

# 海峡西岸经济区森林格局及其变化特征分析

阮俊杰<sup>1</sup>, 沙晨燕<sup>1</sup>, 王 卿<sup>1</sup>, 王 敏<sup>1</sup>, 沈渭寿<sup>2</sup>, 赵 卫<sup>2</sup>

(1. 上海市环境科学研究院, 上海 200233; 2. 环境保护部 南京环境科学研究所, 南京 210042)

**摘 要:**以海峡西岸经济区(海西区)为研究区,运用 GIS、遥感技术和数理统计等方法,分析了 1992—2008 年海西区森林格局及其变化特征,采用典范对应分析(CCA)考查了环境因子对森林格局变化的影响。结果显示:海西区森林资源丰富,占区域总面积的 61.40%,但其地理分布极不均匀,具有明显的区域和高程梯度差异;1992 年以来海西区森林呈下降趋势,由 1992 年的 8.93 万 km<sup>2</sup> 降至 2008 年的 8.83 万 km<sup>2</sup>,变化趋势在区域和高程梯度上存在明显差异,武夷山中西部森林的减少趋势较为明显;影响海西森林格局变化的主要环境因子有:气温、日照时数、人均 GDP 和降水量,蒸发量和人口密度对森林格局变化的影响相对较弱。

**关键词:**海峡西岸经济区; 森林格局; CCA; 驱动力

中图分类号:S757.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)06-0117-05

## Analysis on Characteristics of Forest Pattern and Change in Western Taiwan Straits Economic Zone

RUAN Jun-jie<sup>1</sup>, SHA Chen-yan<sup>1</sup>, WANG Qing<sup>1</sup>, WANG Min<sup>1</sup>, SHEN Wei-shou<sup>2</sup>, ZHAO Wei<sup>2</sup>

(1. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China;

2. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** With the utilization of RS/GIS techniques and mathematical statistics method, the forest pattern and its variation characteristics from 1992 to 2008 in Western Taiwan Straits Economic Zone were analyzed, and the influence of the environmental factors on forest pattern changes was discussed by canonical correspondence analysis. The results showed that the forest resources in Western Taiwan Straits Economic Zone was abundant, accounting for 61.40% of the total area, while the distribution was extremely uneven with a significant difference of area and elevation gradient. The forest area decreased from 893 000 km<sup>2</sup> in 1992 to 883 000 km<sup>2</sup> in 2008, the changes between area and elevation gradient were obvious, and the decrease trend in Midwest of Wuyi Mountain was comparatively significant. The main environmental factors affecting forest pattern changes were temperature, insolation duration, per-capita GDP and precipitation, while the effect of evaporation and population density was relatively insignificant.

**Key words:** Western Taiwan Straits Economic Zone; forest pattern; Canonical Correspondence Analysis (CCA); driving force

森林是社会经济可持续发展的基础,在水源涵养、气候调节、生物多样性保护和水土保持等方面也具有重要的意义,是区域生态安全的重要屏障<sup>[1-2]</sup>。森林的格局通过影响某一区域内生态系统结构和功能,从而影响整个区域生态系统的稳定性,其形成和变化与所处的自然环境和人为干扰密切相关<sup>[3-5]</sup>。随着人口增长和经济发展,大量森林资源遭到破坏,森

林格局发生改变,危及人类自身的生存和发展。研究森林格局及其时空动态变化,探索其变化特征,揭示其变化过程,能为森林资源的合理利用、管理以及维持区域内生态平衡提供科学理论依据<sup>[6-8]</sup>。

海峡西岸经济区(海西区)是我国森林覆盖程度最高的地区之一,其生态环境质量优越,生物多样性高,在全国生态安全格局中占据重要位置。近年来,

海西区社会经济快速发展,人类干扰活动不断加剧,森林遭到破坏,格局发生改变,严重影响了海西区以及周边地区的生态安全。本文采用景观生态学、地生态学和数量生态学的理论与方法,结合遥感和 GIS 技术,以海西区为研究对象,分析海西区森林格局总体特征及其演变规律,以期对海西区产业发展规划、生态环境保护等工作提供科学依据,实现海西区经济和生态环境的可持续发展。

## 1 研究区域概况

根据国家统计局的界定,海西区是指以福建为主体,覆盖浙江、广东、江西 3 省部分地区的地域。本文将海西区研究范围确定为:福建全省 9 个地级市,广东省的汕头、潮州、揭阳 3 个地级市和浙江省温州的陆域部分。海西区介于  $22^{\circ}53' - 28^{\circ}36'N$ ,  $115^{\circ}36' - 121^{\circ}18'E$ ,面积达 14.45 万  $km^2$ ,以福建省为主体,南北分别与珠三角、长三角两个经济区衔接,东部隔台湾海峡与中国台湾相望,西部横贯武夷山脉与江西的广大内陆腹地贯通。全区地势由内陆向沿海倾斜,多山丘、少平原,多断层地貌和河谷盆地,区域海岸线漫长而曲折,沿岸大小港湾广布,且海岸线以外分布有众多大小岛屿。海西区属海洋性亚热带季风气候,水热丰沛,季节变化明显。区域内土壤主要由赤红壤、红壤、黄壤、山地草甸土等组成,呈明显的水平地带性、垂直地带性分布。

## 2 研究数据与方法

### 2.1 数据来源及图像预处理

本文所用的数据包括 1:25 万地形图和 DEM;1992 年和 2008 年空间分辨率为 30 m 的 4,3,2 波段假彩色合成的 Landsat TM/ETM<sup>+</sup> 遥感影像;以及相应的野外调查和统计资料。将图像进行几何校正后拼接,并进行图像处理通过计算机进行自动识别结合人工解译的方法进行监督分类,采用最大似然监督分类方法,其分类原则是求出每个像元对应各类型的归属概率,把该像元分到归属概率最大的类型中去<sup>[9]</sup>。训练样区尽量在各类型面积较大的中心选取,从而使其具有代表性。本次分类精度为 85%。然后在 ArcGIS 环境下提取森林信息,根据全国农业区划委员会颁布的《土地利用现状调查技术规程》,将海西区森划分为有林地、灌木林、疏林地和其他林地 4 类。

### 2.2 高程分级与分布指数构建

根据海西区实际情况,将研究区按海拔由低到高划分为: $<200$ ,  $200 \sim 500$ ,  $500 \sim 1\,000$ ,  $1\,000 \sim 1\,500$ ,  $>1\,500$  m 共 5 类,对 DEM 数据进行分级,并生成高

程分级矢量数据。然后在 ArcGIS 环境下,将森林矢量数据与高程分级矢量数据进行叠加分析,汇总统计不同高程级别的森林分布数据。

在数据处理过程中,栅格与矢量转换和二者之间的裁切操作以及在数据准备之初的矢量化存在误差,将会造成面积误差<sup>[10]</sup>。为消除面积误差的影响,引入分布指数  $P$ ,进行高程梯度上不同植被类型的比较:

$$P = (S_{ie}/S_i) \cdot (S/S_e) \quad (1)$$

式中: $P$ ——分布指数; $S_{ie}$ —— $e$  地形区间上第  $i$  种森林的面积; $S_i$ ——研究区内第  $i$  种森林的总面积; $S_e$ ——研究区内  $e$  地形区间的总面积; $S$ ——整个研究区域的面积。 $P$  值越大,表明某森林类型出现的频率越高, $P>1$  的区间为森林分布的优势地形区间<sup>[11-12]</sup>。

### 2.3 驱动力分析

选取了海西地区的 13 个地市作为空间分析样本,各地市的 4 个森林类型,即有林地、灌木林、疏林地和其他林地,作为物种变量,选取海西地区 13 个地市的气温、蒸发量、降水量、日照时数、人口密度和人均 GDP 作为环境变量。分别对 4 个森林类型 1992—2008 年的面积变化(附图 4)和对应时间的 6 个环境指标值变化进行求绝对值标准化处理,分别构成物种与环境因子数据矩阵,采用国际通用分析软件 CANOCO 4.5 进行典范对应分析(CCA 分析)<sup>[13-14]</sup>。

## 3 结果与分析

本研究将 2008 年海西区森林格局作为现状,进行特征分析,将 1992—2008 年作为动态演变数据进行分析。

### 3.1 森林类型与分布现状

海西区森林生态系统面积为 8.83 万  $km^2$ ,占地总面积的 61.40%,是海西区的优势生态系统。主要由温带针叶林、亚热带针叶林、亚热带落叶阔叶林、亚热带常绿阔叶林和竹林及竹丛组成,分别占森林生态系统的 0.12%, 79.49%, 0.01%, 14.16%, 6.22%。海西区的森林主要分布在武夷山区和中部大山带(雁荡山—鹫峰山—戴云山—博平岭—凤凰山),其中亚热带针叶林分布较广泛,特别是福建省境内(附图 4b)。

### 3.2 不同区域森林分布特征

附图 4b 和表 1 显示,海西区森林覆盖程度整体较高,但各区市存在明显差异:中西部城市覆盖程度较高,东部沿海地区较低。其中龙岩的森林覆盖程度最高,为 74.87%;而汕头的森林覆盖程度最低,仅为 25.79%。在森林覆盖程度较低的东部沿海地区也存在明显差异,北面的温州、宁德和福州的森林覆盖程

度相对较高,福建东南沿海城市群以及粤东三市的森林覆盖程度较低。由此可知:海西区森林大量分布于内陆山地,该地区经济欠发达,人为干扰少,森林保留完好;而东部沿海地带,特别是河口平原区域,城市发展迅猛,人为干扰强烈,森林分布较少,其中以厦门和汕头两个经济特区最为明显。

表 1 不同区域森林分布特征

地区	有林地		灌木林		疏林地		其他林地		覆盖度/
	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	%
漳州	340555.68	55.09	58233.63	9.42	128950.92	20.86	90467.18	14.63	49.41
厦门	28299.24	42.85	12384.30	18.75	10932.64	16.55	14432.69	21.85	43.53
温州	451624.04	72.57	60070.96	9.65	91473.35	14.70	19125.45	3.07	54.44
潮州	63987.48	43.01	19806.42	13.31	60571.87	40.71	4414.55	2.97	47.94
福州	384458.91	55.98	52593.26	7.66	226590.06	32.99	23173.26	3.37	59.33
揭阳	171289.76	73.59	6940.57	2.98	36742.26	15.79	17791.44	7.64	44.42
龙岩	1067667.17	74.87	96702.99	6.78	232503.55	16.30	29240.46	2.05	74.87
南平	1028869.42	58.96	130199.72	7.46	514660.98	29.49	71388.20	4.09	66.29
宁德	542156.16	72.05	18378.72	2.44	180735.90	24.02	11216.78	1.49	57.80
莆田	115206.90	60.76	28753.55	15.16	33779.01	17.81	11872.39	6.26	49.48
泉州	367075.38	58.10	60349.67	9.55	137573.12	21.78	66793.24	10.57	57.04
三明	1217763.20	73.65	101271.90	6.12	285457.54	17.26	48962.82	2.96	72.01
汕头	30491.54	54.93	1008.63	1.82	14692.52	26.47	9313.32	16.78	25.79

相同森林类型在各区市的相对数量存在差异(表 1),有林地是海西区的主要森林类型,在各区市所占比重最大,其中以龙岩最大,占森林总面积的 74.87%,厦门最少,占森林总面积的 42.85%;疏林地所占比重也较大,均在 10%以上,其中在潮州境内所占比重最大,达到了 40.71%;灌木林和其他林地是各区市所占比重较小的森林类型,且在各区市所占的比重差异很大,说明灌木林和其他林地在海西区的分布存在明显的地区差异。

各区市森林破碎度也大不相同(图 1),温州的森林破碎度最大,为 0.009 9;三明的森林破碎度最小,仅为 0.003 2。说明温州地区人类活动较为频繁,对当地森林利用的广度和深度强于其他地区;而三明地区的森林保护较好,结构较为完整。

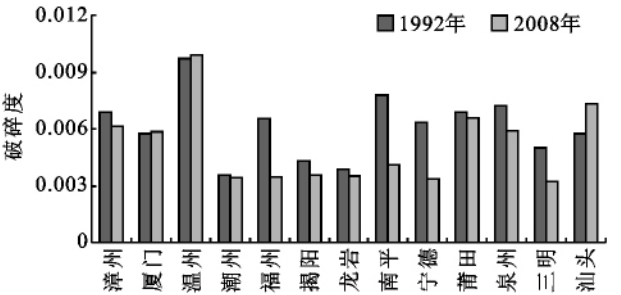


图 1 1992 年与 2008 年不同区域森林破碎度

3.3 高程梯度上森林分布特征

表 2 显示,森林覆盖程度在高程梯度上总体上呈增加趋势,200 m 以下区域,覆盖程度为 30.25%,到 1 500 m 以上区域增加到 75.08%。说明随着海拔的升高,人类更多的生产和生活活动受到了限制,从而减少了对森林的干扰,使得森林资源增加。

表 2 高程梯度上森林分布特征

海拔/ m	有林地		灌木林		疏林地		其他林地		覆盖度/
	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	%
<200	621299.73	58.45	82062.94	7.72	287575.97	27.06	71972.50	6.77	30.25
200~500	2351020.96	68.47	226855.36	6.61	716742.64	20.87	139008.29	4.05	68.87
500~1000	2718189.19	71.23	237206.12	6.22	781167.30	20.47	79423.77	2.08	74.71
1000~1500	373437.44	74.53	29903.31	5.97	90667.01	18.10	7022.26	1.40	73.07
>1500	13120.55	84.98	545.84	3.54	1076.65	6.97	696.82	4.51	75.08

不同高程下其自然条件不同,各森林类型分布也会受到影响。由表 2 可以看出,有林地所占比重随高程上升而递增,而灌木林和疏林地的比重则随高程增加而减小,说明这三种森林类型在分布上受高程限制明显。

从图 2 可知,在<200 m 的区域,各森林类型均

未呈优势分布,其他林地优势度相对较大;200~500 m 区域,各森林类型均呈优势分布,其他林地优势度较大;500~1 000 m 和 1 000~1 500 m 区域,有林地、灌木林、疏林地优势分布,有林地的优势度相对较大;>1 500 m 区域,有林地、其他林地优势分布,其他林地呈优势度较大。图 2 还显示,其他林地对高程的

选择性较强,有其优势分布区间,而各森林类型则对高程差异的适宜性较强。

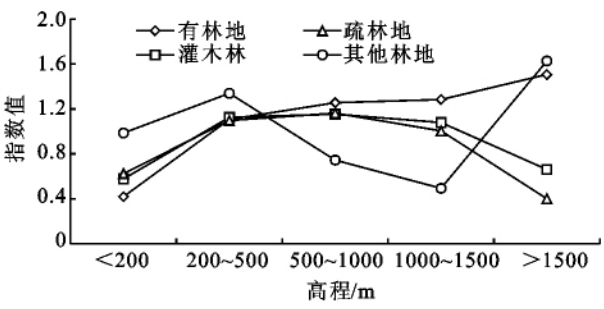


图 2 不同森林类型在海拔的指数分布

从不同高程区间植被破碎度来看(图 3), <200 m 和 >1 500 m 区间上,森林的破碎度较高,200~500 m、500~1 000 m 和 1 000~1 500 m 区间上,森林的破碎度较低。<200 m 的区域受人类生产、生活等活动干扰较为强烈,森林多被分割为小区域分布;而>1 500 m,由于受到地形、地貌、气候、水文等自然因素的制约,森林呈小范围分布,从而导致了这些区域森林破碎化程度较高。

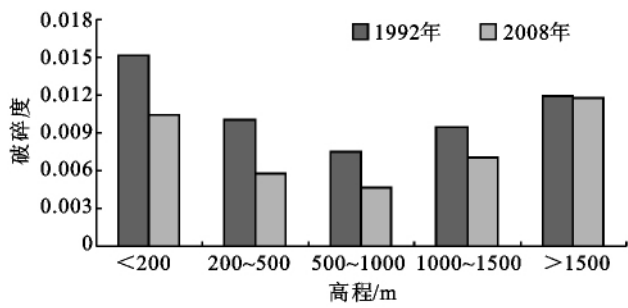


图 3 1992 年与 2008 年不同海拔森林破碎度

3.4 森林格局时空变化

根据海西区遥感影像的解译结果,1992 年以来海西区的森林面积呈下降趋势,从 1992 年的 8.93 万 km<sup>2</sup> 降至 2008 年 8.83 万 km<sup>2</sup>,但森林结构依旧稳定,变化幅度不大(附图 4)。

从表 3 可以看出,1992 年以来,海西区 13 地市中,除宁德、温州、莆田、潮州和汕头的森林面积减少外,其中宁德和温州的减幅最大,达到了 19.62%和 13.73%;其余地市森林面积均有所增加,厦门和漳州的增幅最大,达到了 15.15%和 14.98%。从各森林类型来看,有林地的减少主要分布在温州,减少了 107 460.46 hm<sup>2</sup>,有林地面积的增加较集中分布在福州、宁德、南平、三明和龙岩;灌木林面积的减少主要分布在宁德,减少了 202 934.05 hm<sup>2</sup>,南平和福州也有较大面积的减少,灌木林面积增加仅分布在温州和厦门,其中温州灌木林增加了 12 839.22 hm<sup>2</sup>,而厦门仅增加了 360.66 hm<sup>2</sup>;疏林地的面积减少主要分布在龙岩,减少了 18 448.44 hm<sup>2</sup>,面积增加仅分布在福州和汕头,其中福

州疏林地增加了 3 793.85 hm<sup>2</sup>,汕头仅增加了 236.86 hm<sup>2</sup>;其他林地面积减少分布在宁德、温州、潮州、福州、揭阳、莆田和汕头,宁德的其他林地减少最多,为 1 126.3 hm<sup>2</sup>,其余区市较少,其他林地的面积增加分布在漳州、厦门、龙岩、南平、泉州和三明,其中,漳州其他林地面积增加最多,达到 90 364.22 hm<sup>2</sup>。

表 4 表明,<200 m 和 500~1 000 m 区间上,森林面积减少,其中<200 m 区间上减幅最大,为 10.99%,而 500~1 000 m 区间上仅为 0.60%;其余高程区域均有较小幅度的增加。有林地面积在各高程区域均有所增加,在<1 000 m 区域,增加的面积随海拔增加而增加,>1 000 m 区域,增加的面积随海拔的增加而减少;灌木林面积分布规律则与有林地相反,在各高程区域均有所减少,在<1 000 m 区域,减少面积随海拔增加而增加,>1 000 m 区域,减少的面积随海拔的增加而减少;疏林地在<1 500 m 区域上有不同程度的减少,在>1 500 m 区域有微量增加;而其他林地在<200 m 区间上大面积减少,在>200 m 区间上,其增加的面积,随着高程的增加而减少。

表 3 1992—2008 年森林随区域的面积变化 hm<sup>2</sup>

地区	有林地	灌木林	疏林地	其他林地
漳州	-3555.90	-838.76	-5423.90	90364.22
厦门	1505.12	360.66	-860.14	7684.17
温州	-107460.46	12839.22	-3721.05	-605.60
潮州	-1029.49	-263.79	-438.54	-119.42
福州	25380.51	-17966.25	3793.85	-714.78
揭阳	2710.72	-225.07	-861.64	-726.55
龙岩	21816.75	-3375.13	-18448.44	4683.31
南平	39082.16	-31469.69	-820.33	16241.86
宁德	24543.25	-202934.05	-4200.85	-1126.43
莆田	-142.62	-762.86	-193.86	-454.51
泉州	513.75	-5164.01	-760.14	7397.14
三明	64267.42	-8261.09	-8365.43	10279.81
汕头	-260.90	-9.36	236.86	-817.39

表 4 1992—2008 年森林随海拔的面积变化 hm<sup>2</sup>

海拔/m	有林地	灌木林	疏林地	其他林地
<200	23165.97	-2427.52	-33994.62	-118090.49
200~500	52405.24	-35389.03	-11771.01	23395.22
500~1000	58195.43	-57524.01	-19684.01	16688.85
1000~1500	12495.33	-5512.46	-1651.55	738.09
>1500	298.90	-30.97	6.05	8.95

3.5 森林格局变化驱动力分析

CCA 分析表明,排序轴总特征值为 0.927,可见排序轴与森林格局变化和环境因素变化之间显著相关,其中前两个排序轴的特征值累计百分比为 73.89%,集中了全部排序轴所反映的相关关系的大部分,因此,CCA 可以反映环境因子对森林格局变化的影响。

以第一和第二轴为排序空间的排序图如图 4 所示。排序图中的圆点代表海西地区 13 个行政区划单位,圆点之间的距离表示行政区划单位之内森林格局变化的相似性;排序图中的三角点表示海西地区 4 种森林类型变化,三角点之间的距离表示森林类型变化之间的相似性;排序图中箭头矢量代表环境因子,箭头所指的方向表示环境因子变化的趋势,箭头长度表示环境因子对排序的影响作用大小,箭头越长,表明该环境因子对森林格局变化的影响越大,箭头连线与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴相关性的大小,箭头之间的夹角代表两种环境因子之间的相关关系<sup>[15-16]</sup>。图 4 说明,影响海西森林格局变化的主要环境因子有:气温、日照时数、人均 GDP 和降水量,蒸发量和人口密度对森林格局变化的影响相对较弱。各森林类型变化在不同环境因素影响下存在差异。在气温轴上各森林类型最适值排序为其他林地>疏林地>灌木林>有林地;在日照时数、蒸发量和人口密度轴上各森林类型最适值排序为其他林地>疏林地>有林地>灌木林;在降水量和人均 GDP 轴上各森林类型最适值排序为灌木林>有林地>疏林地>其他林地。海西地区森林格局变化在空间上也存在差异,可以将森林格局变化在空间上的分布划分为 3 组,每组具有相似的变化驱动因素,位于第一象限的汕头、泉州、潮州、揭阳、莆田、厦门和漳州为一组;宁德单独为一组,位于第二象限;其余 5 个行政区划单位为一组,位于三、四象限的排序轴附近。

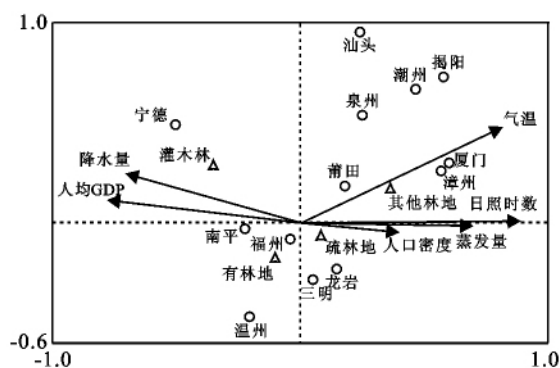


图 4 环境因子与森林的 CCA 排序

## 4 结论与讨论

海西区森林覆盖率较高,占土地总面积比重较大,包括有林地、灌木林地、疏林地、未成林造林地和宜于造林的无林地。其中有林地是海西区森林的主要类型,占森林总面积的 65.80%。广泛分布的森林资源为海西区良好的陆域生态环境质量、丰富的生物多样性及区域生态安全提供了根本保障。但是海西区森林资源地理分布极不均匀,具有明显的区域和高

程梯度差异,森林集中分布在以南平、三明和龙岩 3 市为主的武夷山脉地区,东南沿海的平原河网地区分布相对较少。

1992 年以来海西区森林面积呈下降趋势,且其变化趋势在区域和高程梯度上存在明显差异,武夷山中西部森林的减少趋势较为明显,包括富屯流域、沙溪流域和汀江流域; $<200\text{ m}$  的区域,森林面积减少也较为明显,而在 $>1\,000\text{ m}$  的区域,森林有小幅增加。在森林变化的同时,随着近年来造林绿化、生态林保护与建设等工程的实施,海西区人工林面积及其所占比例急剧增加,天然林面积及其所占比例不断降低。人工林在不断发展增加的同时,也导致海西区林龄结构的幼龄化,以幼龄林和中龄林为主,近熟林、成熟林和过熟林所占比例较小。同时,由于人工林多为单一树种的针叶林,导致区域内阔叶林所占面积、比例不断降低,空间分布的岛状化现象明显。可以预见,随着海西区森林面积的不断减少,天然林与人工林面积比例的下降,海西区森林生态系统逐渐趋于简单化,森林质量及其自我调节能力将不断下降,影响森林生态系统的稳定性,导致生态功能不断下降。

CCA 分析表明:影响海西森林格局变化的主要环境因子有:气温、日照时数、人均 GDP 和降水量,蒸发量和人口密度对森林格局变化的影响相对较弱。各森林类型在不同环境因子轴上的最适值存在差异,森林格局变化在海西区 13 地市也存在一定差异。

本研究将 CCA 分析方法应用于森林格局变化的分析中,得出的排序图能够基本反映森林格局变化与环境因子之间的信息,对于海西区森林资源的保护和合理利用具有一定的指导作用。但是,由于缺少更多的环境因子信息,无法对森林格局变化的驱动力作进一步解析,需在今后的研究中进一步深入。

### 参考文献:

- [1] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用[M]. 北京:中国人民大学出版社,2008.
- [2] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海:华东师范大学出版社,2001.
- [3] 方炫,李壁成,白小梅,等. 基于 GIS 的黄土高原小流域植被格局与地形关系研究:以固原上黄试区为例[J]. 水土保持研究,2010,17(5):92-96.
- [4] 刘世荣,温远光,王兵,等. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- [5] 郭晓清,郑粉莉,万培余. 基于多期遥感影像的森林资源动态监测研究:以延安市桥北林业局直罗林场为例[J]. 水土保持研究,2011,18(6):46-50.

(下转第 126 页)

### 3 讨论

(1) 近 45 a 以来塔里木河流域呈变暖增湿趋势, 2000 年后平均与多年平均相比气温增加了  $0.75^{\circ}\text{C}$ , 增幅 7.69%, 其中平原区与山区相比, 平原区增幅大于山区, 空间上塔河流域北部增长最为明显, 其次为南部、西部; 2000 年后平均降水与多年平均相比降水量增加了 16.65 mm, 增幅 17.89%, 其中山区增幅大于平原。

(2) 1961—2008 年间塔里木河流域干流径流量逐年减少, 2000 年后平均径流量与多年平均相比, 干流阿拉尔站减少了 1.35 亿  $\text{m}^3$ , 减幅为 3.00%; 叶尔羌河玉孜门勒克站增加了 1.91 亿  $\text{m}^3$ , 增幅为 21.80%; 和田河同古孜洛克站径流量增加了 1.76 亿  $\text{m}^3$ , 增幅 7.88%; 乌鲁瓦提站增加了 1.75 亿  $\text{m}^3$ , 增幅达 8.06%; 开孔河黄水沟站增加了 0.58 亿  $\text{m}^3$ , 增幅达 19.48%; 大山口站增加了 5.43 亿  $\text{m}^3$ , 增幅达 14.33%。

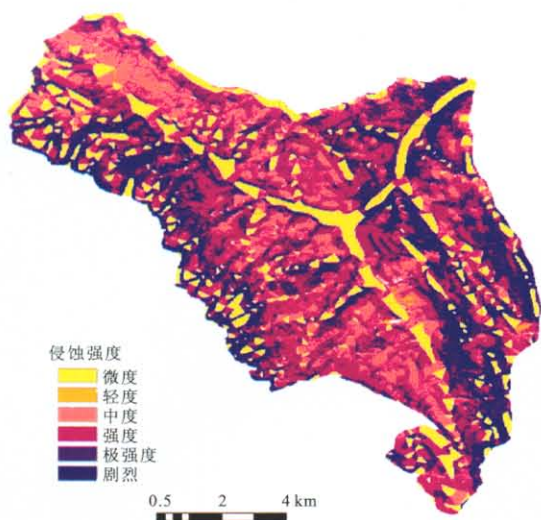
(3) 塔河流域年际降雨与气温变化是引起径流变化的根本原因, 根据巴音布鲁克(开孔河)和塔什库尔干(叶尔羌河)源流区 1961—2005 年出山口径流量和气温、降水的相关分析, 塔河流域气候变化下温度升高对径流增加有较大贡献, 而对形成于昆仑山水系的河流的影响大于形成于天山水系的河流; 降水增加对年径流的影响较小, 尤其对于形成于昆仑山水系的河流。

#### 参考文献:

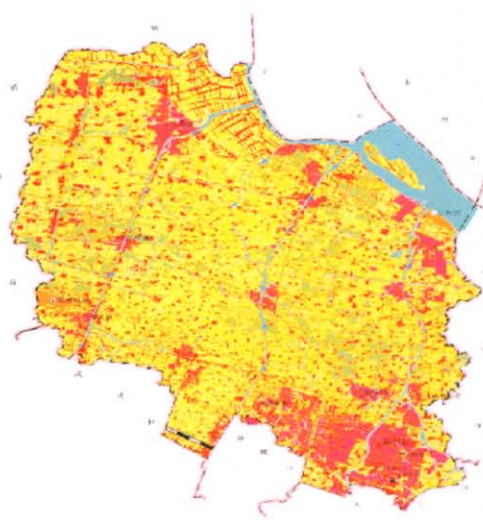
- [1] 贺瑞敏, 王国庆, 张建云. 环境变化对黄河中游伊洛河流域径流量的影响[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 298-301.
- [2] 郭庆春, 何振芳, 李力. 全球气候变化对农业的影响[J]. 湖南农业科学, 2011(19): 61-64.
- [3] 覃卫坚, 李耀先, 覃志年. 广西气温气候变化特征研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(32): 18315-18318.
- [4] 周晋红, 张军, 刘武华. 近 45 年来太原气候变化特征研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(3): 7-13.
- [5] 李常斌, 李文艳, 王雄师, 等. 黑河流域中、西部水系近 50 年来气温降水径流变化特征[J]. 兰州大学学报, 2011, 47(4): 7-12.
- [6] 赵串串, 杨晓阳, 张凤臣, 等. 气候变化对三江源区沙化土地植被生物量的影响[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 175-181.
- [7] 张小龙. 新疆温泉县气温、降水及径流变化特征[J]. 水利科技与经济, 2011, 17(5): 66-67.
- [8] 宋文娟, 熊黑钢. 新疆开垦河流域径流变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4): 224-227.
- [9] 王波雷, 马孝义, 季万才, 等. 乌兰木伦河径流变异特征分析研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 314-318.
- [10] 李香云, 王立新, 章予舒. 近 40 年我国西北荒漠区降水和气温的时空变异特征: 以塔里木河流域为例[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(4): 658-669.
- [11] 李红军, 江志红, 魏文寿. 近 40 年来塔里木河流域旱涝的气候变化[J]. 地理科学, 2007, 27(6): 801-807.
- [12] 徐长春, 陈亚宁, 李卫红, 等. 45 年来塔里木河流域气温、降水变化及其对积雪面积的影响[J]. 冰川冻土, 2007, 29(2): 183-188.
- [13] 王福勇, 郑浩. 对塔里木河流域水资源管理模式的探讨[J]. 水利发展研究, 2002, 2(7): 6-7.
- [14] 满苏尔, 沙比提, 楚新正. 近 40 年来塔里木河流域气候及径流变化特征研究[J]. 地域研究与开发, 2007, 26(4): 97-101.
- [15] 洪爱华, 刘文轩. 新疆区情文摘: 新疆民族大学新生生活方式现状分析[J]. 新疆社科信息, 2006(4): 31.
- [6] 尹锴, 赵千钧, 崔胜辉, 等. 城市森林景观格局与过程研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 389-398.
- [7] 汲玉河, 周广胜. 1988—2006 年辽河三角洲植被结构的变化[J]. 植物生态学报, 2010, 34(4): 359-367.
- [8] 邱扬, 杜建林, 王晓军. 植被动态的格局与过程[J]. 山西大学学报: 自然科学版, 1997, 20(4): 440-451.
- [9] Bai Yang, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al. Ecosystems patterns and dynamics in Haihe river basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(6): 327-334.
- [10] 雷秀丽, 杨泽东, 马雪梅, 等. 基于 DEM 的小流域土地利用分析模型研究与实践[J]. 测绘通报, 2011(2): 52-55.
- [11] 崔卫国, 文倩, 刘艳艳, 等. 基于 DEM 的醴陵市土地利用空间格局分析[J]. 资源科学, 2008, 31(2): 228-234.
- [12] 张少伟, 杨勤科, 任宗萍, 等. 江西省赣南地区土地利用动态分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 53-65.
- [13] 孔祥丽, 王克林, 陈洪松, 等. 广西河池地区土地利用变化与社会经济发展水平关系的典范对应分析[J]. 自然资源学报, 2007, 22(1): 132-139.
- [14] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [15] 孟广涛, 方向京, 李宁云, 等. 云南金沙江流域典型区域森林景观空间格局特征的初步研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(6): 78-84.
- [16] 徐广才, 康慕谊, 李亚飞. 锡林郭勒盟土地利用变化及驱动力分析[J]. 资源科学, 2011, 33(4): 690-697.

(上接第 121 页)

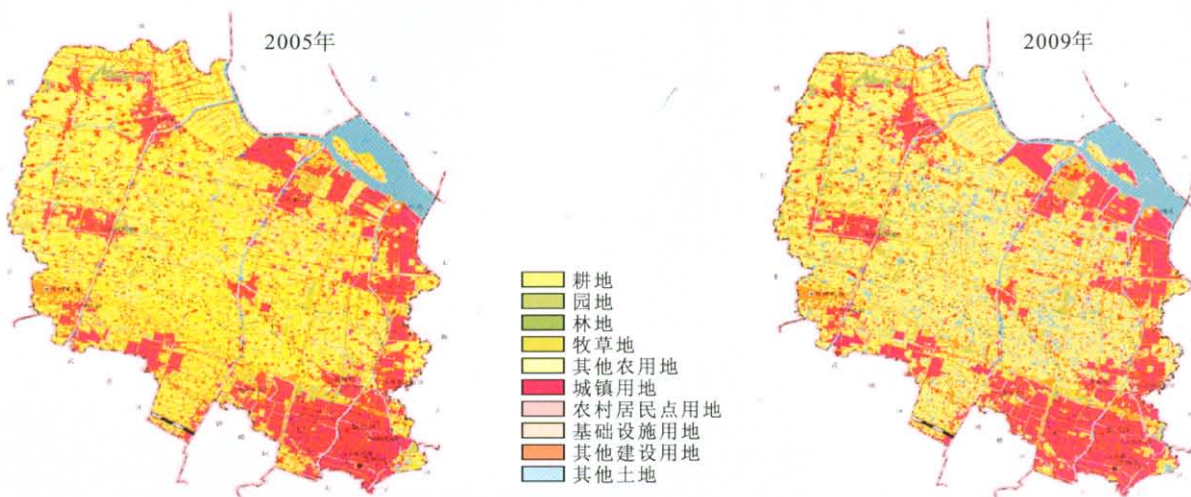




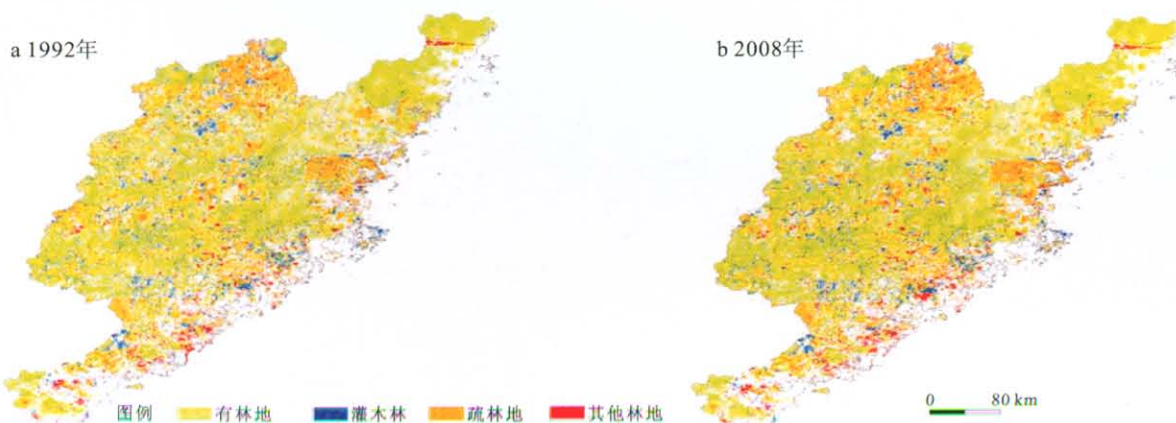
附图1 藏东典型小流域土壤侵蚀强度分级



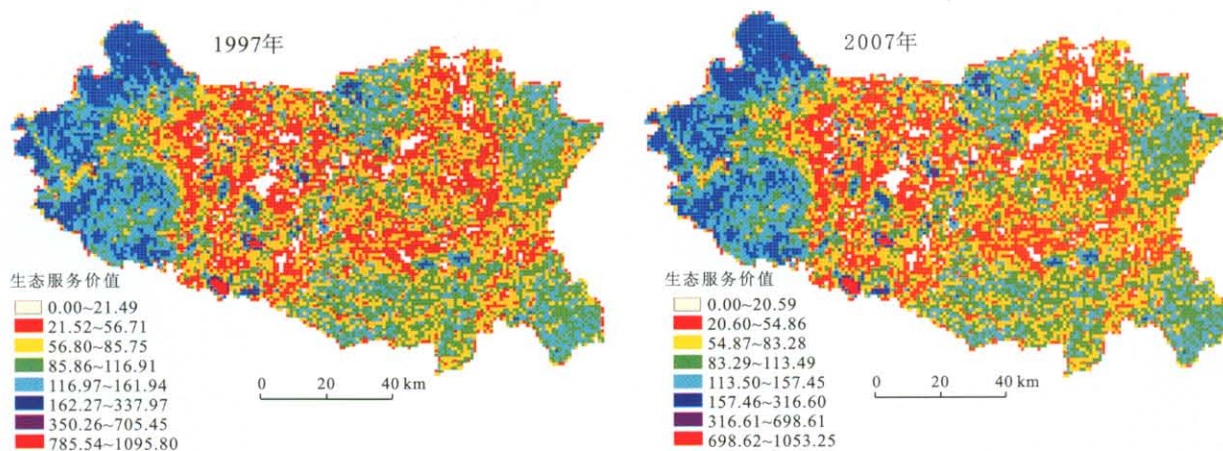
附图2 江苏省常州市新北区1996年土地利用现状



附图3 江苏省常州市新北区2005年、2009年土地利用现状



附图4 不同年份海西区森林格局



附图5 河北省邯郸市不同年份生态服务价值空间分布