

DOI: 10.5846/stxb201506301347

沈刚,夏小明,贾建军,严力蛟.海岛景观格局变化及其对降水截存能力的影响研究——以浙江象山县檀头山岛为例.生态学报,2016,36(12):

Shen G, Xia X M, Jia J J Yan L J. Landscape pattern changes of sea island and the effect on rainfall-intercepting capability by the example of Tantoushan Island in Xiangshan county, Zhejiang province. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(12):

海岛景观格局变化及其对降水截存能力的影响研究 ——以浙江象山县檀头山岛为例

沈刚^{1,*}, 夏小明¹, 贾建军¹, 严力蛟²

1 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012

2 浙江大学, 杭州 310058

摘要:在自然和人类活动的共同作用下,海岛这一特殊的景观生态系统正经历着剧烈的变化。淡水是海岛景观生态系统赖以存在的基础和关键组成部分,人类活动对海岛淡水的影响是其对海岛景观生态系统影响研究的重要课题之一。基于全岛整体性的视角,以浙江省象山县檀头山岛为例,就海岛景观格局与其降水截存能力之间的数量关系进行了探索,并提出了一个能够从整体角度快速评估海岛景观格局变化对降水损失影响的综合指数——总降雨损失率(Total Rainfall Loss Rate, TRLR)。结果显示,自1966—2012年,檀头山岛的TRLR呈不断升高趋势,这种趋势指示了檀头山岛淡水补给能力正逐年下降,长期下去势必会破坏海岛淡水棱镜体,并最终威胁到整个海岛景观生态系统。这一变化必须引起足够的重视,相应的景观格局优化措施应该被采取以增强檀头山岛降水截存能力,保障其景观生态系统的健康与可持续。

关键词:景观格局;总降雨损失率;降水截存能力;檀头山岛

Landscape pattern changes of sea island and the effect on rainfall-intercepting capability by the example of Tantoushan Island in Xiangshan county, Zhejiang province

SHEN Gang^{1,*}, XIA Xiaoming¹, JIA Jianjun¹, YAN Lijiao²

1 Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China

2 Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

Abstract: Landscape ecosystems of sea islands are undergoing drastic changes due to the combined effects of natural processes and anthropic activities. Fresh water is the foundation of sea-island life and the key constituent part of sea-island landscape ecosystem. The effect of anthropic activities on freshwater system is one of key topics of them on landscape ecosystems of sea island. As an isolated landscape ecosystem, almost the entire freshwater recharge of sea island comes from rainfall. The rainfall-intercepting capability is very important for maintaining the balance of fresh water of sea island. A number of studies suggested that landscape factors including cover type, soil group and treatment, obviously impacts on the rainfall-intercepting capability. Therefore, it is greatly significant to probe into the effect of landscape pattern on rainfall-intercepting capability of sea island and the quantitative relationship between them. Firstly, landscape patterns of Tantoushan Island in Xiangshan county, Zhejiang province, China, for 1966, 2004, and 2012 were produced through landscape identification and classification of multi-resource remote sensing KH-7 homochromatic, QuickBird multispectral,

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41376068);浙江省哲学社会科学规划课题(12YD16YBM)

收稿日期:2015-06-30; **修订日期:**2015-12-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hzshengang@163.com

and WorldView-2 multispectral imageries, and contemporaneous historical data. Shrub and grass was consistently the dominant landscape class throughout the entire period. There were remarkable changes of landscape types and landscape area from 1966 to 2012. There was major loss of arable land from 1966 to 2004. Coniferous forest disappeared entirely from 1966 to 2004, and then reoccurred between 2004 and 2012. Broad-leaved forest appeared and expanded greatly from 1966 to 2004, then decreased slightly from 2004 to 2012. The area of bare rock and land showed an obvious increase, and shrub and grass showed a declining trend over the 46 years. Driving analysis indicated these drastic changes were caused by afforestation, changes in exploitation methods, human-induced fire and diseases, as well as natural succession. Then, based on a holistic viewpoint, the paper researched into the quantitative relation between landscape pattern of sea island and rainfall-intercepting capability by the example of Tantoushan Island, and developed a comprehensive index—Total Rainfall Loss Rate (TRLR) used to assess the effect of landscape changes on rainfall loss quickly. TRLR is a simple weighted sum of CN values representing the runoff potential of specific landscape types from the TR-55 runoff prediction model. The results showed a continuous rise in TRLR of Tantoushan Island from 1966 to 2012, which suggested a continuous decline of the rainfall-intercepting capability. From 1966 to 2004, 2012, area ratio of shrub and grass to the whole landscape ecosystem decreased from 80.18% to 66.43%, 60.15%, which was the major cause leading to the decline of rainfall-intercepting capability of Tantoushan Island. This trend is bound to do harm to freshwater prism, and then threatens the whole landscape ecosystem of sea island. The variation in TRLR must receive enough attention, and the effective countermeasures should be adopted to keep and even enhance the rainfall-intercepting capability for the health and sustainability of Tantoushan Island. In view of the rainfall-intercepting capability of single landscape type, shrub and grass landscape might be a priority rather than broadleaved forest and coniferous forest in island restoration project.

Key Words: landscape pattern; total rainfall loss rate; rainfall-intercepting capability; Tantoushan Island

海岛是四周为海水包围且高于高潮位的自然形成的陆地。在自然和人类活动共同的作用下,海岛景观生态系统正经历着巨大的变化。极端气候以及地震、海啸等自然灾害直接导致了海岛上动植物群落的波动和生态系统的退化^[1]。比较而言,人类活动的干扰在海岛景观生态系统变化中扮演了更加重要的角色。在东印度洋科科斯岛和圣诞岛,各种人类活动引起了地形地貌、水文水系、动植物群落的变化^[2]。太平洋上的许多岛屿,旅游业的开展也带来了一系列的环境问题,如环境的退化和污染、栖息地的退化、生态系统破坏、海岸海洋资源的损失等^[3]。

淡水是海岛景观生态系统存在的基础和关键组成部分,人类活动对海岛淡水的影响是其对海岛景观生态系统影响研究的重要课题之一。人类对海岛淡水的影响包括直接和间接影响两个方面,海岛上人类生产生活的地下水开采及水污染属于直接影响,气候变化引起的降水变异和海岛土地利用方式改变导致的景观变化对海岛淡水的影响则属于间接的。目前这方面的研究主要集中在海岛上人类生产生活的对地表水的影响^[4-5]、水污染^[3]对海岛淡水的影响,而就海岛土地利用方式改变导致的景观变化对海岛淡水系统的影响研究相对缺乏。作为一个隔离的景观生态系统,降水是海岛淡水补给最为重要的来源。海岛岛陆通过存储、节流和延缓地表径流的方式来提升海岛淡水补给能力。不同的景观格局具有不同的降水截存能力,基于全岛的整体性的视角,海岛景观格局与降水截存能力之间数量关系的探索,能够为海岛景观生态系统的保护和优化提供客观的依据。文章以浙江省象山县檀头山海岛为例,对 1966—2012 年间的景观格局变化及其驱动进行了研究,对海岛景观格局与总体降水损失的数量关系进行了探索,并提出了一个能够从整体角度快速评估海岛景观格局变化对降水损失情况影响的综合指数——总降雨损失率 (Total Rainfall Loss Rate, TRLR)。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

研究对象为整个檀头山岛,地处中国东海之滨的象山县城市东南 38 km,中心纬度 29°11' N,中心经度

122°2' E(图 1)。檀头山岛属于近岸基岩岛,以岛上 225 m 的最高山——檀头山命名,总面积 10.62 km²。海岛形成于喜马拉雅运动引起的地表抬升和板块沉降,山陡平地少,整个岛的两个部分通过一条自然形成的沙堤连接。研究对象位于亚热带和海洋季风气候区,年均温度 16.4℃,年均降雨量 1375.4 mm。

据史料记载,人类在大约 900 年前开始在檀头山岛定居,对海岛的利用方式主要为伐木、农业生产和居住生活。为了获得生活能源,树林和灌木被广泛的砍伐,取而代之的是速生的耐贫瘠的黑松林。这一人类活动一直持续到 2002 年檀头山岛县级自然保护区的设立,绝大部分的岛民移民到附近的石浦镇。风电场和旅游的导入促成了现状的景观格局,景观类型主要有居住用地、耕地、道路、针叶林、阔叶林、灌草丛、风电场、裸岩裸地、水库山塘等。针叶林景观为林分比较单一的黑松林,而阔叶林景观主要为香樟、朴树、枫香、女贞、乌桕、榆树等乔木组成的混交林。灌木林群落主要由野桐、红花檵木、柃木、杜鹃、胡秃子、算盘子、天仙果、野葛等种类组成,草丛景观为比较纯的芒草群落。

1.2 数据获取

研究所用的数据包括 3 个时期的遥感影像,即 KH-7 Gambit (KH-7) 影像、QuickBird (QB) 影像和 WorldView-2 (WV-2) 影像(表 1)。KH-7 影像免费下载自美国地质调查局(United States Geological Survey (USGS) Earth Resource Observation & Science Center (EROS))。QB 影像和 WV-2 影像购买自 DigitalGlobe 公司。与 KH-7 同期的森林资源调查图由象山县农林局提供,象山县国土资源局石浦分局提供的 2004 檀头山岛土地利用现状图作为 QB 影像同期的辅助数据。2012 年的地面数据通过为期两周的实地调查获取。海岛上不可达区域景观的识别借助于陆基或船基的高倍望远镜 CelestronNexStar® 8SE 实现的。手持的便携式 GPS Trimble GeoXT 用于不同景观类型位置信息的收集。



审核号: 浙S (2015) 240号

图 1 研究对象位置图
Fig.1 Location of the study site

表 1 研究所用数据列表

Table 1 A summary of data set used in the study

影像 Imagery	KH-7 影像 KH-7 Imagery	QB 影像 QB Imagery	WV-2 影像 WV-2 Imagery
类型 Type	全色	多光谱(4 波段)	多光谱(8 波段)
空间分辨率 Spatial resolution	2—4feet	2.4m	2.0m
获取时间 Acquisition time	1966 年 12 月 12 日	2004 年 8 月 16 日	2012 年 7 月 11 日
验证数据 Validation data	森林资源调查数据	土地利用图	实地调查数据

1.3 研究方法

1.3.1 景观识别与分类

分别将 QB 和 WV-2 影像的红、绿、蓝 3 个波段简单合成,生成 2004 和 2012 真彩色图像。基于 KH-7 全色影像、2004 和 2012 真彩色图像,人工可视化选择控制点对 3 个时期的影像进行配准。3 个时期的居住用

地、耕地、道路、山塘水库以及 2012 年的风电场景观通过人工交互式可视化解译。基于 KH-7 全色影像不同的灰度值,利用决策树分类法对 1966 年针叶林、裸岩裸地、灌草丛景观进行识别和分类。利用支持向量机 (Support Vector Machine, SVM) 分类法对 QB 影像进行分类,获得 2004 年阔叶林、裸岩裸地、灌草丛景观类型^[6]。考虑到波段数量,光谱角 (Spectral Angle Mapper, SAM) 分类法被用于 2012 年景观识别和分类,主要包括针叶林、阔叶林、裸岩裸地、灌草丛景观^[7]。1966 年的森林资源调查数据、2004 年的土地利用现状图和 2012 年的实地调查数据作为对应 3 个时期辅助数据参与相应时期的景观的识别与分类。

1.3.2 总降雨损失率 (Total Rainfall Loss Rate, TRLR) 计算方法

由于完全的隔离,海岛天然的淡水补给基本上来自于降水,那么降水的吸收存储能力对海岛景观生态系统而言尤其的重要。为了对这一能力做出快速的定量评估,文章提出了一个新的综合的指数——总降雨损失率 (Total Rainfall Loss Rate, TRLR),即海岛垂直投影面积内的径流量与同期降雨量的比率,其计算公式如下:

$$TRLR = \sum_{c=1}^c \left(\frac{Q_c}{P} \cdot \frac{A_c}{A} \right) \quad (1)$$

其中, $TRLR$ 为海岛的总径流损失率; C 为海岛景观类型数量; c 为第 c 类景观; P 为降雨量; Q_c 为第 c 类景观的径流量; A_c 为第 c 类景观的面积; A 为海岛总面积。

Q 通过 SCS 径流方程计算获得^[8]:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (2)$$

其中, Q 为净流量; P 为降雨量; I_a 为初始吸收量; S 为径流发生后可能的最大拦截量。

根据大量的实证研究, I_a 可近似通过下列经验公式计算^[9]:

$$I_a = 0.2S \quad (3)$$

S 与景观的类型相关,其数量关系如下:

$$S_c = \frac{1000}{CN_c} - 10 \quad (4)$$

其中, S_c 为径流发生后, c 类景观可能的最大拦截率; CN_c 为 c 类景观的 CN 值。 CN 值是平均先成径流条件的量化,范围为 0—100。

将 (2)、(3)、(4) 代入 (1) 得到 $TRLR$ 最终的表达式为:

$$TRLR = \sum_{c=1}^c \left\{ \frac{[(P + 2) CN_c - 200]^2}{[(P^2 - 8P) CN_c^2 + 800P \cdot CN_c]} \cdot \frac{A_c}{A} \right\} \quad (5)$$

为了进一步简化计算程序,降雨量 P 取 1966—2012 年之间的年均降雨量 1375.4 mm,檀头山岛总面积 A 为 1062 hm²。根据檀头山岛实际的土壤类型, CN 值采用了《Urban hydrology for small watersheds》中所列 D 组土壤类型的数值^[9],详见表 2。由于海岛的山塘水库景观面积小,并没有将其纳入最终的计算结果。

表 2 檀头山岛总降雨损失率计算用景观 CN 值和三个时期各类景观面积

Table 2 CN values used to estimate TRLR of Tantoushanisland and area of every landscape class in three periods

景观类型 Landscape types	CN 值 Value	各类景观面积 Various landscape area A_c/hm^2		
		1966 年	2004 年	2012 年
居住用地 Residential land	98	6.2652	7.3152	8.4168
耕地 Arable land	84	89.2876	5.59	1.9456
道路 Road	94	3.9744	4.4124	10.566
针叶林 Coniferous forest	79	94.0084	0	65.054
阔叶林 Broad-leaved forest	77	0	290.494	258.7112
风电场 Wind farm	89	0	0	3.788
裸岩裸地 Bare rock and land	91	16.7244	40.6172	74.1544
灌草丛 Shrub and grass	73	851.5484	705.4772	638.8024

2 结果分析

2.1 檀头山岛 1966—2012 景观变化分析

檀头山岛 3 个时期的景观类型与面积见图 2。长期以来,灌草丛一直是檀头山岛的优势景观类型。自 1966 年开始 46a 来,居住用地和山塘水库景观有略微的增加。

如图 2 所示,1966—2004 年间,耕地、针叶林、灌草丛景观经历了大面积的减少。耕地的减少是由于转化成了阔叶林和灌草丛。阔叶林和灌草丛大面积的取代针叶林,导致了针叶林景观的最终消失。有相当面积的灌草丛景观转换成了阔叶林,也有很多废弃的耕地自然转变成了裸地。阔叶林景观的出现和大量扩展都发生在耕地、针叶林和灌草丛景观区域(图 3)。从 2004—

2012 年,耕地和灌草丛持续的减少,与此同时道路和裸地面积急剧增加。62% 的耕地废弃,而且大部分都变成了灌草丛。同期,分别有 6.1536 hm^2 和 33.5372 hm^2 的灌草丛景观转化成了道路和裸地,是这两类景观面积增加的原因。阔叶林出现了明显的减少现象,主要是由于转换成了针叶林,导致了针叶林的再现和大量扩展。此外,风电场的引入进一步侵占了灌草丛景观(图 4)。

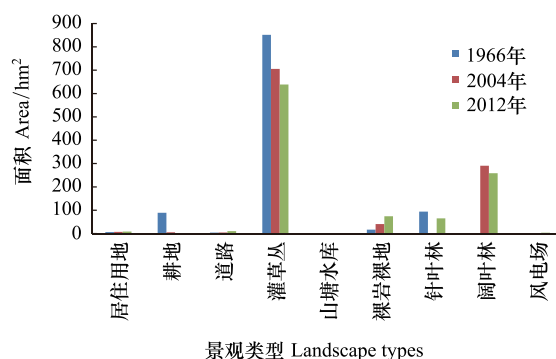


图 2 檀头山岛 1966、2004、2012 三个时期的景观类型及其面积

Fig.2 Landscape classes and area of Tantau Shan Island in 1966, 2004 and 2012

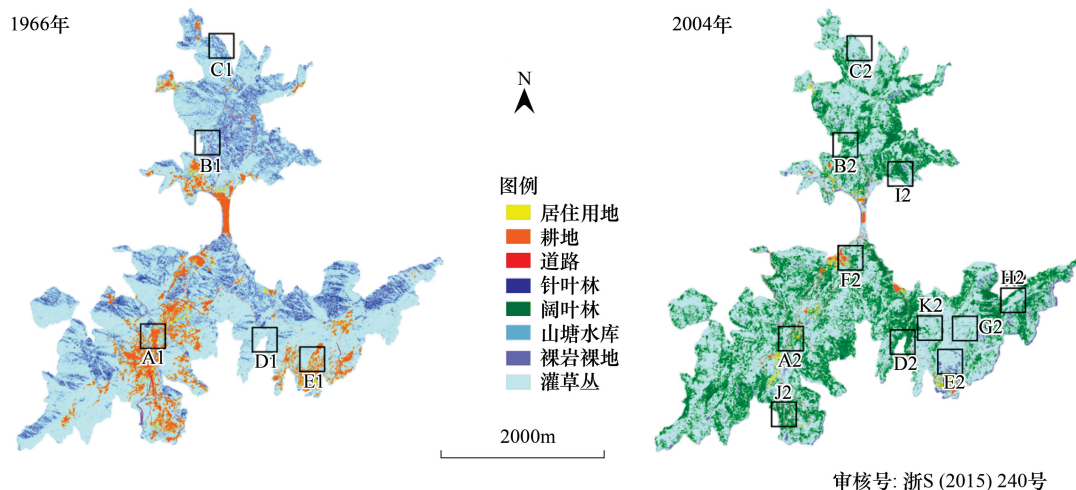


图 3 檀头山岛 1966—2004 年景观格局及其转换

Fig.3 Landscape patterns and landscape transitions from 1966 to 2004

2.2 檀头山岛 1966—2012 年分析总降雨损失率 (TRLR) 变化分析

根据公式 5 的计算结果,近半个世纪以来研究区域的总降雨损失率呈明显的上升趋势。檀头山岛在 1966 年有相对低的 TRLR,即 0.9288。随后,TRLR 逐渐上升到 2004 年 0.9295。在接下来的 8a 时间里,TRLR 迅速上升到现在的 0.9319。根据公式 5,海岛的 TRLR 值取决于两个变量,即降雨量和景观格局。这里的降雨量为能够产生径流的有效降雨量,而且对于一个给定的景观生态系统,只要降雨能够产生径流,TRLR 就只与该景观生态系统的格局有关,即不同类型的景观占整个系统的比例。檀头山岛的各种景观中,灌草丛的 CN 值最低,表示其降雨截存能力最大。从 1966 年到 2004 年、2012 年,灌草丛景观占系统的比例分别由 80.18% 减少为 66.43%、60.15%是导致檀头山岛降雨截存能力下降即 TRLR 上升的主要原因。这种状态长期持续的结果是,海岛的淡水得不到充分的补给,导致海岛地下水的淡水棱镜体的破坏,最终会威胁海岛整个景观生态

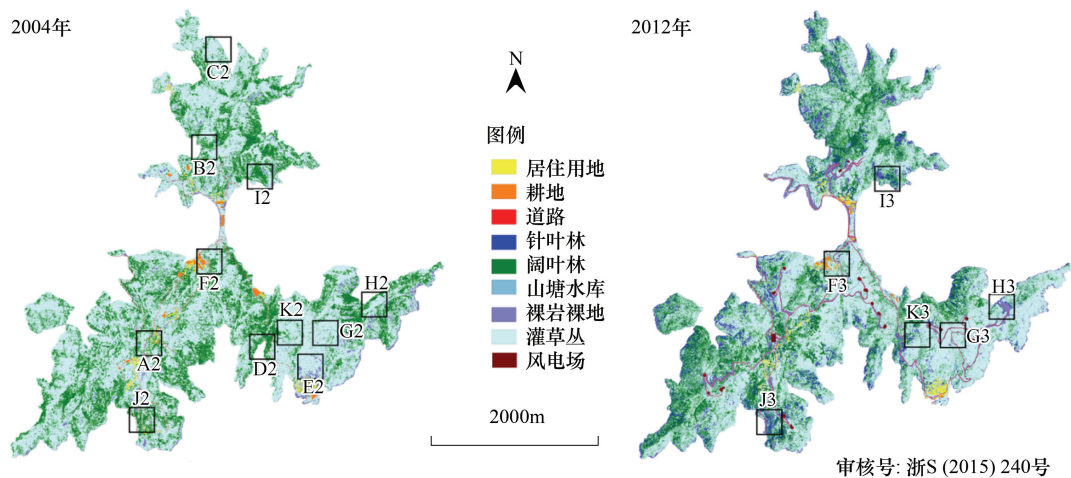


图4 檀头山岛 2004—2012 年景观格局及其转换

Fig.4 Landscape patterns and landscape transitions from 2004 to 2012

系统。

3 讨论

3.1 利用方式改变海岛景观格局

檀头山岛自 1966—2012 年之间的景观变化是人类活动的影响和自然演化共同作用的结果,但主要是由于海岛利用方式的变化引起的。人类对檀头山岛的利用可以分为 3 个阶段,即农业阶段、保护阶段和开发阶段。面积上占有优势的灌草丛景观代表了檀头山岛最原始的景观类型。从远古到 2002 年,檀头山岛都属于农业生产利用阶段。该阶段早期,岛民以农业生产为主,生活能源完全依赖快速生长的黑松树种,所以 1966 年海岛上分布有大面积的耕地和针叶林景观。该阶段的后期,岛民的生产生活方式发生了很大的变化,以渔业为主,粮食基本上依靠近在咫尺的大陆供给。随之大量的耕地荒弃,取而代之的是人工种植的阔叶林和自然演化成灌草丛或裸地。几乎所有的针叶林被砍伐作为生活能源,最终导致了针叶林的消失。2004 年,大面积的阔叶林景观源于一个长期的致力于林项优化的植树造林项目。

保护阶段始于 2002 年檀头山县自然保护区的设立到 2011 年。为了更好的生活,绝大多数的岛民迁入附近大陆的石浦镇,更多的耕地遭到荒弃。持续的林项改造运动,引入了耐贫瘠的速生树种——黑松,解释了 2012 年黑松林景观的再现和迅速扩展。2012 年,旅游开发和风电场项目的发展标志着檀头山岛的开发阶段。为了旅游发展和建设风电场,海岛上大量修筑道路,伴随着产生了许多裸地和新的风电场景观类型。

3.2 景观格局变化影响海岛降水截存能力

海岛淡水资源非常的有限和珍贵,它是海岛陆地一切生命的基础。作为一个隔离的景观生态系统,几乎整个海岛的淡水补给都要依靠降水。根据修订的海岛陆地表面水平衡方程,海岛垂直投影范围内的降水去向可表达为下式:

$$P = Q + I_a + S \quad (6)$$

其中, P 为降水量; Q 为净流量; I_a 为初始吸收量; S 为径流发生后可能的最大拦截量。公式假设降水过程中蒸发量为零。式中的 I_a 和 S 与海岛景观格局密切相关,因为不同类型的景观有不同的降水截存能力。檀头山岛的各个景观类型中,灌草丛景观的降水截存能力是最强的,主要是由于其高的植被密度和覆盖度,增加了地面粗糙度,阻止或延迟了径流的生成,为降水的吸收留下了更长时间。其次是阔叶林和针叶林,因植被高度减缓了降水对地面的冲击力和林下层部分地阻止或延迟了径流的生成。然后是耕地,具有粗糙且疏松的表面,不仅有利于降水的下渗,还能减缓径流生成。降水截存能力是最弱的是居住用地、道路和风电场等类型景

观,不透水且光滑的地面非常有利于地表径流的形成,不利于降水的截存。在檀头山岛景观格局中,灌草丛、阔叶林、针叶林景观面积占的比例越大,降水吸收量和拦截量就越多,净流量就越少,其海岛整体的降水截存能力就越强。1966、2004 和 2012 三个时期不同的景观格局导致了海岛降水截存能力的差异,对应于不同的 TRLR。

3.3 TRLR 应用于海岛景观格局优化

对于隔离的海岛景观生态系统,景观格局与海岛的降水截存能力具有一定的对应关系。文章提出的 TRLR 就是一个反映海岛整体降水截存能力的简化、快速指数。该指数不仅能够成为海岛生态综合、生态安全、生态压力评价的有益补充,而且还为海岛景观格局的优化如增强景观生态系统降水截存能力提供了一个定量评价指数。TRLR 在海岛景观格局优化上的应用主要体现在,一方面通过多时间序列的 TRLR 的比较了解海岛景观生态系统变化的健康状况,再者某种程度上也可作为海岛保护和管理方案科学性评估的一个参考指标,另一方面,在给定降水量的情况下,TRLR 决定于海岛的景观格局,即景观类型和面积组合,使得通过景观措施增强海岛降水截存能力成为可能。在海岛景观配置和生态修复时,灌草混合景观是优先选择,其次是阔叶林和针叶林,并且不论是阔叶林还是针叶林景观,林下层都以配置灌草混合为宜。开发利用强度大的海岛,TRLR 也存在一个临界值的问题,即当 TRLR 大于某一特定值时,海岛降水的补给量是要小于淡水开采利用量的。这种状态的长期持续将破坏海岛地下水的淡水棱镜体,最终会威胁海岛生态系统。

4 结论

在过去的 46a 里,由于社会经济压力的影响,檀头山岛的景观格局经历了剧烈的变化。所有的耕地都被荒弃,而道路和裸岩裸地的面积却大面积增加。以黑松为主的针叶林在研究早期全部被砍伐作为生活能源,而长期的林相优化工程使针叶林再次出现并迅速扩展,也增加了大量的阔叶林景观。针叶林和阔叶林景观的增加,逐渐压缩了海岛原始的灌草丛景观。为了就海岛景观格局变化对海岛生命最重要的淡水系统造成的影响做出快速的评估,文章提出了一个新的综合指数——总降雨损失率(TRLR),用于简单、快速反映海岛整体降水截存能力。该指数不仅能够成为海岛生态综合、生态安全、生态压力评价的有益补充,而且还为海岛景观格局的优化如增强景观生态系统降水截存能力提供了一个定量评价指数。以檀头山岛为例进行的实证应用研究表明,在过去的 46a 间,檀头山岛景观格局的变化导致了海岛总降雨损失率明显增加,特别是最近的 8 年。这一变化应该引起足够的重视,相应的景观格局优化措施应该被采取以增强海岛的降雨截存能力,保障檀头山岛景观生态系统的健康与可持续。

参考文献(References):

- [1] Rama Chandra Prasad P, Mamtha Lakshmi P, Rajan K S, Bhole V, Dutt C B S. Tsunami and tropical island ecosystems: A meta-analysis of studies in Andaman and Nicobar islands. *Biodiversity and Conservation*, 2012, 21(2): 309-922.
- [2] Armstrong P H. Human impacts on Australia's Indian Ocean tropical island ecosystem: A review. *Environmentalist*, 1992, 12(3): 191-206.
- [3] Minerbi L. Impacts of Tourism Development In Pacific Islands. San Francisco: Greenpeace Pacific Campaign, 1992.
- [4] Shiulee Chakraborty S, Pandey R P, Mishra S K, Chaube U C. Relation Between Runoff Curve Number and Irrigation Water Requirement. *Agricultural Research*, 2015, 4(4): 378-387.
- [5] Antunes P, Ramisio P J. Assessment of Distinctive Road Runoff Quality in Coastal Areas, Based on a Monitoring Case Study. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2015, 226: 399.
- [6] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning Theory. New York: Springer-Verlag, 1995.
- [7] Kruse F A, Lefkoff A B, Boardman J W, Heidebrecht K B, Shapiro A T, Barloon P J, Goetz A F H. The spectral image processing system (SIPS)-interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote sensing of Environment*, 1993, 44(2/3): 145-163.
- [8] USDA-SCS. National Engineering Handbook, Section 4-Hydrology. Washington, D. C.: USDA-SCS, 1985.
- [9] Natural Resources Conservation Service. Urban hydrology for small watersheds. United States Department of Agriculture, Conservation Engineering Division, Technical Release 55, 1986.