

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2020.08.023

基于最大熵模型的创意产业分布的适宜度

赵琪¹, 刘抚英²

(1. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁沈阳 110819; 2. 东北大学江河建筑学院, 辽宁沈阳 110169)

摘要: 针对创意产业园区的分布特征构建创意产业的生态位模型, 选取与城市环境有关的 23 个因子, 通过最大熵模型(MaxEnt)确定每个因子的贡献度, 从中筛选出对创意产业分布做出主要贡献的 8 个环境因子. 以模糊隶属度研判城市环境因子对创意产业的作用, 并与环境因子的权重相结合, 得到研究案例区创意产业的适宜度, 据此生成创意产业适宜度预测图. 应用 GIS 空间分析的方法, 依据城市环境适合创意产业发展的程度, 将城市划分为不适宜区、一般适宜区、次适宜区和最适宜区四类区域. 研究结果显示, 创意产业最适宜区主要集中在东部沿海城市和省会城市, 并且预测结果与实际现状相近, 模型可靠性较高.

关键词: 创意产业; 适宜度; 最大熵模型(MaxEnt); 模糊隶属度

中图分类号: TU 982 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2020)08-1209-08

Research on Suitability of Creative Industry Distribution Based on MaxEnt

ZHAO Qi¹, LIU Fu-ying²

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. JangHo Architecture College, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: LIU Fu-ying, E-mail: lfycl@sina.com)

Abstract: An ecological niche model of creative industry was developed on the basis of the geographic characteristics of creative industry parks and 23 factors associated with the environment of cities were selected. The maximum entropy model (MaxEnt) was applied to determine the contribution of each factor and identify 8 major contributing factors. The fuzzy membership was applied to study the effect of environmental factors on the creative industry. The model results were integrated with the weight of environmental factors to get the suitability of creative industry and to produce predictive maps of site suitability. Then, based on the GIS spatial analysis, the cities were categorized into four zones, including unsuitable, low-suitable, moderatly-suitable, and highly-suitable regions, whose suitability ranges from low to high. The results showed that highly-suitable regions are mostly located in the eastern coastal provinces and provincial cities in China and that the predicted results are similar to the actual ones, which confirms the high reliability of the model.

Key words: creative industry; suitability; the maximum entropy model (MaxEnt); fuzzy membership

创意产业是以创意活动作为促进经济增长和城市空间发展演变的新兴产业^[1]. 我国已出台了促进和激励创意产业发展的相关政策, 并取得初步成效, 驱动创意产业园区数量激增. 但是, 我国的创意产业发展仍存在部分区域和城市盲目建设创意产业园区、忽视产业与当地社会经济环境和

传统文化关联等问题, 因此需要对其空间分布进行科学评估, 以筛选和确定更适合创意产业发展的地理空间. 对此, 本文引入了“生态位模型”(ecological niche model).

生态位模型通过提供一个定量的空间分布框架来描述物种特性与地理分布的关系, 是帮助物

收稿日期: 2019-09-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51878125).

作者简介: 赵琪(1991-), 女, 辽宁葫芦岛人, 东北大学博士研究生; 刘抚英(1969-), 男, 辽宁辽阳人, 东北大学教授, 博士生导师.

种识别恢复区和引入地的有效工具^[2]. 生态位模型在生物学研究中应用广泛,例如,了解物种对生存和繁衍环境的要求,确定物种引入的优先级,预测物种的入侵或栖息地丧失情况,以及在运动学和统计学下的整体运动态势等^[3-4]. MaxEnt 模型是基于最大熵理论建立的一种生态位模型,是将所有研究区域作为可能的分布空间,根据环境变量所给出的约束条件,寻找最大熵理论下的最有可能性的分布空间. 考虑到产业与物种在一定程度上具有相似性,都存在竞争、协同、互利、互惠的特征,都需要与周围环境相互协调,都受到能量流、物质流和环境变化的影响^[5],基于对这种逻辑同构的认知,本文提出将生态位模型应用于创意产业空间分布的相关研究中.

创意产业的发展是由其所能收集到的资源决定的,用 N 维超体积形态表示创意产业所需资源,即经济、劳动力、市场、资本等, N 维超体积模型也可以被描述为产业分布与环境之间的作用关系. 为了通过城市环境因子挖掘创意产业分布适宜区域,本文在 MaxEnt 模型的基础上,通过以下方法对我国创意产业进行评估并据此确定其适宜发展区域:①在全国范围内按照城市层级投射创意产业园区,以确定创意产业所占用的区域;②将 MaxEnt 模型与城市经济学、产业经济学结合,筛选确定影响创意产业的主要因子;③以隶属度表达环境因子对创意产业的贡献程度;④在计算环境因子权重的基础上,结合城市环境信息确定适合发展但却未被占用的区域. 研究结果可作为城市创意产业空间规划的参考和依据.

1 基于 MaxEnt 模型和模糊隶属度的创意产业生态位空间测度方法

1.1 创意产业生态位空间

研究借鉴生态位理论,将创意产业视作生命有机体,将产业依托的城市视为生态群落,将产业间以及产业与城市间的相互作用作为影响创意产业分布的主要因素^[6]. 创意产业在环境、社会、经济、资源等要素的影响下,有选择性地分布在不同地区,呈现出非均衡分布的特点,由此产生了创意产业的优势生态位空间和劣势生态位空间;优势生态位空间将吸引越来越多的创意企业进入,引发空间集聚现象,并由此催生空间分化. 由我国创意产业园区空间分布及其分布密度(图 1)可以看出,创意产业园区的空间分布并不是随机选择的结果,是介于有序和无序之间的一种行为范式,具

有明显的地域趋向性. 研究拟应用最大熵模型分析创意产业园区分布,并采用 MaxEnt 模型测度创意产业在我国适宜生存发展的区域.



图 1 中国创意产业园区分布图

Fig. 1 Distribution of creative industry park in China

1.2 MaxEnt 模型

MaxEnt 是以最大熵理论为基础的预测生物分布适宜区的模型^[7],在系统给定约束条件下确定数据的运行模式,并根据现有的物种分布信息及环境数据来预测物种的适生区. 据此,本文采用 MaxEnt 分析区域某一位置创意产业分布的概率. 数据被随机分为两组:①训练数据(training data),包含 75% 的创意产业数据清单(602 个创意产业的环境特征);②测试数据(test data),包括 25% 的创意产业数据清单(200 个创意产业的环境特征). MaxEnt 在研究区域内的一组位置上找到目标发生(即创意产业园区构建)的概率分布,并以现有创意产业园区的分布(训练数据)作为创意产业分布的限制条件;采用刀切法(Jackknife)重新采样以预测变量的相对影响(环境变量),并为每个环境变量生成响应曲线,从数据集中排除一个或多个变量后,重新采样迭代计算模型^[8]. 当模型结果能准确地对测试数据进行预测,则认为模型能准确地预测分布范围^[9].

为测算各指标的贡献程度,研究选取全国 30 个省份(除西藏和港澳台外)的 338 个城市的部分指标作为环境数据,全国 802 个创意产业园作为样本数据. 其中,创意产业园区的分布点通过爬取获得,城市环境变量主要包括以下 23 项:GDP、工业总产值、社会消费品零售总额、限额以上批发和零售业销售总额、各市固定资产投资、各市年末常住人口、普通高等学校在校生数、普通高等专任教师数、城镇常住居民人均可支配收入、城市居民平均每人全年消费支出、在岗职工平均工资、人均城市道路面积、人均公园绿地面积、地区进口总

额、地区出口总额、实际利用外商投资额、旅游总收入、R&D 经费支出、互联网宽带接入用户、专利授权数、公共图书馆、博物馆、艺术表演团体等。

MaxEnt 参数设置：测试集为分布点的 25%，选择“创建反应曲线”(create response curves)，采用刀切法衡量各指标的权重，其余为默认^[10-11]。

MaxEnt 用 ROC (receiver operating characteristic) 曲线对分析结果进行精度检验，ROC 曲线(如图 2 所示)的纵坐标表示灵敏度，横坐标表示特异度，线段 1 表示随机分布 (radom distribution) 状态下的曲线形态，线段 2 表示测试数据的分布形态，线段 3 表示训练数据的分布形态。

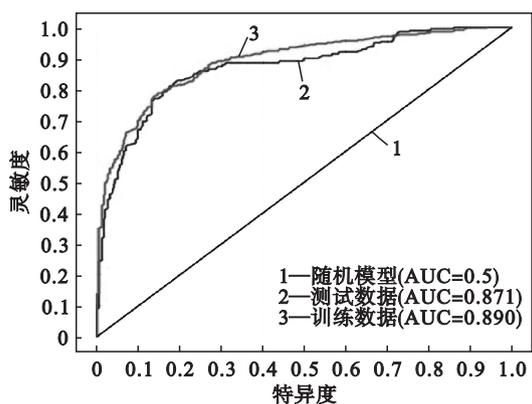


图 2 创意产业分布的 ROC 曲线

Fig. 2 ROC curves of creative industry distribution

为评估 MaxEnt 模型下创意产业的分布结果，采用 5 个指标对其进行评估，包括：准确度 (Acc)、技能得分 (TSS)、似然比、*F* 值，以及 AUC

值(见表 1)^[12]。其中，准确度 (Acc) 用于识别正确地区或排除错误地区的准确程度。技能得分 (TSS) 根据灵敏度 (Sen) 和特异度 (Spec) 由式 (1) 得出，灵敏度表示正确预测创意产业园区适宜区的概率，特异度表示正确预测创意产业园区不适宜区的概率。似然性是用于反映真实性、灵敏度和特异度的指标，按照检验结果的阴性和阳性，可将似然比分为阳性似然比 (+LR) 和阴性似然比 (-LR)，由式 (2) 得出。*F* 值是精度 *P* 和召回率 *R* 的加权平均，由式 (3) 得出，其中精度是指正确识别创意产业园区数量占所识别个体的比值，召回率是指模型预测为适宜的创意产业数量占总的正样本数量的比值。AUC 值是指 ROC 曲线与横坐标所围成的面积值，是常用的阈值度量指标，用于度量物种分布是否与真实数据和缺失数据相适应，其取值范围为 [0, 1]^[13]。其中，AUC_{test} 用于度量模型区分现有存在的数据和不存在数据的能力，并不考虑预测结果的绝对值^[14]。AUC 值越大表示分布状态与随机分布之间相差越远，即预测的产业空间分布与环境关系越密切^[15]；AUC 值为 0 表示为非信息模型，值为 0.5 为随机模型，值为 1 则是正确预测所有创意产业分布的完美模型^[16]。根据 AUC 值的大小，通常按照以下方法划分准确度：AUC 值小于 0.5 时，表明模型的预测结果并不比随机分布的好；AUC 值为 0.5 ~ 0.6 时，模型很差；AUC 值为 0.6 ~ 0.7 时，模型较差；AUC 值为 0.7 ~ 0.8 时，模型一般；AUC 值为 0.8 ~ 0.9 时，模型较好；AUC 值为 0.9 ~ 1 时，模型非常好^[17]。

表 1 表 1 模型检验公式
Table 1 Validation formula

模型预测结果	实际情况		指标计算公式
	适宜	不适宜	
适宜	真阳性 (TP)	假阳性 (FP)	$P = TP / (TP + FP)$
不适宜	假阴性 (FN)	真阴性 (TN)	阴性预测值 = $FN / (FN + TN)$
指标计算公式	$Sen / R = TP / (TP + FN)$	$Spec = TN / (FP + TN)$	$Acc = (TP + TN) / (TP + FP + FN + TN)$

$$TSS = Sen + Spec - 1 \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} +LR &= \frac{Sen}{1 - Spec} \\ -LR &= \frac{1 - Sen}{Spec} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$F = 2RP / (R + P) \quad (3)$$

式中：TP 和 TN 表示模型预测结果与实际情况相符，是正确值；FP 和 FN 表示模型预测结果与实际情况不符，是错误值；精度和召回率的相对权重

取值为 0.5。

1.3 模糊隶属度

本文构造模糊隶属函数用于描述不同区域和城市的环境因子对创意产业的贡献程度，以定量地描述变量之间的关系。

模糊集合的定义：设 *U* 为论域，*A* 为论域上的模糊子集，则对于任何 $x \in U$ ，均存在一个数 $\mu_A(x) \in [0, 1]$ 与之对应：映射 $\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$ ；

$x \rightarrow \mu_A(x)$. 其中,映射 μ_A 为模糊子集 A 的隶属函数, $\mu_A(x)$ 代表元素 x 隶属于模糊子集 A 的程度,即隶属度,数值 0 代表某一属性与模糊集没有隶属关系,数值 1 代表某一属性与模糊集具有完全的隶属关系,0~1 之间的数值代表某一属性与模糊集具有部分的隶属关系.

将模糊隶属度应用于创意产业,构建创意产业生态位 $n \times m$ 维模糊元矩阵 R_{nm} :

$$R_{nm} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \cdots & M_m \\ u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1m} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nm} \end{bmatrix} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} \quad (4)$$

其中: C_i 表示城市的创意产业, M_i 表示创意产业的影响因子, u_{ij} 表示第 i 个城市第 j 个影响因子的值,即隶属度的值, $i \sim (0, 338)$, $j \sim (0, 8)$. $u_{ij} \in [0, 1]$, 0 表示该环境因子的大小不会引起创意产业的变动,1 表示该环境因子很大程度上与创意产业的布局相关.

2 基于模型分析和环境因子贡献度测算的创意产业适宜区域分析

2.1 MaxEnt 模型分析结果

模型测算结果显示,创意产业园区分布结果

中训练集的 AUC 值为 0.890,测试集 AUC 值为 0.871(图 2),模型表现较好,数据结果明显大于随机分布预测模型的 AUC 值(0.5),趋近于 1,这表明创意产业园区并非随机分布,而与环境有很大关联. 创意产业园区评估模型的特异度为 74.6%,灵敏度为 83.3%,准确度为 78.3%,技能得分为 57.9%,精度为 71%, F 值为 0.767, +LR 为 3.28, -LR 为 0.224,说明应用 MaxEnt 模型对创意产业园区进行预测的各项指标均呈现出较好的状态,模型表现良好.

2.2 环境因子贡献度

应用刀切法测算分析了环境因子对创意产业园区分布的贡献度(表 2). 由计算结果可以看出,影响创意产业空间分布的主要环境因子依次为:社会消费品零售总额、限额以上批发和零售业销售总额、地区进口总额、R&D 经费支出、城镇常住居民人均可支配收入、在岗职工平均工资、普通高等专任教师数、专利授权数,这 8 个环境因子对创意产业的累计贡献率为 80.4%;而 GDP、互联网宽带接入用户、人均城市道路面积、人均公园绿地面积、地区出口总额、城市居民平均每人全年消费支出、实际利用外商投资额、艺术表演团体等环境因子对创意产业空间分布没有贡献. 根据主成分分析法,选取贡献率排序最高的 8 个因子作为影响我国创意产业园区分布的关键因子.

表 2 环境因子对创意产业的贡献率
Table 2 Contribution of environmental factors to creative industry

环境因子	贡献率/%	环境因子	贡献率/%
社会消费品零售总额(X_3)	23.7	博物馆(X_{22})	1.4
限额以上批发和零售业销售总额(X_4)	12.2	公共图书馆(X_{21})	1.4
地区进口总额(X_{14})	11.2	普通高等学校在校生数(X_7)	0.2
R&D 经费支出(X_{18})	7.3	艺术表演团体(X_{23})	0
城镇常住居民人均可支配收入(X_9)	7	实际利用外商投资额(X_{16})	0
在岗职工平均工资(X_{11})	6.9	城市居民平均每人全年消费支出(X_{10})	0
普通高等专任教师数(X_8)	6.2	地区出口总额(X_{15})	0
专利授权数(X_{20})	5.9	人均公园绿地面积(X_{13})	0
各市固定资产投资(X_5)	5.9	人均城市道路面积(X_{12})	0
工业总产值(X_2)	4.1	互联网宽带接入用户(X_{19})	0
旅游总收入(X_{17})	3.5	GDP(X_1)	0
各市年末常住人口(X_6)	3.2		

2.3 创意产业适宜区域分析

根据模糊隶属度测算,应用 Arc - GIS 分析在不同环境因子作用下创意产业空间分布的适宜性,见图 3.

从图 3 可以看出,地区进口总额影响下的创意产业分布格局差异较大,而批发零售业销售总额、在岗职工平均工资、普通高等专任教师数影响下的创意产业分布格局差异较小. 几乎所有环境

因子作用下的创意产业分布均呈现出东部沿海地区适宜度较高,中西部地区适宜度较低分布态势.各环境因子对创意产业分布的影响不同,需结

合各因子对创意产业的贡献度为每个环境因子分配权重,以获取更准确的产业适宜分布区域.

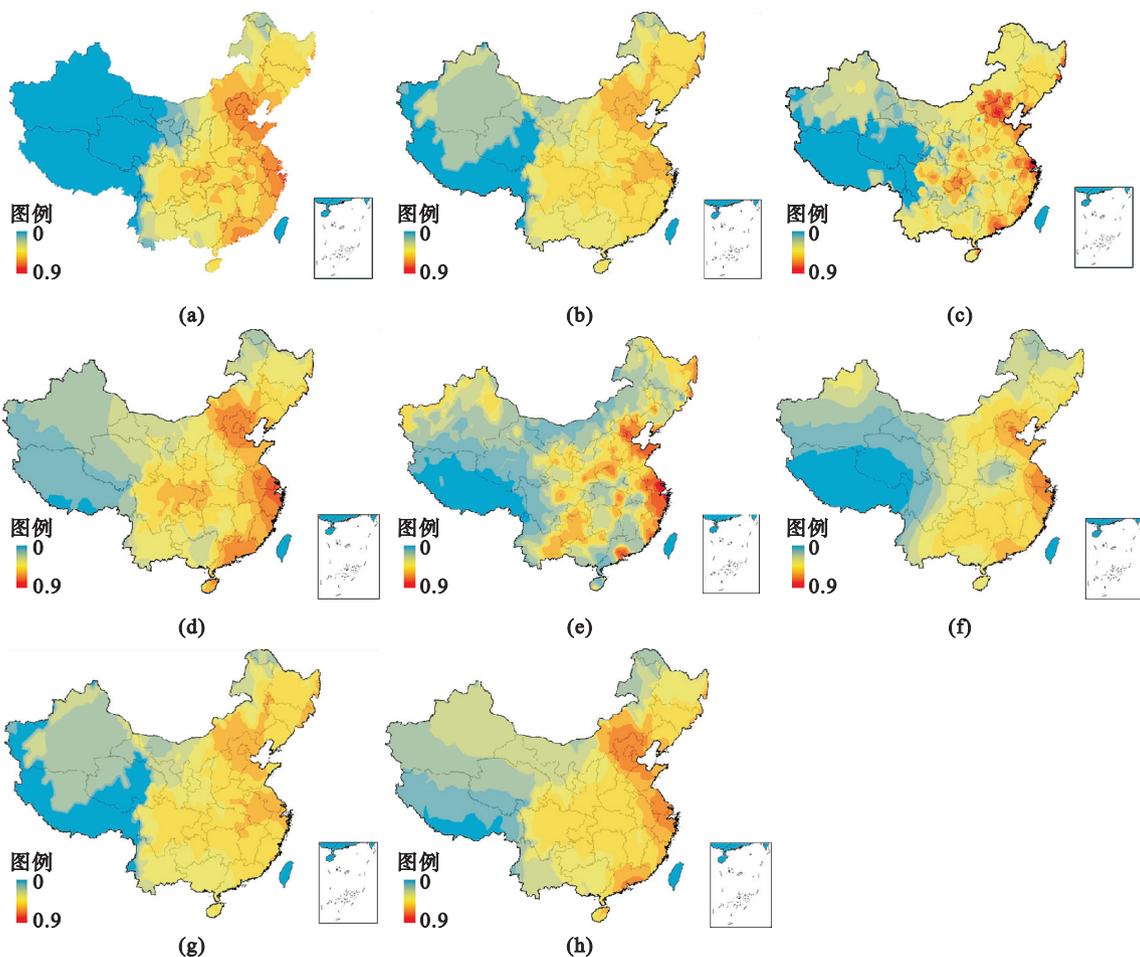


图 3 环境因子作用下创意产业分布格局

Fig. 3 Distribution of creative industry under the effect of environmental factors

(a)—社会消费品零售总额;(b)—限额以上批发和零售业销售总额;(c)—地区进口总额;(d)—R&D 经费支出;(e)—城镇常住居民人均可支配收入;(f)—在岗职工平均工资;(g)—普通高等专任教师数;(h)—专利授权数.

由于不同因素的量纲相差较大,因此,需要对数据进行标准化处理:

$$x = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}). \quad (5)$$

按照各环境因子对创意产业的贡献率,对 8 个环境因子重新赋予权重,根据式(6),得出各因子的权重(见表 3).

$$\omega_i = \frac{\omega_k}{\sum_{k=1}^n \omega_k}. \quad (6)$$

式中: ω_i 代表第 i 个环境因子的权重; n 表示环境因子的个数, $n = 8$.

考虑环境因子的权重,重新测算我国各城市创意产业的适宜度,则有

$$E_j = \sum_i^n (x_{ij} u_{ij} \omega_i). \quad (7)$$

式中: E_j 代表城市 j 的环境适宜度; x_{ij} 代表城市 j 的第 i 个环境因子; u_{ij} 代表城市 j 的第 i 个环境因

子隶属度; ω_i 代表第 i 个环境因子的权重.

表 3 主要环境因子的权重
Table 3 Weight of main environmental factors

指标	贡献率/%	权重
社会消费品零售总额(X_3)	23.7	0.29
限额以上批发和零售业销售总额(X_4)	12.2	0.15
地区进口总额(X_{14})	11.2	0.14
R&D 经费支出(X_{18})	7.3	0.09
城镇常住居民人均可支配收入(X_9)	7.0	0.09
在岗职工平均工资(X_{11})	6.9	0.09
普通高等专任教师数(X_8)	6.2	0.08
专利授权数(X_{20})	5.9	0.07

依据模糊隶属度和权重的计算结果,得出我国创意产业分布的适宜性(见图 4).

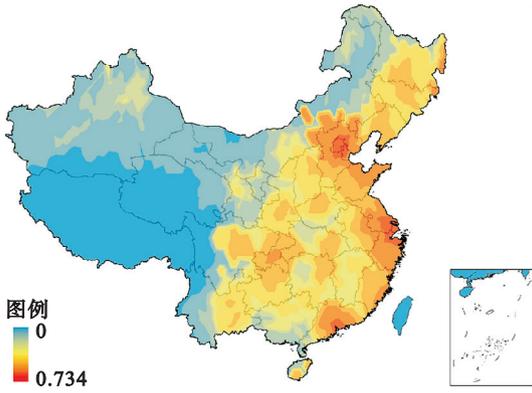


图 4 创意产业分布预测图

Fig. 4 Prediction map of creative industry distribution

根据全国创意产业适宜度的分布结果(图 4),东部沿海地区最适合创意产业发展,部分中部和东北地区适合创意产业的发展,大部分西部地区则不适合,创意产业空间分布的适宜度从东部向西部地区逐渐减弱.在区域尺度上,长三角经济圈绝大部分城市属于创意产业的最适宜区,小部分为创意产业的次适宜区,只有衢州市属于创意产业一般适宜区;珠三角经济圈约一半城市属

于创意产业的最适宜区,1/3 城市属于创意产业的次适宜区,揭阳市和汕尾市属于创意产业的一般适宜区,只有清远市属于创意产业的不适宜区.在环渤海经济圈中,1/3 的城市属于创意产业的最适宜区,1/4 的城市属于创意产业的次适宜区,1/4 的城市属于创意产业的一般适宜区,1/6 的城市属于创意产业的不适宜区.在城市尺度上,所有省级和副省级城市均属于创意产业最适宜区,绝大部分省会城市属于创意产业最适宜区.因此,在创意产业的适宜度上,东部 > 中部 > 西部,长三角地区 > 珠三角地区 > 环渤海地区,倾向分布于省会城市和直辖市.

3 创意产业分布适宜度结果解析

3.1 创意产业与关联环境因子关系分析

从创意产业园区与 8 个环境因子的响应曲线(图 5)可以看出,创意产业的数量随着社会消费品总额的增加而呈现出平缓上升的状态.在限额以上批发零售总额的响应曲线中,创意产业的数量随批发零售总额的增加而迅速上升,并在销售

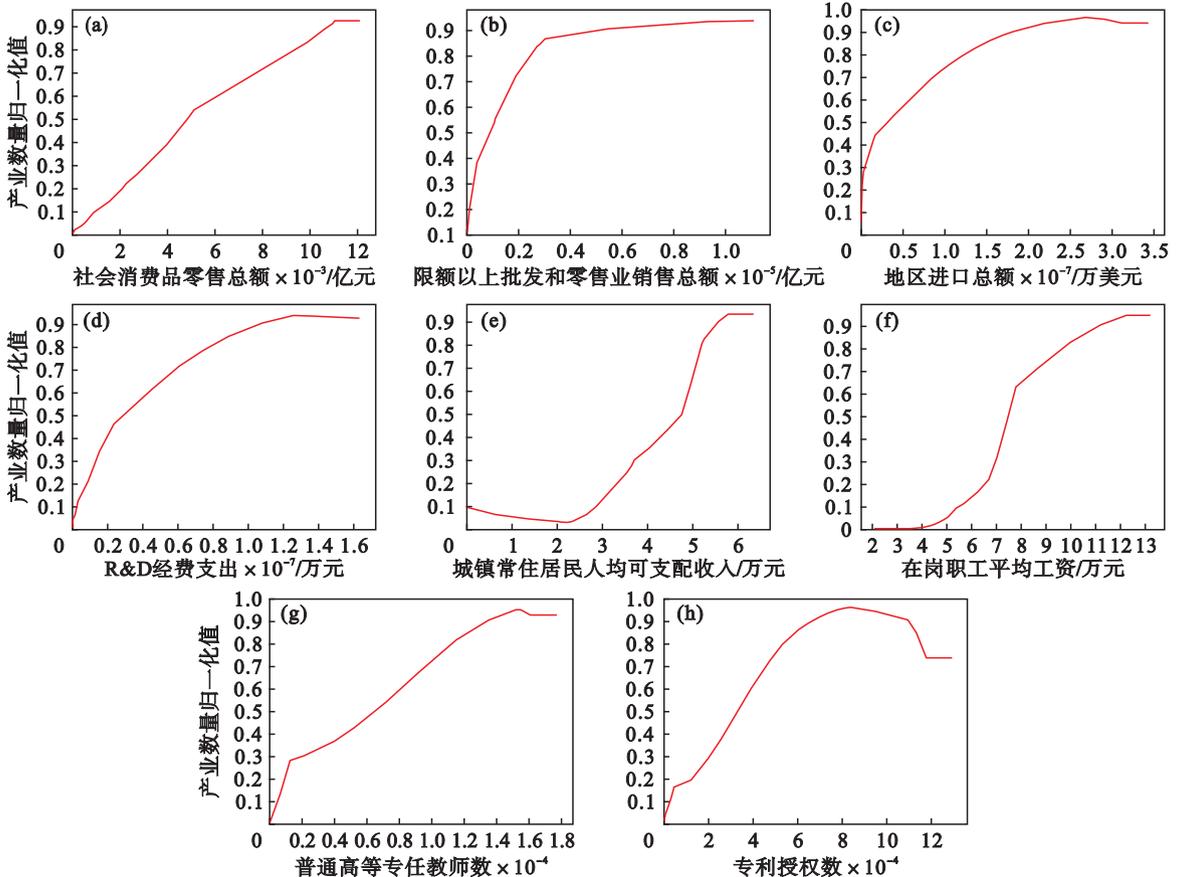


图 5 创意产业 8 种环境因子的响应曲线

Fig. 5 Response curves of 8 environmental factors of creative industry

(a)—社会消费品零售总额; (b)—限额以上批发和零售业销售总额; (c)—地区进口总额; (d)—R&D 经费支出; (e)—城镇常住居民人均可支配收入; (f)—在岗职工平均工资; (g)—普通高等专任教师数; (h)—专利授权数.

总额超过 3 万亿的区域趋于稳定. 地区进口总额和 R&D 经费支出的响应曲线基本一致, 创意产业的数量随着进口总额和 R&D 经费支出的增加而增加. 对于人均可支配收入和平均工资因子, 前者超过 2 万元/年、后者超过 4 万元/年的区域适合创意产业发展, 且创意产业数量随着二者的增加而增加. 在专任教师数量响应曲线中, 创意产业数量随该数量的增多而呈现出先迅速增加后缓慢增加的趋势. 专利授权数对创意产业贡献相对较弱, 创意产业数量随专利授权数的增多呈现出先增后减的趋势, 且在专利授权数为 8 000 ~ 10 000 的区间内创意产业数量达到最高.

3.2 创意产业各适宜区环境变量统计分析

创意产业适宜度是指适合创意产业自身产生

和发展的要求, 不仅包括与科技有关的专利和 R&D 经费支出, 也包括与市场需求相关的批发零售业和社会消费品、与城市吸引力相关的旅游收入、与人民生活水平相关的工资水平, 以及与城市建设相关的固定资产投资等. 通过从这些条件中提取生态位参数, 统计贡献度大于 0 的 15 个环境因子在不同适宜等级的参数范围, 计算 4 个适宜区的最大值、最小值、平均值和标准差, 以确定环境变量的取值范围, 结果见表 4. 影响创意产业分布的 8 个主要环境因子的值从不适宜区到最适宜区呈现出增大的变化趋势(表 4), 表明创意产业园区更容易产生于市场需求大、贸易发达、技术水平高、工资收入高的区域和城市.

表 4 不同层级下环境因子的参数值

Table 4 Parameter values of environmental factors at different levels

环境变量	不适宜区		一般适宜区		次适宜区		最适宜区	
	范围	平均值 ± 标准差	范围	平均值 ± 标准差	范围	平均值 ± 标准差	范围	平均值 ± 标准差
X_3 /亿元	5.9 ~ 1 756	289 ± 275	19 ~ 1 447	444 ± 323	82 ~ 1 515	649 ± 312	366 ~ 11 000	2 534 ± 2 096
X_4 /亿元	1 ~ 1 158	207 ± 241	4 ~ 2 988	296 ± 429	18 ~ 2 917	543 ± 576	105 ~ 101 000	5 828 ± 14 371
X_{14} /亿美元	0 ~ 80	6 ± 14	0 ~ 27.9	2.9 ± 5.4	0.001 ~ 206	10.6 ± 25.0	0.03 ~ 3 127	126 ± 421
X_{18} /亿元	0 ~ 29	5.2 ± 6.3	0 ~ 74	8.3 ± 11.2	0.1 ~ 76.6	17.9 ± 18.0	5 ~ 1 485	145 ± 216
X_9 /万元	1.5 ~ 3.7	2.7 ± 0.4	1.6 ~ 4.1	2.5 ± 0.4	1.8 ~ 4.6	2.7 ± 0.4	2.4 ~ 5.8	3.7 ± 0.8
X_{11} /万元	3.0 ~ 7.9	5.5 ± 0.9	3.9 ~ 8.3	5.1 ± 0.7	4.4 ~ 7.8	5.5 ± 0.7	4.5 ~ 12.3	6.5 ± 1.1
X_8 /万人	0 ~ 4.2	0.2 ± 0.6	0 ~ 7.0	0.5 ± 1.2	0.02 ~ 6.9	0.8 ± 1.2	0.1 ~ 16.1	2.0 ± 2.7
X_{20} /万个	0.000 2 ~ 0.4	0.05 ± 0.07	0.000 2 ~ 0.9	0.07 ± 0.1	0.000 3 ~ 1.4	0.2 ± 0.2	0.01 ~ 11.7	1.5 ± 2.0
X_5 /亿元	22.3 ~ 3 395	684 ± 538	50.5 ~ 3 644	954 ± 720	125 ~ 3 481	1 470 ± 674	844 ~ 17 361	3 835 ± 2 637
X_2 /亿元	0 ~ 4 514	941 ± 872	14.7 ~ 5 131	1 211 ± 1 124	15 ~ 10 569	2 649 ± 2 113	659 ~ 33 080	8 807 ± 6 982
X_{17} /亿元	3.1 ~ 762	172 ± 157	4 ~ 2 224	209 ± 277	8 ~ 1 623	276 ± 220	21.23 ~ 9 239	950 ± 398
X_6 /万人	7.1 ~ 1 007	209 ± 191	11.3 ~ 882	282 ± 189	41 ~ 862	382 ± 174	116 ~ 3 048	715 ± 468
X_{22} /个	0 ~ 43	7 ± 7	0 ~ 40	9 ± 9	1 ~ 40	11 ± 9	3 ~ 125	25 ± 23
X_{21} /个	0 ~ 25	6 ± 4	0 ~ 14	6 ± 3	1 ~ 25	8 ± 5	1 ~ 68	15 ± 13
X_7 /万人	0 ~ 23.7	2.7 ± 3.7	0 ~ 43	4.6 ± 7.1	0.06 ~ 47	7.0 ± 7.7	1.4 ~ 373	25.9 ± 43.7

3.3 创意产业分布适宜度预测结果可靠性分析

将权重的因素考虑进去重新测算全国各省市的创意产业适宜度, 据此对各省份、各市的创意产业适宜度进行预测, 并对比实际创意产业的发展情况(以目前创意产业园区数量作为衡量指标), 其结果见图 6, 其中, 北京、上海、天津、重庆四个直辖市是创意产业的最适区域, 预测结果与真实结果一样, 由于没有对直辖市按照区细分, 所以不予列出.

对比 MaxEnt 模型得出的预测结果与创意产业的发展现状可知, 位于虚线上的各城市的预测结果和实际结果相符, 虚线上方各城市的预测结

果优于实际结果, 虚线下方各城市的预测结果低于实际结果. 其中, 位于虚线上的北京、上海、重庆、天津四个直辖市以及江苏、浙江、山东、广东是发展创意产业的最适宜区, 辽宁、安徽、福建、湖南、云南是发展创意产业的次适宜区, 山西、广西、陕西、甘肃是发展创意产业的一般适宜区, 内蒙古、吉林、青海、海南、宁夏是发展创意产业的不适宜区; 这些地区的预测结果与实际结果相同, 说明城市对创意产业的投入与城市的需求相当, 此时, 城市创意产业的发展与资源配置处于一个稳定状态. 虚线上方的河南、四川、湖北、黑龙江、新疆创意产业适宜度的预测结果优于实际现状, 表明其

创意资源的配置不足以支撑目前创意产业的发展,并且对创意产品的需求大于供给,应加强创意资源投入,扩大创意产业生态位.虚线下方的河北、江西、贵州创意产业适宜度的预测结果低于实际现状,表明其对创意产业的投入较多,但消费者对创意产业的需求较低,即需求和供给处于一种不平衡的状态,说明这 3 省应有侧重地发展合适的创意产业类型,缩小创意产业生态位,以突出自身的产业优势.在城市尺度域层面,大部分城市的预测结果与实际相同,少部分城市的预测结果与实际相异,但仅相差一个层级,由此可以推断,应用 MaxEnt 模型测算的创意产业分布适宜度是科学可行的.

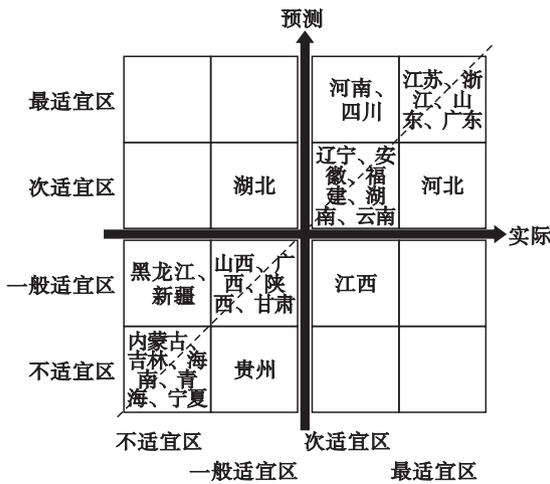


图 6 创意产业预测和实际对比图

Fig. 6 Comparison chart of prediction and actual situation of creative industry

4 结 论

- 1) 需求是影响创意产业的主要因素.
- 2) 创意产业分布适宜度与城市环境因子呈正向关系.
- 3) 创意产业最适宜区主要集中在东部沿海城市和省会城市.
- 4) 应用 MaxEnt 模型预测创意产业分布适宜度是相对科学可行的.

作为一种预测模型,MaxEnt 多应用于物种研究,在多尺度域地理空间的产业分布研究中应用该模型是否具有科学性、有效性,尚待进一步深入探索和实践验证.

参考文献:

[1] 厉无畏,王慧敏.创意产业促进经济增长方式转变——机理·模式·路径[J].中国工业经济,2006(11):7-15.
(Li Wu-wei, Wang Hui-min. Creative industry promoting the

changing of the ways of economic growth [J]. *China Industrial Economy*, 2006(11):7-15.)

[2] Martínez-Meyer E, Peterson A T, Servin J I, et al. Ecological niche modeling and prioritizing areas for species reintroductions [J]. *Oryx*, 2006, 40(4):411-418.

[3] Peterson A T. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models [J]. *Biodiversity Informatics*, 2006, 3:59-72.

[4] Franklin J. Mapping species distributions: spatial inference and prediction [J]. *Oryx*, 2010, 44(4):615.

[5] Alberti M, Marzluff J M, Shulenberg E, et al. Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems [J]. *Bioscience*, 2003, 53(12):1169-1179.

[6] Tilman D. Community invisibility, recruitment limitation, and grassland biodiversity [J]. *Ecology*, 1997, 78:81-92.

[7] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. *Economic Modeling*, 2006, 190(3/4):231-259.

[8] Yang L, Wei W, Chen L, et al. Response of deep soil moisture to land use and afforestation in the semi-arid Loess Plateau, China [J]. *Journal of Hydrology*, 2012, 475:111-122.

[9] Elith J, Graham C H, Anderson R P, et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data [J]. *Ecography*, 2006, 29(2):129-151.

[10] 冯益明,刘洪霞.基于 Maxent 与 GIS 的锈色棕榈象在中国潜在的适生性分析 [J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(5):552-556.
(Feng Yi-ming, Liu Hong-xia. Potential suitability analysis of rhycolophorus ferrugineus (Olivier) in China based on Maxent and GIS [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2010, 29(5):552-556.)

[11] Graham J, Amanda M. Using district-level occurrences in MaxEnt for predicting the invasion potential of an exotic insect pest in India [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2014, 103:55-62.

[12] Pourghasemi H R, Rossi M. Landslide susceptibility modeling in a landslide prone area in Mazandaran Province, north of Iran: a comparison between GLM, GAM, MARS, and M-AHP methods [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2017, 130(1/2):609-633.

[13] Evangelista P H, Kumar S, Stohlgren T J, et al. Modelling invasion for a habitat generalist and a specialist plant species [J]. *Diversity and Distributions*, 2008, 14:808-817.

[14] Fielding A H, Bell J F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models [J]. *Environmental Conservation*, 1997, 24(1):38-49.

[15] Li B N, Wei W, Ma J, et al. Maximum entropy niche-based modeling (Maxent) of potential geographical distributions of fruit flies *Dacus bivittatus*, *D. ciliatus* and *D. vertebrates* (Diptera: Tephritidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52(10):1122-1131.

[16] Walter S D. Properties of the summary receiver operating characteristic (SROC) curve for diagnostic test data [J]. *Statistics in Medicine*, 2002, 21(9):1237-1256.

[17] Fressard M, Thiery Y, Maquaire O. Which data for quantitative landslide susceptibility mapping at operational scale? Case study of the Pays d'Auge plateau hillslopes (Normandy, France) [J]. *Natural Hazards and Earth System Science*, 2014, 14(3):569-588.