•研究报告•

华东地区归化植物的组成特征、引入时间及时空分布

严靖, 闫小玲, 李惠茹, 杜诚, 马金双*

中国科学院上海辰山植物科学研究中心/上海辰山植物园, 上海 201602

摘要: 归化是入侵的前期阶段, 对归化植物的深入研究是科学管理外来物种的基本前提, 有助于预防外来植物造成入侵危害, 区域性归化植物的研究对地方外来植物的管理与防治对策的制定具有重要的指导意义。本文基于文献报道、标本信息和分类学考证, 特别是于2014–2019年对华东地区(安徽省、福建省、江苏省、江西省、山东省、上海市和浙江省)归化植物的全面调查, 统计分析了华东地区归化植物的物种组成和分布格局, 并对其首次引入(或发现)地、引入时间和引入途径进行综合分析。结果表明, 华东地区有归化植物62科181属299种, 总体上呈现种类丰富、以草本植物为主、原产于美洲的种类多、引入途径集中等特征。在空间尺度上, 福建省的物种多样性明显高于其他省市, 且仅分布于该省的种类也最多(达57种, 占总种数的19.1%), 其他省市之间则差别不大。对外交流程度和原产地与归化地之间的气候相似性可能是影响归化植物多样性和空间分布格局的主要因素。在时间尺度上, 1850年之后, 华东地区的归化植物呈现出指数增长的趋势, 增长速率达1.5种/年, 且当前正处于快速增长阶段; 21世纪以来, 80%以上的归化植物来自于无意引入的物种, 这提示我们需要对此特别关注。华东地区作为对外交流的重要区域, 面临着外来植物输入以及归化并造成入侵的双重压力, 因此需对该地区的热点地区如口岸、港口等地加强出入境监管, 同时构建一套行之有效的外来植物风险评估体系, 这是开展外来物种风险管理的基础, 也是预防外来物种入侵的有效手段之一。

关键词: 归化植物; 分布格局; 生物入侵; 引入时间; 华东地区

严靖, 闫小玲, 李惠茹, 杜诚, 马金双 (2021) 华东地区归化植物的组成特征、引入时间及时空分布. 生物多样性, 29, 428–438. doi: 10.17520/biods.2020335.

Yan J, Yan XL, Li HR, Du C, Ma JS (2021) Composition, time of introduction and spatial-temporal distribution of naturalized plants in East China. Biodiversity Science, 29, 428–438. doi: 10.17520/biods.2020335.

Composition, time of introduction and spatial-temporal distribution of naturalized plants in East China

Jing Yan, Xiaoling Yan, Huiru Li, Cheng Du, Jinshuang Ma*

Shanghai Chenshan Plant Science Research Center, Chinese Academy of Science / Shanghai Chenshan Botanical Garden, Shanghai 201602

ABSTRACT

Background: Naturalization is the pre-invasion stage. Detailed research on naturalized plants is a fundamental first step for scientific management of alien species. This research is necessary for predicting and hence preventing such invasion caused by alien plants. Regional studies of naturalized plants are important for local governments to manage and control of such plants. As an important area for foreign exchanges, East China is facing pressures from imported alien plants being naturalized and then invading. This study aims to enrich the basic information about naturalized plants of East China, discussed the current deficiencies in the study of naturalized plants, and summarized the direction of future research.

Methods: We conducted a comprehensive survey of naturalized plants in East China (Anhui, Fujian, Jiangsu, Jiangxi, Shandong, Shanghai and Zhejiang provinces) from 2014 to 2019 using literature reports, specimen information, and

收稿日期: 2020-08-19; 接受日期: 2020-11-14

基金项目: 国家自然科学基金(31872645)和上海市绿化和市容管理局科研项目(G182419)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jinshuangma@gmail.com

taxonomic research. We analyzed the species composition and distribution pattern of naturalized plants in East China and conducted a comprehensive analysis of their first detected locations, introduced route, and the time when species were discovered.

Results: We found that 299 species belonging to 181 genera and 62 families were naturalized in East China. The four most dominant families were Compositae (49 species), Leguminosae (35 species), Gramineae (28 species) and Amaranthaceae (25 species). The four most dominant genera were *Amaranthus* (16 species), *Euphorbia* (10 species), *Ipomoea* (9 species) and *Solanum* (9 species). There was a large diversity in species identified as naturalized, with a high proportion of plants coming from the Americas, and concentration in introduction routes. The Americas are the primary geographical origin of naturalized alien plant species, with more species originating from North America rather than South America. The route of introduction analysis revealed that 143 naturalized plant species were introduced unintentionally due to human activity and 156 species were introduced intentionally. Ninety-five frequencies were introduced as ornamental plants, which take up 55.2% of all the frequencies introduced intentionally. This suggests that introductions of plants for the purpose of ornamental use is the most common way for species naturalization to occur. A comparative study of the first detected locations show that the largest number of naturalized species were firstly introduced to South China (84 species) which mostly went to the Guangdong Province (33 species) and Hong Kong District (33 species). This was followed by East China (74 species), the Taiwan Province (72 species), Southwest China (19 species, mainly from Yunnan), Northeast China (15 species, mainly from Liaoning), Northwest China (14 species, mainly from Xinjiang) and North China (14 species, mainly from Beijing). There were only two naturalized species found in Central China. Jiangsu, Fujian and Zhejiang provinces were the main importing areas for East China. This may be due to many factors such as international communication, population density, climate similarity, disturbance levels, biological characteristics unique to species and investigation degree. Spatially, the species diversity of the Fujian Province (236 species) is significantly higher than that of other provinces, but little difference has been detected among other provinces. There are 57 species that are only distributed in Fujian (19.1%), which is the most when compared with other provinces. The amount of foreign exchange and climate similarity between native habitat and naturalized place may be the primary driver of current diversity and distribution pattern. Historically, the naturalized plants in East China showed an exponential growth trend after 1850. The growth rate is 1.5 species per year, and is currently in a period of rapid growth. In the 21st century, more than 80% of naturalized plants have been unintentionally introduced. Therefore, special attention should be placed on preventing the introduction of unintentional species.

Proposal: Constructing an effective risk assessment system of alien plants based on an accurate and complete database of naturalized plants is one effective way to eliminate the risk of invasions from alien plant species.

Key words: naturalized plants; distribution pattern; biological invasion; time of introduction; East China

归化植物是指在无人干扰的情况下可自行繁衍的来自本土之外的异域植物,并且能够长期维持种群的自我更替(通常为10年以上)(Pyšek et al, 2004)。当外来物种在自然或半自然的生态系统或生境中建立了种群时,称为归化(Jiang et al, 2011),而改变且威胁本地生物多样性并造成经济和生态损失时,就构成了入侵(IUCN, 1999)。归化是入侵的前期阶段,入侵植物是归化植物的子集,归化植物有造成入侵的潜在风险。为了更好地对外来种进行管理,避免其造成入侵危害,有必要对归化植物进行深入的研究。

相对于入侵植物,那些入侵性较弱或已归化但尚未形成入侵的植物更容易被忽视(Pyšek et al, 2008)。随着全球变化加剧以及贸易、旅游和交通的发展,跨区域的物种交换也日益增多。Pyšek等(2017)对全球归化植物进行了统计分析,指出在世

界热带和温带区域所包含的归化植物分别达到了6,774种和9,036种。近年来对于中国归化植物也有相关的研究(Wu et al, 2010; Jiang et al, 2011; 许光耀等, 2019),但多数研究所依据的归化植物基础数据存在诸多问题,如错误鉴定、学名混乱、未正确区分归化与栽培、原产地不明、地理信息不清等(严靖等, 2017)。因此,无论是国家层面还是地方层面,都有必要制定一份完善且准确的归化植物名录。

华东地区地处中国东部沿海,包括安徽省、福建省、江苏省、江西省、山东省、上海市和浙江省六省一市,面积83.43万km²,占全国陆域面积的8.7%。该地区地形复杂,以丘陵、盆地和平原为主,跨北亚热带与中亚热带两个生物气候带,属亚热带湿润性季风气候和温带季风气候,气候差异明显,植物资源丰富。其海岸线绵长,沿海岛屿众多,且拥有75个国家一类口岸和4个临时开放口岸,对外

交流频繁, 交通发达, 人口众多, 经济繁荣。高度的对外开放使得华东地区成为外来植物进入中国的主要通道之一, 复杂的地形和气候则使外来物种更易在本地定殖并归化, 因此该地区所遭受的入侵威胁尤其严重。

区域性归化植物的研究对地方性外来植物管理对策的制定更具有指导意义, 为此, 作者在收集标本信息和查阅文献的基础上, 对华东地区的归化植物进行了全面调查, 统计分析了其物种组成和分布格局, 旨在制定一份完整且准确的华东地区归化植物名录, 完善华东地区归化植物的基本资料, 并对其首次引入(或发现)地、引入时间和引入途径进行综合分析; 探讨了华东地区归化植物时空格局的成因, 以期对外来植物的科学管理提供依据, 也为其他地区乃至全国归化植物的研究提供参考。

1 研究方法

1.1 数据来源

收集历年来国内外报道华东地区归化植物的文献和专著(截至2020年6月), 查询相关专业网站数据库, 对其进行分类整理和分析, 并查阅国内各高校、科研院所及博物馆的植物标本馆(室), 对其中采自华东地区的归化植物标本信息进行登记。在搜集信息的基础上, 于2014–2019年对华东地区的归化植物进行全面的野外调查。以县(县级市/区)级行政区划为调查单元, 以地级市为标本采集单元(标本存放于上海辰山植物标本馆), 以路线踏查的方式对交通道路周围、居民区、农田、建筑工地、撂荒地、河滩、车站、码头、口岸等各种生境进行调查和采集, 记录物种名称、生境、GPS信息、多度信息并拍摄照片, 并重点调查了对外交流较频繁的区域, 如港口码头和粮油加工厂附近。同时应用典型取样法(选择若干个典型的生境如荒地、林缘、林下等处进行草本样方调查)估测归化植物在区域内的个体数量和群落中的相对多度, 掌握区域内归化植物的分布状况, 评定其状态(栽培、偶有逸生、归化)。

本文根据定义并结合文献及标本记录, 对归化植物的判断标准如下: (1)在无需人为干预的情况下可建立稳定种群; (2)可长期维持种群的自我更替(通常为10年以上), 能够完成完整的生活史(如从种子到种子); (3)归化植物的种群应远离栽培群体, 即

能够占据非栽培生境, 是否归化应视(1)、(2)而定, 栽培群体(如黑松(*Pinus thunbergii*)人工林)周围的更新苗属于逸生状态; (4)归化种群的数量及分布区域应达到一定的规模, 分布不局限于一处, 且至少在一处分布地占据优势地位(优势种, 即在群落中占优势的种类, 对群落的结构和群落环境的形成具有明显控制作用); (5)对于存有争议的种类如桉属(*Eucalyptus*)的多种植物, 作者均咨询了相关专家, 根据各方面的综合意见对外来植物进行合理评定。

1.2 数据统计与分析

对华东地区归化植物的现状进行全面调查, 对每一物种进行准确鉴定, 并对其拉丁学名、原产地进行严格考证, 排除尚存争议的种类, 增加新发现的种类, 根据APG IV系统进行科的划分, 同时依据最新的分子系统学证据进行属的划分。根据调查所得的现有种群数量和相对多度, 结合文献与标本数据库对其状态进行评估, 形成完善且准确的华东地区归化植物名录。通过详细的历史文献考证和历史标本查阅, 确定其引入途径、首次引入(或发现)地和引入时间。以每百年为单位(并根据重大历史事件或重要纪年将其划分为6个历史时期)探讨归化植物引入的时间分布式样, 以省级行政区划为统计单元分析其空间分布格局。在此基础上统计分析华东地区归化植物的物种组成、生活型、原产地、引入途径、首次引入(或发现)地、引入时间及空间分布状况。由于主客观条件的限制, 且绝大多数归化植物均存在多次引入的可能, 先前对归化植物的研究在首次引入地和引入时间方面常存在争议。本文作者通过查阅大量的文献数据库和历史标本记录, 根据所能查到的最早的文献、著作(包括古籍)或标本确定其首次引入地和引入时间。其中古籍中所提供的信息虽然有限, 但可根据其中文名和相应的特征及分布描述, 并结合现代植物学家如吴征镒、汤彦承、李振宇等的植物学考证, 确定其对应的现代植物名称。附录1中对首次引入地和引入时间等关键信息均列出了相关依据, 以保证有据可查。

2 结果

2.1 物种组成特征

经过长期的野外普查并结合文献资料和标本记录, 以及对华东地区外来物种的状态进行核实, 共记录到华东地区归化植物299种, 隶属于62科181

属(附录1)。从科的组成来看,5种以上(含5种)的科有13个,共计223种,占总种数的74.6%。菊科(49种)、豆科(35种)、禾本科(28种)和苋科(25种)是华东地区归化植物的主体,共计137种,占总种数的45.8%,茄科(16种, 5.4%)和大戟科(15种, 5.0%)也占有一定比例。之后依次为旋花科(11种, 3.7%)、车前科(10种, 3.3%)、柳叶菜科(9种, 3.0%)、茜草科(7种, 2.3%)、十字花科(7种, 2.3%)、马鞭草科(6种, 2.0%)和锦葵科(5种, 1.7%)。此外只含1种的科有31个。

从属的组成来看,含物种数最多的是苋属(*Amaranthus*, 16种),其次为大戟属(*Euphorbia*, 10种)、番薯属(*Ipomoea*, 9种)和茄属(*Solanum*, 9种)。3种以上(含3种)的属有24个,共计116种,占总种数的38.8% (表1)。含2种的属有25个,只含1种的属有132个。

2.2 生活型统计

华东地区归化植物的生活型以草本为主,共计250种,占总种数的83.6%;其次为灌木(21种)和藤本(21种);乔木最少,仅7种(2.3%)。藤本植物中以一年生草质藤本为主(10种, 3.3%),多年生草质藤本和木质藤本分别有7种和4种。在草本植物中一年生草本最多,计113种,占总种数的38.1%,其次为多年生草本(100种, 33.7%),一或二年生草本(18种, 6.1%)和一或多年生草本(16种, 5.4%)数量相当,二年生草本最少(3种, 1.0%)。

2.3 原产地分析

由于多数物种的原产地不仅仅限于某一个地区,为方便统计,原产地的分析以频次为单位进行,即某一物种在某地区出现的频率。分析结果显示,华东地区归化植物原产于北美洲的最高,为169频

次(占总频次的37.6%),其次为南美洲(143频次, 31.8%),其中原产于美洲的物种中有81种为热带美洲起源。原产于亚洲的为48频次(10.7%),欧洲为42频次(9.3%),非洲为40频次(8.9%),其中原产于欧洲的物种中有一种为杂交起源(即黄花月见草 *Oenothera glazioviana*);原产于大洋洲的最少,为8频次,占比1.8% (图1)。

2.4 首次引入地与引入途径

分析结果显示,华东地区归化植物的首次引入地为华南地区的物种数最多,达84种,其中以广东省和香港为主,均为33种;其次为华东地区(74种)和台湾(72种);之后依次为西南地区(19种,以云南为主)、东北地区(15种,以辽宁为主)、西北地区(14种,以新疆为主)、华北地区(14种,以北京为主);首次发现于华中地区的只有2种,另有5种首次引入地不详(图2)。

在所有首次引入地为华东地区的物种中,以江苏、福建和浙江为主,分别为18种、17种和16种,首

图1 华东地区归化植物原产地的频次分析
Fig. 1 The frequency of native habitat of naturalized plants in East China. AF, Africa; AS, Asia; EU, Europe; NA, North America; OA, Oceania; SA, South America.

表1 华东地区归化植物主要属及其物种数
Table 1 Major genera and its species number of naturalized plants in East China

属 Genera	种数 No. of species	属 Genera	种数 No. of species	属 Genera	种数 No. of species
苋属 <i>Amaranthus</i>	16	婆婆纳属 <i>Veronica</i>	4	曼陀罗属 <i>Datura</i>	3
大戟属 <i>Euphorbia</i>	10	黑麦草属 <i>Lolium</i>	4	酸浆属 <i>Physalis</i>	3
番薯属 <i>Ipomoea</i>	9	独行菜属 <i>Lepidium</i>	4	鬼针草属 <i>Bidens</i>	3
茄属 <i>Solanum</i>	9	仙人掌属 <i>Opuntia</i>	3	金鸡菊属 <i>Coreopsis</i>	3
月见草属 <i>Oenothera</i>	6	猪屎豆属 <i>Crotalaria</i>	3	紫露草属 <i>Tradescantia</i>	3
决明属 <i>Senna</i>	5	含羞草属 <i>Mimosa</i>	3	莎草属 <i>Cyperus</i>	3
飞蓬属 <i>Erigeron</i>	5	酢浆草属 <i>Oxalis</i>	3	莲子草属 <i>Alternanthera</i>	3
雀稗属 <i>Paspalum</i>	5	叶下珠属 <i>Phyllanthus</i>	3	金合欢属 <i>Acacia</i>	3

图2 华东地区归化植物的首次引入地(或首次发现地)和引入的物种数

Fig. 2 Number of species and their first detected locations of naturalized plants in East China

次引入地为山东的有10种,上海的有8种,处于内陆地区的江西和安徽则较少,分别只有3种和2种。发现于安徽的两个物种分别为头序巴豆(*Croton capitatus*) (2018年发现于滁州)和异檐花(*Triodanis perfoliata* subsp. *biflora*) (1981年发现于安庆)。

由图3可知,华东地区归化植物的引入途径以人为有意引入为主,达156种,随人类活动等无意带入的有143种。有意引入的156种归化植物其引入途径共计172频次,其中作为观赏植物引入的频次最高,达95频次,占55.2%,其次为饲料牧草(25频次)、药用植物(12频次)、绿肥(12频次)和食用植物(11频次),以其他用途如护坡、造林、纤维等引入的则较少。

2.5 时间分布特征

根据文献资料及标本数据对华东地区归化植物的首次引入时间(或首次记录时间)进行考证发现,自先秦至16世纪,华东地区归化植物的累计种类大

致趋于平稳,只在公元1100年(北宋)和1500年(明朝)稍有增长(均增加3种),之后一直到19世纪中期经历了一个明显的涨幅,共增加了28种。总体来说,1850年之前的千余年间华东地区归化植物累计只有42种,占总数的14.0%,增长速率为2种/百年。1850年之后,华东地区的归化植物呈现出指数增长的趋势,至2020年已累积达299种,增长速率达151.2种/百年,即平均每年增加1.5种(图4)。

如表2所示,我们根据与国际间物种交流有关的重大历史事件或重要纪年将归化植物的传入时间划分为6个历史时期:哥伦布发现新大陆(1492)、第一次鸦片战争(1840)、中华人民共和国成立(1949)、改革开放(1978)和21世纪。对6个历史时期华东地区归化植物的种数分析发现:第一次明显的增长出现于第二阶段,增加了25种;最大增幅出现于第三阶段,增加了166种,且大部分的增长都集

图3 华东地区归化植物的引入途径与物种数

Fig. 3 Number of species and their introduction methods of naturalized plants in East China

图4 华东地区归化植物种类随时间累计图

Fig. 4 Naturalized plant species accumulated over time in East China

表2 不同历史时期归化植物的物种数及引入途径
Table 2 Species number and introduction of naturalized plants in different historical period

年代 Year	种数 No. of species	累计种数 Cumulative no. of species	无意带入 Unintentional (%)	有意引入 Intentional (%)
~1491	14	14	7 (50.0)	7 (50.0)
1492–1839	25	39	7 (28.0)	18 (72.0)
1840–1948	166	205	72 (43.6)	93 (56.4)
1949–1977	36	241	16 (43.2)	21 (56.8)
1978–1999	37	278	24 (64.9)	13 (35.1)
2000–2020	21	299	17 (81.0)	4 (19.0)

中于19世纪末至20世纪初的几十年间; 随后增长率稍有减缓, 但依然增长迅速, 21世纪的最初20年就增加了21种。

2.6 空间分布特征

根据野外调查和文献统计, 华东地区各省(直辖市)的归化植物种数差别不大, 但总体上呈现由南往北逐渐减少的趋势。归化植物种数最多的是福建省, 有236种, 之后依次为浙江(178种)、江西(172种)、山东(147种)、江苏(143种)和安徽(137种), 最少的是上海市, 有130种, 但其物种密度最高, 达20.5种/万km²。

从物种水平来看, 华东地区归化植物中有102种在7个省(直辖市)均有分布, 占总种数的34.1%; 32种在4–6个省(直辖市)有分布; 82种在2–3个省(直

辖市)有分布。而仅在1个省(直辖市)有分布的则达83种, 占总种数的27.8%, 其中只在福建有分布的种数最多, 达57种, 其次为山东(14种)、浙江(5种)和江苏(4种), 安徽、江西和上海各只有1种(图5), 分别是双角草(*Diodia virginiana*)、翼茎丁香蓼(*Ludwigia decurrens*)和翅果裸柱菊(*Soliva sessilis*)。

2.7 物种信息的更正

本研究删除了一些先前文献(Wu et al, 2010; Jiang et al, 2011; 许光耀等, 2019; 罗莉等, 2020)记载为归化植物的种类: (1)经核实为国产种的物种, 如白花草木樨(*Melilotus albus*)、南苜蓿(*Medicago polymorpha*)、小藜(*Chenopodium ficifolium*)、灰绿藜(*C. glaucum*)、苦苣菜(*Sonchus oleraceus*)、牛繁缕(*Myosoton aquaticum*)、青葙(*Celosia argentea*)、欧洲千里光(*Senecio vulgaris*)、蚊母草(*Veronica peregrina*)、香附子(*Cyperus rotundus*)、芥(*Capsella bursa-pastoris*)等11种。(2)鉴定错误的物种(10种), 如白花金钮扣(*Acemella radicans* var. *debilis*)误鉴定为*A. brachyglossa*, 毛果茄(*Solanum viarum*)误鉴定为喀西茄(*S. aculeatissimum*)、南美天胡荽(*Hydrocotyle verticillata*)误鉴定为*H. vulgaris*, 北美苍耳(*Xanthium chinense*)误鉴定为苍耳(*X. strumarium*)、蒙古苍耳(*X. mongolicum*)或偏基苍耳(*X. inaequilaterum*)等。此外澄清了反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)和绿穗苋(*A. hybridus*)之间

图5 华东地区归化植物的分布格局。A, B, C, D, E, F, G分别代表在1, 2, 3, 4, 5, 6, 7个省有分布, 数字为物种数。

Fig. 5 Distribution pattern of naturalized plants in East China. A, B, C, D, E, F, G represent the no. of species distributed in 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 provinces in turn.

的混淆,重新厘清了两者在华东地区的分布状况。

(3)在华东地区仅处于栽培状态的物种,如串叶松香草(*Silphium perfoliatum*)、肥皂草(*Saponaria officinalis*)、一串红(*Salvia splendens*)、朱唇(*Salvia coccinea*)、罗勒(*Ocimum basilicum*)、阔荚合欢(*Albizia lebbekii*)、黑松(*Pinus thunbergii*)、灰金合欢(*Acacia glauca*)以及桉属的多种植物等。增加了近10年来新近报道的归化植物,有南美独行菜(*Lepidium bonariense*)、糙果苋(*Amaranthus tuberculatus*)、假刺苋(*A. dubius*)、匍地仙人掌(*Opuntia humifusa*)、弗吉尼亚须芒草(*Andropogon virginicus*)、苏里南莎草(*Cyperus surinamensis*)、白花金钮扣、头序巴豆、糙毛狮齿菊(*Leontodon hispidus*)等20种。

3 讨论

3.1 归化植物物种组成特征

菊科、豆科、禾本科、苋科和茄科构成了华东地区归化植物的主体,这与中国归化植物的物种组成特征(Jiang et al, 2011; 许光耀等, 2019)相似。在美国构成入侵的533种植物中占比最高的也是禾本科、菊科和豆科(Ma, 2010),这三者均为世界性分布大科,后两者中多数种类为伴人植物,极易随人类活动如粮食贸易、货物运输或有意引种等方式跨区域传播扩散。所含种类最多的苋属(16种)即是随粮食贸易被无意带入中国,茄属(9种)中的大多数种类亦是如此。王宁等(2016)对515种中国外来入侵植物进行分析后发现,禾本科、菊科和豆科中所包含的克隆植物种数占多数。以往的研究发现,许多入侵植物是典型的克隆植物,其多样化的繁殖方式和适应机制增强了其环境适应性(Liu et al, 2006; Roiloa et al, 2014),多数植物通过克隆繁殖能够迅速归化。因此,由于其内在的生物及生态学特性,加之与人类活动具有较强的关联性,上述5个科的物种成为了归化甚至入侵植物的主体。

美洲是华东地区归化植物的主要原产地,其中以北美洲为主,南美洲次之。这主要是由相互间的交流程度和气候条件两方面因素决定的:频繁的人员交流和国际贸易使北美洲成为中国归化植物的最大来源地,相似的气候环境与不同的进化史则使外来植物更易定殖。相应地,美国入侵植物的原产地则以亚洲为主,其次为欧洲(Ma, 2010)。这说明国际间的交流程度是影响外来植物多样性的直接原

因,而气候相似性则是影响其归化或入侵比例的根本原因。

从生活型来看,草本植物占据着绝对优势,占比达83.6%,其中以一年生草本为主,多年生草本次之。这是植物本身的生活史特征和生境相互作用的结果:伴人植物大多数都是一年生植物,菊科、苋科和大戟科的大多数种类均为一年生草本,短暂的生活史使其能够快速适应干扰的生境,尤其是受人类干扰严重的开阔生境,这里允许其幼苗快速生长并产生种子。多年生植物则相对稳定,更倾向于生长在干扰相对轻微的环境中。因此,人类干扰是归化的重要驱动力(Foxcroft et al, 2017),不仅影响外来植物的归化比例,还影响归化植物的分布格局。

3.2 首次引入(发现)地、引入途径与引入时间分析

从引入时间上看,16世纪前,人类跨区域的交流活动极为有限,外来植物传播扩散的途径较少,其原产地也多为欧亚大陆。自16世纪始,原产于美洲大陆的外来植物不断输入我国,但限于当时长期的闭关锁国政策,增长幅度并不大。19世纪中期,西方各国在鸦片战争后陆续侵入中国,外来植物以平均每年约1.5种的速度急剧增加,是之前的75倍,仅1840–1948年的近百年间就增加了166种。随着全球一体化进程的加速,世界各地的交流日益密切,同时伴随着中国农业、林业及园艺事业的逐渐发展,外来物种开始成规模地、有计划地被引入中国。据估计,仅兰科植物引入中国的数量就达10,000种以上,在流入的外来植物中位居第一(刘冰等, 2015)。近年来,随着土地利用方式的改变以及全球气候变化,外来植物的归化速率显著增高(Waller et al, 2016; Cabra-Rivas et al, 2016)。虽然2000年至今的20年间仅增加了21种,但据作者统计,在全国范围内已有超过60种外来植物在中国归化或入侵,其中大部分物种都能适应华东地区的气候条件(作者未发表数据)。

对外来种的引入地和引入途径的了解是早期发现和快速响应的基础,对于预防外来种建立种群具有重要意义(Capinha et al, 2015)。从引入地来看,华东和华南沿海地区是外来植物引入的热点地区,高达230种,占总种数的76.9%,其中首次引入台湾的最多,其次为广东和香港,再次为华东沿海各省市,说明华东地区的归化植物与华南地区联系更加

表3 归化植物在不同历史时期的首次引入地与引入种数(示前5个省份)

Table 3 First detected locations and no. of naturalized plants in different historical period (Show top five provinces)

年代 Year	首次引入地及引入物种数(前5名)(地点/种数) First detection locations & no. of species (Top 5) (location/No.)				
~1491	新疆 Xinjiang 6	陕西 Shaanxi 3	广东 Guangdong 2	西藏 Tibet 1	不详 Unknown 1
1492–1839	台湾 Taiwan 6	广东 Guangdong 4	福建 Fujian 3	浙江 Zhejiang 3	不详 Unknown 3
1840–1948	台湾 Taiwan 37	香港 Hong Kong 30	广东 Guangdong 22	江苏 Jiangsu 10	福建 Fujian 10
1949–1977	台湾 Taiwan 10	广东 Guangdong 4	海南 Hainan 4	北京 Beijing 3	江苏 Jiangsu 3
1978–1999	台湾 Taiwan 12	福建 Fujian 4	江苏 Jiangsu 4	北京 Beijing 3	山东 Shandong 3
2000–2020	台湾 Taiwan 7	浙江 Zhejiang 5	安徽 Anhui 1	广东 Guangdong 1	江苏 Jiangsu 1

紧密。自台湾引入的归化植物通常经福建进入华东,自华南地区引入的则大多扩散至长江以南地区,只有极少数扩散至更北的区域,如银胶菊(*Parthenium hysterophorus*)已扩散至山东。首次引入地受到多方面因素的影响,包括国际交流、人口密度、气候相似度、受干扰程度、物种生物学特征以及各地的调查程度,这些变量的综合影响称为“引入压力”,对各地的首次引入物种数具有决定性影响(Huang et al, 2012)。由表3可知,16世纪之前多为自陆路引入,且以西北地区为主,而自广东引入的2种均原产于南亚至东南亚地区,即凤仙花(*Impatiens balsamina*)和落葵(*Basella alba*)。16世纪之后则大部分自沿海地区引入,以台湾、香港和广东为主,这可能与其长期的殖民历史和作为通商口岸长期对外开放有关。改革开放以后,自福建、浙江、江苏等地引入的植物明显增多,说明我国正全面受到外来植物的影响,其中华东和华南沿海地区所遭受的压力最大。

对其引入途径进行分析可知,有意引入的比例高于无意带入,而有意引入的物种中以观赏为目的的最多,其次为饲料牧草、绿肥、食用及药用植物等。这些与人类的关联度更强,易伴人传播,更易适应干扰严重的生境。由表2可知,随着时间的推移,无意带入的比例总体上呈上升趋势,而有意引入的比例则明显降低。2000年至今引入的21种归化植物中就有17种是无意带入的,而1978年以前则以有意引入为主。这有其历史原因:早期鼓励引进具有重要价值的植物,但对引入的物种缺乏规范的管理,导致引入物种逃逸而至归化甚至造成入侵,近年来在加大引种数量的同时也加强了对引进物种的管理,因此由引种而导致的归化种类不多。

值得注意的是,近年来因无意带入而导致归化的种类明显增加,这需要引起特别关注,尤其是在

国际粮食贸易、货物运输、人员流动等方面需加强检验检疫的力度。此外,矿石的国际贸易已经成为新世纪外来植物进入的重要途径,有学者于2010–2016年在中国22个港口城市的75个矿石堆上监测到407种外来植物,其中大多数来自印度,而我国长江流域和北部湾至四川盆地是外来植物进入的高风险区域,因此在矿石贸易过程中也应加强监督与管理(Yu et al, 2020)。

3.3 空间分布格局及其影响因子

华东地区归化植物的数量分布总体上呈现由南往北逐渐减少的趋势,其中福建省最多,且明显高于其他省(直辖市),上海市最少,但其物种密度最高;仅在1个省(直辖市)有分布的归化植物有83种。产生这种分布格局的原因有以下2点:(1)从地理与气候条件看,长江以南地区地理条件复杂,气候的区域差异较大,生境异质性高,适宜于不同来源的多种植物定殖;往北则多为平原,气候较为单一,因此归化植物种类相对较少。以福建为例,不仅归化植物总种数最多(236种),仅分布于此的种数也最多(57种),其中原产于热带美洲的有28种,原产于热带非洲的有12种(附录1)。这是由于闽东南沿海地区属亚热带,受气候条件限制,这些热带起源的物种在华东地区的分布仅限于此;而仅分布于山东的14种归化植物均原产于北半球温带地区,其中9种原产于北美洲(附录1)。这说明气候相似性对归化植物的分布有着重要的影响。对中国外来入侵生物的研究表明,作为气候重要组成要素的降水是决定其空间分布格局的主要自然环境因子(王国欢等, 2017)。(2)从对外交流程度来看,福建省地处东南沿海,自古以来就与海外交流频繁,为外来植物的持续进入提供了便利,而其他沿海地区早期的对外交流则相对有限,直至近现代才陆续开放,这就导致了福建省的归化植物种数明显高于其他地区。但在

可预见的未来,华东沿海地区的归化植物会有明显增长。

某一地域实际存在的归化植物种数的统计受到多方面因素的影响,主要包括对物种鉴定的准确度、物种拉丁学名使用的正确率(如同物异名现象)、原产地考证的正确性(如将本地种误当作外来种)、植物分类学观点的不同、不同区域调查程度的不同等。此外,还涉及到对归化和栽培之间的界定模糊的问题,常常误将仅处于栽培状态的物种当作归化植物对待,如池杉(*Taxodium ascendens*)、美人蕉(*Canna indica*)之类。因此在归化种甚至是外来种的认知及评估方面需要更加全面而深入的研究,包括严谨的分类学研究、原产地考证等(严靖等, 2017),以使研究区域内归化植物的种数更加客观。

3.4 归化与入侵

外来入侵植物是归化植物的子集,归化是入侵的前期阶段,归化植物有造成入侵的潜在风险。根据《中国外来入侵植物名录》(马金双和李惠茹, 2018),华东地区归化植物(299种)中有186种外来入侵植物。在世界自然保护联盟(IUCN)公布的《外来物种入侵导致灾难性后果》报告中列出了100种入侵性最强的外来生物物种(其中被子植物35种)(Lowe et al, 2000; Courchamp, 2013),华东地区有9种;在环境总局、环境保护部和中国科学院发布的对中国生物多样性和生态环境造成严重危害和巨大经济损失的40种入侵植物中(国家环境总局和中国科学院, 2003; 环境保护部和中国科学院, 2010, 2014, 2017),华东地区就有29种(附录1),其中大部分都在华东地区造成了入侵危害。

随着长三角一体化宏伟目标的确立,华东地区作为我国对外交流的重要区域,在防范外来植物入侵方面面临着双重压力。一是外来植物的输入压力。胡长松等(2016)在江苏省的进口粮食码头、加工厂、储备库、运输沿线等区域就曾发现外来植物142种,其中中国新记录种就有21种。2020年在浙江宁波报道了弯喙苣(*Urospermum picroides*)的分布新记录,目前该种尚处于定殖阶段(杨旭东等, 2020)。由此可知,随着国际交流和贸易的进一步深入,外来物种的无意输入将会是一种常态。二是外来植物归化并造成入侵危害的压力。华东地区归化植物中被列入中国外来入侵植物的种类占62.2%,除此之外,归化植物经过一段时间的环境适应性进化,大

多数都具有潜在的入侵风险(Pyšek et al, 2008),若任其发展,可能对当地的生态系统、生物多样性和农林业生产造成严重破坏。李振宇(2003)于1985年发现于北京的长芒苣(*Amaranthus palmeri*)就已经在京津冀地区造成了严重的入侵危害。目前该种向南仅分布至山东,但其种子却常见于各大口岸的进口粮食中,且华东地区为其适生区(徐晗等, 2013),因此须特别关注该种的动态。此外还须重点监控那些尚未造成入侵但已有扩散蔓延趋势的归化植物,如北美刺龙葵(*Solanum carolinense*)、蒜芥茄(*S. sisymbriifolium*)等。

因此,为了更好地对外来种进行管理,除了加强入境检疫、规范引种栽培和注重科普宣传之外,还应该关注以下两方面的工作:(1)通过严谨的研究和考证建立详细且准确的中国归化植物数据库,同时加大对口岸或港口的外来植物监测力度;(2)基于准确完整的归化植物数据库,构建一套行之有效的外来植物风险评估体系,这是开展外来物种风险管理的基础,也是预防外来物种入侵的有效手段。

参考文献

- Cabra-Rivas I, Saldaña A, Castro-Díez P, Gallien L (2016) A multi-scale approach to identify invasion drivers and invaders' future dynamics. *Biological Invasions*, 18, 411–426.
- Capellini I, Baker J, Allen WL, Street SE, Venditti C (2015) The role of life history traits in mammalian invasion success. *Ecology Letters*, 18, 1099–1107.
- Courchamp F (2013) Alien species: Monster fern makes IUCN invader list. *Nature*, 498, 37.
- Foxcroft LC, Pyšek P, Richardson DM, Genovesi P, MacFadyen S (2017) Plant invasion science in protected areas: Progress and priorities. *Biological Invasions*, 19, 1353–1378.
- General Administration of Environment, Chinese Academy of Sciences (2003) The first batch of alien invasive plants in China. *Bulletin of the State Council of the People's Republic of China*. (in Chinese) [国家环境总局, 中国科学院 (2003) 中国第一批外来入侵物种名单. 中华人民共和国国务院公报.] http://www.gov.cn/gongbao/content/2003/content_62285.htm/. (accessed on 2020-07-20)
- Hu CS, Chen RH, Dong XZ, Zhou MH, Wu YL (2016) Monitoring surveys of exotic weeds in Jiangsu grain ports. *Plant Quarantine*, 30(4), 63–67. (in Chinese with English abstract) [胡长松, 陈瑞辉, 董贤忠, 周明华, 巫忆陵 (2016) 江苏粮食口岸外来杂草的监测调查. 植物检疫, 30(4), 63–67.]
- Huang DC, Zhang RZ, Kim KC, Suarez AV (2012) Spatial

- pattern and determinants of the first detection locations of invasive alien species in mainland China. *PLoS ONE*, 7, e31734.
- IUCN (1999) IUCN guidelines for the prevention of biodiversity loss due to biological invasion. *Species*, 31–32, 28–42.
- Jiang H, Fan Q, Li JT, Shi S, Li SP, Liao WB, Shu WS (2011) Naturalization of alien plants in China. *Biodiversity and Conservation*, 20, 1545–1556.
- Li ZY (2003) *Amaranthus palmeri* S. Watson, a newly naturalized species in China. *Chinese Bulletin of Botany*, 20, 734–735. (in Chinese with English abstract) [李振宇 (2003) 长芒苋——中国苋属一新归化种. *植物学通报*, 20, 734–735.]
- Liu B, Ye JF, Liu S, Wang Y, Yang Y, Lai YJ, Zeng G, Lin QW (2015) Families and genera of Chinese angiosperms: A synoptic classification based on APG III. *Biodiversity Science*, 23, 225–231. (in Chinese with English abstract) [刘冰, 叶建飞, 刘夙, 汪远, 杨永, 赖阳均, 曾刚, 林秦文 (2015) 中国被子植物科属概览: 依据APG III 系统. *生物多样性*, 23, 225–231.]
- Liu J, Dong M, Miao SL, Li ZY, Song MH, Wang RQ (2006) Invasive alien plants in China, role of clonality and geographical origin. *Biological Invasions*, 8, 1461–1470.
- Lowe S, Browne M, Boudjelas S, De Poorter M (2000) 100 of the world's worst invasive alien species: A selection from the Global Invasive Species Database. The IUCN Invasive Species Specialist Group (ISSG), Auckland, New Zealand.
- Luo L, Li LQ, Xu GY, Yang HL, He MX, Li HY (2020) Distribution patterns and influencing factors of naturalized plant species in Heilongjiang, Jilin, Liaoning, and Inner Mongolia. *Chinese Journal of Ecology*, 39, 1492–1500. (in Chinese with English abstract) [罗莉, 李龙沁, 许光耀, 杨皓璐, 贺梦璇, 李洪远 (2020) 黑、吉、辽、蒙归化植物分布格局及其影响因素. *生态学杂志*, 39, 1492–1500.]
- Ma JS (2010) The invasive plants of North America—A primary analysis. *Plant Diversity*, 32(17), 1–18.
- Ma JS, Li HR (2018) The Checklist of the Alien Invasive Plants in China. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese) [马金双, 李惠茹 (2018) 中国外来入侵植物名录. 高等教育出版社, 北京.]
- Ministry of Environmental Protection, Chinese Academy of Sciences (2010) The second batch of alien invasive plants in China. Ministry of Environmental Protection. (in Chinese) [环境保护部, 中国科学院 (2010) 中国第二批外来入侵物种名单.] http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201001/t20100126_184831.htm/. (accessed on 2020-07-20)
- Ministry of Environmental Protection, Chinese Academy of Sciences (2014) The third batch of alien invasive plants in China. Ministry of Environmental Protection. (in Chinese) [环境保护部, 中国科学院 (2014) 中国外来入侵物种名单(第三批).] http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201408/t20140828_288367.htm/. (accessed on 2020-07-20)
- Ministry of Environmental Protection, Chinese Academy of Sciences (2017) The forth batch of alien invasive plants of natural ecosystem in China. Ministry of Environmental Protection. (in Chinese) [环境保护部, 中国科学院 (2017) 中国自然生态系统外来入侵物种名单(第四批).] http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201612/t20161226_373636.htm/. (accessed on 2020-07-20)
- Pyšek P, Pergl J, Essl F, Lenzner B, Dawson W, Kreft H, Weigelt P, Winter M, Kartesz J, Nishino M, Antonova LA, Barcelona JF, Cablesaz FJ, Cárdenas D, Cárdenas-Toro J, Castaño N, Chacón E, Chatelain C, Dullinger S, Ebel AL, Figueiredo E, Fuentes N, Genovesi P, Groom QJ, Henderson L, Inderjit, Kupriyanov A, Masciadri S, Maurel N, Meerman J, Morozova O, Moser D, Nickrent D, Nowak PM, Pagad S, Patzelt A, Peller PB, Seebens H, Shu WS, Thomas J, Velazco M, Weber E, Wieringa JJ, Baptiste MP, van Kleunen M (2017) Naturalized alien flora of the world: Species diversity, taxonomic and phylogenetic patterns, geographic distribution and global hotspots of plant invasion. *Preslia*, 89, 203–274.
- Pyšek P, Richardson DM, Pergl J, Jarošík V, Sixtová Z, Weber E (2008) Geographical and taxonomic biases in invasion ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 23, 237–244.
- Pyšek P, Richardson DM, Rejmánek M, Webster GL, Williamson M, Kirschner J (2004) Alien plants in checklists and floras: Towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon*, 53, 131–143.
- Roiloa SR, Rodríguez-Echeverría S, Freitas H (2014) Effect of physiological integration in self/non-self genotype recognition on the clonal invader *Carpobrotus edulis*. *Journal of Plant Ecology*, 7, 413–418.
- Waller DM, Mudrak EL, Amatangelo KL, Klionsky SM, Rogers DA (2016) Do associations between native and invasive plants provide signals of invasive impacts? *Biological Invasions*, 18, 3465–3480.
- Wang GH, Bai F, Sang WG (2017) Spatial distribution of invasive alien animal and plant species and its influencing factors in China. *Plant Science Journal*, 35, 513–524. (in Chinese with English abstract) [王国欢, 白帆, 桑卫国 (2017) 中国外来入侵生物的空间分布格局及其影响因素. *植物科学学报*, 35, 513–524.]
- Wang N, Li WF, Zhou B, Yan XH (2016) Invasiveness, clonal form and geographical origin of invasive clonal plant species in China. *Biodiversity Science*, 24, 12–19. (in Chinese with English abstract) [王宁, 李卫芳, 周兵, 闫小红 (2016) 中国入侵克隆植物入侵性、克隆方式及地理起源. *生物多样性*, 24, 12–19.]
- Wu SH, Yang A, Teng YC, Chang CY, Yang KC, Hsieh CF (2010) Insights of the latest naturalized flora of Taiwan: Change in the past eight years. *Taiwania*, 55, 139–159.
- Xu GY, Li HY, Mo XQ, Meng WQ (2019) Composition and spatial-temporal distribution of Chinese naturalized plants. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 43, 601–610. (in Chinese)

- with English abstract) [许光耀, 李洪远, 莫训强, 孟伟庆 (2019) 中国归化植物组成特征及其时空分布格局分析. 植物生态学报, 43, 601–610.]
- Xu H, Song Y, Fan XH, Yang SJ, Wu Y (2013) Invasion risk and suitability analysis of three kinds of *Acnida* weeds (Subgen. *Acnida* L.) in China. *Plant Quarantine*, 27(4), 20–23. (in Chinese with English abstract) [徐晗, 宋云, 范晓虹, 杨赛军, 武扬 (2013) 3种异株菀亚属杂草入侵风险及其在我国适生性分析. 植物检疫, 27(4), 20–23.]
- Yan J, Yan XL, Wang ZH, Li HR, Ma JS (2017) Distribution pattern and rating of alien invasive plants in Anhui Province. *Plant Science Journal*, 35, 679–690. (in Chinese with English abstract) [严靖, 闫小玲, 王樟华, 李惠茹, 马金双 (2017) 安徽省外来入侵植物的分布格局及其等级划分. 植物科学学报, 35, 679–690.]
- Yang XD, Li ZY, Xia CY, Yu SX (2020) *Urospermum picroides* (Asteraceae), a newly naturalized alien species in China. *Plant Quarantine*, 34(3), 58–60. (in Chinese with English abstract) [杨旭东, 李振宇, 夏常英, 于胜祥 (2020) 中国新归化菊科植物——弯喙苣. 植物检疫, 34(3), 58–60.]
- Yu SX, Fan XH, Gadagkar SR, Albright TP, Li J, Xue TT, Xu H, Huang Y, Shao XL, Ding W, Zhou MH, Hu CS, Li ZY (2020) Global ore trade is an important gateway for non-native species: A case study of alien plants in Chinese ports. *Diversity and Distributions*, 26, 1409–1420.
- (责任编辑: 丁建清 责任编辑: 黄祥忠)

附录 Supplementary Material

附录1 华东地区归化植物名录

Appendix 1 List of naturalized species in East China

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020335-1.xlsx>