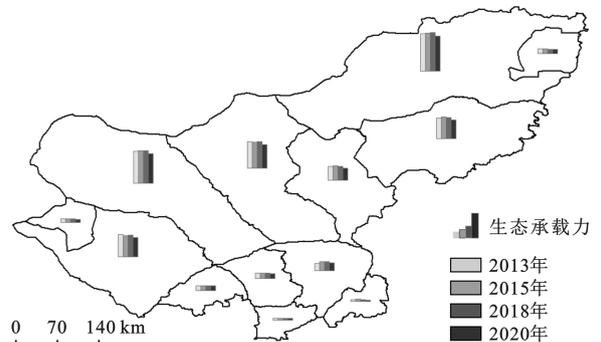


图 4 锡林郭勒盟各旗(县)总生态承载力时空变化

Fig.4 Spatial and temporal variation of total ecological carrying capacity in each county of Xilingol League

3.2 生态足迹深度与广度变化

分析基于三维生态足迹模型计算得出的研究区生态足迹深度和广度结果(表 6),锡林郭勒盟 4 个时期草地资源生态足迹深度先上升后下降,总体上升 4.95%, EF_{depth} 值,多年均大于 1.0,截止到 2020 年,锡林郭勒盟 EF_{depth} 值为 3.70,表明草地供应小于当地生产生活需求,若想满足当前需求量需要 3.70 倍的现有草地,草地负荷量大,可持续性弱。而在现有的草地供应条件下,再次生成满足生产生活的等量自然资源需要耗费 3.70 a 时间。由于锡林郭勒盟各个时期 $EC - EF < 0$,表示草地生态系统处于生态赤字状态,由此说明当前草地资源的消费方式一直处于不

合理状态,出现持续的过度消耗草地资源的利用模式,草地生态系统呈现出不可持续的非健康现象。

表 6 2013—2020 年锡林郭勒盟草地生态足迹深度与足迹广度变化

Table 6 Changes in grassland ecological footprint depth and footprint size in Xilingol League from 2013 to 2020

指标	2013 年	2015 年	2018 年	2020 年
EF _{depth}	3.52	4.11	3.94	3.70
EF _{depth} 变幅	—	16.72%	-4.13%	-6.21%
EF _{size} (×10 ⁵)	80.714 52	82.652 65	83.484 96	74.782 66
EF _{size} 变幅	—	2.40%	1.01%	-10.42%

3.3 草地生态安全状况分析

锡林郭勒盟草地生态承载力多年平均值均低于其生态足迹,ER/ED 均小于 0,草地系统处于不可持续状态。2013 和 2015 年,草地资源生态赤字处于急剧增加状态,2 a 扩张率为 26.30%。之后随着总生态足迹下降,2020 年生态赤字下降到了 $-2.02 \times 10^7 \text{ hm}^2$,总下降率为 0.95%(表 7)。4 个时期,各旗(县)草地生态赤字变化较大,二连浩特市、西乌珠穆沁旗草地资源生态赤字逐期增加,草地资源生态安全性逐年变差;阿巴嘎旗、正镶白旗呈现出先上升后下降的趋势,总体上分别上升了 46.20%和 2.29%;其他旗(县)生态赤字先增加后减少,除苏尼特左旗最高值出现在 2018 年以外,剩余旗(县)最高值均出现在 2015 年,最小值均出现在 2020 年,表明草地生态安全状况近年来略有好转的态势。

表 7 2013—2020 年锡林郭勒盟各旗(县)草地生态赤字变化
Table 7 Changes in grassland ecological deficit in each county of Xilingol League from 2013 to 2020

区域	草地生态赤字变化/10 ⁵ hm ²			
	2013	2015	2018	2020
锡林郭勒盟	-203.614 59	-257.173 85	-245.580 95	-201.689 03
二连浩特市	-1.067 16	-1.543 45	-2.481 83	-2.695 15
锡林浩特市	-20.254 52	-31.706 33	-25.267 63	-19.393 26
阿巴嘎旗	-18.551 57	-23.314 27	-27.569 05	-27.123 00
苏尼特左旗	-7.122 84	-7.906 30	-9.620 27	-8.222 47
苏尼特右旗	-12.102 50	-15.663 86	-15.339 29	-5.358 86
东乌珠穆沁旗	-34.416 04	-37.107 04	-31.934 23	-34.612 01
西乌珠穆沁旗	-27.455 86	-28.311 94	-34.858 37	-44.238 69
太仆寺旗	-10.058 68	-15.192 43	-11.825 88	-5.116 46
镶黄旗	-13.446 79	-15.065 98	-14.058 22	-5.478 44
正镶白旗	-14.326 45	-14.920 95	-14.859 33	-14.654 52
正蓝旗	-27.199 12	-42.620 87	-40.833 47	-22.632 55
多伦县	-10.468 55	-16.224 80	-9.607 40	-8.590 50
乌拉盖管理区	-7.124 22	-10.135 93	-8.636 00	-4.746 58

全盟东部两个旗(县)赤字状态较严重(图 5),如东南端的西乌珠穆沁旗生态赤字逐年增加,到 2020 年成为生态赤字最严重地区;东北端的东乌珠穆沁旗持续多年为生态赤字状态最严重区且变化不稳定,2018 年略有下降,到 2020 年又加重。南端的正蓝旗在 2015 和 2018 年生态赤字状态逐期加重,到 2020 年有所下降。中西部、西部及西南部草地生态安全状态相对较好,到 2020 年好转较显著(图 5)。

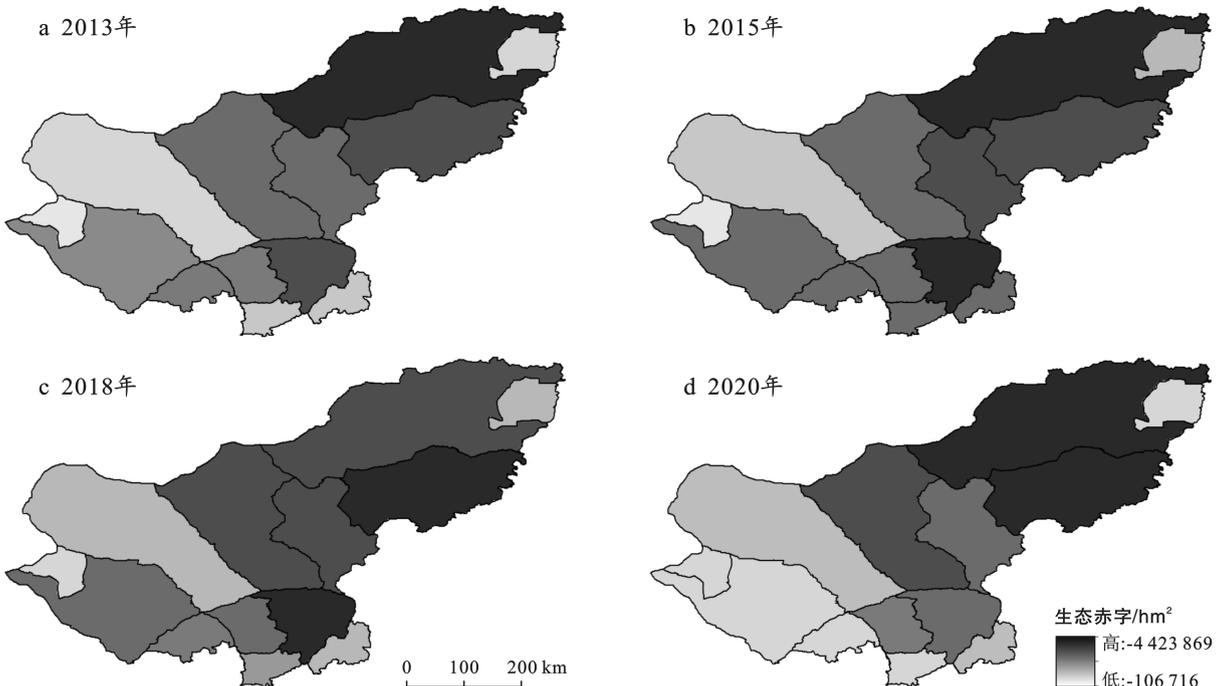


图 5 2013—2020 年锡林郭勒盟各旗(县)赤字时空演变

Fig.5 Spatial and temporal evolution of ecological deficit in Xilingol League from 2013 to 2020

锡林郭勒盟生态压力指数由 2013 年的 3.10 上升到 2020 年的 3.25, 其中 2015 年达最高值 3.62, 各期的草地生态压力指数均 >3 , 草地资源生态安全程度均为 6 级, 多年处于极不安全状态(表 3)。下辖各旗(县)中苏尼特左旗生态安全多年处于较不安全的状态; 苏尼特右旗生态安全状况从 2013 年的很不安

全下降为 2015 年、2018 年的极不安全, 到 2020 年略好转为较不安全状态; 二连浩特市生态安全状态逐年变差, 从 2013 年的较不安全下降为 2015 年的很不安全, 到 2018 年、2020 年进一步下降为极不安全状态; 其他各旗(县)生态安全 4 个时期始终处于极不安全状态(图 6)。

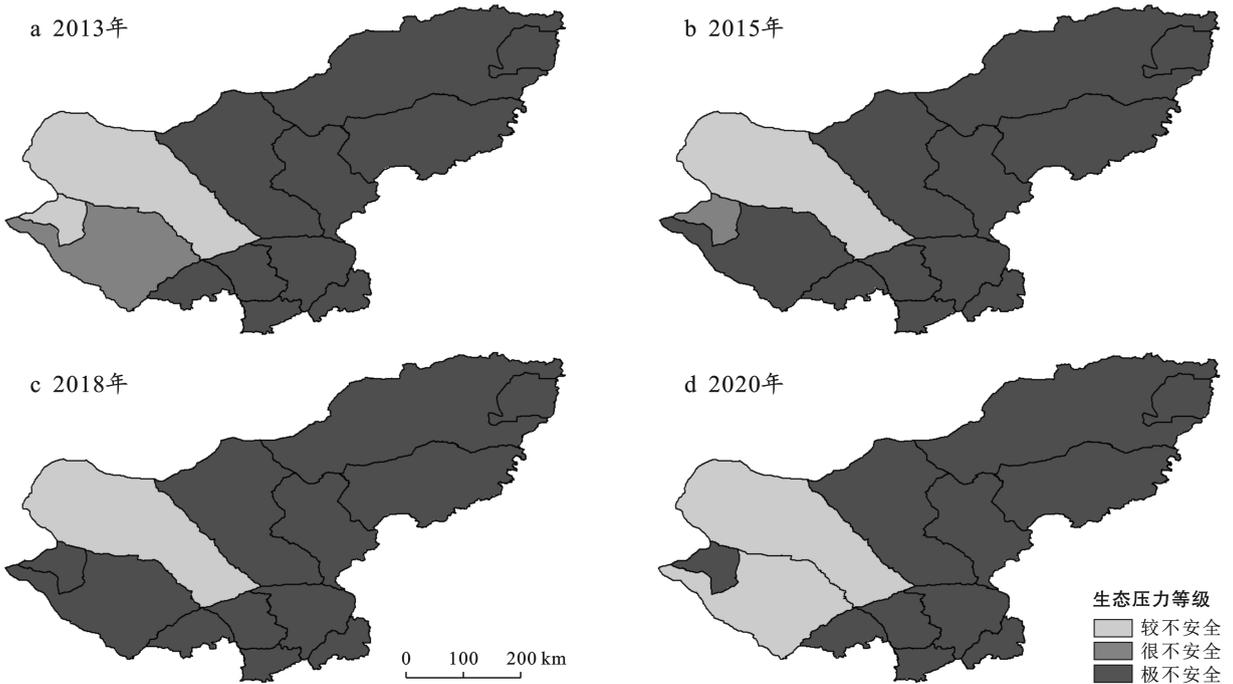


图 6 2013—2020 年锡林郭勒盟各旗(县)生态压力等级

Fig.6 Ecological pressure level of Xilingol League counties from 2013 to 2020

4 讨论

锡林郭勒盟 2013—2020 年草地资源承载力时空变化较为明显。①以 2018 年为分界, 从 2018 年前的持续增长变为 2018 年后的下降趋势。究其原因, 首先全盟 2013—2018 年的常住人口增长速度较慢, 对草地资源的基本需求没有显著变化; 其次, 2000 年以来实施的退耕还草、草原生态修复治理、京津风沙源治理等项目的持续推进, 局部逆转了草地生态系统退化的趋势^[25]。2018 年后, 随着提前 3 a 完成全盟“十三五”规划既定的 65% 的城镇化目标, 城镇化进程快速推进, 2018—2020 年常住人口急剧增加, 导致人均草地面积大幅度减少, 由此产生的对草地资源的基本需求明显增加。此外, 以 NPP 代表土地生产力来计算的均衡因子和产量因子, 在 2018—2020 年出现了下降的趋势, 因此人均草地生态承载力出现下降的态势。②空间分布上, 锡林郭勒盟草地资源生态承载力呈现出北部及东部高于南部及西部的规律。分析其原因, 全盟地势南高北低, 地形从西南向东北逐渐降

低, 南部海拔最高, 以浑善达克沙地等半固定沙地及察哈尔低山丘陵为主; 南部各旗(县)面积小, 能提供的生活生产土地面积相对较小; 南部及西部草原类型以温性荒漠草原类、温性草原化荒漠类和温性荒漠类为主, 植被覆盖度较低; 世界和谐土壤数据库(HWSD2.0)数据显示, 锡林郭勒盟南部和西部土壤有机质含量较低, 平均含量低于 1.8%; 降水量总体分布规律为南部和西部少于东部, 平均为 214 mm; 基于肉类、奶类、羊毛绒产品的人均年消耗总量和全球年均产量计算获得的人均生态足迹(EF), 南部及西部低于东部。受以上自然本底条件和社会经济因子影响, 研究区草地生态承载力水平呈现出北高南低、东高西低的特点。

锡林郭勒盟 4 期 $ER/ED < 0$, $ETI > 1$, 草地资源处于生态赤字状态, 生态安全多年处于极不安全状态。分析其原因: ①随着社会经济发展, 居民生活水平不断提高, 人均消费量增加, 居民食物消费理念、结构、销售方式及市场的变化, 对畜牧产品的需求量不断增加, 从而造成牲畜数量的大幅度增加, 进而导致区域内有限的草地面积承载的压力持续增大, 草地资

源利用出现了供不应求的现象,草地生态安全性不断降低,使草地资源处于不可持续利用状态。②锡林郭勒盟处于干旱半干旱区,生态条件不稳定,对人类干扰敏感性高,自我修复能力不足。因此,面对人类高需求导致的超额的畜产品产量,透支利用了草地资源,使草地资源生态承载力处于超负荷状态;③长期以来,所采取的传统畜牧业生产模式,其经营管理相对落后,生产结构不合理,这些社会经济因素的限制,导致草地资源的超负荷利用,使其处于不可持续状态。受以上自然、社会经济双重因素限制,致使锡林郭勒盟草地资源的安全性趋于变弱。

5 结论

(1) 2013—2020年锡林郭勒盟草地资源生态足迹持续高于生态承载力,总生态足迹与总生态承载力呈现先增后减趋势。草地生态承载力在空间分布上呈现出北部及东部高于南部及西部的规律;

(2) 锡林郭勒盟4期 $ER/ED < 0$, $ETI > 1$,草地资源处于生态赤字状态,生态安全多年处于极不安全状态;

(3) 锡林郭勒盟所处的干旱半干旱地理位置及其资源禀赋,叠加高强度的人类经济社会活动是导致全盟草地生态承载力降低,生态处于不安全状态的主要原因。

参考文献(References)

- [1] 余万洋,陈怡帆,方发永,等.1980—2020年贵州省草地空间分布格局演变及驱动力分析[J].草业学报,2024,33(01):1-18.
Yu Wanyang, Chen Yifan, Fang Fayong, et al. An analysis of grassland spatial distribution and driving forces of patterns of change in grassland distribution in Guizhou Province from 1980 to 2020 [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2024,33(1):1-18.
- [2] 王立景,肖焱,孔令桥,等.青藏高原草地承载力空间演变特征及其预警[J].生态学报,2022,42(16):6684-6694.
Wang Lijing, Xiao Yi, Kong Lingqiao, et al. Spatiotemporal patterns and early-warning of grassland carrying capacity in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022,42(16):6684-6694.
- [3] 邓波,洪绶曾,高洪文.试述草原地区可持续发展的生态承载力评价体系[J].草业学报,2004,32(1):1-8.
Deng Bo, Hong Fuzeng, Gao Hongwen, Commentary on the ecological carrying capacity appraisal system in assessing sustainable development of grassland regions [J]. Acta Pratacultural Science, 2004,32(1):1-8.
- [4] 王娜,张燕华,周章金.西藏草地生态承载力评价:以班戈县为例[J].安徽农业科学,2022,50(8):65-67.
Wang Na, Zhang Yanhua, Zhou Zhangjin, Evaluation of grassland ecological carrying capacity in Tibet: Taking Bangor County as an example [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022,50(8):65-67.
- [5] 俞慧云,俞联平,杨林平,等.玛曲县高寒草地可食牧草产量和养分含量变化及草地承载力分析[J].中国草食动物科学,2020,40(3):40-46.
Yu Huiyun, Yu Lianping, Yang Linping, et al. Analysis on the change of the yield and nutrient content of the edible forage and the grassland grazing capacity in the Alpine Grassland of Maqu County [J]. China Herbivore Science, 2020,40(3):40-46.
- [6] 李文凤,李龙,张静.基于RS和GIS的班戈县草地承载力分析[J].湖北农业科学,2014,53(3):540-543.
Li Wenfeng, Li Long, Zhang Jing. Analysis of grazing capacity of grassland in Bangor County based on RS and GIS [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2014,53(3):540-543.
- [7] 高婕,赵新全,刘文亨,等.基于供给—消耗关系的青海省高寒草地承载力时空变化分析[J].草业学报,2023,32(5):1-12.
Gao Jie, Zhao Xinquan, Liu Wenting, et al. Spatio-temporal analysis of the alpine grassland carrying capacity in Qinghai Province considering a supply-consumption relationship [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2023, 32(5):1-12.
- [8] 赵玉红,敬久旺,魏学红.基于生态足迹的藏北那曲县草地生态承载力分析[J].贵州农业科学,2011,39(9):140-143.
Zhao Yuhong, Jing Jiawang, Wei Xuehong. Analysis on ecological capacity of grasslands in Nagchu County based on ecological footprint [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2011,39(9):140-143.
- [9] 张佳宁,姚林杰,张恒瑞,等.内蒙古草地资源的生态足迹及其可持续利用分析[J].干旱区地理,2022,45(6):1988-2003.
Zhang Jianing, Yao Linjie, Zhang Hengrui, et al. Ecological footprint and sustainable utilization of grassland resources in Inner Mongolia [J]. Arid Land Geography, 2022,45(6):1988-2003.
- [10] Qin Pengyao, Sun Bin, Li Zengyuan, et al. Estimation of grassland carrying capacity by applying high spatiotemporal remote sensing techniques in Zhenglan Banner, Inner Mongolia, China [J]. Sustainability, 2021, 13(6):3123-3123.
- [11] Umuhzo J, Jiapaer G, Yin Hanmin, et al. The analysis of grassland carrying capacity and its impact factors in typical mountain areas in Central Asia: A case of Kyrgyzstan and Tajikistan [J]. Ecological Indicators, 2021,131:108129.

- [12] Zhang Jiping, Zhang Linbo, Liu Xiaona, et al. Research on sustainable development in an alpine pastoral area based on equilibrium analysis between the grassland yield, livestock carrying capacity, and animal husbandry population [J]. *Sustainability*, 2019, 11(17): 4659-4659.
- [13] Zou Xiuping Z, Song Dunjiang S, Chen Shaofeng. Ecological carrying capacity of grasslands and animal husbandry sustainability in Central Asia [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2019, 10(6):598-604.
- [14] 杨艳,牛建明,张庆,等.基于生态足迹的半干旱草原区生态承载力与可持续发展研究:以内蒙古锡林郭勒盟为例[J].*生态学报*, 2011, 31(17):5096-5104.
Yang Yan, Niu Jianming, Zhang Qing, et al. Ecological footprint analysis of a semi-arid grassland region facilitates assessment of its ecological carrying capacity: A case study of Xilinguole League [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(17):5096-5104.
- [15] 丁耀纲.基于三维生态足迹模型的江西省土地承载力研究[D].江西 赣州:江西理工大学, 2020.
Ding Yaogang. Research on Land Carrying Capacity of Jiangxi Province Based on 3D Ecological Footprint Model [D]. Ganzhou, Jiangxi: Jiangxi University of Science and Technology, 2020.
- [16] 龚春丽.基于三维生态足迹的阿克苏地区自然资本动态研究[J].*安徽农业科学*, 2021, 49(22):110-113.
Gong Chunli. Research on dynamics of natural capital in Aksu Region based on three-dimensional ecological footprint [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, 49(22):110-113.
- [17] 康国华.基于改进三维生态足迹模型的黄河下游背河洼地区土地承载力评价:以兰考县为例[D].河南 开封:河南大学, 2019.
Kang Guohua. Assessment of land carrying capacity based on improved 3D ecological footprint model on low ground of Back River of the Lower Yellow River: A case study of Lankao County [D]. Kaifeng, Henan: Henan University, 2019.
- [18] 王笑影,张慧,朱文泉,等.基于三维生态足迹模型的桂林市 2000—2018 年生态承载力变化评估[J].*气象与环境学报*, 2021, 37(6):62-70.
Wang Xiaoying, Zhang Hui, Zhu Wenquan, et al. Variation assessment of ecological carrying capacity using three-dimensional ecological footprint model in Guilin from 2000 to 2018 [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2021, 37(6):62-70.
- [19] 李蕴峰,陈卓,雷海亮,等.黑龙江省生态足迹时空演变与生态可持续分析[J].*环境工程技术学报*, 2023, 13(3):1194-1203.
Li Yunfeng, Chen Zhuo, Lei Hailiang, et al. Spatial-temporal evolution and ecological sustainability analysis of ecological footprint in Heilongjiang Province [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2023, 13(3):1194-1203.
- [20] 王涛,邵田田,李登辉,等.基于净初级生产力生态足迹的河南省生态安全诊断[J].*遥感信息*, 2020, 35(4):133-140.
Wang Tao, Shao Tiantian, Li Denghui, et al. Ecological security diagnosis of Henan Province based on ecological footprint of net primary productivity [J]. *Remote Sensing Information*, 2020, 35(4):133-140.
- [21] 鲁凤,陶菲,钞振华,等.基于净初级生产力的省公顷生态足迹模型参数的计算:以江苏省为例[J].*地理与地理信息科学*, 2016, 32(2):83-88.
Lu Feng, Tao Fei, Chao Zhenhua, et al. Calculation of ecological footprint model coefficients based on net primary productivity: A case study of Jiangsu [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2016, 32(2):83-88.
- [22] 李志赞,邓晓雅,龙爱华,等.三维生态足迹视角下塔里木河流域水土资源与生态承载状况评价[J].*环境工程*, 2022, 40(6):286-294.
Li Zhiyun, Deng Xiaoya, Long Aihua, et al. Evaluation of soil, water resources and ecological carrying status of the Tarim River basin from the perspective of three-dimensional ecological footprint model [J]. *Environmental Engineering*, 2022, 40(6):286-294.
- [23] 王雨琪,程舒鹏,陆文涛,等.基于径向基函数网络模型的中国生态压力指数评价[J].*北京大学学报(自然科学版)*, 2019, 55(1):182-188.
Wang Yuqi, Cheng Shupeng, Lu Wentao, et al. Ecological tension index assessment in China based on RBFN model [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2019, 55(1):182-188.
- [24] WorldWide Fund for Nature (WWF). Living Planet Report 2002. <http://www.wwf.org/filelibrary/pdf/livingplanet2002.pdf>(accessed2004)
- [25] 巴图娜存,胡云锋,艳燕,等.1970 年代以来锡林郭勒盟草地资源空间分布格局的变化[J].*资源科学*, 2012, 34(6):1017-1023.
Batunacun, Hu Yunfeng, Yan Yan, et al. The variations and its spatial pattern of grassland changes in Xilinguole from 1975 to 2009 [J]. *Resources Science*, 2012, 34(6):1017-1023.