

中国外来入侵植物区系组成的大尺度格局及其气候解释

冯建孟^{1*}, 董晓东¹, 徐成东²

(1. 大理学院生命科学与化学学院, 云南大理 671000; 2. 楚雄师范学院化学与生命科学系, 云南楚雄 675000)

摘要: 外来入侵物种的空间分布格局及其影响因子的研究是外来物种管理和控制的基础。本研究利用文献数据和气候资料,探讨了外来入侵植物(属)区系组成的大尺度格局及其与气候因子之间的联系。从植物区系的总体构成来看,热带区系成分所占比重较大,其次为温带成分和世界分布成分,说明研究区域内外来入侵植物主要起源于热带地区,其次为温带地区。从空间格局来看,从南到北,热带区系成分所占比重呈递减趋势,而温带区系成分所占比重则呈递增趋势。这说明,在南部区域,外来入侵植物更多的来自于热带地区,但在北部区域,来自于温带地区的外来入侵植物可能占据主导地位。热量水平显著影响外来入侵植物的空间格局,随着热量水平的提高,热带区系比重呈递增趋势,而温带区系成分所占比重则呈递减趋势,这可能与不同区系成分植物的生态特性有关。

关键词: 中国外来入侵植物; 热带区系; 温带区系; 大尺度格局; 年平均温度

中图分类号 Q 948.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2009)02-0159-06

Spatial Patterns of Floristic Composition of Invasive Alien Plants in Large Scale and Their Climatic Interpretation

FENG Jian-Meng^{1*}, DONG Xiao-Dong¹, XU Cheng-Dong²

(1. College of Life Science and Chemistry, Dali University, Dali, Yunnan 671000, China;

2. Department of Chemistry and Life Science, Chuxiong Normal University, Chuxiong, Yunnan 675000, China)

Abstract: The management and control of invasive alien plants are primarily based on the knowledge of their spatial patterns and the major factors. In this study, the spatial patterns of floristic composition of genus of invasive alien plants in China and their climatic interpretation were investigated based on information from literature and climate data. The results showed that tropical elements dominated the study area, followed by temperate elements and cosmopolitan elements, respectively. From south to north, there was a decreasing trend in the ratios of tropical elements, while an increasing trend was observed in the ratios of temperate elements. It indicated that in southern region, invasive alien plants mainly came from more tropical regions, while in northern region plants from temperate area gained the domination. Energy strongly shaped the spatial patterns of floristic composition. With the increase of mean annual temperature, tropical elements showed an increasing trend, while a decreasing trend was observed in temperate elements, which may be due to their different ecological characters.

Key words: Invasive alien plants in China; Tropical elements; Temperate elements; Large scale patterns; Mean annual temperature

外来入侵物种指的是由于人类的活动或与人类有关的活动致使其重新分布而出现在本来不存在的地区或生态系统内,并导致严重危害的物种^[1]。外来入侵物种的危害主要包括以下两个方面:首先,在生态方面,可能导致当地土著物种的消失、全球物种的同质化和生态系统的失衡^[2];其次,从经济角度来看,由外来物种导致的生态问题,可能引起巨大

的经济损失^[3]。因此,外来入侵物种的空间分布格局及其解释是当前生态研究的热点之一。植物区系指的是当地植物的集合体或总称,是植物在一定自然环境中长期发展、演化的结果,包含了重要的植物起源、迁移和演化信息^[4]。所以,对外来入侵植物区系的组成及其分布的探索,将有助于人们更好地了解外来入侵植物的入侵路线和影响因素,为预

收稿日期: 2008-04-21, 修回日期: 2008-11-26。

基金项目: 大理学院人才引进科研启动基金(KY431040); 国家自然科学基金面上项目(30760040)。

作者简介: 冯建孟(1971 -), 男, 博士, 副教授, 目前主要从事植物多样性空间分布格局和外来入侵植物研究。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: fjm@pku.org.cn)。

防和控制外来植物的入侵提供理论依据。

目前,有关中国外来入侵植物的研究已经成为热点。有学者通过大尺度的空间格局探讨中国外来入侵植物的空间格局及其与自然、人类活动的关系^[5-9];也有学者通过对特定外来入侵植物的研究,探索其分布及传播机制^[10-12]。但截至目前,有关外来入侵植物的区系组成及其空间格局的研究还是比较少见。本研究的目的在于采用最新的文献数据,探讨中国外来入侵植物区系组成的大尺度格局及其与气候条件之间的联系,为更好地了解外来入侵植物的入侵路线和影响因素提供基础信息和理论依据。必须说明的是,本研究以分类地位上属于种子植物门的外来入侵植物属为研究对象(不包括蕨类植物以及分类系统中更低等的植物类群),并在属的层次上进行统计、分析。

1 研究区域概况

中国位于亚洲东部、太平洋西岸,陆地面积约 960 万 km²。在经度梯度上,东至 135° E 左右,西达 73.5° E 左右,东西向跨度约为 6000 km。在纬度梯度上,南至 18.5° N 左右,北到 53.5° N 左右,南北跨度约为 3500 km。研究区域内地势西高东低,山地、高原和丘陵约占陆地总面积的 67%,盆地和平原约占陆地面积的 33%。境内分布有巨大的山脉和山体,海拔高差高达 8000 m 以上^[13]。由于巨大的地理跨度,研究区域内的气候表现出巨大的空间分异。东部地区受季风气候影响,相对湿润。从北到南,水分和热量条件均呈递增趋势,与此相对应的植被类型依次为针叶林、落叶阔叶林、针阔混交林、常绿阔叶林、季雨林和雨林带等植被带^[14]。受青藏高原隆起影响,研究区域内水分梯度的经向变化明显。与此相一致,研究区域内植被的经向地带性比较明显,从东到西依次分布着森林植被带、草原带和荒漠带^[14]。从人类活动来看,研究区域东部人口密度较大,交通发达,经济发展水平较高,对外交流相对频繁;西部地区则人口密度较小,交通条件相对落后,经济发展水平相对较低,对外交流也相对较少^[15]。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

本研究数据主要来源于最新相关文献资料,主要包括《中国外来入侵种》^[1]、《中国外来入侵物种编目》^[16]、《全国生物多样性保护与外来物种入侵学术研讨会论文集》^[17]、外来入侵物种数据库^[18]以及

最新文献^[7,19-26]。在此基础上,根据外来入侵植物的空间分布,以省为单位进行整理和归类。据此建立了包含 31 科、92 属的中国外来入侵种子植物的空间分布数据库(见表 1)。气候数据来自 1970 ~ 1998 年近 30 年全国 642 个气象站点地面观测记录的 30 年的年平均值,并对该数据集进行插值,获得栅格格式(Raster)式的气象数据集。由于本研究主要关注外来入侵植物的区系组成,而且过去的研究表明,植物区系类型除了表征植物的起源与进化历史以外,也反映了相应的环境条件,尤其是环境中的热量水平^[4]。因此,本研究采用反映热量水平的年平均温度(mean annual temperature)为气候指标。利用 ArcGIS Desktop 地理信息系统,将年平均温度空间数据集与各研究单元的地理边界进行空间分区统计,获得各研究单元的年平均温度。由于北京、天津、上海、香港和澳门等直辖市或特区面积较小,故将其归并入相邻的省份。其中北京、天津并入河北省;上海归并入江苏省;香港和澳门则归并入广东省。

2.2 植物区系成分的归类与分析

参照吴征镒关于种子植物属分布区类型的界定^[27],对外来入侵植物数据库中的植物属进行区系类型标识。在此基础上统计各研究单元内外来入侵植物属的区系组成,并统计各分布类型的属的数量占全部属数的百分比。15 个植物区系类型分别为:世界分布(T1)、泛热带分布(T2)、热带亚洲和热带美洲间断分布(T3)、旧世界热带分布(T4)、热带亚洲至热带大洋洲分布(T5)、热带亚洲和热带非洲分布(T6)、热带亚洲分布(T7)、北温带分布(T8)、东亚和北美洲间断分布(T9)、旧世界温带分布(T10)、温带亚洲分布(T11)、地中海、西亚至中亚分布(T12)、中亚分布(T13)、东亚分布(T14)和中国特有分布(T15)。其中,T2 ~ T15 通称为非世界分布类型;T2 ~ T7 为热带区系成分,T8 ~ T14 为温带区系成分。在非世界分布类型的统计分析中,不考虑世界分布成分。

2.3 区系成分的空间格局

利用 ArcGIS Desktop 地理信息系统,将经过统计获得的各研究单元外来入侵植物的区系组成数据集与各研究单元的地理边界进行数据联合(Join),以此为基础进行外来入侵植物区系成分的空间格局分析。

2.4 区系成分空间格局的气候解释

利用各研究单元内外来入侵植物属的区系组成及其相应的气候数据,进行相关性分析,据此探讨气候要素对外来入侵植物区系组成空间分布格局的影响。上述分析通过 SPSS11.0 统计软件包实现。

表1 外来入侵植物属及其区系分布类型
Table 1 Lists of genera of alien invasive plants in China and their areal types

属名 Genus	科名 Family	属的区系 分布类型 Floristic types	属名 Genus	科名 Family	属的区系 分布类型 Floristic types
毛茛属 <i>Ranunculus</i>	毛茛科 Ranunculaceae	T1	金鸡菊属 <i>Coreopsis</i>	菊科 Compositae	T2
草胡椒属 <i>Peperomia</i>	胡椒科 Piperaceae	T2	波斯菊属 <i>Cosmos</i>	菊科 Compositae	T3
木犀草属 <i>Reseda</i>	木犀草科 Resedaceae	T10	飞蓬属 <i>Erigeron</i>	菊科 Compositae	T1
芸薹属 <i>Brassica</i>	十字花科 Cruciferae	T8	泽兰属 <i>Eupatorium</i>	菊科 Compositae	T2
臭芥属 <i>Coronopus</i>	十字花科 Cruciferae	T1	辣子草属 <i>Galinsoga</i>	菊科 Compositae	T1
独行菜属 <i>Lepidium</i>	十字花科 Cruciferae	T1	堆心菊属 <i>Helenium</i>	菊科 Compositae	T9
麦仙翁属 <i>Agrostemma</i>	石竹科 Caryophyllaceae	T10	滨菊属 <i>Leucanthemum</i>	菊科 Compositae	T12
繁缕属 <i>Stellaria</i>	石竹科 Caryophyllaceae	T1	假泽兰属 <i>Mikania</i>	菊科 Compositae	T2
麦蓝菜属 <i>Vaccaria</i>	石竹科 Caryophyllaceae	T10	银胶菊属 <i>Parthenium</i>	菊科 Compositae	T3
土人参属 <i>Talinum</i>	马齿苋科 Portulacaceae	T2	假地胆草属 <i>Pseudelephantopus</i>	菊科 Compositae	T3
商陆属 <i>Phytolacca</i>	商陆科 Phytolaccaceae	T1	匹菊属 <i>Pyrethrum</i>	菊科 Compositae	T10
藜属 <i>Chenopodium</i>	藜科 Chenopodiaceae	T1	千里光属 <i>Senecio</i>	菊科 Compositae	T1
莲子草属 <i>Alternanthera</i>	苋科 Amaranthaceae	T2	水飞蓟属 <i>Silybum</i>	菊科 Compositae	T10
苋属 <i>Amaranthus</i>	苋科 Amaranthaceae	T1	一枝黄花属 <i>Solidago</i>	菊科 Compositae	T8
千日红属 <i>Gomphrena</i>	苋科 Amaranthaceae	T3	裸柱菊属 <i>Soliva</i>	菊科 Compositae	T3
酢浆草属 <i>Oxalis</i>	酢浆草科 Oxalidaceae	T1	苦苣菜属 <i>Sonchus</i>	菊科 Compositae	T8
月见草属 <i>Oenothera</i>	柳叶菜科 Onagraceae	T3	金腰箭属 <i>Synedrella</i>	菊科 Compositae	T2
紫茉莉属 <i>Mirabilis</i>	紫茉莉科 Nyctaginaceae	T3	万寿菊属 <i>Tagetes</i>	菊科 Compositae	T3
红瓜属 <i>Coccinia</i>	葫芦科 Cucurbitaceae	T6	肿柄菊属 <i>Tithonia</i>	菊科 Compositae	T3
甜瓜属 <i>Cucumis</i>	葫芦科 Cucurbitaceae	T6	羽芒菊属 <i>Tridax</i>	菊科 Compositae	T3
仙人掌属 <i>Opuntia</i>	仙人掌科 Cactaceae	T3	蟛蜞菊属 <i>Wedelia</i>	菊科 Compositae	T2
苘麻属 <i>Abutilon</i>	锦葵科 Malvaceae	T2	苍耳属 <i>Xanthium</i>	菊科 Compositae	T1
木槿属 <i>Hibiscus</i>	锦葵科 Malvaceae	T2	百日菊属 <i>Zinnia</i>	菊科 Compositae	T3
赛葵属 <i>Malvastrum</i>	锦葵科 Malvaceae	T3	车前属 <i>Plantago</i>	车前草科 Plantaginaceae	T1
蓖麻属 <i>Ricinus</i>	大戟科 Euphorbiaceae	T6	天芥菜属 <i>Heliotropium</i>	紫草科 Boraginaceae	T2
梯牧草属 <i>Phleum</i>	苏木科 Caesalpiniaceae	T8	曼陀罗属 <i>Datura</i>	茄科 Solanaceae	T2
决明属 <i>Cassia</i>	苏木科 Caesalpinioideae	T2	酸浆属 <i>Physalis</i>	茄科 Solanaceae	T1
含羞草属 <i>Mimosa</i>	含羞草科 Mimosaceae	T2	牵牛属 <i>Pharbitis</i>	旋花科 Convolvulaceae	T2
苜蓿属 <i>Medicago</i>	蝶形花科 Fabaceae	T10	野甘草属 <i>Scoparia</i>	玄参科 Scrophulariaceae	T3
草木犀属 <i>Melilotus</i>	蝶形花科 Fabaceae	T3	婆婆纳属 <i>Veronica</i>	玄参科 Scrophulariaceae	T8
刺槐属 <i>Robinia</i>	蝶形花科 Fabaceae	T9	马缨丹属 <i>Lantana</i>	马鞭草科 Verbenaceae	T2
车轴草属 <i>Trifolium</i>	蝶形花科 Fabaceae	T8	凤眼莲属 <i>Eichhornia</i>	雨久花科 Pontederiaceae	T3
大麻属 <i>Cannabis</i>	桑科 Moraceae	T13	山羊草属 <i>Aegilops</i>	禾本科 Gramineae	T12
爬山虎属 <i>Parthenocissus</i>	葡萄科 Vitaceae	T9	地毯草属 <i>Axonopus</i>	禾本科 Gramineae	T3
芹属 <i>Apium</i>	伞形科 Umbelliferae	T1	臂形草属 <i>Brachiaria</i>	禾本科 Gramineae	T2
芫荽属 <i>Coriandrum</i>	伞形科 Umbelliferae	T12	雀麦属 <i>Bromus</i>	禾本科 Gramineae	T8
刺苞果属 <i>Acanthospermum</i>	菊科 Compositae	T2	野牛草属 <i>Buchloe</i>	禾本科 Gramineae	T9
胜红蓟属 <i>Ageratum</i>	菊科 Compositae	T3	大麦属 <i>Hordeum</i>	禾本科 Gramineae	T8
豚草属 <i>Ambrosia</i>	菊科 Compositae	T1	黑麦草属 <i>Lolium</i>	禾本科 Gramineae	T10
春黄菊属 <i>Anthemis</i>	菊科 Compositae	T12	雀稗属 <i>Paspalum</i>	禾本科 Gramineae	T2
紫菀属 <i>Aster</i>	菊科 Compositae	T8	狼尾草属 <i>Pennisetum</i>	禾本科 Gramineae	T2
鬼针草属 <i>Bidens</i>	菊科 Compositae	T1	藨草属 <i>Phalaris</i>	禾本科 Gramineae	T8
茼蒿属 <i>Chrysanthemum</i>	菊科 Compositae	T10	早熟禾属 <i>Poa</i>	禾本科 Gramineae	T1
菊苣属 <i>Cichorium</i>	菊科 Compositae	T12	狗尾草属 <i>Setaria</i>	禾本科 Gramineae	T2
假蓬属 <i>Conyza</i>	菊科 Compositae	T2	高粱属 <i>Sorghum</i>	禾本科 Gramineae	T2
白酒草属 <i>Conyza</i>	菊科 Compositae	T2	大米草属 <i>Spartina</i>	禾本科 Gramineae	T8

注: T1 ~ T15 分别为世界分布、泛热带分布、热带亚洲和热带美洲间断分布、旧世界热带分布、热带亚洲至热带大洋洲分布、热带亚洲和热带非洲分布、热带亚洲分布、北温带分布、东亚和北美洲间断分布、旧世界温带分布、温带亚洲分布、地中海、西亚至中亚分布、中亚分布、东亚分布和中国特有分布。以下图表与此相同。

Notes: T1 ~ T15 represent following flora types, including Cosmopolitan, Pantropical, Tropical Asia and Tropical America disjunct, Old World Tropic, Tropical Asia and Tropical Australia, Tropical Asia to Tropical Africa and Tropical Asia (Indo-Malaysia), North Temperate, East Asia and North America disjunct, Old World Temperate, Temperate Asia, Mediterranean, West Asia to Central Asia, Central Asia, East Asia and Endemic to China, respectively. The same as follows.

3 研究结果

3.1 外来入侵植物区系的总体构成

从图1可以看出,外来入侵植物区系成分中,所占比重最大的区系类型为起源于东西半球热带地区的泛热带分布(T2),达到25%左右;其次,为几乎遍布世界各大洲而没有特殊分布中心的世界分布类型(T1),达到19.6%左右;其它占比较大比重的植物区系类型为热带亚洲和热带美洲间断分布类型(T3)、北温带分布类型(T8)和旧世界温带分布类型(T10),所占比重分别为19.6%、13%和8.7%。所占比重较小的为热带亚洲至热带非洲分布(T6)、东亚和北美洲间断分布(T9)、地中海、西亚至中亚分布(T12)和中亚分布(T13),所占比重分别为3.3%、4.3%、5.4%和1.1%。研究区域内未出现分布的区系类型为旧世界热带分布(T4)、热带亚洲至热带大洋洲分布(T5)、热带亚洲分布(T7)、温带亚洲分布(T11)、东亚分布(T14)和中国特有分布(T15)。从区系成分的温、热带性质来看,热带区系成分所占比重为47.8%,温带区系成分所占比重32.6%。因此,从外来入侵植物区系的总体构成来看,热带区系成分占主导地位,其次为温带成分。这也意味着,研究区域内外来入侵植物主要起源于热带地区,其次为温带地区。

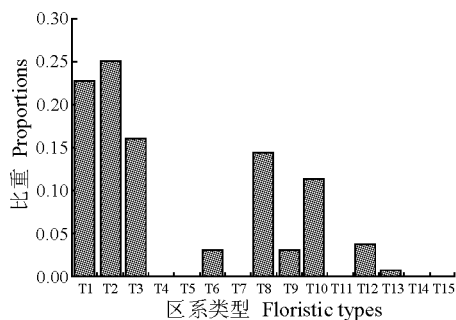


图1 不同区系类型所占的比重
Fig. 1 Ratios of floristic types

3.2 外来入侵植物主要区系成分的空间分布格局

从图2可以看出,世界分布类型(T1)在各省份所占的比重均比较大,大致在12.5%~40%之间。在纬度梯度上,该区系类型所占比重由南到北呈增加趋势;泛热带分布(T2)在各省份所占的比重差异明显,波动区间在14%~52%之间,进一步观察发现,该区系成分所占比重由南到北呈递减趋势;热带亚洲和热带美洲间断分布类型(T3)所占比重的空间分布格局与泛热带分布(T2)比较相似,即从南到北呈递减趋势,从南部地区的42%左右递减到0。

热带亚洲至热带非洲分布(T6)所占比重的空间分布格局与T2、T3比较相似,但变化幅度较小,在0~9%之间;北温带分布(T8)所占比重在各省份的比重由南到北呈明显的递增趋势,波动区间大致在4%~43%之间(图3);另外,旧世界温带分布(T10)和中亚分布(T13)所占比重的空间分布格局均与北温带分布(T8)比较相似,但变化区间分别在0~45%和4%~14%之间;东亚和北美洲间断分布(T9)和地中海、西亚至中亚分布(T12)两者所占的比重在空间上未发现明显变化规律。

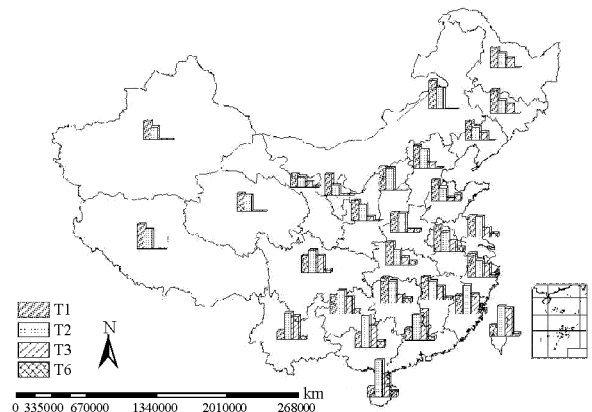


图2 植物区系成分的空间分布格局(T1, T2, T3, T6)
Fig. 2 Spatial patterns of floristic elements(T1, T2, T3, T6)

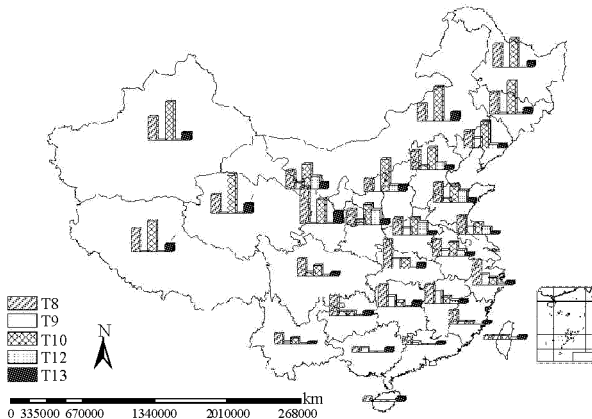


图3 植物区系成分的空间分布格局(T8, T9, T10, T12, T13)
Fig. 3 Spatial patterns of floristic elements (T8, T9, T10, T12, T13)

3.3 温带区系成分和热带区系成分所占比重的空间分布格局

从图4可以看出,温带区系成分所占比重从南到北呈递增趋势,即从研究区域南部地区最低的8%左右递增到北部地区最高的86%左右。这可能也意味着,随着纬度的升高,研究区域内的外来入侵植物越来越多的来自于中高纬度的温带地区。因此,研究区域内的北部地区更应该从入侵路线等方面入手预防、控制来自温带地区的外来植物的入侵。

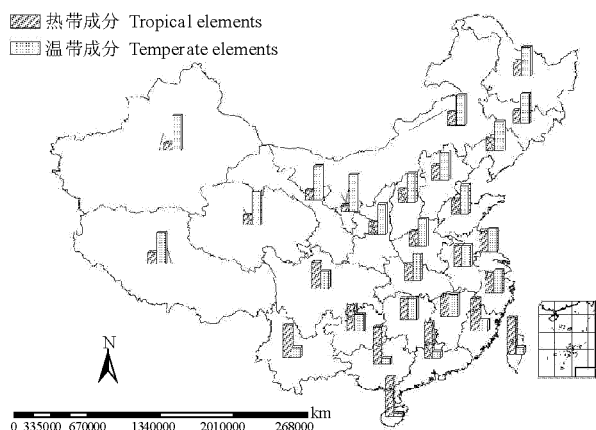


图4 温带、热带区系成分的空间分布格局

Fig. 4 Spatial patterns of temperate and tropical elements

热带区系成分所占比重从南到北呈递减趋势(图4),即从南部地区的最高92%左右递减到北部地区最低的14%左右。这在一定程度上也说明,由北到南,随着纬度的降低,研究区域内的外来入侵植物越来越多地来源于热带地区。因此,研究区域内的南部地区更应该从源头和入侵路线等方面预防、控制外来热带区系植物的入侵。

3.4 气候因子对外来入侵植物区系组成空间格局的影响

从图5可以看出,随着年平均温度的增加,泛热带分布(T2)、热带亚洲和热带美洲间断分布(T3)、热带非洲分布(T6)所占比重,均呈显著增加趋势($p < 0.05$)。这说明环境中热量水平的提高,有利于外来热带区系植物的入侵和定居。这可能与上述区系成分均起源于热带地区,更适宜分布在热量丰富的区域有关。这可能也意味着热量水平是影响外来热带区系植物入侵成功与否的重要因素或限制因子。热量丰富的地区更有可能受到外来热带区系植物的入侵,使其所占比重较大。但在热量贫乏的寒冷地区,较低的热量水平可能限制外来热带区系植

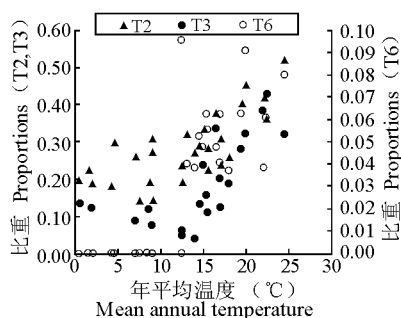


图5 年平均温度对T2、T3、T6所占比重空间分布格局的影响

Fig. 5 Effects of mean annual temperature on spatial patterns of ratio of T2, T3 and T6

物的入侵,使其所占比重较低。北温带分布(T8)、旧世界温带分布(T10)和中亚分布(T13)所占比重均随着年平均温度的递减呈显著增加趋势($p < 0.05$)(图6),这可能是因为热量水平的降低,限制了外来热带区系植物的入侵与定居,导致喜温的外来热带区系植物所占比重降低,进而使耐低温的外来温带区系植物所占比重相对增加。与其他温带区系成分不同的是,东亚和北美洲间断分布(T9)和地中海、西亚至中亚分布(T12)与其他温带区系成分不同,所占比重在热量梯度上均未发现明显的变化趋势($p > 0.05$)(图7),其中原因目前尚不清楚,有待以后进一步探讨。世界分布(T1)所占比重随着年

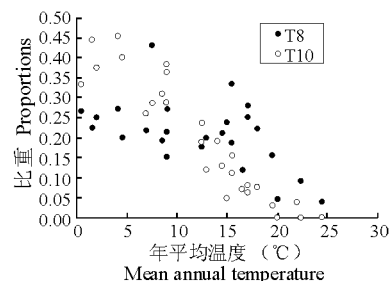


图6 年平均温度对T8、T10区系类型所占比重空间分布格局的影响

Fig. 6 Effects of mean annual temperature on spatial patterns of ratios of T8 and T10

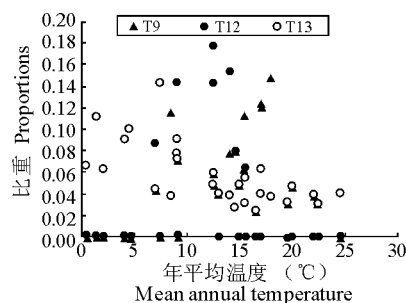


图7 年平均温度对T9、T12和T13等区系类型所占比重空间分布格局的影响

Fig. 7 Effects of mean annual temperature on spatial patterns of ratios of T9, T12 and T13

平均温度的增加呈显著递减趋势($p < 0.05$)(图8),这可能与该区系类型植物广泛的生态适应性以及热量递减梯度上外来热带区系植物所占比重降低有关。总体上,随着热量水平的提高,具热带区系性质的外来入侵植物所占比重呈显著增加趋势($p < 0.05$),而具温带区系性质的外来入侵植物所占比重呈显著递减趋势($p < 0.05$)(图9)。这说明,环境中的热量水平显著影响外来入侵植物的区系性质,热量越丰富,外来入侵植物的热带区系性质越明显,反之,温带区系性质越明显。因此,热量条件较好的地区,更应该关注外来热带区系植物的入侵,而

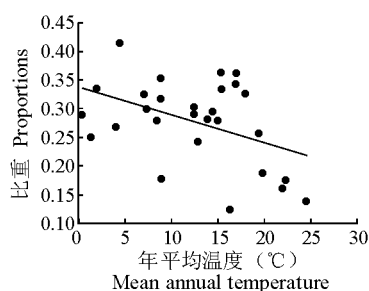


图8 年平均温度对世界分布成分所占比重的分布格局的影响

Fig. 8 Effects of mean annual temperature on spatial patterns of ratios of cosmopolitan

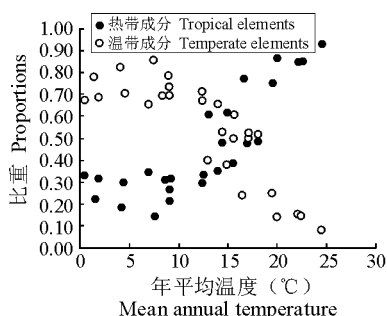


图9 年平均温度对热带区系和温带区系成分所占比重空间格局的影响

Fig. 9 Effects of mean annual temperature on spatial patterns of ratios of tropical and temperate elements

相对寒冷的地区,则应重点预防和控制外来温带区系植物的入侵。这一结论可能在一定程度上也表明热量条件差异较大的地区之间,外来入侵植物可能具有不同的起源和入侵路线。过去的研究表明,外来入侵植物物种的多样性受到热量水平的显著影响,并随着热量水平的提高呈显著增加趋势^[6,7]。结合本研究结果,我们认为热量水平不仅影响外来入侵植物物种多样性的,而且可能影响外来植物的区系性质。

必须指出的是,本研究以省级行政单位为研究单元,但由于中国各省面积不同,省内地形复杂、气候变异大,采用平均值可能难以较好地反映气候因子的自然变异,所以我们建议以后的研究可以采用其它方式划分空间单位,如气候区等,或采用更高的数据精度进行分析,以便更好地了解影响外来入侵植物区系构成的空间格局及其与气候因子之间的联系。

参考文献:

[1] 李振宇,解炎. 中国外来入侵种[M]. 北京:中国林业出版社,2002.

[2] Xie Y, Li Z Y, Gregg W P, Li D M. Invasive species in China—an overview[J]. *Biodivers Conserv*, 2001, 10: 1317–1341.

[3] 范晓虹,李尉民. 保护我国生物安全的检疫对策研究[J]. 生物多样性, 2001, 9: 439–445.

[4] 沈泽昊,刘增力,伍杰. 贡嘎山东坡植物区系的垂直分布格局[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 89–98.

[5] Liu J, Liang S C, Liu F H, Wang R Q, Dong M. Invasive alien plant species in China: regional distribution patterns[J]. *Divers and Distrib*, 2005, 11: 341–347.

[6] Liu J, Dong M, Miao S L. Invasive alien plants in China: role of clonality and geographical origin[J]. *Biol Invas*, 2006, 8(7): 1461–1470.

[7] 吴晓雯,罗晶,陈家宽,李博. 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[J]. 植物生态学报, 2006, 30(4): 576–584.

[8] Asner G P, Hughes R F, Vitousek P M, Knapp D E, Kennedy-Bowdoin T, Boardman J, Martin R E, Eastwood M, Green R O. Invasive plants transform the three-dimensional structure of rain forests[J]. *PNAS*, 2006, 105(11): 4519–4523.

[9] Thuiller W, Albert C, Araujo M B, Berry P M, Cabeza M, Guisan G, Hickler T, Midgley G F, Paterson J, Schurr F M, Sykes M T, Zimmermann N E. Predicting global change impacts on plant species distributions: Future challenges[J]. *Perspect Plant Ecol Evo Syst*, 2008, 9(3–4): 137–152.

[10] Hong X Y, Wang D S, Zhang Z Q. Distribution and damage of recent invasive eriophyoid mites (Acari: Eriophyoidea) in mainland China[J]. *Int J Acarol*, 2006, 32(3): 227–240.

[11] Lu J Z, Weng E S, Wu X W, Li B. Potential distribution of *Solidago canadensis* in China[J]. *Acta Phyt Sin*, 2007, 45(5): 670–674.

[12] Zhu L, Sun O J, Sang W G, Li Z Y, Ma K P. Predicting the spatial distribution of an invasive plant species (*Eupatorium adenophorum*) in China[J]. *Landscape Ecol*, 2007, 22(8): 1143–1154.

[13] 刘明光. 中国自然地图集[M]. 北京:地理出版社,1997.

[14] 中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京:科学出版社,1983.

[15] 国家统计局. 中国社会统计年鉴(2007)[M]. 北京:统计出版社,2007.

[16] 徐海根,强胜. 中国外来入侵物种编目[M]. 北京:中国环境科学出版社,2004.

[17] 李典谟,武春生,伍一军,孟晓星. 全国生物多样性保护与外来物种入侵学术研讨会论文集[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2006.

[18] 南京环境科学研究所. 中国生物多样性和自然保护信息网[EB/OL]. <http://www.biodiv.org.cn>, 2008.

[19] 徐海根,强胜,韩正敏,郭建英,黄宗国,孙红英,何舜平,丁晖,吴海荣,万方浩. 中国外来入侵物种的分布与传入路径分析[J]. 生物多样性, 2004, 12(6): 626–638.

[20] 赵运涛,李新华,张征文. 中国主要外来入侵物种的危害及防治措施[J]. 林业调查规划, 2005, (6): 113–117.

[21] Jenkins P T, Mooney H A. The United States, China, and invasive species: present status and future prospects[J]. *Biol Invas*, 2006, 8(7): 1589–1593.

[22] Xu H G, Qiang S, Han Z M, Guo J Y, Huang Z G, Sun H Y, He S P, Ding H, Wu H R, Wan F H. The status and causes of alien species invasion in China[J]. *Biodivers and Conserv*, 2006, 15(9): 2893–2904.

[23] 陈浩,陈利军. 以豚草为例利用GIS和信息理论的方法预测外来入侵物种在中国的潜在分布[J]. 科学通报, 2007, 52(5): 555–561.

[24] 胡天印,方芳,郭水良,蒋华伟. 外来入侵种加拿大一枝黄花及其伴生植物光合特性研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2007, 33(4): 379–386.

[25] 黄山春,覃伟权,李朝绪,马子龙. 我国南方地区主要外来入侵杂草及其防除[J]. 现代农业科技, 2007, 19: 86–88.

[26] 徐成东,杨雪,陆树刚. 中国外来入侵植物肿柄菊[J]. 广西植物, 2007, 27(4): 564–569.

[27] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究, 1991(增刊IV): 1–139.