

基于生态足迹模型的重庆市三峡库区可持续发展对策研究

刘 晓¹, 苏维词^{1,2}

(1. 重庆师范大学地理科学学院, 重庆 400047; 2. 贵州科学院山地资源研究所, 贵阳 550001)

摘 要: 基于生态足迹模型, 采用多源数据, 对重庆市三峡库区生态经济环境的可持续发展状况进行了定量研究, 研究表明重庆市三峡库区生态经济区处于不可持续发展状态。同时, 通过与重庆市区域范围内及其它两大经济区的比较发现, 该区的生态赤字最低, 但是万元 GDP 生态足迹处于最高, 说明该区相对环境承载力较强, 资源利用效益最低。并且对该区生物资源账户的人均生态足迹进行了进一步的分析, 提出了有利于该区生态、经济、环境协调发展的具体对策措施。

关键词: 生态足迹; 重庆市; 三峡库区; 生态经济区; 可持续发展

中图分类号: X171.1; F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)02-0222-04

Study on the Sustainable Development Measurements in Chongqing Three Gorges Reservoir Region Based on Ecological Footprint Model

LIU Xiao¹, SU Wei-ci^{1,2}

(1. Geography Department, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China; 2. Institute of Mountain Resources, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China)

Abstract: The ecological economic environment of the Chongqing Three Gorges Reservoir Region's sustainable development was quantificationally studied, based on the ecological footprint model (EF) and polygenetic data. The results showed that the study area development was unsustainable. Meanwhile, the region of Chongqing has the lowest ecological deficit but the highest 10 000 Yuan GDP by compared with two other economic zones, which means relative environmental carrying capacity (ECC) was strong and effective use of resources was the lowest in Chongqing. Throughout the further analysis of per capita EF of biological resources account, some specific countermeasures to conduce the ecological, economic and environmental development was raised.

Keywords: ecological footprint; Chongqing; Three Gorges Reservoir region; ecological economic region; sustainable development

自世界环境与发展委员会(WCED)在1987年提出可持续发展这一概念以来, 定量测度可持续发展状态的方法一直是国际研究的热点和前沿领域之一^[1-2]。针对可持续发展评价中缺少明确简单的指标体系, 指标量纲的统一化及权重的确定客观性差等缺陷, 加拿大生态经济学家Ree和他的学生Wackernage提出了基于生物物理量的生态足迹模型^[3], 其模型直观、综合、可操作性强, 是量化可持续发展的有效方法。以重庆三峡库区生态经济区为研究对象, 基于生态足迹理论模型, 计算和分析了该区的生态足迹及生态承载力状况, 确定该区生态赤字或生态盈余, 从而实现对三峡库区生态经济区的可持续发展的度量, 并且提出了相应的对策, 为其生态经济建设提供某些参考依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

重庆市分为都市发达经济圈、渝西经济走廊、三峡库区生态经济区三大经济功能区。研究区重庆三峡库区生态经

济区包括万州、涪陵、黔江3个区和长寿、梁平、城口、丰都、垫江、武隆、忠县、开县、云阳、奉节、巫山、巫溪、石柱、秀山、酉阳、彭水16个县。重庆库区是整个三峡库区的主体部分, 是三峡经济发展的重点地区。土地总面积为5.8万km², 占重庆市土地总面积的70.5%。

1.1.1 自然环境

地貌以山地、丘陵为主, 土层瘠薄, 水土保持能力极差, 自然环境先天脆弱。大多数地面海拔高程均在500~1 200 m之间, 属亚热带湿润季风常绿阔叶林区, 是中国17个具有全球保护意义的生物多样性关键地区之一。

1.1.2 经济环境

该区社会经济发展水平较低, 2003年总人口1.564 3×10³万人, 其中农业人口在总人口中占84%; 人均耕地面积仅为0.057 hm²/人, 人均GDP为6 231.6元, 远低于全市8 075元的平均水平; 现有经济结构为3:4:3, 农业结构为传统的主粮型农业生产的二元经济结构, 工业结构是以资源

收稿日期: 2007-05-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(40561006); 国家社会科学基金(06XJY017); 贵州省省长基金(黔省专合人字2006(072)号); 重庆市教委科研项目(KJ050808)

作者简介: 刘晓(1985-), 湖南长沙人, 硕士, 主要从事区域经济规划与可持续发展研究。E-mail: liuxiao1214@126.com

与劳动密集型产业为主的重型结构^[4]。

1.2 研究方法

生态足迹是生产任何已知人口所消费资源和吸纳这些人口所产生的废弃物所需要的生物生产总面积^[3]。主要考虑 6 种类型^[5]化石能源地、可耕地、林地、草场、建筑用地和海洋,这 6 类生态系统生产力不同,所以各类型的生态系统面积需乘一个均衡因子^[6],数值全球一致分别为 1.1,2.8,1.1,0.5,2.8,0.2。由于同类生物生产性土地的生产力在不同区域存在差异,因此在计算生态承载力时应乘一个相应的产量因子,以转化成具有可比性的生物生产均衡面积。

1.2.1 生态足迹计算

生态足迹的计算方法有二种:国家层次上的使用综合法即自上至下利用国家级的数据归纳;创造成分法即自下而上利用当地数据计算区域、行业、公司、学校或个人生态足迹。但计算公式相同如下^[3]

$$EF=N \cdot ef=N \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{EP_i} \cdot r_j=N \cdot \sum_{i=1}^n \frac{P_i+I_i-E_i}{EP_i} \cdot r_j$$
$$(j=1,2,3,\cdots,6)$$

式中:EF——总生态足迹;N——人口数;ef——人均生态足迹;C_i——第 i 种物品的人均消费量;EP_i——第 i 种消费项目的年世界平均产量;r_j——均衡因子;j——生物生产性土地类型;P_i——第 i 种消费项目的年生产量;I_i——第 i 种消费项目的年进口量;E_i——第 i 种消费项目的年出口量。

1.2.2 生态承载力计算方法

生态承载力^[3]指区域所能提供给人类生物生产性土地面积的总和。出于谨慎性考虑,在生态承载力计算时应扣除 12% 的生物多样性保护面积。公式如下

$$EC=(1-12\%) \cdot N \cdot \sum ec=88\% \cdot N \cdot \sum_{j=1}^6 A_j \cdot r_j \cdot y_j$$
$$(j=1,2,3,\cdots,6)$$

式中:EC——总的生态承载力;ec——人均生态承载力;A_j——人均实际占有的生物生产面积;N——人口数;j,r_j同上;y_j——产量因子。

1.2.3 生态足迹评价

当一个区域的生态足迹被计算出来以后直观的评价就是与当地区域的生物承载力进行比较,如果这个地区生态足迹的供给大于需求(SEF>DEF),则出现生态盈余,表明人类对自然生态系统的压力处于本地区所提供的生态承载力范围内,生态系统就是安全的,人类社会的经济发展就处于相对可持续的范围内。反之则出现生态赤字,表明该区的人们对本地区自然生态系统所提供的产品和服务的需求超过了其供给,其发展处于相对不可持续状态。

2 生态足迹模型的运用

Wackernagel^[6]以全球为尺度,以国家为单位,对全球 52 个国家进行了生态足迹的计算,得出了各国可持续发展程度的量化值。运用生态足迹模型对重庆市三峡库区生态经济区进行可持续发展的量化研究,属于地方尺度,有明显的地域特色,故在计算中,对生态足迹模型的某些参数做了必要的修正。

2.1 生态足迹

2.1.1 生物资源消费帐户

从《重庆市统计年鉴》(2003)和《重庆市“十一五”规划生态环境保护研究》中提取所需参数进行生态足迹计算,计算内容由生物资源消费和能源消费两部分组成。用来表征当地对自然资源的利用状况的生物资源消费包括农产品、动物产品、水产等 11 项消费项目(表 1)。

表 1 2003 年生物资源消费账户的生态足迹

项目	全球平均 产量/(kg· hm ⁻²)	总消费量/ t	总生态 足迹/ hm ²	人均足迹/ (hm ² · 人 ⁻¹)	类型
粮食	2744	323874.93	1180302	0.075	耕地
蔬菜	18000	239734.73	133186	0.009	耕地
植物油	618	11415.79	184721	0.012	耕地
家禽	50	6164.40	1232879	0.079	耕地
禽蛋	400	8210.27	205257	0.013	耕地
水果	3500	42571.02	121632	0.008	耕地
奶类	502	3921.77	78123	0.005	草地
猪肉	74	41276.11	5577853	0.357	草地
牛羊肉	33	702.47	212869	0.014	草地
水产品	29	4107.59	1416411	0.091	水域
木材	1.99 m ³ /hm ²	6295076 m ³	316335	0.020	林地

注:表中的全球平均产量数据来源于 Wackernagel 的文献,总消费量数据来源于 2003 年重庆市统计年鉴中三峡库区生态经济区 19 个区县的居民消费汇总。

表 2 2003 年人均生态足迹的能源帐户

能源	总消 费量/ 10 ⁴ t	人均 消费量/ (GJ·人 ⁻¹)	人均生态足 迹/(hm ² · 人 ⁻¹)	全球平均 能源生态足 迹/(hm ² · 人 ⁻¹)
标准煤	651.421	8.717044	0.1585	化石燃料土地
天然气	101.607	1.375568*	0.0250	化石燃料土地
油料	65.737	0.889956*	0.0160	化石燃料土地
电力	107.629	1.439512*	0.0262	建筑用地

注:消费量数据来源于 2003 年重庆市统计年鉴中三峡库区生态经济区的 19 个区县的能源消费汇总。*该项已折算成标准煤,统一按标准煤的折算系数计算其能量,折算系数为 20.934 GJ/t,全球平均能源生态足迹 55 GJ/hm²,全球平均能源生态足迹数据来源于 Wackernagel M 的文献。

2.1.2 能源生态足迹

能源生态足迹是指能源生产所需的生态空间及能源消费后吸收其所产生的 CO₂ 所需的生态空间。各种消耗的油料、天然气、电力能源都按标准煤计算(表 2),计算时将能源消费转化为化石能源土地面积^[7]。化石燃料土地是人类应留出用于吸收 CO₂ 的土地,但目前事实上人类并未留出这部分土地。此外,化石燃料的消费在排出 CO₂ 的同时还可能排放有毒污染物造成其他生态危害。这些在目前的生态足迹计算中未能考虑。在计算生态足迹的需求方面,考虑了吸收 CO₂ 所需要的化石燃料的土地面积。

2.1.3 总的生态足迹

对重庆市三峡库区 2003 年的生物资源各种生产性面积进行汇总,再对各种生物生产性土地面积乘以相应的均衡因

子,就得到按世界平均产量计算的重庆市三峡库区生态经济区 2003 年的生态足迹(表 3)。

表 3 2003 年生态足迹

类型	总面积/hm ²	人均因子	均衡面积/ (hm ² ·人 ⁻¹)
耕地	0.196	2.8	0.5488
草地	0.376	0.5	0.1880
林地	0.020	1.1	0.0222
水域	0.091	0.2	0.0182
建筑用地	0.0262	2.8	0.07336
化石燃料	0.1992	1.1	0.2192
总生态足迹			1.0697

表 4 重庆市各种生产空间的产量因子

生产空间 类型	耕地/ (kg· hm ⁻² · a ⁻¹)	林地/ (m ³ · hm ⁻² · a ⁻¹)	草地/ (kg· hm ⁻² · a ⁻¹)	建筑用地/ (kg· hm ⁻² · a ⁻¹)
重庆市	7821	1.53	10	157
世界平均产量	2744	1.99	33	55
产量因子式	2.85	0.77	0.30	2.85

注:世界平均产量来源于 Wackneragel M 的文献,表中的各类型的生产力数据源于统计年鉴,草地参比贵州的河滩草地。

2.2 生态承载力计算

地属亚热带—暖温带的季风气候区,光、温、水与生命活动的需求相匹配,是世界上生物产量较高的区域,通过当地各种不同类型生产空间的生产力与全球平均生产力的比较,得出该区的产量因子如表 4 所示,从而计算出重庆三峡库区

生态经济区的生态承载力(表 5)。

表 5 2003 年生态承载力

类型	总面积/ (hm ² ·人 ⁻¹)	产量因子	均衡因子	均衡面积/ (hm ² ·人 ⁻¹)
耕地	0.04926	2.85	2.8	0.393095
林地	0.08597	0.80	1.1	0.072817
草地	0.129934	0.30	2.8	0.109145
水域	0.004067	1.00	0.2	0.000813
建筑用地	0.001002	2.85	2.8	0.007996
CO ₂ 吸收	0	0	0	0
总供给面积	—	—	—	0.583865
生物多样性 保护(12%)	—	—	—	0.070112
总生态承载力	—	—	—	0.514152

3 结果分析

3.1 生态足迹呈现赤字

根据表 5 和表 3 知道重庆市人均拥有生物生产性土地实际面积 0.584 hm²,经过均衡因子和产量因子的调整,并扣除 12% 的生物多样性保护面积 0.070 hm²,该区具有与其它地区可比性的生物生产性土地面积约为 0.51 hm²。而实际该区所用的生物生产性土地面积却约为 1.07 hm²,得出 2003 年重庆市三峡库区生态经济区的人均生态赤字为 0.56 hm²,假如不考虑 12% 的生物多样性保护面积,人均生态赤字仍为 0.49 hm²,所以该区处于可持续发展状态。

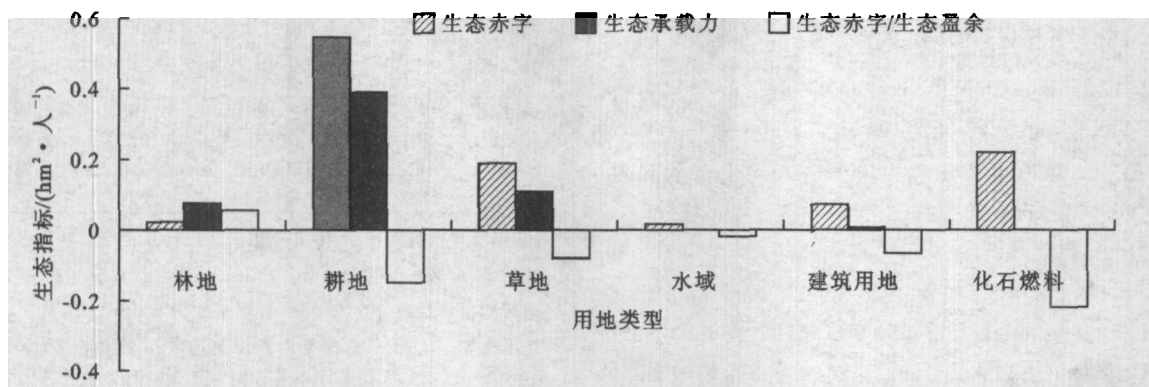


图 1 2003 年人均生态足迹、生态承载力、生态赤字/盈余

结合图 1 从生态足迹组成类型结构分析,除了林地的生态足迹略有盈余外,其余生态足迹组成类型皆为生态赤字,耕地的生态足迹最大,约占 65%,其次是化石燃料和草地,分别为 26% 和 22%,再次是建筑用地为 8.6%,最少的是林地和水域用地,仅为 2.6%,2.1%,表明三峡库区生态经济区的经济发展方式以粗放、小规模的传统农业生产为主,农业仍以粮食种植为主,牧业和农村副业不发达,是典型的农业经济,工业发展水平较低。此外,对能源账户生态足迹进一步分析得出天然气和电力的生态足迹在总能源足迹中较少,分别为 11% 和 12%,油料的生态能源足迹最少约占 7%,标准煤的生态能源足迹最大达到 70%。

3.2 万元 GDP 分析

从资源利用效益的角度来看,采用重庆市三峡库区生态

经济区 2003 年总的生态足迹需求和当年 GDP 的值,计算得到本地万元 GDP 的足迹需求为 2.225 hm²,与同年重庆市各区及两大经济功能区相比(表 6)其万元 GDP 的生态足迹为最高,万元 GDP 的生态足迹越高,说明资源利用效益越低,因此得出该区资源的利用效率低于重庆市各个区的水平,也就是说其经济发展的生态成本高于重庆市各区。

3.3 可持续发展等级划分

由中国可持续发展分级标准(表 7)^[8]知,重庆市三峡库区生态经济区 2003 年可持续状态处于弱不可持续发展等级。具体原因为:(1)自然生态脆弱、水土流失面积严重,面积达到 4.01×10⁴ km²,占幅员面积的 62%,年土壤侵蚀量 13.7 t,年均土壤侵蚀模数达 4 484 t/(km·a)。灾害频发,

主要为干旱、洪涝及各种地质灾害。区内大小地质灾害点 2 万余处,其中重大不良地质险段 50 多处,灾害总体积达 26.9 亿 m^3 。(2)人多地少、人地矛盾突出。农村人口不断增长,人地矛盾日趋突出,库区人均耕地 0.06 hm^2 ,已接近联合国粮农组织确定的 0.053 hm^2 的警戒线,人口带来的生存压力使库区土地的垦殖系数平均为 38.2%,超过全国平均一倍多,某些地方的垦殖系数高至 63.8%,已处掠夺土地资源的境地^[9]。(3)开发利用方式和强度不当。人们对水土、生物资源的过度利用,导致水资源缺乏,草地退化,资源环境受到严重的破坏。此外从表 1 中可看出该区大量资源性产品以农产品为主,影响了该区生态平衡及资源开发与资源消耗废弃物的动态平衡。

表 6 重庆市 2003 年生态足迹平衡表*

地区	生态足迹 人均值/ hm^2	可用的 生态空间 人均值/ hm^2	生态足迹 赤字 人均值/ hm^2	GDP 足迹/($\text{hm}^2 \cdot$ 万元 ⁻¹)
重庆市	1.70	0.61	-1.09	2.182
都市发达经济圈	2.18	0.18	-2.00	1.561
渝西经济走廊	1.36	0.39	-0.97	2.015
三峡库区生态 经济区	1.07	0.51	-0.56	2.225
都市圈主城区	2.56	0.20	-2.36	1.500
都市圈外圈区	1.55	0.69	-0.86	2.000
渝中区	3.17	0.021	-3.15	1.372

注:数据来源于重庆市“十一五”规划生态环境保护研究部分资料。

表 7 中国可持续发展等级

等级	可持续	弱不可持续	弱可持续	不可持续	强不可持续
ED	$ED > 0.414$	$0 \leq ED \leq 0.414$	$-0.995 \leq ED \leq 0$	$-1.99 \leq ED \leq -0.995$	$ED \leq -1.995$

注:ED=生态赤字/盈余。

总之,重庆市及其三峡库区生态经济区的发展所占用的生态服务严重超出区域本身提供的生态服务,已占用到其它区域的生态服务,对于一些区域不可替代的生态服务类型正在消耗着自然的资本,长期以往区域的可持续性令人担忧,必须实施可持续发展策略。

4 可持续发展对策

(1)发展库区生态农业,坚持走农业产业化的道路。耕地的生态足迹最大,应通过压缩坡耕地粮食生产规模,提高名、优、特、精的经济作物比重,重点开发柑橘、反季节蔬菜、中药材、干果、油桐、子遗植物制种等产品,产生规模效益发展高效优质生态农业,建立特色农副基地^[4];同时结合重庆大城市带大农村政策,把农业产业化经营放在突出位置,延长产业链,形成完整值,营造市场优势和比较优势来确保该区农业的良性循环机制与持续发展的产业系统的形成。

(2)优化农产品结构提高附加值。构建节能高效的生态型农林牧业体系,从表 1 可以看出水果、蔬菜的生态足迹较低,应结合当地的生态环境发展产量大的橙类、板栗、大头菜、莼菜等优质果、蔬基地;猪肉的生态足迹最高,牛羊肉生态足迹低,应种草养畜,稳步发展猪肉的同时以牛羊发展为

主,大力发展草业。重点按照“稳生猪,攻牛羊,上家禽”的发展思路^[4],配合库区退耕还林还草工程,发展“畜—沼—草(林、果、菜)”综合配套农业,建立高效、优质、低耗、节粮的畜牧业生产体系。林地生态足迹略有盈余但应注意维持,则应优化树种结构,加快建设速生丰产林为主发展生态经济林,并与乔、灌、草立体配套开发,点、线、面协调配合,集约式经营,建设重庆复合森林生态网络系。

(3)发展生态旅游观光业。三峡库区生态经济区的生态赤字是重庆市生态足迹中较低,但考虑到三峡库区的生态安全,在发展该区经济时应注意生态环境的保护,而生态旅游观光业能很好的将两者结合起来,可以利用库区宽阔的水域面积,独特、优美、险峻的自然峡谷风光以及世界上最大的水电站的知名度,并以库区生态农业的特色果品基地、特色蔬菜基地、特色渔村等为依托,大力发展既可增加当地 GDP 又不损害当地环境的“无烟工业”。

(4)控制人口规模,优化库区农村人口就业结构。人口规模及结构对区域的赤字或盈余起关键性作用,首先应严格执行计划生育,控制该区的人口增长。其次,发展推进农村工业和小城镇建设。库区以农业人口为主,其数量已远远超过了该区的环境容量,所以在控制人口过快增长的同时,要把该区的农村人口从农业分流到第二、三产业中;再次,借三峡移民的机会,适当转移农业人口,降低其比重。在相对经济发达地区和邻近省份的大城市建立窗口,加快库区农村剩余劳力的输出,减轻农业人口对库区环境造成的直接压力。最后,发展农村科技职业技术教育和环保教育,提高库区农民的致富能力和生态环保意识^[10]。

(5)优化能源结构,充分利用当地丰富的现有资源,发展无污染能源。库区生态经济区的能源生态赤字偏大,其中又以标准煤的足迹最大,可见该区没能充分利用西南地区丰富的天然气和水资源的优势所以在以后的能源利用中应积极推广清洁能源,充分利用水能和天然气资源发展太阳能,生物能资源;同时在农村以农户庭院为单元,因地制宜,将农村可再生能源技术和工程进行优化组合,争取 20% 以上的农户建设沼气能源及农作物秸秆气化集中供气等工程,集成配套,形成能流和物流的良性循环。而且条件成熟时可以在全市范围内推广并普及既解决农民烧柴问题又利于防止水土流失的省柴节煤灶。

参考文献:

[1] Hardi P, Barg S, Hodge T, et al. Measuring sustainable development: Review of current practice [R]. Occasional Paper Number 17, 1997(IISD); 1-2, 49-51.
[2] Costanza R, Cumberland J, Daly H, et al. An Introduction to Ecological Economics[M]. St Lucie Press, 1997.
[3] Wackernagel M, William Rees. Our ecological footprint Reducing Human impact on the earth[M]. British Columbia: New Society Publishers, 1996.
[4] 方创林, 黄金川. 三峡库区高效生态农业发展方向与重点研究[J]. 自然资源学报, 2002, 17(4): 443-448.

表 4 防风固沙林带丘间地天然植被生长量

项目	蒙古沙拐枣			多枝桤柳			油蒿		
	1985	1990	生长量差	1985	1990	生长量差	1985	1990	生长量差
高/m	0.35	0.60	0.25	1.10	1.43	0.33	0.29	0.43	0.13
最高/m	0.80	0.95	0.15	1.59	1.67	0.08	0.50	0.64	0.24
冠幅/m	0.85×0.78	0.79×1.20	0.29	0.81×0.78	1.65×1.46	1.78	0.84×0.59	0.90×0.71	0.14

表 5 防风固沙林带配置类型变化

1985 年定植	2005 年保存
花棒×梭梭	花棒×梭梭
花棒×梭梭×沙拐枣	花棒×梭梭
花棒×梭梭×沙木蓼	花棒×梭梭
梭梭(3 m×3 m)	梭梭
沙拐枣×梭梭	梭梭
梭梭(2 m×3 m)	梭梭×罗布麻(天然介入)
梭梭(2 m×2.5 m)	梭梭×罗布麻(天然介入)
梭梭×花棒×柠条锦鸡儿	花棒×柠条锦鸡儿×梭梭

3.3 植被演化状况

随着人工植被的逐步稳定,流沙被完全固定,固沙植物丛下长尖扭口藓(*Barbula ditrichoides*)和银叶真藓日渐发育,表土层约 2 mm 形成沙结皮。土壤从流沙到结皮层形成到生物结皮的发育,土壤的抗风蚀能力明显增加^[6]。由于研究区地下水位较高,加之秋、冬丘间地被引水漫灌,天然植被盖度增加,生长旺盛,已形成稳定的小气候条件,此时,天然植被各主要群落以耐风蚀沙埋、耐盐碱的植物种组成。多枝桤柳+沙蒿+花棒群落演变为多枝桤柳+油蒿+花棒群落,盖度达到 42%,蒙古沙拐枣+多枝桤柳+油蒿群落演变为多枝桤柳+罗布麻+油蒿群落,盖度达到 39%,花棒+沙蒿+多枝桤柳+骆驼刺群落演变为多枝桤柳+罗布麻+花棒+油蒿+骆驼刺群落,盖度达到 65%,沙拐枣+红砂群落被多枝桤柳+骆驼刺所替代。在上述 4 个群落中,多枝桤柳均为第一建群种。桤柳不仅具有良好的防风效应,并且具有很强的防沙效果。桤柳枝叶繁茂,阻沙能力强,当植株被沙埋后,被埋枝条上很快产生不定根。桤柳还是典型的泌盐植物,它将吸收到体内多余的盐分通过泌盐孔排出体外,枯枝落叶中的盐分常与被阻挡的沙粒粘在一起,形成固定的沙包。在高台试区,最大桤柳包长达 23 m,宽 15 m,高 6 m,多枝桤柳耐中度盐碱,体内含盐量 18.22%,确属优良的天然固沙排盐植物种。罗布麻体内含盐量达 34.28%,不仅是优良的固沙排盐植物,而且具有一定的药用价值^[7]。罗布麻为夹竹桃科(Apocynaceae)罗布麻属(*Apocynum* L.)直立多年生草本植物,别名茶叶花、红麻、野麻。全草味甘、苦性凉,有小毒。具清热泻火、平熄肝火、安心养神、利尿消肿、消炎、止

泻、降压、强心之功效。因此,罗布麻在防风固沙林中的应用,具有非常重要的生态效益和经济效益。

4 结论与讨论

20 世纪 80 年代中期在流动沙丘上栽植的花棒、梭梭、沙拐枣、柠条锦鸡儿和沙木蓼 5 个树种的 8 种配置类型,经定植 20 a 后的观测分析,花棒、梭梭、沙拐枣为沙丘最佳造林树种,而沙拐枣和沙木蓼不适应本区生长。

人工定植固沙林后,流动沙丘被固定,随着研究区内土壤和水分等生态因子的改变,天然植物群落的结构不断发生变化。原来适应于流沙环境或弱度固定沙地生境的天然植被让位于适合固定沙丘生长的人工、天然植被。研究区植被经 25 a 的变化后,多枝桤柳+沙蒿+花棒群落演变为多枝桤柳+油蒿+花棒群落,盖度达到 42%,蒙古沙拐枣+多枝桤柳+油蒿群落演变为多枝桤柳+罗布麻+油蒿群落,盖度达到 39%,花棒+沙蒿+多枝桤柳+骆驼刺群落演变为多枝桤柳+罗布麻+花棒+油蒿+骆驼刺群落,盖度达到 65%,沙拐枣+红砂群落被多枝桤柳+骆驼刺所替代,取得了良好的治沙效果。

参考文献:

- [1] 雷加富. 西部地区林业生态建设与治理模式[M]. 北京:中国林业出版社,2000:3-18.
- [2] 王辉,刘千枝,汪杰. 土地荒漠化综合防治技术[M]. 北京:中国林业出版社,1998:144.
- [3] 贺达汉. 流沙治理与虫害防治[M]. 北京:科学出版社,2004:12-15.
- [4] 廖空太. 防风固沙林带土壤理化性质分析[J]. 甘肃林业科技,1995(3):40-43.
- [5] 廖空太. 防风固沙林优化模式的树种选择及其配置[J]. 甘肃林业科技,1996(3):15-21.
- [6] 肖洪浪,李新荣,宋耀选,等. 土壤-植被系统演变对生物防沙工程的影响[J]. 林业科学,2004,40(1):26-30.
- [7] 兰州沙漠所沙漠研究室编. 中国沙漠地区药用植物[M]. 兰州:甘肃人民出版社,1973:404.
- [8] 斯蒿,汤洁,等. 基于生态足迹模型的可持续性度量研究:以吉林省大安市为例[J]. 经济地理,2005,25(6):757-759.
- [9] 赖亚兰. 重庆三峡库区生态脆弱带农业可持续发展研究[J]. 生态经济,2000(1):21-22.
- [10] 苏维词. 长江三峡库区生态农业发展模式探讨[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(1):83-86.

(上接第 225 页)

- [5] 陈东景,徐中民,等. 中国西北地区的生态足迹[J]. 冰川冻土,2001,23(2):164-167.
- [6] Wackernagel J M, Onistol, Beud P, et al. National capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29:375-390.
- [7] 邱大雄. 能源规划与系统分析[M]. 北京:清华大学出版社,1995:48.