

浙江省加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*) 的空间分布格局及其与人类活动的关系

陈志伟¹, 杨京平^{2,*}, 王荣洲³, 商晗武⁴

(1. 浙江大学生命科学学院, 杭州 310058; 2. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310029;
3. 浙江省植物检疫局; 4. 中国计量学院生命科学院)

摘要:原产于北美的加拿大一枝黄花目前正在我国境内尤其是东部地区迅速扩散,对当地的社会经济、自然生态系统和生物多样性构成了严重威胁。应用 GIS 技术揭示了 2005 年浙江省加拿大一枝黄花发生面积和发生面积比例的空间分布格局,并结合回归统计方法,分析了该空间分布格局与人类活动的关系。结果表明:加拿大一枝黄花在浙江省的分布存在明显的空间异质性;进口货物总额与农业活动强度是解释加拿大一枝黄花发生面积变异的主要因子;境内公路里程是解释加拿大一枝黄花发生面积比例变异的主要因子。在大力发展经济的同时,不能忽视经济发展对生态环境产生的负面影响,如物种入侵。对于加拿大一枝黄花的防控,应加大对抛荒地和闲置地的复垦力度,从源头上控制其发生面积。

关键词:加拿大一枝黄花;空间分布格局;地理信息系统;进口货物总额;农业活动强度

文章编号:1000-0933(2009)01-0120-10 中图分类号:Q143, Q149, Q948 文献标识码:A

Spatial distribution pattern of *Solidago canadensis* in Zhejiang Province and its relationship with anthropogenic activities

CHEN Zhi-Wei¹, YANG Jing-Ping^{2,*}, WANG Rong-Zhou³, SHANG Han-Wu⁴

1 College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

2 College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

3 Plant Quarantine Bureau, Zhejiang, China

4 College of Life Sciences, China Jiliang University, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0120 ~ 0129.

Abstract: *Solidago canadensis*, a perennial plant native to North America, is now spreading rapidly in China, especially in eastern China. The plant has already induced serious threats to native ecosystems and biodiversity and has caused considerable economic loss to those areas. A spatial analysis technique was used to analyze the spatial distribution pattern of *Solidago canadensis* in Zhejiang Province in 2005. A stepwise regression method was applied to explore the relationship between the spatial distribution pattern of *Solidago canadensis* and anthropogenic activities. Our results indicate that there is a significant spatial heterogeneity of *Solidago canadensis* areal distribution in the study area. Imports and intensity of agricultural activities are major factors in *Solidago canadensis* occurrence area, while length of highways accounts for the variance in relative area of *Solidago canadensis*. With a rapidly developing economy, more attention should be given to the negative impact of *Solidago canadensis* on the environment. In terms of prevention and control *Solidago canadensis* invasion, the reclamation of abandoned and idle land should be intensified so as to limit establishment from points of origin.

Key Words: *Solidago canadensis*; spatial distribution pattern; geographic information system; imports; intensity of

基金项目:浙江省科技厅重大招标资助项目(2005C12008-01)

收稿日期:2008-01-29; 修订日期:2008-11-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jpyang@zju.edu.cn

agricultural activities

生物入侵(biological invasion)是指某种生物从原来的分布区域扩散到一个新的(通常也是遥远的)地区,在新扩散的区域里,其后代可以繁殖、扩散并持续维持下去^[1]。自从 Elton 在 1958 年提出这一概念以来,在最近几十年里,生物入侵已成为生态学领域的一个研究热点^[2~4]。近年来,研究工作者对生物入侵有了更深的认识,入侵种能在新的生境中建立庞大的种群并向周围地区扩散,对新分布区的生态系统的结构和功能造成明显的损害和影响^[1,5]。入侵生态学正逐渐发展成为当代生态学的一个重要分支^[5~7]。随着人类社会交通和贸易的发展,人类的各项活动有意或无意间为外来种的扩散起了推动作用^[1,8]。人类活动作为物种入侵的重要媒介,不仅增加了物种到达新生境的机会,也为外来种在新生境的成功定居创造了条件^[9,10]。

加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)原产于北美,现已成为一种世界性的入侵性外来杂草,目前正在我国境内尤其是东部地区迅速扩散^[11]。该植物隶属菊科一枝黄花属,在秋季常形成单优势种群落,表现出极强的竞争优势,并呈现进一步扩散态势^[12],对当地的社会经济、自然生态系统和生物多样性均构成了严重威胁^[1,8,9,11,12]。

目前,运用 GIS 技术模拟外来入侵种的空间分布格局是一种重要的研究手段^[13~15],越来越多的研究已运用 GIS 和统计分析的方法来找出外来物种丰富度和空间异质性之间的关联^[13]。近年来,有关外来种入侵的分布格局及其成因的分析主要集中在欧洲、北美等国家,国内目前对于此类研究比较薄弱,而对于区域范围的入侵格局更是少有定量分析^[9]。本文应用浙江省加拿大一枝黄花发生面积数据库、以市或县为空间单位揭示浙江省加拿大一枝黄花的空间分布格局,并探讨人类活动与该物种空间分布格局之间的关系,以期找出影响该分布格局的主要因子,同时为防控浙江省加拿大一枝黄花的入侵提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

浙江省地处中国东南沿海、长江三角洲南翼,属亚热带季风气候,年平均气温 15~18℃。1 月、7 月分别为全年气温最低和最高的月份,5 月、6 月份为集中降雨期。浙江省陆域面积 10.18 万 km²,海域面积 26 万 km²。大陆海岸线和海岛岸线长达 6500km,占全国海岸线总长的 20.3%,居全国第一。

为便于研究,本文以 2005 年浙江省行政区划为依据,将研究地区中的市(区)或县作为一个独立的研究单位。考虑到研究的可行性以及区域空间分布的连续性,本文共选取了 34 个空间单位,这些空间单位如下:

- (1)杭州市有 5 个,包括:杭州市区,富阳市,临安市,建德市,桐庐县;
- (2)宁波市有 6 个,包括:宁波市区,余姚市,慈溪市,奉化市,象山县,宁海县;
- (3)嘉兴市有 6 个,包括:嘉兴市区,平湖市,海宁市,桐乡市,嘉善县,海盐县;
- (4)湖州市有 4 个,包括:湖州市区,德清县,长兴县,安吉县;
- (5)绍兴市有 5 个,包括:绍兴市区,诸暨市,上虞市,嵊州市,新昌县;
- (6)金华市有 8 个,包括:金华市区,兰溪市,东阳市,义乌市,永康市,武义县,浦江县,磐安县。

除了磐安县未发生加拿大一枝黄花以外,其它 33 个地区均有不同程度的加拿大一枝黄花发生。本文中考虑了未发生加拿大一枝黄花的地区的情况,这在一定程度上可以将研究结果推广到浙江省中其它未发生加拿大一枝黄花的地区,因此更具有普遍性。

1.2 数据来源

浙江省加拿大一枝黄花发生面积数据来源于本项目的调查数据及浙江省植物检疫局(Plant Quarantine Bureau, Zhejiang)加拿大一枝黄花调查数据库(2005),从中提取出的数据包括加拿大一枝黄花发生面积(*Solidago canadensis* occurrence area, ASC),加拿大一枝黄花发生面积比例(Relative area of *Solidago canadensis*, RSC),其中:

$$\text{加拿大一枝黄花发生面积比例(RSC)} = \text{加拿大一枝黄花发生面积(ASC)} / \text{地区面积(LAD)}$$

人类活动是影响外来入侵种分布和扩散的重要因素之一^[1,16,17]。由于人类活动牵涉到自然、经济、社会 3 个方面^[18,19], 本文将所用到的因子分为 5 类: 地理位置、土地利用类型、经济因素、流通因素和人口因素(表 1)^{①②}。地理位置包括经度和纬度, 因为经、纬度往往隐含着温度、降水和日照等环境因子^[9,20], 所以可以通过研究经、纬度来达到研究环境因子的目的。在区域范围内, 不同土地利用类型是基于 GIS 研究外来入侵种空间分布格局的重要因素^[3,15], 土地利用的变化是外来种入侵和增加的主要途径之一^[17]。生产总值(GDP)是反映一个地区经济水平的重要因子, 也是人类活动强度的重要指标之一^[9]。对于某一区域, 在生态类型、资源条件一定的情况下, 经济发展水平的高低与环境受到的扰动具有正相关关系^[18,19]。因此, 文中将经济因素细分为 GDP、3 个产业产值以及工、农、林、牧、渔业产值, 目的是找出与加拿大一枝黄花入侵发生相关性较大的经济因子。有关研究表明, 交通道路如公路、铁路等能增加物种入侵扩散的几率^[21]; 交通密度、进口货物总额也与物种的入侵有密切的关系^[9,17]; 相当一部分入侵种是通过人员流动和物资交流到达新生境^[1,22]。因此, 将流通因素细分为公路里程、交通密度、进口货物总额、客运量和货运量。

表 1 本文研究中的初始变量及其单位和缩写

Table 1 Initial pool of explicative variables in the study and their units and abbreviations

变量 Variables	缩写 Abbreviations	变量 Variables	缩写 Abbreviations
地理位置 Geographical location		牧业产值 Animal Husbandry GDP (%)	PHG
经度坐标 Coordinate of longitude(°)	CLG	渔业产值 Fishery GDP (%)	PYG
纬度坐标 Coordinate of latitude(°)	CLT	流通因素 Transit factors	
土地利用类型 Land-use types		公路里程 Length of highways(km)	LHW
地区面积 Land area * (km ²)	LAD *	交通密度 Density of transport(km·km ⁻²)	DTP
耕地面积 Field area * (%)	PFA *	客运量 Volume of passenger transport * (10 ⁴ Persons)	VPT *
水田面积 Paddy field area * (%)	PPA *	货运量 Volume of freight transport * (10 ⁴ t)	VFT *
旱地面积 Dry field area (%)	PDA	进口总额 Imports(10 ⁴ US dollars)	VIG
农作物播种面积 Cropland area (%)	PSA	人口因素 Demographic factors	Pop.
农业人口人均耕地 Average field area of agriculture pop. per capita (hm ² ·Person ⁻¹)	AFA	总人口 Total population * (10 ⁴ Persons)	TPY *
经济因素 Economic factors		人口密度 Population density * (Persons·km ⁻²)	PPD *
生产总值 Gross domestic product * (10 ⁸ RMB)	GDP *	第一产业人口 Primary Industry Pop. (%)	PPP
第一产业产值 Primary Industry GDP (%)	PPG	第二产业人口 Secondary Industry Pop. (%)	PSP
第二产业产值 Secondary Industry GDP (%)	PSG	第三产业人口 Tertiary Industry Pop. (%)	PTP
第三产业产值 Tertiary Industry GDP (%)	PTG	农业人口 Percent of Agriculture Pop. (%)	PAP
工业产值 Industry GDP * (%)	PIG *	交通运输业人口 Traffic Pop. (%)	PFP
农业产值 Farming GDP (%)	PAC	环境管理业人口 Environmental Management Pop. (%)	PEP
林业产值 Forestry GDP (%)	PFG		

* 表示该变量由于与其它变量的高相关性($|r| > 0.75$)而从初始变量库中删除 Represent those variables removed from the pool because of their high correlations ($|r| > 0.75$) with other variables

国外有研究表明, 人口数量与外来植物种的多样性有很大的正相关关系^[23]。本文将人口因素细分为总人口、3 个产业的人口以及农业人口、交通运输业人口和环境管理业人口(指水利、环境和公共设施管理业人口), 目的是找出与加拿大一枝黄花入侵发生相关性较大的人口因子。综合考虑环境因子和人类活动因子对加拿大一枝黄花空间分布格局的影响, 将有助于对其入侵的认识和预测^[9,13,24]。

① 数据主要来源于浙江省统计年鉴(Zhejiang statistic yearbook, 2005)

② 中华人民共和国国家统计局官方网站(NBSC, 2005)

1.3 分析方法

首先,应用 ArcView GIS 3.3 软件对研究区域中的加拿大一枝黄花发生面积和发生面积比例作图,从地图上直观显示 34 个空间单位的加拿大一枝黄花空间分布格局。然后,应用 SAS 9.0 软件进行统计回归分析。(1)为了减少回归分析中变量的数量以及各变量间的共线性,首先对表 1 中的所有变量进行 Pearson 相关分析。当两个变量的 Pearson 相关系数的绝对值大于 0.75 时(即 $|r| > 0.75$),去掉其中普遍含义较少或生物学意义较少的变量^[3,15]。(2)然后对表 1 中剩下的变量做主成分分析,目的是整合具有相似意义的变量,并减小后面回归分析中的变量。(3)应用回归分析方法,对加拿大一枝黄花的发生面积及其比例分别与累积解释量达 85% 的前若干个主成分做逐步回归分析,找出具有显著意义的主成分。(4)应用 GIS 软件对关键主成分在空间区域上的得分做分布格局图,在地图上直观显示该主成分与加拿大一枝黄花空间分布格局之间的关系。

2 结果与分析

2.1 加拿大一枝黄花的空间分布格局

2005 年加拿大一枝黄花发生面积在研究地区中的分布存在很大的空间变异(图 1),宁波市区、慈溪市、平湖市的发生面积均在 1000hm² 以上(宁波市区最多,为 2010 hm²);磐安县、安吉县、永康市、临安市、东阳市、新昌县、嵊州市、富阳市、诸暨市、武义县、浦江县、兰溪市、桐庐县的发生面积数均在 100 hm² 以下(磐安县未发生),总体趋势显示浙江省加拿大一枝黄花发生面积数量从沿海到内陆逐渐减少。而加拿大一枝黄花发生面积比例以慈溪市、嘉善县、平湖市居高,总体趋势也是沿海大于内陆(图 2)。

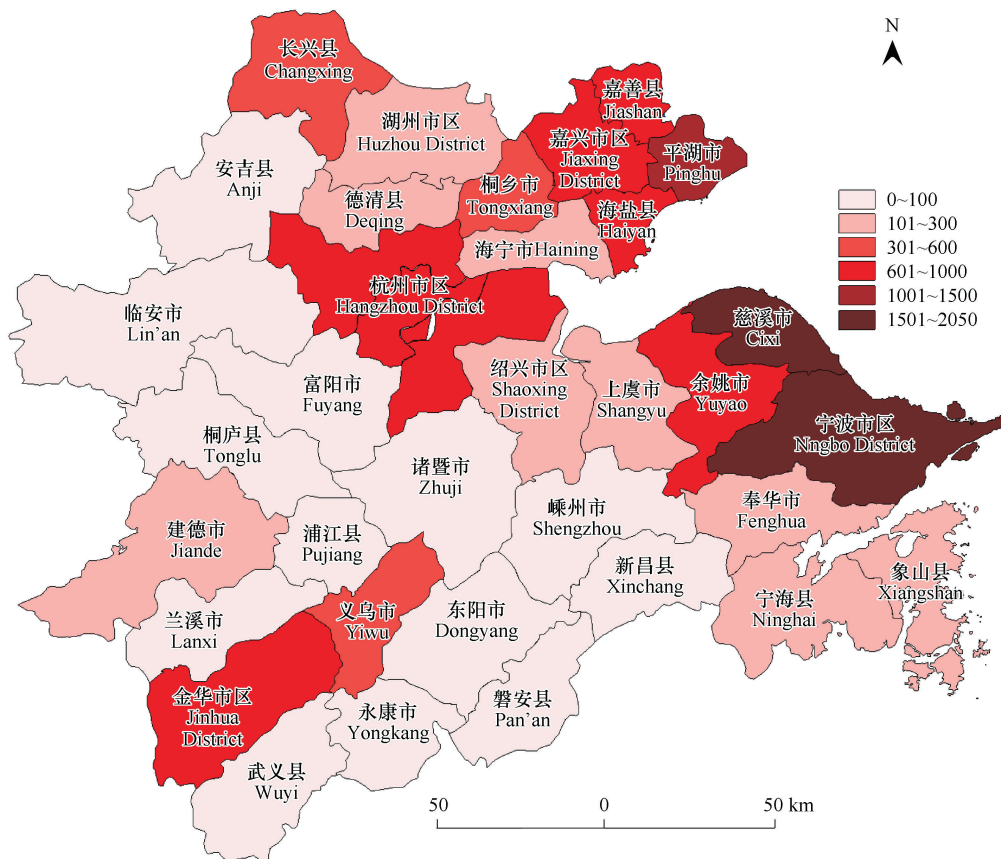


图 1 2005 年浙江省加拿大一枝黄花发生面积的空间分布格局

Fig. 1 The spatial distribution pattern of *Solidago canadensis* occurrence area in Zhejiang Province in 2005

2.2 初始变量的主成分分析

主成分分析的结果表明,7 个主成分已包含了经相关分析后余下的 21 个变量中超过 85% 的信息(表 2)。

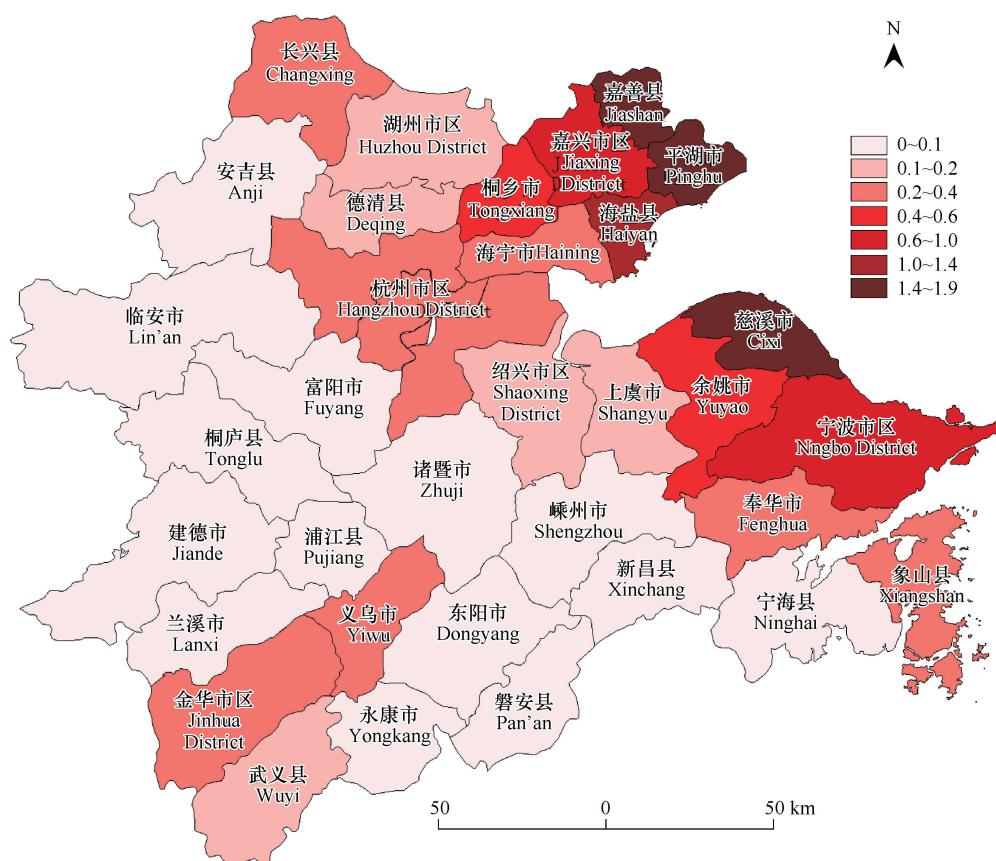


图2 2005年浙江省加拿大一枝黄花发生面积比例的空间分布格局

Fig. 2 The spatial distribution pattern of relative area of *Solidago canadensis* in Zhejiang Province in 2005

PC1 与第一产业人口、农业人口和农业产值这 3 个因子的相关性最大(表 3), 可以将 PC1 看成是人类农业活动强度指标。同时, PC1 与进口货物总额也有比较大的相关性, 因此, 可以认为 PC1 是农业活动强度与进口货物总额的综合指标。PC2 与第二产业人口、第二产业产值这两个因子的相关性最大, 可以认为 PC2 是人类工业活动强度指标。PC3 与境内公路里程的相关性最大, 且呈负相关, 其次与经度呈正相关。PC4 主要与农业人口人均耕地和牧业产值有关。PC5 主要与旱地面积和环境管理业人口有关。PC6 主要与林业产值有关。与 PC7 相关性最大的指标是交通密度, 且呈负相关。

表 2 初始变量的 7 个主成分的特征值及其贡献率

Table 2 Seven principal components (PC1 ~ PC7) of the initial variables

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
特征值 Eigenvalue	5.518	4.789	2.668	1.833	1.172	1.113	0.892
贡献率 Contr. Prop.	0.263	0.228	0.127	0.087	0.056	0.053	0.043
累计贡献率 Cumul. Contr. Prop. *	0.263	0.491	0.618	0.705	0.761	0.814	0.857

* 简写说明 Abbreviations; Cumul. = Cumulative; Contr. = Contributive; Prop. = Proportion

2.3 加拿大一枝黄花的空间分布格局与人类活动的关系

加拿大一枝黄花发生面积与前 7 个主成分的多元回归分析结果见表 4, 经逐步回归筛选后前 7 个主成分中有 5 个主成分进入回归模型, 它们共解释了加拿大一枝黄花发生面积 71.6% 的变异。除了与 PC7 呈负相关以外, 加拿大一枝黄花发生面积与其余 4 个主成分都呈正相关。其中最主要的相关因子是 PC1 (农业活动强度和进口货物总额), 其次是 PC5 (旱地面积和环境管理业人口)。

表 3 7 个主成分与各个变量的 Pearson 相关系数

Table 3 Pearson correlation coefficient matrices between seven PCs and variables

变量 Variables	主成份 Principal components						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
CLG	0.458 **	-0.385 *	0.595 ***	-0.257 ^{ns}	0.215 ^{ns}	-	-
CLT	0.439 **	0.160 ^{ns}	0.475 **	0.451 **	-0.254 ^{ns}	0.447 **	-
PDA	0.321 *	0.413 ***	0.441 **	-	0.453 **	-	-0.285 ^{ns}
PSA	0.452 **	0.646 ***	0.370 *	0.378 *	0.173 ^{ns}	-	0.156 ^{ns}
AFA	0.240 ^{ns}	0.651 ***	0.214 ^{ns}	0.581 ***	-	-	-
PPG	-0.633 ***	-0.549 ***	0.352 *	0.136 ^{ns}	-	0.176 ^{ns}	0.174 ^{ns}
PSG	-	0.849 ***	-	-0.346 *	-0.286 ^{ns}	-	-
PTG	0.437 **	-0.577 ***	-0.250 ^{ns}	0.310 ^{ns}	0.270 ^{ns}	-0.140 ^{ns}	-0.178 ^{ns}
PAG	-0.755 ***	0.175 ^{ns}	-0.159 ^{ns}	0.247 ^{ns}	0.283 ^{ns}	-	0.132 ^{ns}
PFG	-0.512 ***	-	-0.255 ^{ns}	0.307 ^{ns}	-0.307 ^{ns}	0.514 ***	-0.385 *
PHG	-0.551 ***	0.355 *	-	0.506 ***	-	-0.332 *	0.170 ^{ns}
PYG	-	-0.732 ***	0.549 ***	-	-	0.124 ^{ns}	0.157 ^{ns}
LHW	-	-	-0.837 ***	-	0.245 ^{ns}	0.293 ^{ns}	-
DTP	0.449 **	0.151 ^{ns}	-0.390 *	-0.314 ^{ns}	-	0.221 ^{ns}	-0.600 ***
VIG	0.634 ***	-	-0.451 **	0.182 ^{ns}	0.218 ^{ns}	-	-
PPP	-0.828 ***	-0.372 *	-	0.133 ^{ns}	-	-0.186 ^{ns}	0.150 ^{ns}
PSP	0.367 *	0.809 ***	-	-0.222 ^{ns}	0.174 ^{ns}	-	-
PTP	0.592 ***	-0.598 ***	-	0.125 ^{ns}	-0.289 ^{ns}	0.167 ^{ns}	-
PAP	-0.779 ***	0.196 ^{ns}	0.126 ^{ns}	-0.378 *	0.138 ^{ns}	-	-0.245 ^{ns}
PFP	0.538 ***	-0.535 ***	-0.243 ^{ns}	0.207 ^{ns}	0.163 ^{ns}	-0.181 ^{ns}	-
PEP	0.469 **	-0.216 ^{ns}	-	-0.125 ^{ns}	-0.447 **	-0.460 **	-0.162 ^{ns}

显著性检验 Significance test: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; ns $0.05 < P < 0.5$; - $P > 0.5$

表 4 加拿大一枝黄花发生面积与主成分的逐步回归分析结果

Table 4 Result of stepwise regression between ASC and PCs

变量 Variable	回归系数 Coefficient	均值标准误 Standard Error	F 值 F-value	显著性水平 Significance	累积解释方差(%) var. ^a
Intercept	384.560	49.050	61.47	$P < 0.001$	
PC1	139.734	21.154	43.63	$P < 0.001$	35.80
PC5	199.078	30.423	18.81	$P < 0.05$	51.24
PC7	-205.457	36.703	15.25	$P < 0.05$	63.75
PC3	66.636	45.900	4.80	$P < 0.001$	67.69
PC4	80.111	52.613	4.76	$P < 0.001$	71.60

ASC; *Solidago canadensis* occurrence area; PCs: PC1 ~ PC7; a: cumulative variation explained (%), 下同 the same below

加拿大一枝黄花发生面积比例与人类活动因子的多元回归分析结果见表 5,经逐步回归筛选后有 4 个主成分进入回归模型,且与它们都呈正相关。这些变量共解释了加拿大一枝黄花发生面积比例变异的 64.8%。其中最主要的相关因子是 PC3(境内公路里程和经度),其次是 PC1(农业活动强度和进口货物总额)。

3 讨论

3.1 加拿大一枝黄花空间分布的异质性分析

从图 1 可以看出加拿大一枝黄花发生面积在不同地区间的变化很大,存在明显的空间异质性,而这些地区之间的经纬度变化很小,反映在气候条件是年平均温度、年降雨量、年日照时数等的变化均很小,如年降雨量为(1403.9 ± 116.2)mm,年日照时数为(1834.5 ± 80.8)h。有关研究表明,从区域尺度(如以省为研究单位)上分析外来种的分布格局时,环境因子如纬度梯度往往是主导因子;而在较小的尺度上进行分析时,人类

活动因子的主导作用才可能体现出来^[9,20]。由此可见,加拿大一枝黄花在浙江省不同地区之间的发生面积差异性主要不是由气候条件的不同引起的,因为与经、纬度相关性较大 PC3 只解释了加拿大一枝黄花发生面积不到 4% 的变异(表 3 和表 4),而与 PC1(农业活动强度和进口货物总额)和 PC5(旱地面积比例和环境管理业人口比例)的相关程度较大,这两个变量共解释了加拿大一枝黄花发生面积一半以上的变异。

加拿大一枝黄花发生面积与 PC1 呈正相关,而 PC1 与农业活动强度呈负相关,与进口货物总额呈正相关,因此,加拿大一枝黄花发生面积随着农业活动强度的增加而减少,随着进口货物总额的增加而增加。这是因为进口货物总额与人口密度的相关性很高($r^2 = 0.74, p < 0.001$),人口密度越大,则人类活动频率越高,需要的交通密度也就越大^[9],所以加拿大一枝黄花通过人类活动扩散到其它地方的几率就越大,发生面积自然就比较多。PC5 与旱地面积呈正相关,与环境管理业人口呈负相关,而发生面积与 PC5 呈正相关,说明随着旱地面积的增多,发生面积也随之变多,而随着环境管理业人口的增大,发生面积反而减少。

PC3 与 PC1 共解释了研究地区加拿大一枝黄花发生面积比例 52% 的变异。其中 PC3 是主要因子,其单独能解释的变异有 32%。与 PC3 相关性最大的是境内公路里程,且呈负相关,说明公路里程越长,发生面积比例越小。SAS 分析结果表明,公路里程与地区面积有很高的正相关性($r^2 = 0.84, p < 0.001$),公路线越长,相应的地区面积就越大,因此加拿大一枝黄花发生面积比例就越小。国外有关研究也表明,物种丰富度的比例存在着测量偏差,物种丰富度越高并不能说明该物种丰富度的比例也越高^[13]。

3.2 关键主成分的得分分布格局

研究地区 PC1 的得分分布格局图显示(图 3),杭州市区与宁波市区 PC1 分值最大,说明这两个地区的

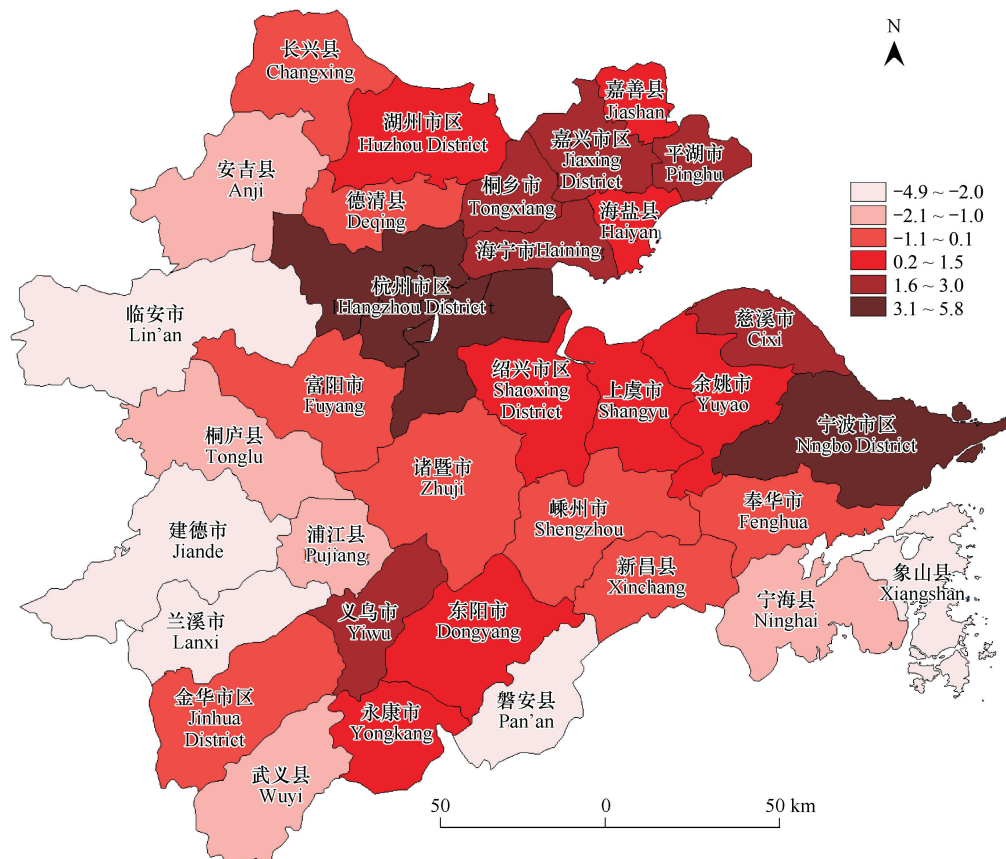


图 3 研究地区主成分 1 的得分分布格局

Fig. 3 Distribution pattern of the scores of the principal component 1 in study area

PC1: 农业活动强度 vs. 进口货物总额; 正值表明进口货物总额为主, 负值表明农业活动强度为主 PC1: intensity of agricultural activities vs. imports; positive values indicate dominance of imports; negative values indicate dominance of intensity of agricultural activities

表 5 加拿大一枝黄花发生面积比例与主成分的逐步回归分析结果

变量 Variable	回归系数 Coefficient	均值标准误 Standard Error	F 值 F-value	显著性水平 Significance	累积解释方差(%) var.
Intercept	0.393	0.057	47.16	$p < 0.001$	
PC3	0.199	0.036	31.26	$p < 0.001$	32.37
PC1	0.108	0.025	19.05	$p < 0.001$	52.09
PC5	0.149	0.054	7.76	$p < 0.05$	60.12
PC4	0.091	0.043	4.52	$p < 0.05$	64.80

RSC: Relative area of *Solidago canadensis*; PCs: PC1 ~ PC7

进口货物总额占优势,农业活动强度较低。2005 年,杭州市区和宁波市区各自的进口货物总额分别占杭州市和宁波市进口货物总额的 95.3% 和 82.1%,而农业产值分别占生产总值的 2.5% 和 2.0%。这两个地区的加拿大一枝黄花发生面积均在 600 hm² 以上(图 1)。而磐安县、建德市、兰溪市、象山县、临安市这几个地区的 PC1 分值最低,相应的其发生面积也比较少,磐安县、兰溪市和临安市的发生面积均在 100 hm² 以下,属于发生程度最轻的地区,建德市和象山县的发生面积在 300 hm² 以下。由于 PC1 只解释了不到 36% 的发生面积变异情况,所以图 3 中并不是每个地区的 PC1 分值都能与图 1 中发生面积数量相对应,但是总体上显示出与图 1 一致的趋势,即沿海地区高于内陆地区。图 4 表示 PC3 得分的分布格局,比较图 2 与图 4 可以看出,PC3 得分与加拿大一枝黄花发生面积比例的相关性难以在两个图中直观反映出来。因此,需要进一步研究分析,以期得到满意的解释效果。

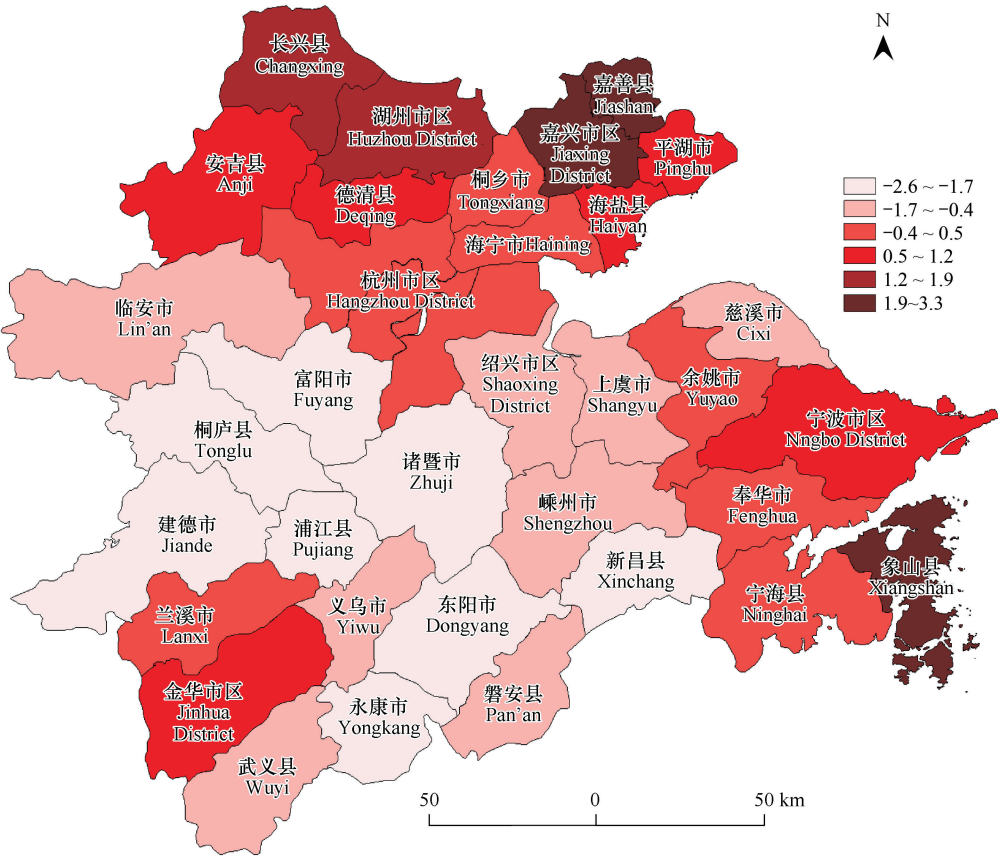


图 4 研究地区主成分 3 的得分分布格局

Fig. 4 Distribution pattern of the scores of the principal component 3 in study area

PC3:境内公路里程 vs, 经度;正值表明经度为主,负值表明公路里程为主 PC3: length of highways vs. coordinate of longitude; positive values indicate dominance of coordinate of longitude; negative values indicate dominance of length of highways

3.3 研究结果对防控加拿大一枝黄花的指导意义

加拿大一枝黄花已严重影响了浙江省大部分地区荒地植被的自然恢复过程^[25]。本文的研究结果表明加拿大一枝黄花的发生面积主要与农业活动和进口货物总额有关,农业活动越强,发生面积越少;进口货物总额越多,发生面积也越多。这意味着浙江省各地区在大力发展经济建设、引进外资进行工业及其他产业开发的同时,各政府决策部门应该考虑经济发展对生态环境的负面影响以及由此引起的物种入侵,特别是对于工业及建设征用地上发生的加拿大一枝黄花应积极采取预防措施以降低对环境的危害。对于发生面积较多的地区,各政府部门应当提高当地农业活动强度,加大抛荒地、闲置地的复耕力度,完善农业建设,从而压缩加拿大一枝黄花的生存空间,这样才能从源头上控制并从根本上减少加拿大一枝黄花的发生面积。

本文使用行政区划作为空间研究单位有其局限性。其中最主要的局限性是一个行政区划往往包含一个以上的植被群落,这对于物种入侵难以从群落类型上来进行分析,可能基于群落类型的划分对于物种在群落层次上的入侵会有更好的认识。但是,在县域水平上研究生物入侵的空间分布格局及其与人类活动的关系时,基于行政区划的划分单位是比较合适的。

References:

- [1] Gao Z X, Ji R, Xu R M, *et al.* Biological invasions: process, mechanism and prediction. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 559—570.
- [2] Petr Pyšek, Vojtěch Jarošík, Tomáš Kučera. Patterns of invasion in temperate nature reserves. *Biological Conservation*, 2002, 104: 13—24.
- [3] Joan Pino, Xavier Font, Jaume Carbó, *et al.* Large-scale correlates of alien plant invasion in Catalonia (NE of Spain). *Biological Conservation*, 2005, 122: 339—350.
- [4] Kee Dae Kim. Invasive plants on disturbed Korean sand dunes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 62: 353—364.
- [5] Richardson D M, Pysek P, Rejmánek, *et al.* Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distribution*, 2000, 6: 93—107.
- [6] Lodge D M. Biological invasions-lessons for ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 1993, 8: 133—137.
- [7] Ludsins S A, Wolfe A D. Biological invasion theory: Darwin's contributions from the origin of species. *BioScience*, 2001, 51: 780—789.
- [8] Li B, HSU P S, Chen J K. Perspectives on general trends of plant invasions with special reference to alien weed flora of Shanghai. *Biodiversity Science*, 2001, 9(4): 446—457.
- [9] Wu X W, Luo J, Chen J K, *et al.* Spatial patterns of invasive alien plants in China and its relationship with environmental and anthropological factors. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(4): 576—584.
- [10] Levine J M, D'Antonio C M. Forecasting biological invasions with increasing international trade. *Conservation Biology*, 2003, 17: 322—326.
- [11] Dong M, Lu J Z, Zhang W J, *et al.* Canada goldenrod (*Solidago canadensis*): An invasive alien weed rapidly spreading in China. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2006, 44(1): 72—85.
- [12] Guo S L, Fang F. Physiological adaptation of the invasive plant *Solidago canadensis* to environments. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(1): 47—52.
- [13] Shawna J Dark. The biogeography of invasive alien plants in California: an application of GIS and spatial regression analysis. *Diversity and Distributions*, 2004, 10: 1—9.
- [14] Ewald Weber. Current and potential ranges of three exotic Goldenrods (*Solidago*) in Europe. *Conservation Biology*, 2001, 15(1): 122—128.
- [15] Kirstin Deutschewitz, Angela Lausch, Ingolf Kuhn, *et al.* Native and alien plant species richness in relation to spatial heterogeneity on a regional scale in Germany. *Global Ecology & Biogeography*, 2003, 12: 299—311.
- [16] Dunmail J Hodkinson, Ken Thompson. Plant dispersal: the role of man. *Journal of Applied Ecology*, 1997, 34: 1484—1496.
- [17] Montserrat Vilà, Jordi Pujadas. Land-use and socio-economic correlates of plant invasions in European and North African countries. *Biological Conservation*, 2001, 100: 397—401.
- [18] Wen Y. Discuss of quantitive evaluate methods of human activities. *Impact of Science on Society*, 1998, (4): 55—60.
- [19] Li X Y, Wang L X, Zhang Y S, *et al.* The impact of human activities on land desertification in Northwest districts and its selected indices. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(1): 68—75.
- [20] Shen Z H, Zhang X S. A quantitative analysis on the floristic elements of the Chinese subtropical region and their spatial patterns. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2000, 38(4): 336—380.
- [21] Ernst W H O. Invasion, dispersal and ecology of the South African neophyte *Senecio inaequidens* in the Netherlands, from wool alien to railway and

road alien. *Acta Botanica Neerlandica*, 1998, 47: 131—151.

- [22] Carlton J T, Geller J B. Ecological roulette: biological invasions and the global transport of nonindigenous marine organisms. *Science*, 1993, 261: 78—82.
- [23] Michael L McKinney. Effects of human population, area, and time on non-native plant and fish diversity in the United States. *Biological Conservation*, 2001, 100: 243—252.
- [24] Keith B Gido, Jacob F Schaefer, Jimmie Pigg. Patterns of fish invasions in the Great Plains of North America. *Biological Conservation*, 2004, 118: 121—131.
- [25] Lu J Z, Qiu W, Chen J K, *et al.* Impact of invasive species on soil properties: Canadian goldenrod (*Solidago canadensis*) as a case study. *Biodiversity Science*, 2005, 13(4): 347—356.

参考文献:

- [1] 高增祥, 季荣, 徐汝梅, 等. 外来种入侵的过程、机理和预测. *生态学报*, 2003, 23(3): 559~570.
- [8] 李博, 徐炳生, 陈家宽. 从上海外来杂草区系剖析植物入侵的一般特征. *生物多样性*, 2001, 9(4): 446~457.
- [9] 吴晓雯, 罗晶, 陈家宽, 等. 中国外来入侵植物的分布格局及其与环境因子和人类活动的关系. *植物生态学报*, 2006, 30(4): 576~584.
- [11] 董梅, 陆建忠, 张文驹, 等. 加拿大一枝黄花——一种正在迅速扩张的外来植物. *植物分类学报*, 2006, 44(1): 72~85.
- [12] 郭水良, 方芳. 入侵植物加拿大一枝黄花对环境的生理适应性研究. *植物生态学报*, 2003, 27(1): 47~52.
- [18] 文英. 人类活动强度定量评价方法的初步探讨. *科学对社会的影响*, 1998, (4): 55~60.
- [19] 李香云, 王立新, 章予舒, 等. 西北干旱区土地荒漠化中人类活动作用及其指标选择. *地理科学*, 2004, 24(1): 68~75.
- [20] 沈泽昊, 张新时. 中国亚热带地区植物区系地理成分及其空间格局的数量分析. *植物分类学报*, 2000, 38(4): 366~380.
- [25] 陆建忠, 裘伟, 陈家宽, 等. 入侵种加拿大一枝黄花对土壤特性的影响. *生物多样性*, 2005, 13(4): 347~356.