

江苏外来入侵植物区系、生活型及繁殖特性

侯新星 辛建攀 陆梦婷 田如男*

(南京林业大学风景园林学院, 南京 210037)

摘要 在全球经济一体化和国际贸易日益发展的背景下,外来植物入侵引发的生物安全问题可能对现有的生态系统可持续性造成威胁。通过实地调查与查阅文献资料,对江苏外来入侵植物的区系组成、科属组成、地理成分、原产地、生活型及繁殖特性进行了统计和分析。结果表明:江苏省外来入侵植物共有 229 种,隶属于 51 科 140 属,其中被子植物共有 49 科 138 属 227 种,并以单子叶植物占有主导地位;从科属组成来看,大型科、单种属与寡种属占植物区系的主体,但较大属在种的层次上丰富度更高,表明江苏入侵植物区系内部结构较为复杂;江苏入侵植物区系具有较强的热带亲缘性,并在一定程度上受到温带植物区系的影响;美洲起源的植物居多,并以草本植物占绝对优势;入侵植物繁殖特性分析结果表明,49.56%的入侵植物以小型花、短花期来实现入侵;果实主要类型为蒴果,有利于种子传播;多数入侵植物以种子繁殖为主,28.82%的入侵植物兼有种子与克隆繁殖两种方式,其中克隆繁殖以分蘖为主,以利于提高其入侵能力。

关键词 入侵植物;植物区系;分布区类型;生活型;繁殖特性

Analysis of flora, life form and reproductive characteristics of alien species in Jiangsu Province. HOU Xin-xing, XIN Jian-pan, LU Meng-ting, TIAN Ru-nan* (*College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China*).

Abstract: Under the background of global economic integration and ever-increasing international trade, biosecurity incurred by the invasion of alien species may threaten ecosystem sustainability. Through field investigation and literature reviews, we analyzed the floristic composition, genus composition, geographical composition, origins, life forms and reproductive characteristics of the invasive species in Jiangsu Province. The results showed that there are 229 invasive species, belonging to 140 genera and 51 families. For angiosperm, there are 227 species in total from 138 genera in 49 families, which are dominated by monocotyledon. In the perspective of the composition of families and genera, large families, single-species genera and oligospecies genera composed the main body of the flora, but larger genera have higher abundance at the level of the species, indicating that the internal structure of the invasive flora in Jiangsu Province is complex. Furthermore, the invasive flora of Jiangsu Province has a strong tropical affinity and is largely influenced by temperate flora. Most of invasive species are from the Americas and dominated by herbaceous species. 49.56% of the invasive species are propagated with small flowers and short flowering period. The main fruit type of invasive species is capsule, which is beneficial to seed dispersal. Most invasive species are mainly seed propagation. 28.82% of the invasive species have both seed and clonal propagation, with the latter being the main way that is beneficial to improving its invasion ability.

Key words: invasive plant; flora; areal type; life form; reproductive characteristics.

外来入侵物种是指通过有意或无意的人类活动被引入到自然分布区外,在自然分布区外的自然、半自然生态系统或生境中建立种群,并对引入地的生物多样性造成威胁、影响或破坏的物种(李振宇等,2002)。入侵植物能通过杂交和基因渗透等对本地种造成遗传侵蚀,从而改变本地种的遗传结构和遗传多样性。同时,因入侵植物的到来打破了当地原有的生态平衡,本地种会产生适应性进化响应,特定生物类群的进化方向可能因此发生改变(类延宝等,2010),如中国滨海湿地的互花米草(*Spartina alterniflora*)入侵导致其生态系统的植被类型改变,从而对其底栖动物群落结构和食物网关系造成影响(冯建祥等,2018)。此外,一些外来入侵植物如聚合草(*Symphytum officinale*)(潘怀剑等,2001)、豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)(吴海荣等,2004)及毒麦(*Lolium temulentum*)(林金成等,2004)甚至会对人类健康造成威胁。随着中国经济发展和全球经济一体化进程的加快,我国生物入侵的程度日益严峻,这对中国生态环境、经济发展及人类健康造成极大负面影响(闫小玲等,2012)。

江苏位于长江三角洲地区,为中国经济最发达、最活跃地区之一。随着城市化进程的加快与旅游业的快速发展,生境破碎化导致生态系统的退化,再加上适宜的地理气候条件、频繁的对外交流与受到强烈干扰的生境,为外来植物的到来、生存与扩张提供了有利条件,使江苏受外来入侵植物危害较为严重(闫小玲等,2012)。目前,有关江苏外来入侵植物的研究主要涉及外来种子植物(李亚等,2008)、农业生态系统(苏嫚丽等,2008)、位于江苏不同气候带的3个自然保护区(董红云等,2010),针对全省范围内的入侵植物调查仅涉及原产地、生活型及入侵途径等方面(寿海洋等,2014),研究尚不全面和深入。本文通过实地调查,并结合查阅文献,初步统计和整理出江苏外来入侵植物名录,分析了其区系组成、科属组成、地理成分、原产地、生活型及繁殖特性,以了解入侵植物的入侵机制,并为江苏外来入侵植物防控提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

江苏位于中国大陆东部沿海,地跨 $30^{\circ}46'N$ — $35^{\circ}07'N$ 和 $116^{\circ}22'E$ — $121^{\circ}55'E$,处于亚热带北缘,属温带向亚热带的过渡性气候,跨越暖温带落叶阔

叶林带、北亚热带常绿落叶混交林带和中亚热带常绿阔叶林带3个生物气候带(江苏省地方志编纂委员会,2005)。该区四季分明,气候温和,年均温 $13\sim 16^{\circ}C$,1月温度最低,平均气温 $-1\sim 3^{\circ}C$;7—8月温度最高,平均气温 $26\sim 28.8^{\circ}C$;雨水充沛,年均降雨量 $800\sim 1200\text{ mm}$;地形地貌较为复杂,主要有低山、丘陵、岗地及平原等,丰富的地理环境和气候条件为外来植物的入侵提供了良好条件。

1.2 研究方法

通过实地调研,并查阅相关文献资料(徐海根等,2004;徐海根等,2011;马金双,2013),对江苏外来入侵植物进行调查和统计,初步整理出江苏外来入侵植物名录,在此基础上对江苏入侵植物的区系组成、科属组成、地理成分、原产地、生活型及繁殖系统等进行统计与分析。实地调研以南京、盐城、苏州、常州为主要调研地点,采用线路调查与重点调查相结合的方法,选取人为干扰较为严重的河道、道路及码头等外来入侵植物容易侵入的区域,调查对象为原产于国外、已经在江苏自然或半自然生态系统建立种群、威胁当地生态系统的植物种类。

根据吴征镒等(1980)对种子植物科、属分布区类型的划分原则,对江苏外来入侵植物科、属的分布区类型进行划分。

根据张斯斯等(2013)的分类标准,对江苏入侵植物的花径、花色及花期进行划分。花冠直径(若为头状花序则指花序直径)大于 1 cm 的为大型花; $0.5\sim 1\text{ cm}$ 的为中型花;小于 0.5 cm 的为小型花。花色按花瓣颜色分为白色、黄色、绿色、红色与紫色。开花持续时间大于6个月的为长花期; $5\sim 6$ 个月的为中花期,小于5个月的为短花期。

根据宋明华等(2002)和董鸣等(2007)对克隆植物生长类型或方式的划分方法,对江苏入侵植物中克隆植物的方式进行划分。

2 结果与分析

2.1 江苏外来入侵植物区系的基本组成

从表1可知,江苏外来入侵植物共有51科140属229种,其中蕨类植物有2种,分别为速生槐叶萍(*Salvinia adnata*)与细叶满江红(*Azolla filiculoides*);被子植物共49科138属227种,占江苏外来入侵植物种类总数的99.13%,在数量上占有绝对优势。

在被子植物中,单子叶植物共有7科24属33种,科、属、种数量分别占江苏外来入侵植物科、属、

表1 江苏外来入侵植物区系的基本组成

Table 1 Basic components of alien species in Jiangsu Province

分类群	科数	属数	种数
蕨类植物	2	2	2
被子植物	单子叶植物	7	24
	双子叶植物	42	114
总计	51	140	229

种总数的13.73%、17.14%和14.41%，常见有雨久花科(Pontederiaceae)、禾本科(Gramineae)及莎草科(Cyperaceae)等，植物种类有凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)、毒麦、黑麦草(*Lolium perenne*)及大藻(*Pistia stratiotes*)。双子叶植物为江苏外来入侵植物的主体，共有42科114属194种，科、属、种数量分别占江苏外来入侵植物总科、属、种数的82.35%、81.43%和84.72%，常见有菊科(Asteraceae)、豆科(Leguminosae)、苋科(Amaranthaceae)、大戟科(Euphorbiaceae)与茄科(Solanaceae)等，植物种类主要有加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)、苏门白酒草(*Erigeron sumatrensis*)、大狼把草(*Bidens frondosa*)、飞扬草(*Euphorbia hirta*)、野青树(*Indigofera suffruticosa*)和田菁(*Sesbania cannabina*)等。

2.2 江苏外来入侵植物的科、属组成分析

2.2.1 科的组成

根据各科所含种数的多少，江苏外来入侵植物的51个科可以划分为5种类型(表2)。其中，单种科共有26科，常见有槐叶苹科(Salviniaceae)、满江红科(Azollaceae)、木麻黄科(Casuarinaceae)、荨麻科(Urticaceae)及落葵科(Basellaceae)等。寡种科有15科，占总科数的29.41%，常见有紫茉莉科(Nyctaginaceae)、马齿苋科(Portulacaceae)、藜科(Chenopodiaceae)、罂粟科(Papaveraceae)及车前科(Plantaginaceae)等。中型科有4科，分别为锦葵科(Malvaceae)、柳叶菜科(Onagraceae)、旋花科(Convulvaceae)与玄参科(Scrophulariaceae)；较大科共有3科，分别为苋科、

大戟科与茄科。大型科有3科，分别为菊科、豆科与禾本科。从科、属的水平来看，单种科与寡种科占主要优势，而从种的水平来看，大型科虽只有3科，植物种数却占总种数的41.05%，超过单种科与寡种科植物种数之和，表明江苏外来入侵植物区系内部结构较为复杂。

2.2.2 属的组成

根据各属所含种数的多少，江苏外来入侵植物的140个属可以划分为5种类型(表3)。其中，单种属共有98属，占总属数的70%，常见有槐叶萍属(*Salvinia*)、满江红属(*Azolla*)、木麻黄属(*Casuarina*)、野苘蒿属(*Crassocephalum*)、泽兰属(*Eupatorium*)和黑麦属(*Secale*)等。寡种属共有37属，占总属数的40.17%，常见有叶子花属(*Bougainvillea*)、藜属(*Chenopodium*)、莲子草属(*Alternanthera*)、草木犀属(*Melilotus*)、猪屎豆属(*Crotalaria*)和月见草属(*Oenothera*)等。中型属与较大属较少，各有3属和2属，分别为番薯属(*Ipomoea*)、飞蓬属(*Erigeron*)、婆婆纳属(*Veronica*)、大戟属(*Euphorbia*)和苋属(*Amaranthus*)。此外，江苏外来入侵植物缺乏大型属。江苏外来入侵植物区系以单种属占有主要优势，寡种属次之，表明该区系多样性并不丰富。从属种比例来看，较大属的属种比例为11:1，说明较大属在种的层次上丰富度较高，有一定的优势。

2.3 江苏外来入侵植物的地理成分分析

2.3.1 科的地理成分

根据吴征镒(1980)对种子植物科的分布区类型的划分，江苏外来入侵植物科的分布区可以划分为5种类型(表4)。由表4可知，江苏外来入侵植物中有23科为世界分布，分别为菊科、禾本科、豆科、蓼科(Polygonaceae)、伞形科(Umbelliferae)、十字花科(Cruciferae)和毛茛科(Ranunculaceae)等。由于世界分布科不能反映江苏外来入侵植物区系的性质，故计算比例时将其排除。

江苏外来入侵植物中热带成分共有22科，占总科数的84.62%。其中，泛热带分布共有18科，分别

表2 江苏外来入侵植物大小科特征统计

Table 2 Division of family of alien species in Jiangsu Province

分级	特征					
	科数	占总科数比(%)	属数	占总属数比(%)	种数	占总种数比(%)
单种科(1种)	26	50.98	26	18.57	26	11.35
寡种科(2~5种)	15	29.41	33	23.57	44	19.21
中型科(6~10种)	4	7.85	11	7.86	24	10.48
较大科(11~20种)	3	5.88	11	7.86	41	17.91
大型科(>21种)	3	5.88	59	42.14	94	41.05
总计	51	100	140	100	229	100

表 3 江苏外来入侵植物大小属特征统计

Table 3 Division of genera of alien species in Jiangsu Province

分级	特征				属种比例
	属数	占总属数比 (%)	种数	占总种数比 (%)	
单种属(1种)	98	70	98	42.79	98:98
寡种属(2~4种)	37	26.43	92	40.17	92:37
中型属(5~8种)	3	2.14	17	7.43	17:3
较大属(9~12种)	2	1.43	22	9.61	22:2
大型属(>13种)	0	0	0	0	-
总计	140	100	229	100	-

为番杏科(Aizoaceae)、落葵科、天南星科(Araceae)、西番莲科(Passifloraceae)及雨久花科等,是热带性质科的主要组成部分;东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布共有3科,分别为马鞭草科(Verbenaceae)、紫茉莉科及仙人掌科(Cactaceae);热带亚洲至热带大洋洲分布仅有1科,为木麻黄科。江苏外来入侵植物中温带成分共有4科,分别为牻牛儿苗科(Geraniaceae)、槭树科(Aceraceae)、百合科(Liliaceae)和罂粟科,比热带成分低69.24%。

2.3.2 属的地理成分 根据吴征镒(吴征镒,1980)对种子植物属的分布区类型的划分,江苏外来入侵植物属的分布区可以划分为11种类型(表4)。由表4可知,江苏外来入侵植物中有25属为世界分布,分别为秋葵属(*Abelmoschus*)、豚草属(*Ambrosia*)、飞蓬属、茄属(*Solanum*)、千里光属(*Senecio*)和豆瓣菜属(*Nasturtium*)等。由于世界分布属不能反映江苏外来入侵植物区系的性质,故计算比例时将其排除。

表 4 江苏外来入侵植物科、属的分布区类型

Table 4 Areal-types of family and genera of alien species in Jiangsu Province

分布区类型	特征			
	科数	占科数比 (%)	属数	占属数比 (%)
1 世界分布	23	-	25	-
2 泛热带分布	18	69.23	44	38.26
3 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布	3	11.54	13	11.30
4 旧世界热带分布	1	3.85	3	2.61
5 热带亚洲至热带大洋洲	-	-	1	0.87
6 热带亚洲热带非洲分布	-	-	5	4.35
5 北温带分布	4	15.38	21	18.26
8 东亚及北美间断分布	-	-	7	6.09
9 旧世界温带分布	-	-	14	12.17
10 温带亚洲分布	-	-	2	1.74
11 地中海、西亚至中亚分布	-	-	5	4.35
总计	49	100	140	100

江苏外来入侵植物中热带成分共有66属,占总属数的57.39%。其中,泛热带分布共有44属,分别为马齿苋属(*Portulaca*)、商陆属(*Phytolacca*)、狼尾草属(*Pennisetum*)、曼陀罗属(*Datura*)、苘麻属(*Abutilon*)和朱顶红属(*Hippeastrum*),在热带成分中占有主要优势;东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布共有13科,分别为紫茉莉属(*Mirabilis*)、叶子花属、葱莲属(*Zephyranthes*)和落葵薯属(*Anredera*)等,比泛热带分布低26.96%;旧世界热带分布共有3属,分别为秋葵属(*Abelmoschus*)、距瓣豆属(*Centrosema*)和山牵牛属(*Thunbergia*);热带亚洲至热带大洋洲分布仅有1属,为穿心莲属(*Andrographis*);热带亚洲热带非洲分布共有5属,分别为木豆属(*Cajanus*)、长春花属(*Catharanthus*)、野苘蒿属(*Crassocephalum*)、蓖麻属(*Ricinus*)和木麻黄属(*Casuarina*)。

江苏外来入侵植物中温带成分共有49属,占总属数的42.61%,比热带成分低14.78%。其中,北温带分布共有21属,分别为槭树属(*Acer*)、罂粟属(*Papaver*)、一枝黄花属(*Solidago*)、大麦属(*Hordeum*)和矢车菊属(*Centaurea*)等,为温带性质属的主要组成部分;东亚及北美间断分布共有7属,分别为水盾草属(*Cabomba*)、山桃草属(*Gaura*)和地锦属(*Parthenocissus*)等;旧世界温带分布共有14属,分别为黑麦草属(*Lolium*)、鹅肠菜属(*Myosoton*)、滨菊属(*Leucanthemum*)和草木樨属(*Melilotus*)等;温带亚洲分布仅有2属,分别为包果菊属(*Smallanthus*)和大麻属(*Cannabis*),在温带成分中占比最少;地中海、西亚至中亚分布共有5属,分别为山羊草属(*Aegilops*)、水飞蓟属(*Silybum*)、黑麦属、颠茄属(*Atropa*)和燕麦草属(*Arrhenatherum*)。

2.4 江苏外来入侵植物的原产地分析

对江苏外来入侵植物的原产地按地理学七大洲进行划分统计,对原产于美洲的植物则南美洲与北美洲各计数一次,对原产热带美洲的则归为南美洲,对地中海地区则亚洲、欧洲、非洲各计数一次图1。

按照上述方法,统计得到229种江苏外来入侵植物共计298频次。其中,原产于南美洲的植物为74次,频次最高,占总频次的24.83%,常见种类有速生槐叶萍、小叶冷水花(*Pilea microphylla*)、扁穗雀麦(*Bromus catharticus*)、落葵薯(*Anredera cordifolia*)和臭芥(*Coronopus didymus*)等;其次是原产北美洲的植物,为72次,占总频次的24.16%,常见种类

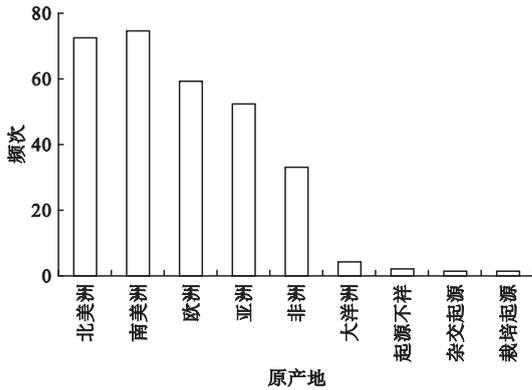


图1 江苏外来入侵植物原产地

Fig.1 Origin of alien species in Jiangsu Province

有垂序商陆(*Phytolacca americana*)、野老鹳草(*Geranium carolinianum*)、复叶枫(*Acer negundo*)和五叶地锦(*Parthenocissus quinquefolia*)等。原产欧洲的为59次,占总频次的19.80%,常见种类有鹅肠菜(*Myosoton aquaticum*)、无瓣繁缕(*Stellaria pallida*)、辣根(*Armoracia rusticana*)、荆豆(*Ulex europaeus*)和野胡萝卜(*Daucus carota*)等。原产亚洲的为52次,占总频次的17.45%,常见种类有大麻(*Cannabis sativa*)、青葙(*Celosia argentea*)、紫苜蓿(*Medicago sativa*)、槐叶决明(*Cassia sophera*)和火殃勒(*Euphorbia antiquorum*)等。原产非洲的33次,占总频次的11.07%,常见种类有光萼猪屎豆(*Crotalaria zanzibarica*)、大花酢浆草(*Oxalis bowiei*)、绿玉树(*Euphorbia tirucalli*)、蓖麻(*Ricinus communis*)和苏丹凤仙花(*Impatiens wallerana*)等。大洋洲为4次,占总频次的1.34%,植物种类分别为木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)、番杏(*Tetragonia tetragonoides*)、银荆(*Acacia dealbata*)和田菁。起源不详的有2种植物,分别为圆叶猪屎豆(*Crotalaria incana*)和稀脉浮萍(*Lemna aequinoctialis*);杂交起源与栽培起源的各1种植物,分别为黄花月见草(*Oenothera glazioviana*)和黑麦(*Secale cereale*)。由上述分析可知,江苏外来入侵植物以原产南美洲和北美洲占有主要优势,表明美洲起源的植物可能较好地适应江苏地区的自然环境条件。

2.5 江苏外来入侵植物的生活型分析

从表5可知,江苏外来入侵植物生活型由乔木、灌木、藤本、一二年生草本及多年生草本植物组成。

乔木共有5科9属9种,分别为木麻黄科、豆科、大戟科、漆树科(*Anacardiaceae*)与槭树科,常见种类有木麻黄、银荆、火殃勒、火炬树(*Rhus typhina*)

表5 江苏外来入侵植物的生活型统计

Table 5 Life forms of alien species in Jiangsu Province

生活型	科数	属数	种数
乔木	5	9	9
灌木	6	10	10
藤本	3	3	4
一二年生草本	28	77	133
多年生草本	33	61	73
总计	75	160	229

和复叶枫等;灌木共有6科10属10种,主要科有豆科、大戟科、唇形科(*Labiatae*)与茄科等,常见种类有仙人掌(*Opuntia dillenii*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、木豆(*Cajanus cajan*)、野青树和荆豆;藤本植物仅3科3属4种,分别为蓼科珊瑚藤属(*Antigonon*)珊瑚藤(*A. leptopus*)、紫茉莉科叶子花属(*Bougainvillea*)光叶子花(*B. glabra*)和叶子花(*B. spectabilis*)、葡萄科(*Vitaceae*)地锦属(*Parthenocissus*)五叶地锦(*P. quinquefolia*)。

江苏入侵植物种草本植物共有61科138属206种,构成了入侵植物的主体。其中,一二年生草本植物有28科77属133种,主要科有苋科、十字花科、大戟科及菊科等,常见种类有细叶满江红、大麻、小叶冷水花和大花马齿苋(*Portulaca grandiflora*)等。多年生草本植物共33科61属73种,主要科有禾本科、菊科及豆科等,常见种类有垂序商陆、土人參(*Talinum paniculatum*)、肥皂草(*Saponaria officinalis*)和锦绣苋(*Alternanthera bettzickiana*)等。

2.6 江苏外来入侵植物的繁殖特性

2.6.1 花的特性

由表6可知,大型花入侵植物种类共有89种,占有花入侵植物的39.38%,分别为木麻黄、大麻、紫茉莉、大花马齿苋及肥皂草等。中型花入侵植物共有25种,占有花入侵植物的11.06%,分别为珊瑚藤、土人參、球序卷耳(*Cerastium glomeratum*)、鹅肠菜和银荆等。小花型入侵植物种类最多,共有112种,常见种类有小叶冷水花、垂序商陆、光叶子花、无瓣繁缕和土荆芥(*Dysphania ambrosioides*)等。

在江苏226种有花入侵植物中,共有189种植物的花色为单色,可将其划分为白色、黄色、绿色(淡绿、黄绿)、红色(粉色、紫红)与紫色(淡紫、蓝紫色、蓝色)(表6)。其中,开白色花的入侵植物共有35种,占单色花入侵植物的18.52%,分别为垂序商陆、落葵薯、球序卷耳、鹅肠菜及锦绣苋等。开黄色花的入侵植物种类最多,共有75种,占单色花入侵

表 6 江苏外来入侵植物的花的特性

Table 6 Characteristics of alien species' flowers in Jiangsu Province

花的特性	类型	种数	占有花总种数比(%)
花径	大型	89	39.38
	中型	25	11.06
	小型	112	49.56
	白色	35	18.52
花色	黄色	75	39.68
	绿色	32	16.93
	红色	29	15.34
	紫色	18	9.53
	花期	长	42
	中	38	16.81
	短	146	64.61

植物的 39.68%, 分别为番杏、刺果毛茛 (*Ranunculus muricatus*)、蓟罂粟 (*Argemone mexicana*) 及菊科大部分植物如豚草、婆婆针 (*Bidens bipinnata*)、金鸡菊 (*Coreopsis drummondii*) 等。开绿色花的入侵植物共有 32 种, 占单色花入侵植物的 16.93%, 分别为大麻、小叶冷水花、火殃勒、凹头苋 (*Amaranthus blitum*) 及燕麦草 (*Arrhenatherum elatius*) 等。开红色花的入侵植物共有 29 种, 占单色花入侵植物的 15.34%, 分别为木麻黄、麦蓝菜 (*Vaccaria hispanica*)、尾穗苋 (*Amaranthus caudatus*)、虞美人 (*Papaver rhoeas*) 及龙牙花 (*Erythrina corallodendron*) 等。开紫色花的入侵植物种类最少, 共有 18 种, 分别为飞燕草 (*Consolida ajacis*)、紫穗槐、紫苜蓿、长柔毛野豌豆 (*Vicia villosa*) 及牵牛 (*Ipomoea nil*) 等。由上述分析可知, 黄色、白色为江苏外来入侵植物的主要花色。

由表 6 可知, 长花期的入侵植物共有 42 种, 占有花入侵植物的 18.58%, 如珊瑚藤、光叶子花、喜旱莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*)、仙人掌及蓟罂粟等; 中花期的入侵植物共有 38 种植物, 占有花入侵植物的 16.81%, 如紫茉莉、落葵薯、灰绿藜 (*Chenopodium glaucum*)、虞美人及阔荚合欢 (*Albizia lebeck*) 等; 短花期的入侵植物种类最多, 共有 146 种, 占有花入侵植物的 64.61%, 如垂序商陆、鹅肠菜、无瓣繁缕及麦蓝菜等。

2.6.2 果实类型 除去 2 种无果实的蕨类植物-速生槐叶萍与细叶满江红以及 3 种未见果实的植物-落葵薯、水盾草与稀脉浮萍, 对种江苏 224 入侵植物的果实类型进行统计 (表 7)。由表 7 可知, 共有 207 种植物的果实为干果, 其中果实为胞果的入侵植物共 19 种, 占有果实入侵植物总数的 8.48%, 分别为

表 7 江苏外来入侵植物果实类型

Table 7 Fruit types of alien species in Jiangsu Province

果实类型	种数	占有果总种数比(%)	
干果	胞果	19	8.48
	角果	5	2.32
	分果	1	0.45
	蓇葖果	3	1.34
	荚果	26	11.61
	坚果	10	4.46
	瘦果	51	22.77
	双悬果	3	1.34
	蒴果	65	29.02
	颖果	24	10.71
	肉果	浆果	16
核果		1	0.45
总计	224	100	

小藜 (*Chenopodium serotinum*)、刺沙蓬 (*Salsola tragus*) 及锦绣苋等。果实为角果的入侵植物有 5 种, 占有果实入侵植物总数的 2.32%, 分别为辣根、臭芥、抱茎独行菜 (*Lepidium perfoliatum*) 及北美独行菜 (*Lepidium virginicum*)。果实为分果的入侵植物仅有 1 种, 为穗花赛葵。果实为蓇葖果、双悬果的入侵植物各有 3 种, 分别为飞燕草、长春花 (*Catharanthus roseus*)、马利筋 (*Asclepias curassavica*) 和细叶旱芹 (*Cyclosporum leptophyllum*)、野胡萝卜、南美天胡荽。果实为荚果的入侵植物共有 26 种, 占有果实入侵植物的 11.61%, 分别为银荆、阔荚合欢及紫穗槐等。果实为坚果的入侵植物共有 10 种, 占有果实入侵植物总数的 4.46%, 分别为木麻黄、番杏及土荆芥等; 果实为瘦果的入侵植物共有 51 种, 占有果实入侵植物总数的 22.77%, 分别为大麻、小叶冷水花及珊瑚藤等。果实为蒴果的入侵植物共有 65 种, 占比最高 (29.02%), 分别为大花马齿苋、土人参及球序卷耳等。果实为颖果的入侵植物共有 24 种, 占有果实入侵植物总数的 10.71%, 如节节麦、燕麦草及野燕麦等。果实为肉果的入侵植物共有 17 种, 其中果实为核果的植物仅有 1 种, 为火炬树; 果实为浆果的植物共有 16 种, 分别为垂序商陆、仙人掌及草胡椒等。

2.6.3 繁殖方式 由表 8 可知, 在江苏 229 种外来入侵植物中, 以克隆繁殖为主的植物共有 19 种, 占江苏外来入侵种的 8.30%, 分别为速生槐叶萍、细叶满江红、落葵薯、喜旱莲子草及仙人掌等。兼有克隆繁殖与种子繁殖的植物共有 70 种, 占江苏外来入侵植物的 30.57%, 分别为珊瑚藤、垂序商陆、紫茉莉、

表8 江苏外来入侵植物的繁殖方式

Table 8 Reproductive modes of alien species in Jiangsu Province

繁殖方式	种数	占总种数比(%)
克隆繁殖	19	8.30
种子繁殖和克隆繁殖	70	30.57
种子繁殖	140	61.13
总计	229	100

球序卷耳及鹅肠菜等。种子繁殖的入侵植物种类最多,共有140种,占江苏外来入侵植物的61.13%,分别为木麻黄、大麻、小叶冷水花、光叶子花、锦绣苋及青葙等。

江苏外来入侵植物中以克隆方式繁殖的植物有89种(包括兼有种子繁殖与克隆繁殖的植物),占江苏外来入侵植物的38.86%。将其克隆繁殖方式分为断枝、块根、根劈裂、根状茎、块茎、匍匐茎、根蘖、不定根、鳞茎、地下芽、宿根、分蘖、断茎与断根14种类型(图2)。

由图2可知,以断枝繁殖的有6种植物,分别为速生槐叶萍、细叶满江红、水盾草(*Cabomba caroliniana*)、豆瓣菜(*Nasturtium officinale*)与稀脉浮萍;以块根繁殖的植物有3种,分别为珊瑚藤、紫茉莉与五爪金龙;以根劈裂克隆繁殖的有11种植物,分别为球序卷耳、辣根及红车轴草(*Trifolium pratense*)等;以根状茎克隆繁殖的植物有22种,分别为落葵薯、肥皂草及药蜀葵(*Althaea officinalis*)等;以块茎繁殖的植物有3种,分别为落葵薯、菊芋(*Helianthus tuberosus*)及香附子(*Cyperus rotundus*);以匍匐茎繁殖的植物分别为喜旱莲子草、刺花莲子草(*Alternanthera pungens*)及匍根大戟(*Euphorbia serpens*)等;以根蘖繁殖的植物有12种,分别为辣根、银荆及紫穗槐;以不定根繁殖的植物有7种,分别为草胡椒

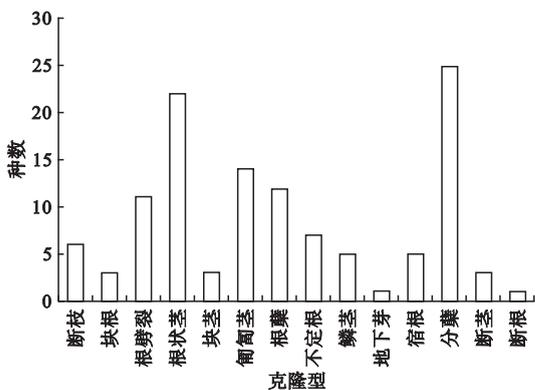


图2 江苏外来入侵植物的克隆方式

Fig.2 Cloning methods of alien species in Jiangsu Province

(*Peperomia pellucida*)、月光花(*Ipomoea alba*)、豚草、三裂叶豚草(*Ambrosia trifida*)及剑叶金鸡菊(*Coreopsis lanceolata*)等;以鳞茎繁殖的植物有5种,分别为大花酢浆草、红花酢浆草(*Oxalis corymbosa*)及花朱顶红(*Hippeastrum vittatum*);以地下芽繁殖的植物仅有1种,为穗花赛葵(*Malvastrum americanum*);克隆型为宿根型的植物有5种,分别为黄花月见草、粉花月见草(*Oenothera rosea*)、金鸡菊、大花金鸡菊(*Coreopsis grandiflora*)及肿柄菊(*Tithonia diversifolia*);克隆型为分蘖的植物有25种,分别为毛地黄(*Digitalis purpurea*)、长叶车前(*Plantago lanceolata*)、节节麦(*Aegilops triuncialis*)及野燕麦(*Avena fatua*)等;克隆型为断茎型与断根型的植物分别有3种与1种,其中断茎型为五叶地锦、南美天胡荽(*Hydrocotyle vulgaris*)与燕麦草,断根型为喜旱莲子草。由以上分析可知,江苏外来入侵植物中的克隆植物以分蘖型为主。

3 讨论

江苏外来入侵植物种类丰富,区系结构复杂。江苏外来入侵植物51科140属229种,其中蕨类植物有2种,被子植物共49科138属227种,并以双子叶植物占主要优势。单种科与寡种科在科、属水平上占优势,但大型科在植物种数上居于明显的优势地位,在植物区系组成占主导地位,说明区系内部各科之间的优势差别较明显。大型科为菊科、豆科与禾本科,所含种数占入侵植物总数的41.05%,这与浙江省外来入侵植物调查结果一致(闫小玲等,2014)。菊科、豆科及禾本科均为世界分布科,具有广泛的适应性,能迅速适应新环境并在当地建立种群,如菊科的加拿大一枝黄花、豚草等已在江苏省遍布并建立种群,侵占本地种的生存空间。Pyšek等(2008)认为,入侵能力强的植物通常具有生长速率快、种子质量小、适应高资源的生境和抗干扰等特征。本研究中,菊科、豆科、禾本科植物的花、果实等均有利于它们的入侵。种子结构对于外来入侵植物的扩散过程影响明显,一般种子特殊结构如冠毛、尖刺结构等对扩散有增强作用(全威等,2018)。如菊科植物以草本植物居多,瘦果小而量多,且部分具有冠毛,利于种子扩散;豆科植物适应性强,其根系庞大并具固氮能力,能适应各种生境(陈文新等,2004)。

江苏外来入侵植物区系具有明显热带性质。从科的地理成分来看,热带分布类型(84.62%)占有绝

对优势,温带分布类型仅占 15.38%,具有明显的热带性质;从属的地理成分来看,热带分布类型(57.39%)、温带分布类型(42.61%)均占较大比例,但以热带性质更为明显,表明该区系热带性质明显。江苏入侵植物原产地以南美洲与北美洲为主,因北美与东亚基本处于相同的纬度范围,两地气候较为相似;另外在世界植物区系范围内,北美和东亚植物区系的间断分布非常普遍(吴征镒,1980)。北美大陆的地理隔离,积累了许多可能扩散分布的植物种类,一旦这些种类获得了在另外大陆生境生存的机会就能良好生长,蔓延扩散(吴鲁夫等,1960)。

江苏外来入侵植物以草本植物为主。江苏外来入侵植物以草本植物为主且以一二年生草本植物居多。生活型是植物在历史发展过程中对于一定生活环境长期适应所形成的基本生存形式。植物的生活型在某种程度上反映了植物体和环境的统一性,也是对一定地区自然地理条件的综合反映(刘濂,1996)。草本植物较木本植物进化,适应环境的能力更强。外来种到达新地区的初始阶段,奠基种群往往很小,小种群要在高强度干扰的环境中存活、适应并扩散,必须具备应付环境和遗传不确定性的能力,此时这种短命植物的 r -选择生活对策具有明显优势,草本植物繁殖能力强且具有较高表型可塑性,使其更可能成为入侵种(张斯斯等,2013;李博等,2001),如喜旱莲子草、加拿大一枝黄花等恶性入侵植物都为一年生草本。

繁殖能力的大小对外来植物能否入侵成功具有重要影响,繁殖能力与植物的入侵能力呈正相关(Barrett,1983)。在对江苏省 229 种外来入侵植物的花径、花色、花期统计分析发现,小花占外来入侵植物的 49.56%,花色以黄色为主,且多数(64.61%)入侵植物的花期在 5 个月以下,这可能是由于在传粉过程中花的大小影响了植物对传粉者的吸引力和繁殖成功率,而构建较大花与延长开放时间会增加其维持自身的资源消耗。花期较长也会因为繁殖成本高而影响生长,不利于入侵植物克服恶劣的环境,而较短花期有利于植物适应入侵的初期阶段。已有研究指出,花色与传粉系统极显著相关,绿色花与风媒关联,红色花与鸟类传粉关联,天蛾和蝙蝠传粉与白色花关联,中大型蜂类与黄花关联(Machado *et al.*,2004),鲜艳的黄色花可以为昆虫提供强烈的视觉信号,从而促进传粉。此外,江苏外来入侵植物的果实类型以干果为主,而干果主要靠风力传播,利于

其扩大种群范围,从而实现入侵(Gassó *et al.*,2010)。

江苏外来入侵植物的繁殖方式包括种子繁殖、克隆繁殖、种子与克隆繁殖 3 种方式,多样化的繁殖方式在很大程度上增强了外来植物的种群扩散能力。有性繁殖在应对不同环境的适应方面具一定的优势,所产生的后代具有不同遗传性状,丰富的遗传变异能最有效地适应复杂多变的环境(钟章成,1995)。克隆繁殖产生的后代与母体遗传相同,极少数有突变的可能,其后代的存活率比由种子形成的幼苗高得多(钟章成,1995)。部分外来入侵植物采用克隆繁殖可能是因为母体能够为克隆后代提供充足的营养,使幼苗更容易度过幼龄期以实现成功定居,而且不必付出与有性繁殖相伴的代价,如生产花冠、花蜜的资源消耗(Doust,1987),尤其是湿地植物主要靠克隆繁殖体实现传播入侵(Wang *et al.*,2010)。克隆植物在江苏外来入侵植物中占 38.86%,并以分蘖繁殖方式居多。许多入侵植物兼有克隆繁殖和种子繁殖,其危害严重性与其多样化的繁殖方式和适应机制紧密相关(Baker,1974;Liu *et al.*,2008;Roiloa *et al.*,2014)。如恶性入侵水生植物凤眼蓝具有复杂的繁育系统,既可以进行有性繁殖,又有旺盛的、依靠匍匐茎的克隆繁殖。

江苏省作为开放型省份,交通便捷、气候适宜、对外贸易频繁,在外来入侵植物管治方面面临严峻挑战。生物入侵的途径主要为自然传入、人为引进与随人类活动无意传入三种。中国 50% 的外来入侵植物是作为牧草或饲料、观赏植物、纤维植物、药用植物、蔬菜、草坪植物而引进的(徐海根等,2004)。因此,在引进植物时需谨慎考虑,不可盲目引进,以免造成严重后果。此外,还需加强植物检疫,从源头上杜绝外来植物进入。对于邻省的入侵植物也需警惕,一旦发现在本省出现,应在其建立种群之前及时铲除。目前,仍然缺乏有关江苏外来入侵植物分散与扩张机制的相关研究,因此,应当建立江苏外来种群监测评估系统,同时进一步深入研究外来物种的扩散机制,为江苏外来入侵植物防控提供理论依据。

参考文献

- 陈文新,汪恩涛,陈文峰. 2004. 根瘤菌-豆科植物共生多样性与地理环境的关系. 中国农业科学, 37(1): 81-86.
董 鸣,于飞海,安树青,等. 2007. 植物克隆性的生态学意

- 义. 植物生态学报, **31**(4): 549-551.
- 董 鸣, 于飞海. 2007. 克隆植物生态学术语和概念. 植物生态学报, **31**(4): 689-694.
- 董红云, 李 亚, 汪 庆, 等. 2010. 江苏省3个自然保护区外来入侵植物的调查及分析. 植物资源与环境学报, **19**(1): 86-91.
- 冯建祥, 黄 茜, 陈 卉, 等. 2018. 互花米草入侵对盐沼和红树林滨海湿地底栖动物群落的影响. 生态学杂志, **37**(3): 943-951.
- 高 末, 胡仁勇, 陈贤兴, 等. 2011. 干扰、地形和土壤对温州入侵植物分布的影响. 生物多样性, **19**(4): 424-431.
- 江苏省地方志编纂委员会. 2005. 江苏省志, 生物志·植物篇. 南京: 凤凰出版社.
- 江苏省植物研究所. 1977. 江苏植物志(上册). 南京: 江苏人民出版社.
- 类延宝, 肖海峰, 冯玉龙. 2010. 外来植物入侵对生物多样性的影响及本地生物的进化响应. 生物多样性, **18**(6): 622-630.
- 李 博, 徐炳声, 陈家宽. 2001. 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, **9**(4): 446-457.
- 李 亚, 姚 淦, 邓 飞, 等. 2008. 江苏省外来种子植物的初步调查和分析. 植物资源与环境学报, **17**(4): 55-60.
- 李振宇, 解 焱. 2002. 中国外来入侵种. 北京: 中国林业出版社.
- 林金成, 强 胜, 吴海荣, 等. 2004. 毒麦(*Lolium temulentum* L.). 杂草科学, **22**(3): 53-54.
- 刘 濂. 1996. 河北植被. 北京: 科学出版社.
- 马金双. 2013. 中国入侵植物名录. 北京: 高等教育出版社.
- 潘怀剑, 田家怡. 2001. 山东省的外来有害植物. 植物检疫, **15**(4): 245-246.
- 全 威, 王 明, 桑卫国. 2018. 外来入侵植物风传扩散过程模拟模型选择. 生态学杂志, **37**(9): 2840-2848.
- 寿海洋, 闫小玲, 叶 康, 等. 2014. 江苏省外来入侵植物的初步研究. 植物分类与资源学报, **36**(6): 793-807.
- 宋明华, 董 鸣. 2002. 群落中克隆植物的重要性. 生态学报, **22**(11): 1960-1967.
- 苏婊丽, 赵言文, 王月华. 2008. 江苏省农业生态系统外来入侵动植物初步研究. 江西农业学报, **20**(10): 117-120.
- 吴海荣, 强 胜, 段 惠, 等. 2004. 豚草(*Ambrosia artemisiifolia* L.). 杂草科学, **22**(2): 50-52.
- 吴鲁夫 EB, 仲崇信, 等译. 1960. 历史植物地理学引论. 北京: 科学出版社.
- 吴征镒. 1980. 中国植被. 北京: 科学出版社.
- 徐海根, 强 胜. 2004. 中国外来入侵物种编目. 北京: 中国环境科学出版社.
- 徐海根, 强 胜. 2011. 中国外来入侵生物. 北京: 科学出版社.
- 闫小玲, 寿海洋, 马金双. 2012. 中国外来入侵植物研究现状及存在的问题. 植物分类与资源学报, **34**(3): 287-313.
- 闫小玲, 寿海洋, 马金双. 2014. 浙江省外来入侵植物研究. 植物分类与资源学报, **36**(1): 77-88.
- 严岳鸿, 邢福武, 黄向旭. 2004. 深圳的外来植物. 广西植物, **24**(3): 232-238.
- 杨逢建, 张衷华, 王文杰, 等. 2007. 八种菊科外来植物种子形态与生理生化特征的差异. 生态学报, **27**(2): 442-449.
- 张斯斯, 肖宜安. 2013. 中国外来入侵植物生活型与性系统多样性. 植物研究, **33**(3): 351-359.
- 张中信, 张小平, 刘慧君, 等. 2010. 加拿大一枝黄花和一枝黄花化感作用比较研究. 植物科学学报, **28**(2): 191-198.
- 郑景明, 李俊清, 孙启祥, 等. 2008. 外来木本植物入侵的生态预测与风险评估综述. 生态学报, **28**(11): 5549-5560.
- 钟章成. 1995. 植物种群的繁殖对策. 生态学杂志, **14**(1): 37-42.
- Baker HG. 1974. The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **5**: 1-24.
- Barrett SCH. 1983. Crop mimicry in weeds. *Economic Botany*, **37**: 255-282.
- Doust LL. 1987. Population dynamics and local specialization in a clonal perennial (*Ranunculus Repens*). III. Responses to light and nutrient supply. *Journal of Ecology*, **75**: 555-568.
- Gassó N, Sol D, Pino J, et al. 2010. Exploring species attributes and site characteristics to assess plant invasions in Spain. *Diversity and Distributions*, **15**: 50-58.
- Liu J, He WM, Zhang SM, et al. 2008. Effects of clonal integration on photosynthesis of the invasive clonal plant *Alternanthera philoxeroides*. *Photosynthetica*, **46**: 299.
- Machado IC, Lopes AV. 2004. Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. *Annals of Botany*, **94**: 365-376.
- Pyšek P, Richardson DM. 2008. Traits associated with invasiveness in alien plants: Where do we stand. *Biological Invasions*, **193**: 97-125.
- Ricklefs RE, Guo QF, Qian H. 2008. Growth form and distribution of introduced plants in their native and non-native ranges in Eastern Asia and North America. *Diversity and Distributions*, **14**: 381-386.
- 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.
- Wang N, Yu FH, Li PX, et al. 2010. Clonal integration supports the expansion from terrestrial to aquatic environments of the amphibious stoloniferous herb *Alternanthera philoxeroides*. *Plant Biology*, **11**: 483-489.

作者简介 侯新星,女,1995年生,硕士研究生,主要从事园林植物研究。E-mail: aster26@sina.cn
责任编辑 李凤芹