

植物性状与苏浙沪地区草本被子植物入侵性的关系

陈国奇^{1,2}, 李明丽², 郭水良^{1,*}, 印丽萍³

(1. 上海师范大学 生命与环境科学学院, 上海 200234; 2. 浙江师范大学 化学与生命科学学院, 金华 321004;

3. 上海出入境检验检疫局, 上海 200135)

摘要: 为了解我国苏浙沪地区入侵植物的性状分布特点并进一步探索性状与植物入侵性间的关系, 以其境内 1750 种草本被子植物为研究对象, 分别计测了 23 个与生态适应相关的性状, 这些性状涉及繁殖及扩散机制、生活史长短、繁育系统、生活型、传粉方式、植株是否有毒有刺、适应的生境类型等。然后采用 SPSS15.0 统计软件, 分别比较了 23 个性状分布在杂草与非杂草、外来入侵杂草与本地杂草、外来入侵杂草与外来非杂草间的差异性; 并通过相关分析的方法分别研究了性状与入侵性间的相关性。结果表明, 在该地区的草本被子植物中, 杂草的性状分布特点与外来入侵种的性状分布特点相吻合; 入侵性物种倾向于具有种子产量高、有性繁殖传播单元(种子或果实)个体小而常有粘液、刺或芒、花两性、风媒传粉、植株有毒、无营养繁殖器官、生活史短、寄生、植株直立、莲座状生活型、水生、旱生、湿生、阳生、不耐荫等性状; 而植株有刺、中生等性状在入侵性植物中的比例较低。上述性状很可能对该地区的入侵性植物具有重要的生态适应意义, 然而, 在评估植物入侵性时, 还应充分考虑到人的引种、栽培、防治偏好的影响。

关键词: 中国苏浙沪地区; 草本被子植物; 入侵性; 性状; 相关性

文章编号: 1000-0933(2009)09-5145-07 中图分类号: Q143, X16, Q948 文献标识码: A

What attributes correlate with invasiveness of herbaceous angiosperms in Jiangsu, Zhejiang and Shanghai?

CHEN Guo-Qi^{1,2}, LI Ming-Li², GUO Shui-Liang^{1,*}, YIN Li-Ping³

1 College of Life and Environment Science, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China

2 College of Chemistry and Life Science, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China

3 Shanghai Entry-Exit Inspection And Quarantine Bureau, Shanghai 200135, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 5145 ~ 5155.

Abstract: To identify attributes of plant invaders in Jiangsu, Zhejiang and Shanghai, China, we recorded 23 attributes (referring to: reproduction, mode of spread, life span, breeding system, life form, pollination, mode of defensive, and adaptation to habitats) for 1750 herbaceous angiosperms from the investigated area. We compared these attributes for weeds and nonweeds, invasive and native weeds, and invasive weeds and nonweedy exotic plants in SPSS 15.0. The results indicate that native and exotic weedy plants share common attributes. In Jiangsu, Zhejiang and Shanghai, China, weedy herbaceous angiosperms are likely to be shade intolerant, toxic, annual or biennial rosette plants adapted to wet, xeric or sunny habitats. They are likely to have wind pollinated bisexual flowers and produce many small mucilaginous or armed seeds. They are unlikely to be mesophytes, have thorns, or reproduce vegetatively. The above attributes probably confer an ecological advantage to the weedy plants, while one should not ignore the influence of humane preference on the introduction, cultivation, and control of exotic plant species.

基金项目: 上海市教委资助项目(06ZZ20 和 J50401); 上海市科委技术标准专项资助项目(07DZ05020); 国家质检总局科技计划资助项目(科研专项 08-03)

收稿日期: 2008-08-19; **修订日期:** 2009-04-10

致谢: 感谢 Dr. Steve Sutherland(USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory)对英文摘要的修改润色。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guoshuiliang@163.com.

Key Words: Jiangsu; Zhejiang and Shanghai; herbaceous angiosperms; invasiveness; traits; correlation

外来植物入侵引起了严重的社会和生态环境问题,研究和预测植物的入侵性成为当前生态学研究亟待解决的一个热点问题^[1~3]。外来入侵植物,也被称为外来入侵杂草,是指多生于干扰生境下,在原产地以外地区建群而不受欢迎的非目的植物^[4, 5]。而杂草是多生于干扰生境下不受欢迎的非目的植物^[1],因此,杂草是入侵性较高的一个类群。有研究表明,植物的入侵性与其杂草性(在原产地的分布特点和扩散程度)关系最为密切^[4],因而,杂草性与入侵性是一致的,都表现为善于适应资源丰富、人工干扰强烈的生境条件^[5],可以通过对杂草性的研究来研究植物的入侵性^[1]。

如何预测外来植物的入侵性,入侵种具有哪些性状? Baker^[6]早在 1974 就列出了“理想杂草”的 12 个性状,这些具体的性状总体上与植物的入侵性密切相关并得到一些研究印证^[1, 7]。然而,“理想杂草”性状是基于有限种类进行观察和分析得到的,缺乏普遍适用性,不少研究也发现了例外甚至相反的情况^[1, 4]。为进一步寻找与植物入侵性密切相关的性状,研究人员在较大的种类范围内进行了统计、研究和分析。例如, Sutherland^[1]对分布于美国的 19960 种植物的 10 类性状与杂草性间的关系进行了统计分析,发现生活史长度是影响杂草性最重要的性状,本地杂草更倾向于 1、2 年生、适应湿地环境、有毒等,而入侵杂草更倾向于木本、多年生、雌雄同株和自花传粉等; Daehler^[7]对世界范围内的入侵种和农田杂草进行统计分析后提出,具水生或半水生、草本、能进行生物固氮、茎攀援、能进行无性繁殖的木本等性状的植物很有可能成为入侵种; Crawley 等^[8]对分布于英国的外来植物和本地植物的生活史特征进行了比较,发现植株高大、种子较大、种子具有较长的休眠时间可以帮助植物成功地入侵,而植物的扩散方式、杂交生殖机制以及叶片形状与植物的入侵性并不相关; Rejmánek^[9]对松属植物的研究发现,木本植物的入侵性与种子小、生活史短等性状显著相关。陈国奇等^[10]应用典范对应分析对金华市郊外来入侵杂草的 34 个植物学性状和 12 个环境因子间关系进行了研究,发现不同环境下入侵种表现出不同的适应策略,在土壤含水量相对较高的区域,外来杂草多数具有营养繁殖能力、多年生、有根状茎、两侧对称花等性状;而在经常翻耕的土壤中,外来杂草多数为一年生;在住宅周围和交通频繁地段,外来杂草有毒的比例高,种子较大。

不同地区由于气候地理条件、生态环境的差异,入侵植物往往采取不同的生活史对策,与入侵性相关的适应特征也会有差异。因此,不太可能提出一份普遍适用于所有入侵植物共有的性状目录。所以,在针对某一特定区域进行外来植物入侵性评估之前,应首先了解该区域入侵性植物在生态适应特征以及性状分布上的特点。

江苏、上海和浙江地处中国的东南部经济和交通最为发达的地区,对外交流活跃,地形、气候多样而生境类型复杂多样,因而植物种类、杂草和外来入侵杂草种类众多,防治形势严峻。同时,二省一市境内杂草(包括外来入侵植物)绝大多数都为草本被子植物^[3, 11]。因此,本文以苏浙沪境内草本被子植物为研究对象,通过数据分析,旨在了解在我国苏浙沪地区成功的入侵种主要具有哪些性状? 并进一步探讨性状与植物入侵性间的关系。

1 研究方法

1.1 数据来源

根据浙江植物志^[12]、江苏植物志^[13]、上海植物志^[14]、中国植物志^[15]、中国高等植物图鉴^[16]、中国杂草志^[11]、中国农田杂草原色图谱^[17]、世界杂草地理分布^[18]的记载,在浙江、江苏和上海二省一市境内共记载有草本植物 1750 种,其中杂草 667 种。根据野外观察、标本和文献资料查阅,统计 23 个植物学和生态学性状(表 1)在这 1750 种草本植物中的分布。

1.2 统计方法

基于以上方法,构建 1750 × 23 数据矩阵,采用独立样本 *T* 检验(independent-samples *T* test)程序将 23 个性状分别在杂草-非杂草,外来杂草-本地杂草,外来杂草-外来栽培植物间的性状赋值进行比较,检验各性状在

比较类群中是否存在显著差异;同时,采用 Bivariate 相关分析程序分析上述 23 个性状与杂草性间以及其相互之间的 Pearson 相关性;应用 SPSS15.0 统计软件完成本文的相关运行。

表 1 苏浙沪地区 1750 种草本被子植物 23 个性状及其赋值方法

Table 1 List and coding methods of 23 attributes of 1750 herbaceous angiosperms in Jiangsu, Shanghai and Zhejiang		
序号 Number	性状 Traits	编码 Coding
1	单株种子产量 Seed production of plant individual	5 级(>20 000 粒)
		4 级(2 000 ~20 000 粒)
		3 级(200 ~2 000 粒)
		2 级(20 ~200 粒)
		1 级(<20 粒)
2	传播体大小 * Diaspore size	5 级(直径 >5mm 或长度 >8mm)
		4 级(直径:4 ~5mm 或长度:6 ~8mm)
		3 级(直径:3 ~4mm 或长度:4 ~6mm)
		2 级(直径:2 ~3mm 或长度:2 ~4mm)
		1 级(2mm > 直径或 2 mm > 长度)
3	传播体有粘液 Mucous diaspore	是 Yes 1、非 No 0
4	传播体有毛 Diaspore with hairs	是 1、非 0
5	传播体有刺或芒 Diaspore with thorns or awns	是 1、非 0
6	繁育系统 Breeding system	单性花 1、两性花 0
7	风媒传粉 Wind pollination	是 1、非 0
8	营养繁殖器官 Vegetative reproduction organ	有 1、无 0
9	植株有毒 Poisonous plant	是 1、非 0
10	植株有刺 Plant with thorns	是 1、非 0
11	生活史长短 Life span	1 年生或 2 年生 0、多年生 1
12	寄生 Parasitic life form	是 1、非 0
13	植株直立 Erect life form	是 1、非 0
14	匍匐状生活型 Creeping life form	是 1、非 0
15	攀援或缠绕生活型 Climbing or voluble life form	是 1、非 0
16	莲座状生活型 Rosette life form	是 1、非 0
17	水生 Aquatic plant	是 1、非 0
18	湿生 Wet plant	是 1、非 0
19	中生 Mesophyte	是 1、非 0
20	旱生 Xerophilous plant	是 1、非 0
21	阴生 Shade plant	是 1、非 0
22	中等耐荫 Moderate tolerance to shade	是 1、非 0
23	阳生 Sunny plant	是 1、非 0

* 传播体: 在表格中传播体皆指有性繁殖传播单元,即果实或种子 Diaspore means the sexual reproductive dispersal unit-seeds or fruits

2 结果与分析

在江浙沪地区的 1750 种草本被子植物中,杂草计有 667 种,占全部种类的 38. 11%,其中外来入侵杂草 75 种,占全部种类的 4. 29%,占全部杂草的 11. 24%,另外包括 96 种外来栽培植物。23 个指标在全部草本植物、杂草、非杂草、外来杂草、本地杂草、外来栽培植物的平均值见表 2。

2.1 性状平均值在不同类群间的比较

表 2 显示,与非杂草相比,杂草中植株单株种子产量高,个体小,传播体往往带有粘液、有刺或芒,两性花、风媒传粉、植株有毒的比例也高,多表现为寄生(总共统计到的 8 种寄生植物皆为杂草)、植株直立和莲座状生活型,更能够适应于相对极端的生境条件(例如水生、旱生、阳生等),杂草能够进行营养繁殖的概率也少于非杂草,与之相对应的是它们的生活史更短,营养体往往缺少钩刺。

性状在外来非杂草与外来入侵杂草之间的分布规律与它们在杂草与非杂草之间的相似(表 2)。与外来非杂草相比,外来入侵种的种子产量高、传播体小,生活史短、莲座状生活型、风媒传粉、传播体带粘液、植株有毒、水生、旱生、阳生;较少地具有营养繁殖器官、植株有刺、中生、中等耐荫。寄生性状因为样本太少而无法分析。

表 2 苏浙沪地区 1750 种草本被子植物不同类群 23 个性状比较

Table 2 Comparison of 23 attributes among different groups of 1750 herbaceous angiosperms in Jiangsu, Shanghai and Zhejiang

性状号 Strait number	性状平均值 Mean value of character						差异显著性 Significance of difference		
	全部种 Total species	非杂草 Nonweed species	杂草 Weed species	本地杂草 Native weeds	外来杂草 Exotic weeds	外来栽培植物 Exotic cultivated species	杂草-非杂草 Weeds- nonweeds	外来杂草-本地杂草 exotic weeds- native weeds	外来杂草与外来栽培植物 Exotic weeds- Exotic cultivated species
1	2.87	2.52	3.44	3.41	3.67	2.17	***	NS	***
2	2.53	2.59	2.42	2.39	2.67	3.09	**	NS	*
3	0.03	0.01	0.07	0.07	0.09	0.00	***	NS	**
4	0.16	0.15	0.17	0.17	0.19	0.27	NS	NS	NS
5	0.14	0.11	0.19	0.18	0.21	0.10	***	NS	NS
6	0.12	0.16	0.07	0.07	0.08	0.08	***	NS	NS
7	0.18	0.10	0.32	0.33	0.21	0.06	***	*	**
8	0.54	0.68	0.30	0.31	0.20	0.77	***	*	**
9	0.07	0.05	0.11	0.09	0.20	0.02	***	*	***
10	0.22	0.32	0.06	0.06	0.09	0.41	***	NS	***
11	0.59	0.65	0.50	0.53	0.29	0.46	***	***	*
12	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	**	NS	NS
13	0.69	0.62	0.80	0.81	0.77	0.76	***	NS	NS
14	0.10	0.09	0.10	0.11	0.07	0.09	NS	NS	NS
15	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.06	NS	NS	NS
16	0.02	0.01	0.04	0.03	0.08	0.00	**	NS	**
17	0.05	0.02	0.09	0.10	0.03	0.01	***	**	**
18	0.27	0.24	0.33	0.36	0.07	0.02	***	***	NS
19	0.49	0.60	0.31	0.33	0.19	0.91	***	**	***
20	0.24	0.18	0.33	0.28	0.72	0.06	***	***	***
21	0.20	0.29	0.05	0.05	0.03	0.01	***	NS	NS
22	0.40	0.46	0.31	0.34	0.05	0.82	***	***	***
23	0.42	0.25	0.70	0.66	0.97	0.19	***	*	***

NS: $P \geq 0.05$, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; 序号 1~23 表所表示的性状同表 1 the numbers of characters are the same as in Table 1

成对样本 T 检验结果表明,杂草与非杂草性状差异在所有植物类群与在外来植物类群间极显著相关($N = 23$; $r = 0.825$; $P < 0.001$)。

与本地杂草相比,外来入侵杂草更倾向于植株有毒、旱生、阳生、不具有营养繁殖器官、生活史短,并且在外来杂草中,风媒传粉、水生、湿生、中生、中等耐荫种类比例较低(表 2)。

2.2 不同性状与入侵性间的相关性

入侵性与 23 个性状的相关分析结果见表 3。在 23 种性状中,除了传播体有毛、植株匍匐状生活型、攀援或缠绕状生活型外,其他 20 个性状均与入侵性显著相关。阳生、单株种子产量、风媒传粉、植株直立、传播体有粘液、水生、旱生、植株有毒、传播体有刺或芒、湿生、莲座状生活型、寄生等性状与植物的入侵性显著正相关;而具有营养繁殖器官、阴生、中生、植株有刺、中等耐荫、生活史长、花单性、传播体大等性状与植物的入侵性显著地负相关。

3 讨论

上述统计结果明确地验证了杂草性(通过杂草与非杂草的比较反映)与入侵性(通过入侵植物和外来非入侵植物比较反映)是高度一致的,也即,杂草与非杂草性状差异在所有植物类群与外来植物类群中是一致的。综合上述统计结果表明,在苏浙沪地区草本被子植物中,入侵种倾向于具有种子产量高,有性传播单元个体小,常有粘液、刺或芒、花两性、风媒传粉、没有营养繁殖器官如根状茎等、植株有毒、生活史短、寄生、植株直立、莲座状生活型、水生、旱生、湿生、阳生、不耐荫等性状;植株有刺、中生等性状在入侵性植物中的比例较低。

表 3 23 个性状与杂草性关系的相关分析结果

Table 3 Correlation coefficients between 23 attributes and weediness

性状 Characters	相关系数 Correlation coefficient	性状 Characters	相关系数 Correlation coefficient
阳生 Sunny plant	0.440 **	营养繁殖器官 Vegetative reproduction organ	-0.372 **
单株种子产量 Seed production of plant individual	0.382 **	阴生 Shade plant	-0.294 **
风媒传粉 Wind pollination	0.279 **	中生 Mesophyte	-0.265 **
植株直立 Erect life form	0.191 **	植株有刺 Plant with thorns	-0.225 **
传播体有粘液 * Mucous diaspore	0.173 **	中等耐阴 Moderate tolerance to shade	-0.152 **
水生生活型 Aquatic plant	0.158 **	生活史长短 Life span	-0.144 **
旱生 Xerophilous plant	0.149 **	繁育系统 Breeding system	-0.122 **
植株毒性 Poisonous plant	0.113 **	传播体大小 Diaspore size	-0.067 **
传播体有刺或芒 Diaspore with thorns or awns	0.105 **	传播体有毛 Diaspore with hairs	0.034
湿生 Wet plant	0.099 **	匍匐状生活型 Creeping life form	0.015
莲座状生活型 Rosette life form	0.093 **	攀援或缠绕生活型 Climbing or voluble life form	0.003
寄生 Parasitic life form	0.086 **		

* 传播体: 在表格中传播体皆指有性繁殖传播单元,即果实或种子 Diaspore means the sexual reproductive dispersal unit-seeds or fruits

有研究显示,生活史短而能产生量大并能适应远距离传播的种子^[6, 19~21]、植株有毒^[1]、不耐荫^[1]、寄生^[20]等性状可以增强植物的入侵性。这些与统计结果一致。

入侵种往往具有更加灵活的生态适应策略^[22],尤其善于适应资源充足以及多变的干扰生境条件^[5,23]。Funk 等^[24]对 19 对分别代表各个主要植物类群的入侵种和非入侵种的对比研究表明,入侵植物具有较高的资源利用效率,即使在资源匮乏的环境下仍具有竞争优势。这些与统计结果所显示的入侵种在更适于极端环境(阳生、水生、旱生、湿生)是一致的。入侵性植物作为一个类群,具有多面的生态适应能力,其中不乏有适应各种干扰生境的物种,如空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)可以适应环境水分和营养截然不同的生境条件^[25]。

植物入侵的过程首先是成功地定植并实现种群的维持。而有性生殖对于上述过程至关重要。传粉作为有性生殖的重要一步,其成功与否可以直接影响入侵的成败。在新的入侵地,自花传粉、风媒传粉等可以有效地帮助植物摆脱原生态条件的束缚,进而成功地定植和入侵^[1,6,20]。统计结果也显示,无论是在所有植物类群还是在外来植物类群中风媒传粉在杂草中的比例都显著要高于非杂草。

然而,结果还显示风媒传粉在入侵杂草中的比例显著低于本地杂草。Aronson 等^[26]的研究结果显示,虫媒花在入侵种中的比例显著高于在本地种中的比例,然而该性状与入侵种的扩散范围没有关系。这说明,该性状在入侵种中的高比例很可能与人们的引种和栽培有关,因为虫媒花往往更具有观赏性^[4]。这也表明在评估植物入侵性时应充分考虑到人们的栽培和引种偏好的影响。

个小而产量高的种子明显有益于植物的传播和扩散,从而提高植物的入侵性,世界上许多恶性杂草都表现出这一性状^[19],如野塘蒿(*Conyza bonariensis*)、小飞蓬(*Conyza canadensis*)等。Rejmánek^[9]以及 Grotkopp 等^[27]的研究都表明种子较小显著地提升植物在干扰生境中的入侵性。然而,另一方面,种子(果实)较大有益于早期幼苗的生长以及应对环境胁迫等,从而增强其入侵性^[28]。Daws 等^[29]对美国加利福尼亚地区禾本科和菊科 376 种植物的统计发现,平均而言,入侵种比本地种具有更大的种子。Crawley 等^[8]的研究也表明英国的外来植物较本地植物具有较大的种子。Williamson 等^[4]对英国 1777 种种子植物的统计分析表明,种子大小与入侵性间没有显著关系。因此,在不同地区,种子(有性繁殖传播单元)大小与入侵性间的关系可能会不一致。本文的统计结果显示,在苏浙沪地区,入侵性植物显著地倾向于具有个小而产量高的种子。并且,与种子(果实)大小相比,其数量与入侵性间的相关系数更高,因而对入侵性的影响更明显。

Baker^[6]提出“理想杂草”应该具有较强的无性繁殖和再生能力。单就性状本身而言,强大的营养繁殖能

力有益于入侵性植物的种群维持和扩张,如加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)^[30]。然而,系统地考虑各方面的影响,具有营养繁殖能力未必有利于植物,尤其是草本植物的入侵性,甚至相反。Sutherland^[1]的统计分析显示,杂草倾向于较低的无性繁殖能力。这与我们的结果也是一致的。生活史长度与具有营养繁殖器官之间显著正相关($r = 0.276, P < 0.01$),也即,具有根状茎等营养繁殖器官的植物倾向于多年生,而生活史短的植物倾向于缺乏营养繁殖器官。众多的研究已表明,生活史短的植物更能够灵活地适应高度多变的人为干扰环境,从而具有更强的入侵性^[2, 9]。因此,具有营养繁殖器官的植物的入侵性较弱与生活史短的植物具有更强的入侵性是相吻合的。此外,具有营养繁殖器官与种子产量显著负相关($r = -0.258, P < 0.01$)而与其大小显著正相关($r = 0.104, P < 0.01$),结合相关系数的差别以及种子产量和大小对入侵性影响的差别表明,对于自身能量较为有限的草本植物而言,营养繁殖器官明显减少了植物对种子繁殖的投入,从而不利于植物的远距离扩散和入侵。例如,野外观察结合文献资料^[11]表明,与入侵能力近似无营养繁殖器官且植株稍小野塘蒿、小飞蓬相比,加拿大一枝黄花的种子产量明显要低。

Sutherland^[1]的研究发现,有刺植物在杂草中的比例显著高于非杂草,而有刺植物的比例在外来入侵杂草与本地杂草的比较中并无差别。而统计结果刚好与之相反,有刺植物在非杂草中的比例显著高于其在杂草中的比例,而该比例在外来入侵杂草与本地杂草间没有显著差别,这鲜明地反映出有刺不利于草本被子植物的入侵性。造成这一统计学差别的原因除了地理分布原因外,更主要的原因可能在于 Sutherland 的统计中包括了木本杂草,而统计只涉及草本杂草,从而掩盖了人类活动影响的差别。

草本有刺杂草,由于其对人畜显而易见的伤害而又容易被拔除,从而很有可能因人为因素限制了其分布和扩散,这与虫媒花在外来入侵杂草中的比例显著高于其在本地杂草中的比例是一致的。人类活动对入侵性植物的分布所造成的影响甚至超过了气候条件^[31],因而,人类引种和防治的偏好对杂草的性状分布具有直接的影响^[4]。

总体上讲,在苏浙沪地区,对于生活史短、花两性、风媒传粉,种子小而数量多具有适应远距离传播机制、阳生、直立型的外来植物,在引种栽培时要特别地予以警惕,这些性状应该作为本地区外来植物入侵性评估的重要指标,或给予更大的权重。同时根据性状评估植物入侵性时,除了考虑生态适应原因外,还应充分考虑人为因素的影响。

此外,对于不同的生境条件甚至相同条件下的不同入侵种本身都可能会采取不同的适应和入侵策略,因而表现出在性状上各不相同,从而形成不同的生态类群。例如,分布于金华市郊的恶性杂草野塘蒿、小飞蓬、一年蓬(*Erigeron annuus*)等种子小而产量高,而分布同一地区的入侵性物种蓖麻(*Ricinus communis*)、苍耳(*Xanthium sibiricum*)、裂叶牵牛(*Pharbitis nil*)等种子较大产量不高。江浙沪地区横跨南亚热带到暖温带,境内地形复杂,生境类型多样,植物种类繁多,因此,在这 667 种杂草中,肯定还存在着生态类群的分化,不同的生态类群中的杂草,它们的植物学、生态学特征也肯定存在差异,进一步分析这种差异,也许会给外来植物的入侵性评估提供更精细的指标体系。

References:

- [1] Sutherland S. What makes a weed a weed: life history traits of native and exotic plants in the USA. *Oecologia*, 2004, 141: 24–39.
- [2] Guo S L, Chen G Q, Mao L H. Statistics on relationship of invasiveness of angiosperms with DNA C-values. *Acta Ecologia Sinica*, 2008, 8: 3698–3705.
- [3] Weber E, Li B. Plant invasions in China: what is to be expected in the wake of economic development? *BioScience*, 2008, 58: 437–444.
- [4] Williamson M H, Fitter A. The characters of successful invaders. *Biological Conservation*, 1996, 78: 163–170.
- [5] Seastedt T. Resourceful invaders. *Nature*, 2007, 446: 985–986.
- [6] Baker H G. The evolution of weeds. *Annual of Review of Ecological System*, 1974, 5: 1–24.
- [7] Daehler C C. The taxonomic distribution of invasive angiosperm plants: ecological insights and comparison to agricultural weeds. *Biological Conservation*, 1998, 84: 167–180.
- [8] Crawley M J, Harvey P H, Purvis A. Comparative ecology of the native and alien floras of the British Isles. *Philosophical Transactions of the Royal*

- Society, London: Series B, 1996, 351:1251—1259.
- [9] Rejmánek M. A theory of seed plant invasiveness: the first sketch. *Biological Conservation*, 1996, 78: 171—81.
- [10] Chen G Q, Guo S L, Ying L P. Canonical correspondence analysis on relationship between botanical characters of exotic weeds and their environmental factors. *Journal of Zhejiang University (Agricultural and Life Science edition)*, 2008, 34: 571—577.
- [11] Li Y H. *Weeds in China*. Beijing: China Agriculture Press, 1998.
- [12] Flora of Zhejiang Edit Committee. *Flora of Zhejiang*. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing House, 1993.
- [13] Jiangsu Institute of Botany. *Flora of Jiangsu*. Nanjing: Jiangsu People Press, 1977.
- [14] Shanghai Academy of Sciences. *Flora of Shanghai*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 1999.
- [15] Flora of China Edit Committee. *Flora of China*. Beijing: Science Press, 1985.
- [16] Institute of Botany, Chinese Academy of Science. *The Picture Index of Senior China Plant*. Beijing: Science Press, 1975.
- [17] Editorial Committee of Farmland Weeds in China. *Farmland Weeds in China A Collection of Coloured Illustrative Plates*. Beijing: Agricultural Publishing House, 1990.
- [18] Holm L G, Pancho J V, Herberger J P. *A geographical atlas of world weeds*. New York: John Wiley and Sons, 1979.
- [19] Bennett M D, Leitch I J, Hanson L. DNA amounts in two samples of angiosperm weeds. *Annals of Botany*, 1998, 82 (Supplement A): 121—134.
- [20] Pheloung P C, Williams P A, Halloy S R. A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions. *Journal of Environmental Management*, 1999, 57:239—251.
- [21] Weber E, Gut D. Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe. *Journal for Nature Conservation*, 2004, 12:171—179.
- [22] Chun Y J, Collyer M L, Moloney K A, Nason J D. Phenotypic plasticity of native *vs.* invasive purple loosestrife: a two-state multivariate approach. *Ecology*, 2007, 88: 1499—1512.
- [23] Burns J H. A comparison of invasive and non-invasive dayflowers (Comelinaceae) across experimental nutrient and water gradients. *Diversity and Distributions*, 2004, 10:387—397.
- [24] Funk J L, Vitousek P M. Resource-use efficiency and plant invasion in low-resource systems. *Nature*, 2007, 446:1079—1081.
- [25] Pan X Y, Geng Y P, Zhang W J, Li B, Chen J K. The influence of abiotic stress and phenotypic plasticity on the distribution of invasive *Alternanthera philoxeroides* along a riparian zone. *Acta Oecologica*, 2006, 30: 333—341.
- [26] Aronson M F J, Handel S N, Clemants S E. Fruit type, life form and origin determine the success of woody plant invaders in an urban landscape. *Biological Invasions*, 2007, 9:465—475.
- [27] Grotkopp E, Rejmánek M, Rost T L. Toward a Causal Explanation of Plant Invasiveness: Seedling Growth and Life-History Strategies of 29 Pine (*Pinus*) Species. *American Naturalist*, 2002, 159: 396—419.
- [28] Moles A T, Ackerly D D, Webb C O, Tweddle J C, Dickie J B, Westoby M. A brief history of seed size. *Science*, 2005, 307:576—580.
- [29] Daws M I, Hall J, Flynn S, Pritchard H W. Do invasive species have bigger seeds? Evidence from intra- and inter-specific comparisons. *South African Journal of Botany*, 2007, 3: 138—143.
- [30] Huang H, Guo S L, Chen G Q. Reproductive biology in an invasive plant *Solidago canadensis*. *Frontiers of Biology in China*, 2007, 2:196—204.
- [31] Lin W, Zhou G F, Cheng X Y, *et al.* Fast Economic Development Accelerates Biological Invasions in China. *PLoS ONE*, 2007, 2: e1208.

参考文献:

- [2] 郭水良, 陈国奇, 毛俐慧. DNA C-值与被子植物入侵性关系的数据统计分析. *生态学报*, 2008, 8: 3698~3705.
- [10] 陈国奇, 郭水良, 印丽萍. 外来入侵种植物学性状和环境因子间关系的典范对应分析. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2008, 34: 571~577.
- [11] 李扬汉主编. *中国杂草志*. 北京:中国农业出版社,1998.
- [12] 浙江植物志编委会. *浙江植物志*. 杭州:浙江科学技术出版社,1993.
- [13] 江苏省植物研究所. *江苏植物志*. 南京:江苏人民出版社,1977.
- [14] 上海科学院. *上海植物志*. 上海:上海科学技术出版社,1999.
- [15] 中国植物志编委会. *中国植物志*. 北京:科学出版社,1985.
- [16] 中国科学院植物研究所. *中国高等植物图鉴*. 北京:科学出版社,1975.
- [17] 中国农田杂草原色图谱编委会. *中国农田杂草彩色图谱*. 北京:中国农业出版社,1990.