

鸭绿江口湿地外来入侵植物区系、生活型及种类特征

刘利^{1,2*}, 张梅², 姚有庆¹, 季长波^{1,2}, 王鹏¹, 杨东霞¹

¹辽东学院农学院, 辽宁 丹东 118003; ²辽东学院鸭绿江流域研究院, 辽宁 丹东 118003

摘要:【目的】鸭绿江口湿地沿边沿海, 生物入侵形势严峻, 本文旨在探究其外来入侵植物特征的基本信息, 为我国北方滨海湿地入侵植物防控提供支持和参考。【方法】基于植物地理学理论和外业实地踏查法, 同时结合文献查阅和咨询法, 研究鸭绿江口湿地外来入侵植物区系、生活型和种类特征。【结果】鸭绿江口湿地外来入侵植物共有 33 种, 隶属 11 科 26 属, 其中菊科、豆科和苋科是入侵植物的优势科, 占总种数的 57.57%; 植物科的区系以世界分布型为主, 属的区系以泛热带、世界分布型占主导地位; 原产于美洲的种类最多, 占总种数的 51.52%; 生长型以草本植物为主, 占总种数的 90.91%; 生活型以地面芽和一年生植物种数最多, 占总种数的 87.87%; 果实以瘦果类型居多, 占总种数的 27.27%; 扩散方式以混合传播和风力传播为主, 占 63.63%; 湿地内入侵植物危害等级以恶性入侵(Ⅰ级)和严重入侵种(Ⅱ级)为主, 占总种数的 39.4%。【结论】鸭绿江口湿地外来入侵植物种类以菊科、豆科和苋科为主; 原产美洲最多, 以草本植物为主, 混合传播和风力传播占优, 危害严重的种类多。应加强入侵植物监测和预警, 并结合河口、海岸等生境治理, 采取相应措施予以防除。

关键词: 入侵植物; 湿地; 植物区系; 生活型; 鸭绿江口



开放科学标识码
(OSID 码)

Species characteristics, life forms and flora of alien invasive plants in the Yalu River estuary wetland

LIU Li^{1,2*}, ZHANG Mei², YAO Youqing¹, JI Changbo^{1,2}, WANG Peng¹, YANG Dongxia¹

¹College of Agriculture, Liaodong University, Dandong, Liaoning 118003, China;

²Institute of Yalu River Basin Studies of Liaodong University, Dandong, Liaoning 118003, China

Abstract: 【Aim】Due to its coast and border location, the Yalu River estuary wetland is highly susceptible to biological invasion. This study aims to examine the invasive status of alien plant species in this area and provide a scientific basis for their effective management and decision-making within the estuarine wetland ecosystem. 【Method】We conducted field investigations and utilized phytogeographic methods, complemented by existing literature, to examine the species composition, origin, life forms, and dispersal modes of invasion plants. 【Result】In the Yalu River estuary wetland, we identified 33 alien invasive species from 26 genera and 11 families. The Compositae, Leguminosae, and Amaranthaceae families were predominant, accounting for 57.57% of the total species. These floristic families exhibited a global distribution pattern, while at the genus level, pantropical and global distribution was prevalent. The majority (51.52%) of these species originated in America. Herbaceous plants constituted the dominant type (90.91%), with ground bud and annual plants dominating the life form (87.87%). Achenes were the primary fruit type (27.27%). Self-propagation and wind propagation were the main modes (63.63%) of dispersal. According to the threat grade assessment, 39.4% of the total species were classified as highly invasive, threatening (Grade I) or significantly invasive (Grade II) grades. 【Conclusion】The Yalu River estuary wetland harbors a diverse range of alien invasive plant species, with Compositae, Leguminosae, and Amaranthaceae particularly prevalent. Herbaceous plants are dominant, and their invasive pathways are complex. Many of these invasive plant species have already become a significant threat. Thus, it is imperative to strengthen monitoring and warning management systems and better management of coastal habitats to prevent the spread of these invasive plant species.

Key words: invasive plants; wetland; flora; life forms; Yalu River estuary

收稿日期(Received): 2022-11-3 接受日期(Accepted): 2023-02-22

基金项目: 国家自然科学基金(31670426); 辽东学院鸭绿江流域研究院开放课题(YLJ20220105、YLJ20230105)

作者简介: 刘利, 男, 博士, 教授。研究方向: 植物生态学。E-mail: ddll70@163.com

* 通信作者(Author for correspondence), 刘利, E-mail: ddll70@163.com

入侵植物对本地物种、生境以及生态系统结构和功能带来了严重的影响,已成为全球关注和研究的热点问题(谢勇等,2020),它对生态环境、生物多样性以及社会经济可持续发展都造成了巨大的危害。从1970—2017年,全球每年因生物入侵造成的最低经济损失超过1.288万亿美元,每年的成本随着时间推移还在稳步增加(Diagne *et al.*, 2021),而我国每年因外来入侵物种造成的直接经济损失就达2000亿元以上(陈宝雄等,2020)。河口海岸湿地位于海陆交互界面、海陆生态系统的过渡地带,是地球上生产力最高的生态系统之一(Mitsch *et al.*, 1993)。河口海岸湿地生境相对复杂,全球变化加剧和人类干扰活动频繁,导致环境显著退化,我国的海岸带湿地也遭受到极大破坏(He *et al.*, 2014),植被明显退化,表现为面积锐减、群落组成结构简单、物种种类减少、多样性水平降低、生态脆弱性明显等(刘利等,2022)。外来物种入侵湿地成为全球生态系统演替最重要的驱动因素之一(Sardans *et al.*, 2017)。如在过去30年,我国黄海区域的滨海湿地已经受到互花米草 *Spartina alterniflora* Loisel.、大米草 *S. anglica* C. E. Hubb. 等入侵植物的影响和危害,原生湿地和关键水鸟栖息地的丧失加剧,严重威胁沿海生态系统安全(Ren *et al.*, 2021)。

国家相关部门出台了一系列生物入侵相关政策法规,以提升湿地生物安全管理水平。2021年4月15日起《中华人民共和国生物安全法》正式施行。2021年10月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于进一步加强生物多样性保护的意见》中指出,加强湿地、近岸海域、海岛等重点区域外来入侵物种监测预警、控制评估、清除以及生态修复等,构建外来物种风险评估、监管技术体系和可持续综合防控体系。2022年6月1日《中华人民共和国湿地保护法》开始实施,其中明确禁止向湿地引进和放生外来物种。2022年8月1日,农村农业部等四部委公布《外来入侵物种管理办法》正式实施,进一步强调森林、草原、湿地生态系统和自然保护区等外来入侵物种的监管。可见,生物入侵防控是湿地保护的重要内容,而治理湿地生物入侵将是具有长期性和复杂性的科学实践问题(王国栋等,2022)。

国家级自然保护区鸭绿江口湿地位于辽宁省东港市境内(120°21′39″~123°0′50″E, 39°40′50″~

40°30′N),面积10.81万 hm^2 ,濒临黄海,属暖温带湿润季风气候,既有大陆性气候又受海洋性气候影响。四季分明,雨热同季。夏季相对多雨,年平均降水量1000~1200 mm,60%~70%的降水大多集中在6—8月,冬季漫长寒冷,干燥少雪。年平均温度9.3℃,最高温度20℃,最低温度-8℃,全年日照时数2368.6 h,无霜期203 d。本区是全球著名的东亚-澳大利亚候鸟迁徙通道的关键节点,2019年被列入中国黄渤海候鸟栖息地世界自然遗产提名地,被誉为“世界候鸟天堂”,保护区聚焦迁徙水鸟栖息地的保护,是世界北迁候鸟的第一大停歇地,有250余种鸟类,达到国际重要意义的11种,其中濒危、极危5种。保护区有维管植物83科234属365种,科属组成优势现象明显;单种属和少种属数量较多,具有一定的生态脆弱性。

鸭绿江口湿地地处沿边、沿江、沿海,是中国最北方的滨海湿地,由于地区独特的地理环境和气候条件,加之鸟类迁徙、水产采捕养殖、边境贸易等原因,该地区更容易成为外来物种入侵和扩散的前沿阵地(Pyšek *et al.*, 2020)。同时,河流廊道也是外来植物入侵的重要通道,河岸、湿地和稻田等是入侵植物的主要分布地(任颖等,2022)。目前,已有针对湿地生态系统外来入侵植物的研究分析,但关于河口滨海湿地生态系统植物入侵系统性研究较少。本文通过研究鸭绿江口湿地的外来入侵植物的区系、生活型和种类特征等,为中国北方河口滨海湿地外来入侵植物预防和控制,推动湿地生态系统保护以及高质量、可持续发展提供技术支持和决策参考。

1 研究方法

1.1 调查方法

外来入侵植物在鸭绿江口湿地保护区核心区少有分布。因此,本研究主要在保护区的试验区和缓冲区内进行调查。根据入侵植物发生情况设置20个调查点,调查点走向与河口海岸垂直。按植物群落样方进行实地调查、拍照和采集标本,每个调查点设5~20个样方,其中,乔木样方10 m×10 m,内设3~5个灌木样方;灌木样方5 m×5 m,内设3~5个草本样方;草本植物样方1 m×1 m。记录样方群落类型、物种组成、优势种等,乔木记录物种名、高度、盖度和生活力等,灌木、草本及藤本植物记录物种名、株数、高度、盖度和生活力等。

1.2 数据分析

依据吴征镒(1991, 2003)的方法分析外来入侵植物区系, 外来入侵植物危害等级和原产地信息依据中国外来入侵物种信息系统(<http://www.iplant.cn/ias>)、马金双(2013)和闫小玲等(2014)相关资料进行划分和统计。外来入侵植物原产地按地理学的7大洲进行统计分析, 其危害程度划分为恶性入侵类(I级)、严重入侵类(II级)、局部入侵类(III级)、一般入侵类(IV级)和有待观察类(V级)5个等级(侯新星等, 2019)。

依据生活型、生长型和果实类型等指标分析植物功能性状(侯新星等, 2019; 王蕙等, 2021; 张斯斯和肖宜安, 2013), 其中: 生活型分为高位芽植物、地上芽植物、地面芽植物和一年生植物(Raunkiaer, 1934); 生长型分为乔木、灌木、藤本、一年生草本和多年生草本(陈有民, 2011); 果实类型分为瘦果、颖果、蒴果、胞果等(贺学礼, 2017)。

参照相关文献和英国皇家植物园种子数据库(<http://data.kew.org/sid/>), 将入侵植物的种子传播方式划分为风力传播、自体传播、动物传播和混

合传播4种类型, 其中, 混合传播型有2或2种以上传播方式(郭志文和郑景明, 2017; 王燕, 2010)。

2 结果与分析

2.1 外来入侵植物种类组成

鸭绿江河口湿地外来入侵植物共11科26属33种(表1), 其中, 实地调查23种, 走访调查和网络访查补充10种。外来入侵植物中, 菊科种类最多, 共8种, 占入侵植物总种数的24.24%, 豆科6种居第二, 苋科5种居第三, 随后依次为禾本科4种, 旋花科、锦葵科和藜科各2种, 此外还有石竹科、柳叶菜科、茄科和泽泻科等4科各1种。

按危害等级分析, 33种外来入侵植物中, 恶性入侵(I级)和严重入侵种(II级)共有13种, 占总种数的39.39%; 局部(III级)和一般入侵(IV级)共有18种, 占总种数的54.55%; 暂未造成危害(V级)有2种, 占总种数的6.06%。

按扩散方式统计, 33种外来入侵植物中, 混合传播11种, 占总种数的33.33%; 风传播10种, 占总种数的30.3%; 自体传播8种, 占总种数的24.24%; 动物传播4种, 仅占12.12%。

表1 鸭绿江口湿地外来入侵植物

Table 1 Alien plants in the Yalu River estuary wetland

科 Family	种 Species	原产地 Origin	生长型 Growth type	扩散方式 dispersal mode	危害等级 Hazard level
苋科 Amaranthaceae	凹头苋 <i>Amaranthus ascendens</i>	热带美洲 Tropica America	Ah	Md	II
	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	美洲 America	Ah	Md	I
	北美苋 <i>Amaranthus blitoides</i>	北美洲 North America	Ah	Md	IV
	苋菜 <i>Amaranthus mangostanus</i>	印度 India	Ah	Wd	IV
	青葙 <i>Celosia argentea</i>	印度 India	Ah	Wd	II
藜科 Chenopodiaceae	小藜 <i>Chenopodium serotinum</i>	欧洲 Europe	Ah	Sd	IV
	灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	不详 Not in detail	Ah	Sd	IV
石竹科 Caryophyllaceae	鹅肠菜 <i>Myosoton aquaticum</i>	欧洲 India	Ah	Sd	IV
豆科 Fabaceae	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	美国东北及东南部 US's southeast to northeast	S	Ad	V
	紫苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	西亚 West Asia	Ah	Ad	IV
	草木樨 <i>Melilotus suaveolens</i>	西亚至南欧 West Asia to South Europe	Bh	Ad	IV
	葛藤 <i>Pueraria thunbergiana</i>	中国喜马拉雅地区 Himalayan area	Wc	Sd	III
	刺槐 <i>Robinia pseudoacaia</i>	北美洲 North America	T	Sd	III
	白车轴草 <i>Trifolium repens</i>	北非/中亚/欧洲 North Africa/Central Asia/Europe	Ph	Md	II
锦葵科 Malvaceae	苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	印度 India	Ah	Wd	III
	野西瓜苗 <i>Hibiscus trionum</i>	非洲 Africa	Ah	Sd	IV
柳叶菜科 Oenotheraceae	月见草 <i>Oenothera biennis</i>	北美洲东部 North America	Ph	Wd	II
旋花科 Convolvaceae	菟丝子 <i>Cuscuta chinensis</i>	亚洲/非洲/澳洲 Asia/Africa/Australia	Ah	Sd	IV
	牵牛花 <i>Pharbitis purpurea</i>	热带美洲 Tropica America	Ah	Sd	II
茄科 Solanaceae	毛酸浆 <i>Physalis pubescens</i>	墨西哥 Mexico	Ah	Ad	IV
菊科 Compositae	三裂叶豚草 <i>Ambrosia trifida</i>	北美洲 North America	Ah	Wd	I
	豚草 <i>Ambrosia artemisiifolia</i>	中美/北美洲 North America	Ah	Wd	I
	狼把草 <i>Bidens tripartita</i>	美洲 America	Ah	Md	I

续表 1

科 Family	种 Species	原产地 Origin	生长型 Growth type	扩散方式 dispersal mode	危害等级 Hazard level
	大狼把草 <i>Bidens frondosa</i>	北美洲 North America	Ah	Md	I
	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i>	南美洲 South America	Ah	Wd	I
	粗毛牛膝菊 <i>Galinsoga quadriradiata</i>	墨西哥 Mexico	Ah	Wd	I
	欧洲千里光 <i>Senecio vulgaris</i>	欧洲 Europe	Ah	Wd	IV
	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	欧洲/地中海沿岸 Europe/mediterranean	ABh	Wd	IV
泽泻科 Alismataceae	禾叶慈菇 <i>Sagittaria graminea</i>	北美洲 North America	Ph	Md	IV
禾本科 Gramineae	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	非洲 Africa	Ah	Md	IV
	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	北美洲 North America	Ah	Md	IV
	芒麦草 <i>Hordeum jubatum</i>	北美洲/西伯利亚 North America/Siberia	Bh	Md	IV
	大米草 <i>Spartina anglica</i>	英国 England	Ph	Md	II

Ah: 一年生草本; Bh: 二年生草本; ABh: 一年生或二年生草本; Ph: 多年生草本; Wc: 木质藤本; S: 灌木; T: 乔木; Sd: 自体传播; Md: 混合传播; Wd: 风传播; Ad: 动物传播。

Ah: Annual herbs; Bh: Biennial herbs; ABh: Annual or Biennial herbs; Ph: Perennial herbs; Wc: Wood vines; S: Shrub; T: Tree; Sd: Self-dispersal; Md: Mix-dispersal; Wd: Wind-dispersal; Ad: Animal-dispersal.

2.2 外来入侵植物原产地及区系

鸭绿江河口湿地外来入侵植物中, 原产地美洲最多, 有 17 种, 占入侵植物总种数 51.52%; 原产于欧洲的有 7 种, 占 21.21%; 原产于亚洲的有 7 种, 占 21.21%; 原产于非洲的有 4 种, 占 12.12%; 原产于大洋洲的有 3 种, 占 2.06% (表 1)。

根据种子植物类群分布区类型统计, 鸭绿江河口湿地外来入侵植物 11 科分别隶属于世界广布和泛热带分布 2 个类型, 世界广布型是入侵种的主要类型, 有 10 科, 占总科数的 90.91%; 泛热带分布有 1 科, 占总科数的 9.09% (表 2)。可见, 鸭绿江口湿地入侵植物科的区系分布类型, 以世界广布类构成入侵植物的主体类型, 占各总科数的 90.91%, 泛热

带分布类型科占比仅为 9.09%。

鸭绿江河口湿地 26 属外来入侵植物可分为 9 种分布区类型 (表 2), 其中: 以泛热带分布 (8 属)、热带亚洲分布 (1 属) 和热带亚洲及热带美洲间断分布 (1 属) 等热带分布型, 占总属数的 38.46%; 世界分布型 6 属, 占总属数的 23.08%; 北温带分布 4 属, 旧世界温带分布和东亚和北美洲间断分布各有 2 属, 北温带和南温带间断分布和欧亚和南非洲间断分布等温带分布型占各总属数的 38.36%。可见, 鸭绿江口湿地入侵植物属的区系分布类型, 以热带分布和温带分布构成入侵植物的主体类型, 其次是世界广布型, 其他类型属占比偏小。

表 2 鸭绿江口湿地外来入侵植物区系分布类型

Table 2 Distribution types of alien invasive plant flora in the Yalu River estuary wetland

分布区类型 Distribution types	科 Family		属 Genus	
	数量 Number	比例 Percentage/%	数量 Number	比例 Percentage/%
世界分布 Cosmopolitan	10	90.91	6	23.08
泛热带分布 Pantropic	1	9.09	8	30.77
热带亚洲分布 Tropical Asia	-	-	1	3.85
热带亚洲及热带美洲间断分布 Tropical Asia & Tropical America Disjuncted	-	-	1	3.85
北温带分布 North Temperate	-	-	4	15.38
旧世界温带分布 Old world Temerate	-	-	2	7.69
东亚和北美洲间断分布 East Asia & North America Disjuncted	-	-	2	7.69
北温带和南温带间断分布 North Temerate & South Temerate Disjuncted	-	-	1	3.85
欧亚和南非洲间断分布 Eurasia & South Africa Disjuncted	-	-	1	3.85

2.3 外来入侵植物生长型及生活型

从生长型组成看 (表 3), 鸭绿江河口湿地外来入侵植物中, 草本植物总占比为 90.91%, 其中一/

二年生 (包括一年生、二年生和一年或二年生) 草本植物 26 种, 占入侵植物总种数的 78.78%; 多年生草本植物 4 种, 占入侵植物总种数的 12.12%; 入侵

灌木、入侵乔木植物和入侵藤本植物各有1种,各占入侵植物总种数的3.03%。可见,鸭绿江口湿地一年生和多年生草本入侵植物危害最严重,是外来入侵植物的主要组成部分。

鸭绿江河口湿地外来入侵植物 Raunkiaer 生活型组成(表3),以草本植物(包含一、二年生草本和多年生草本)为主,有29种,占总种数的87.87%。

在生活型上,以一年生植物种数最多(23种),合计占总种数的69.70%,次为地面芽植物(6种),占总种数的18.18%,高位芽和地上芽植物最少。果实类型则以瘦果、胞果、荚果和蒴果居多,分别为9、8、6和6种,合计占总种数的87.88%,其他果实类型占比均较小。

表3 鸭绿江口湿地外来入侵植物功能性状组成

Table 3 Plant functional traits of alien plants in the Yalu River estuary wetland

植物功能性状 Plant functional traits	类型 Style	种数 Number of species	比例 Percentage/%
生长型 Growth form	乔木 Tree	1	3.03
	灌木 Herb	1	3.03
	藤本 Climber	1	3.03
	多年生草本 Perennial herb	4	12.12
	两年生草本 Biennial herb	3	9.09
	一年生草本 Annual herb	23	69.70
生活型 Life form	高位芽植物 Phanerophyte	3	9.09
	地上芽植物 Chamaephyte	1	3.03
	地面芽植物 Hemicryptophyte	6	18.18
	一年生植物 Therophyte	23	66.70
果实类型 Fruit type	瘦果 Achene	9	27.27
	荚果 Pod	6	18.18
	颖果 Caryopsis	3	9.09
	浆果 Berry	1	3.03
	蒴果 Capsule	6	18.18
	胞果 Utricle	8	24.24

3 讨论

在全球变化和人类活动影响下,滨海湿地面临围垦占用、旅游开发、城市化发展、海岸侵蚀、外来物种入侵和环境污染等诸多威胁,具有较高的敏感性和脆弱性(周云轩等,2016)。研究发现,鸭绿江口湿地外来入侵植物占辽宁省外来入侵植物总数(84种)的39.29%(郭婷婷,2014),这与本区淤泥质海岸的地理环境、气候条件以及水产采捕养殖等有关。东港市地处鸭绿江下游入海口,年均降雨量1000 mm以上,是重要的水产捕捞和虾贝养殖地区。同时,丹东口岸作为对朝贸易的重要陆路通道,完成了我国70%以上的对朝货物贸易。本地区的陆、海、空综合立体交通运输网络完备而发达,对外经贸频繁容易导致生境退化,有利于外来植物的入侵和传播。调查发现,东港市鸭绿江河口、海岸沿线水产捕捞、养殖活动频繁,调查点路边、农田和荒地等入侵植物种类分布较多,入侵程度也相对明显。捕捞养殖活动容易破坏河口、海岸地形地貌,改变了湿地景观,容易导致自然植被退化,为外来

植物在本地传播扩散创造了机会(魏雷等,2022)。

菊科、豆科和苋科是鸭绿江河口湿地外来入侵植物的优势科,恶性入侵(I级)和严重入侵(II级)种类也主要集中在菊科和禾本科中,这些被子植物科是世界性分布大科,入侵新环境相对更容易存活和繁殖,同时,也与它们本身利于入侵的一些繁殖和传播特性有关。一般而言,风力传播的外来植物中,种子小的物种入侵潜力更强(Dawson *et al.*, 2009),三裂叶豚草 *Ambrosia trifida* L.、豚草 *Ambrosia artemisiifolia* L. 和粗毛牛膝菊 *Galinsoga quadriradiata* Ruiz & Pavon 等植物在路边、农田和荒地随处可见,分布十分广泛,入侵程度和危害也较大;这些菊科植物瘦果可分化出多种优势性状组合,例如:结果数量多、种子发芽率高、籽实扩散力强,具有更高的表型可塑性,对环境的生态适应性较强,生长和传播优势容易导致大范围严重入侵(肖生鸿等,2019)。鸭绿江河口湿地的豆科入侵植物也较多,因其生活型复杂,灌木草本多样,根系庞大且有固氮作用,能适应多种环境,另外河口湿地

的淤泥质海岸土质肥沃,营养丰富,更适合耐盐碱和广布型植物生长。

鸭绿江河口湿地外来入侵植物以一年生草本植物生长型比例占优,这与一年生草本植物生长特性有关:如生长快、生活史短、繁殖能力强且方式多样、种子小而数量多且易散布(张斯斯和肖宜安,2013),使其在种间竞争中占据较强优势。生活型以地面芽植物和一年生植物为主,在较短时间内产生后代数量较大,增强了植物的入侵性,更适应相对恶劣的生活环境(Weber & Cut,2004)。而地面芽植物特点是地下根系相对发达,有利于储存较多养分和水分(黄柳菁等,2017;王蕙等,2021;张增可等,2019)。果实以瘦果、荚果、颖果等类型为主,多以混合传播,可通过风力及随动物、人为等方式广泛扩散。

鸭绿江河口湿地外来入侵植物科的区系呈世界广布特点,属的区系以泛热带分布、世界分布占优势,表现出较强的热带性质和世界分布性质。世界分布属广布型物种,其拥有丰富的生境、占据较宽的地理分区,依赖其丰富的遗传多样性以及表型可塑性,变异适应异质环境等特性,入侵成功后能迅速传播和散布(高末等,2011;熊韞琦和赵彩云,2020)。入侵植物中来自美洲地区的植物种类最多,危害程度最高,这与贺学礼(2017)、闫晓玲等(2014)的研究结果一致。本地区与北美洲的纬度和气候环境条件比较类似,近源种占据相似的生境,因而原产地美洲地区的入侵植物在鸭绿江口湿地的生态适应性较强。同时,美洲植物区系与亚洲植物区系具备一定的间断分布特点,美洲植物容易在亚洲地区入侵、扩散和传播(赵红艳等,2018),与万自学等(2022)的研究一致。美洲起源的外来物种在本区入侵风险较大,建立种群和传播散布的机会较大。

鸭绿江河口湿地外来入侵植物中,恶性入侵(I级)和严重入侵(II级)植物占比较高,三裂叶豚草、豚草和粗毛牛膝菊等外来入侵植物已形成优势群落,分布较广,其中粗毛牛膝菊、三裂叶豚草在较多的地段生长为优势群落,对河口湿地、海岸生态系统造成极大的威胁。三裂叶豚草、鬼针草 *Bidens pilosa* L.等外来入侵优势种常与乡土植物形成竞争,导致部分调查点由原来的狗尾草 *Setaria viridis* (L.) P. Beauv.、车前草 *Plantago asiatica* L.为优势种的群落逐渐演变为豚草、鬼针草等为优势种的

群落,从而破坏湿地海岸的生态平衡。在其他地区恶性入侵植物的刺果瓜 *Sicyos angulatus* Linn.等暂未在河口湿地海岸形成优势群落,也需采取措施积极防治,以免其在河口湿地不断蔓延扩散,威胁河口湿地与海岸生态安全。研究发现,入侵植物分布随着人类活动范围和频繁程度大小而不同,在鱼虾养殖塘等地点,入侵植物分布面积大、种类多,入侵危害程度也偏大。

综上,鸭绿江口湿地外来入侵植物的防控可以从以下方面加强:一是持续不断对外来入侵植物进行野外调研和综合评判,掌握其入侵动态、数量面积和危害程度等变化,针对性研究牛膝菊、粗毛牛膝菊、狼把草 *Bidens tripartita* L.等恶性入侵植物生长繁殖特征和扩散机制等,为河口湿地外来植物防控提供参考和依据;二是结合豚草、三裂叶豚草、牛膝菊等重点外来入侵植物的生长繁殖和入侵特性,开展人工和机械清除;三是监控预防刺果瓜等尚未有实质性危害的入侵种在河口湿地及海岸的蔓延;四是推广乡土植物应用,为湿地生态修复提供植物资源,加强芦苇 *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.、碱蓬 *Suaeda glauca* (Bunge) Bunge、枫杨 *Pterocarya stenoptera* C. DC.等适应性强、抗性良好的植物繁育工作,恢复海岸带湿地生态系统多样性和稳定性;五是退还已围垦湿地,因地制宜开展生境修复,减少外来植物引种,建立层次丰富、物种多样的防护林,培育具北方特色的滨海湿地植物景观。

参考文献

- 陈宝雄,孙玉芳,韩智华,黄宏坤,张宏斌,李垚奎,张国良,刘万学,2020.我国外来入侵生物防控现状、问题和对策.生物安全学报,29(3):157-163.
- 陈有民,2011.园林树木学.北京:中国林业出版社.
- 贺学礼,2017.植物生物学.北京:科学出版社.
- 高末,胡仁勇,陈贤兴,李伟成,丁炳扬,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.
- 郭婷婷,2014.东北三省外来入侵植物特征分析及风险评估.硕士学位论文.沈阳:沈阳大学.
- 郭志文,郑景明,2017.用植物生活史性状预测种子扩散方式.生物多样性,25(9):966-971.
- 侯新星,辛建攀,陆梦婷,田如男,2019.江苏外来入侵植物区系、生活型及繁殖特性.生态学杂志,38(7):1982-1990.
- 黄柳菁,张嘉灵,陈红锋,刘兴诏,张增可,邓传远,2017.

- 生态学视角下岭南古典园林植物群落的地域性特征. 西北林学院学报, 32(6): 282-288.
- 刘利, 季长波, 张梅, 王鹏, 张彦文, 2022. 中国不同地区滨海湿地植物区系特点及其影响因素. 东北林业大学学报, 50(10): 44-48.
- 马金双, 2013. 中国入侵植物名录. 北京: 高等教育出版社.
- 任颖, 侯利萍, 何萍, 2022. 大清河水系滨岸带入侵草本植物分布特征及影响因素. 环境工程技术学报, 12(4): 1134-1143.
- 魏雷, 陈鸿生, 陈朋, 王永生, 杨蕾蕾, 2022. 江门市砂质海岸外来入侵植物分析. 生物安全学报, 31(2): 135-140.
- 谢勇, 徐永福, 游健荣, 李家湘, 2020. 黄金河国家湿地公园外来植物种类组成、区系与入侵危害. 生态学杂志, 39(11): 10.
- 万自学, 张正云, 刘川, 张罗恩, 陈翠娜, 杨海君, 2022. 洞庭湖区入侵植物的物种组成、区系特征和分布. 湿地科学, 20(3): 386-394.
- 王国栋, 姜明, 盛春蕾, 吕宪国, 2022. 湿地生态学的研究进展与展望. 中国科学基金, 36(3): 364-375.
- 王蕙, 张沁媛, 崔可宁, 贺同利, 马家乐, 孙淑霞, 张淑萍, 崔文强, 郑培明, 王仁卿, 2021. 山东省海岸砂生植被基本特征及现状分析. 中国科学: 生命科学, 51(3): 300-313.
- 王燕, 2010. 南京明城墙垂直墙体上维管植物多样性及传播机制研究. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.
- 闫小玲, 刘全儒, 寿海洋, 曾宪锋, 张勇, 陈丽, 刘演, 马海英, 齐淑艳, 马金双, 2014. 中国外来入侵植物的等级划分与地理分布格局分析. 生物多样性, 22(5): 667-676.
- 吴征镒, 1991. 中国种子植物属的分布区类型. 云南植物研究, 13(S4): 1-139.
- 吴征镒, 2003. 《世界种子植物科的分布区类型系统》的修订. 云南植物研究, 24(5): 535-538.
- 肖生鸿, 刘锴栋, 刘晚苟, 钟军弟, 2019. 广东徐闻沿海滩涂红树林保护区入侵植物现状及防治策略. 杂草科学, 37(4): 22-30.
- 熊韞琦, 赵彩云, 2020. 表型可塑性外来植物的成功入侵. 生态学杂志, 39(11): 3853-3864.
- 赵红艳, 姜勇, 刘润红, 梁士楚, 2018. 中国湿地外来维管束植物的初步研究. 广西科学院学报, 34(2): 87-102.
- 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.
- 张增可, 王齐, 吴雅华, 刘兴诏, 黄柳菁, 2020. 基于CiteSpace 植物功能性状的研究进展. 生态学报, 40(3): 1101-1112.
- 周云轩, 田波, 黄颖, 吴文挺, 戚纤云, 舒敏彦, 胥为, 葛芳, 魏伟, 黄盖先, 张婷, 2016. 我国海岸带湿地生态系统退化成因及其对策. 中国科学院院刊, 31(10): 1157-1166.
- DAWSON W, BURSLEM D, HULME P E, 2009. Factors explaining alien plant invasion success in a tropical ecosystem differ at each stage of invasion. *Journal of Ecology*, 97: 657-665.
- DIAGNE C, LEROY B, VAISSIÈRE A C, GOZLAN R E, ROIZ D, JARIĆ I, COURCHAMP F, 2021. High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature*, 592: 571-576.
- HE Q, BERTNESS M, BRUNO J, LI B, CHEN G, COVERDALE T C, ALTIERI A H, BAI J, SUN T, PENNINGS S C, LIU J, EHRlich P R, CUI B, 2014. Economic development and coastal ecosystem change in China. *Scientific Reports*, 4: 1-9.
- MITSCH W, GOSSELINK J, 1993. *Wetlands, 2nd: van nostrand reinhold*. New York: Elsevier.
- PYŠEK P, HULME P E, SIMBERLOFF D, BACHER S, BLACKBURN T, CARLTON J, RICHARDSON D, 2020. Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95(6): 1511-1534.
- RAUNKIARE C, 1934. *Life forms of plants and statistical plant geography*. Oxford: The Clarendon Press.
- REN J, CHEN J, XU C, VAN DE KOPPEL J, THOMSEN M S, QIU S, CHENG F, SONG W, LIU Q, XU C, BAI J, ZHANG Y, CUI B, BERTNESS M D, SILLIMAN B R, LI B, HE Q, 2021. An invasive species erodes the performance of coastal wetland protected areas. *Science Advances*, 7(42): 1-7.
- WEBER E, GUT D, 2004. Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe. *Journal for Nature Conservation*, 12: 171-179.
- SARDANS J, BARTRONS M, MARGALEF O, GARGALLO-GARRIGA A, JANSSENS I A, CIAIS P, PEÑUELAS J, 2017. Plant invasion is associated with higher plant-soil nutrient concentrations in nutrient-poor environments. *Global Change Biology*, 23(3): 1282-1291.

(责任编辑: 郭莹)