

分类号: Q949
学号: 20222006022

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



新疆北疆与东疆城乡外来杂草物种 及其地理分布研究

| | |
|----------|--------|
| 学位申请人 | 文田田 |
| 指导教师 | 阎平教授 |
| 申请学位门类级别 | 理学硕士 |
| 学科、专业名称 | 生物学 |
| 研究方向 | 植物学 |
| 所在学院 | 生命科学学院 |

中国·新疆·石河子
2025年5月

分类号: Q949
学号: 20222006022

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



新疆北疆与东疆城乡外来杂草物种 及其地理分布研究

| | |
|----------|--------|
| 学位申请人 | 文田田 |
| 指导教师 | 阎平教授 |
| 申请学位门类级别 | 理学硕士 |
| 学科、专业名称 | 生物学 |
| 研究方向 | 植物学 |
| 所在学院 | 生命科学学院 |

中国·新疆·石河子
2025年5月

**A Study on Alien Weed Species and Their Geographic Distribution in
Urban and Rural Areas of Northern and Eastern Xinjiang**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Natural Science

By

Wen Tian-tian

(Botany)

Dissertation Supervisor: Yan Ping

May,2025

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所提交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：文田田

时间： 2025 年 5 月 24 日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：文田田

时间： 2025 年 5 月 24 日

导师签名：文田田

时间： 2025 年 5 月 24 日

摘要

外来杂草入侵已成为全球性生态问题，严重威胁区域生物多样性和生态安全。北疆与东疆作为我国西北重要的生态屏障，在其经济建设与社会发展的同时，受到外来杂草的入侵和扩散危害的可能也大大增加。因此，开展该区外来杂草的专项调查研究势在必行。本研究针对 62 个县市的外来杂草，通过团队近六年全面、系统的野外实地考察，采集、鉴定标本 1220 余号 4200 余份、拍摄外来杂草照片 3500 余张、统计地理分布信息 6600 余条。在此基础上，结合数字标本馆数据及文献资料，明确外来杂草名录并分析其区系特征；利用 MaxEnt 模型对当前和未来气候情景下外来杂草的潜在适生区进行预测，筛选影响外来杂草分布的主要环境变量并分析在不同气候情景下其总适生区面积的增减情况及变化趋势。通过以上研究，以期对北疆与东疆地区外来杂草的预防、管理提供科学依据。研究结果如下：

1.北疆与东疆地区共外来杂草 105 种 1 变种，隶属于 22 科 64 属。在科的属级水平上，大科依次是菊科（18 属）、禾本科（12 属）、豆科（5 属）、茄科（4 属），共占总属数的 60.94%，总种数的 57.17%。在科的种级水平上，大科依次是菊科（25 种）、禾本科（17 种）、豆科（10 种）、苋科（10 种）、茄科（8 种）、旋花科（7 种），共占总种数的 73.37%，将近总种数的四分之三。由此可见，菊科、禾本科、豆科、茄科是该地区的主体科，在该地区占主要地位。

2.生活型、生态型、原产地、入侵途径、入侵等级特点：

北疆与东疆地区外来杂草以一年生草本（72 种/68.57%）、中生型杂草（98 种/93.33%）占优。原产地以亚洲（44 次）、欧洲（42 次）和北美洲（36 次）为主。无意引入（64.76%）为入侵该区的主要途径，其次为有意引入（33.33%）和自然扩散（1.91%）。该区入侵等级 1-3 级的共有 42 种（40.00%），其中 1 级（11 种）和 2 级（22 种）数量较多，该区外来杂草入侵态势总体呈现较为严峻之状。

3.区系地理成分特点：

北疆与东疆地区外来杂草科的区系地理成分可划分为 3 个分布区类型 1 个变型，热带性分布共 5 科，温带性分布仅 1 科；属的区系地理成分可划分为 8 个分布区类型 5 个变型，热带性分布共 21 属（占比 43.75%），温带性分布共 27 属（占比 53.25%）。

4.分布特性及分布格局特点：

北疆与东疆地区外来杂草广布种有 11 种（10.48%）；较广布种有 17 种（16.19%）；局域分布种有 29 种（27.62%）；狭域分布种 48 种（45.71%）。外来杂草在北疆与东疆 52 个区域单元中均有分布，其中哈密市伊州区（60 种/57.14%）和乌鲁木齐市（52 种/49.52%）是入侵最严重的区域。各区域单元外来杂草分布不均匀，与周边省份及国家接壤的边界区域外来杂草丰富度较高，而内陆腹地地区则表现出相对较低的多样性。

5.AUC 值是评估模型的主要依据，北疆与东疆主要外来杂草的 AUC 值范围为 0.902~0.990，26 种外来杂草模型预测的 AUC 值均高于 0.9，说明模型运行效果较好，预测结果也较为准确可信。

6.利用刀切法分析每个环境变量在预测中对模型的贡献率，确定影响北疆与东疆地区外来杂草分布的主要变量为：海拔（Elev，共 26 种）、降雨量变化方差（Bio15，共 21 种）、昼夜温差月均值（Bio2，共 16 种）、最冷月最低温（Bio6，共 16 种）、温度季节性变化（Bio4，共 15 种）。

7.将未来与当前气候情景下总适生区面积增减相比：未来 4 个时期总适生区面积均高于当前的有 19 种（如白苋）；未来 4 个时期总适生区面积均低于当前的有 6 种（如皱果苋）；未来 4 个时期中有 2 个时期低于当前、2 个时期高于当前的有 1 种——意大利苍耳。未来与当前气候情景下总适生区面积变化趋势为：持续增加的有 15 种（如北美苋）；持续减少的有 4 种（如皱果苋）；先减少再增加的有 2 种（如意大利苍耳）；先增加再减少的有 2 种（如原野菟丝子）；无明显变化的有 3 种（如绿穗苋）。

关键词：北疆与东疆地区；外来杂草；区系；分布格局；适生区预测

Abstract

The invasion of alien weeds has emerged as a global ecological issue, posing a significant threat to regional biodiversity and ecological security. The Northern Xinjiang and Eastern Xinjiang regions, serving as a crucial ecological barrier in the northwest of China, faces an increasing risk of invasion and spread of alien weeds alongside its economic and social development. Therefore, it is imperative to conduct specialized research and investigation on alien weeds in this area. This study focuses on alien weeds in 62 counties and cities across Northern Xinjiang and Eastern Xinjiang regions. Through comprehensive and systematic field surveys conducted by our team over nearly six years, we have collected and identified over 1 220 specimens comprising more than 4 200 samples, photographed over 3 500 images of alien weeds, and recorded more than 6 600 pieces of geographical distribution information. Building on this, and by integrating data from digital herbariums and literature, we have established a list of alien weeds in Northern Xinjiang and Eastern Xinjiang regions and analyzed their floristic characteristics. Using the MaxEnt model, we predicted the potential suitable habitats for these weeds under current and future climate scenarios, identified the main climatic variables affecting their distribution in the region, and analyzed the changes in the total suitable habitat area and trends under different climate scenarios. This research aims to provide a scientific basis for the prevention and management of alien weeds in Northern Xinjiang and Eastern Xinjiang regions. The findings are as follows:

1. A total of 105 species and 1 variety of alien weeds, belonging to 22 families and 64 genera, were identified in Northern Xinjiang and Eastern Xinjiang regions. At the genus level, the largest families are Asteraceae (18 genera), Poaceae (12 genera), Fabaceae (5 genera), and Solanaceae (4 genera), accounting for 60.94% of the total genera and 57.17% of the total species. At the species level, the largest families are Asteraceae (25 species), Poaceae (17 species), Fabaceae (10 species), Amaranthaceae (10 species), Solanaceae (8 species), and Convolvulaceae (7 species), making up 73.37% of the total species, nearly three-quarters. Thus, Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, and Solanaceae are the dominant families in the region.

2. Characteristics of life form, ecological type, origin, invasion pathways, and invasion level:

In Northern Xinjiang and Eastern Xinjiang regions, annual herbs (72 species/68.57%) and mesophytic weeds (98 species/93.33%) predominate. The primary origins are Asia (44 occurrences), Europe (42 occurrences), and North America (36 occurrences). Unintentional introduction (64.76%) is the main pathway of invasion, followed by intentional introduction (33.33%) and natural dispersal (1.91%). There are 42 species (40.00%) with invasion levels 1-3, including 11 species at level 1 and 22 species at level 2, indicating a relatively severe invasion situation.

3. Floristic geographical characteristics:

The floristic geographical composition of alien weed families in Northern Xinjiang and Eastern Xinjiang regions can be divided into 3 distribution types and 1 variant, with 5 families of tropical distribution and only 1 family of temperate distribution. At the genus level, there are 8 distribution types and 5 variants, with 21 genera (43.75%) of tropical distribution and 27 genera (53.25%) of temperate distribution.

4. Distribution characteristics and patterns:

In Northern Xinjiang and Eastern Xinjiang regions, there are 11 widespread species (10.48%), 17 moderately widespread species (16.19%), 29 locally distributed species (27.62%), and 48 narrowly distributed species (45.71%). Alien weeds are distributed across all 52 regional units, with Hami City's Yizhou District (60 species/57.14%) and Urumqi City (52 species/49.52%) being the most severely invaded areas. The distribution of alien weeds is uneven across regional units, with higher richness in border areas adjacent to neighboring provinces and countries, while inland areas show relatively lower diversity.

5. The AUC value is the primary basis for model evaluation. The AUC values for major alien weeds in Northern Xinjiang and Eastern Xinjiang regions range from 0.902 to 0.990. The AUC values for 26 alien weed models are all above 0.9, indicating good model performance and reliable prediction results.

6. Using the jackknife method to analyze the contribution rate of each climatic variable to the model, the main variables affecting the distribution of alien weeds in Northern Xinjiang and Eastern Xinjiang regions are identified as: elevation (Elev, 26 species), precipitation variation variance (Bio15, 21 species), mean diurnal temperature range (Bio2, 16 species), minimum temperature of the coldest month (Bio6, 16 species), and temperature seasonality (Bio4, 15 species).

7. Comparing the total suitable habitat area between future and current climate scenarios: 19 species (*Amaranthus albus*) show an increase in total suitable habitat area across all four future periods; 6 species (*Amaranthus viridis*) show a decrease; and 1 species—*Xanthium italicum*—shows a decrease in two periods and an increase in two periods. The trends in total suitable habitat area changes between future and current climate scenarios are: continuous increase for 15 species (*Amaranthus blitoides*), continuous decrease for 4 species (*Amaranthus viridis*), initial decrease followed by increase for 2 species (*Xanthium italicum*), initial increase followed by decrease for 2 species (*Cuscuta campestris*), and no significant change for 3 species (*Amaranthus hybridus*).

Key words: Northern Xinjiang and Eastern Xinjiang regions; Alien weeds; Flora; Distribution pattern; Habitat suitability prediction

目录

| | |
|---------------------------------|-----|
| 摘要..... | I |
| Abstract..... | III |
| 目录..... | V |
| 第一章 文献综述..... | 1 |
| 1.1 研究背景..... | 1 |
| 1.2 国内外研究进展..... | 2 |
| 1.2.1 杂草和外来杂草的概述..... | 2 |
| 1.2.2 国内外外来杂草研究现状..... | 2 |
| 1.2.3 北疆与东疆地区外来杂草研究现状..... | 3 |
| 1.2.4 气候变化对外来杂草影响研究..... | 4 |
| 1.2.5 物种分布模型及其应用现状..... | 4 |
| 1.3 研究意义..... | 5 |
| 1.4 研究内容..... | 6 |
| 1.5 技术路线..... | 7 |
| 第二章 数据获取与研究方法..... | 8 |
| 2.1 研究区概况..... | 8 |
| 2.1.1 地理位置..... | 8 |
| 2.1.2 地形地貌..... | 9 |
| 2.1.3 气候特征..... | 9 |
| 2.1.4 行政区划分..... | 9 |
| 2.2 数据来源与处理..... | 10 |
| 2.2.1 外来杂草适生区分析物种的筛选..... | 10 |
| 2.2.2 外来杂草分布数据获取与处理..... | 10 |
| 2.2.3 环境变量数据的获取与筛选..... | 11 |
| 2.2.4 MaxEnt 模型构建和评估..... | 13 |
| 2.3 研究方法..... | 14 |
| 2.3.1 野外考察与数据整理..... | 14 |
| 2.3.2 统计分析..... | 14 |
| 第三章 北疆与东疆外来杂草名录及新近外来杂草分种概述..... | 16 |
| 3.1 外来杂草名录..... | 16 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 3.2 近 30 年新近外来杂草分种概述..... | 21 |
| 3.3 小结..... | 30 |
| 第四章 北疆与东疆外来杂草区系特征..... | 31 |
| 4.1 科属组成分析..... | 31 |
| 4.1.1 科的组成特点..... | 32 |
| 4.1.2 属的组成特点..... | 33 |
| 4.2 生活型分析..... | 35 |
| 4.3 生态型分析..... | 36 |
| 4.4 入侵途径分析..... | 36 |
| 4.5 入侵等级划分..... | 37 |
| 4.6 原产地分析..... | 38 |
| 4.7 科属区系地理成分分析..... | 39 |
| 4.7.1 科的区系地理成分分析..... | 39 |
| 4.7.2 属的区系地理成分分析..... | 40 |
| 4.8 分布特性分析..... | 41 |
| 4.9 分布格局..... | 42 |
| 4.10 讨论..... | 45 |
| 4.11 小结..... | 46 |
| 第五章 北疆与东疆主要外来杂草在新疆的潜在适生区预测..... | 49 |
| 5.1 AUC 值对模型的检验分析..... | 49 |
| 5.2 气候变化情景下 26 种外来杂草潜在适生区预测结果..... | 50 |
| 5.3 讨论..... | 102 |
| 5.4 小结..... | 102 |
| 第六章 结论与展望..... | 104 |
| 6.1 结论..... | 104 |
| 6.2 展望..... | 106 |
| 参考文献..... | 107 |
| 附录 A 北疆与东疆近 30 年新近外来杂草图集（部分）..... | 113 |
| 附录 B 北疆与东疆地区各县市外来杂草..... | 124 |
| 附录 C 北疆与东疆外来杂草主要生境类型图片..... | 131 |
| 致谢..... | 133 |
| 作者简介..... | 134 |

第一章 文献综述

1.1 研究背景

随着全球化步伐的加快,生物多样性保护与生态安全问题日益受到国际社会的广泛关注。生物入侵作为一类全球性的环境挑战,其本质在于物种通过人为或自然途径迁移至新区域,并失控繁殖扩散,进而威胁农林牧渔业,甚至导致生物多样性锐减及人畜健康风险,对经济及生态环境构成严峻挑战^[1-2]。值得注意的是,外来植物在各国及地区入侵生物名录中占据显著位置^[3-5]。近年来外来植物所带来的年均经济损失高达数千亿美元,并且这个数字还在逐年增加^[6]。开展外来生物的防控已是全球各国政府关注的主要环境问题和重心之一^[7-8]。

为应对外来植物带来的生态和经济问题,国际社会和国家层面制定了一系列法律法规和管理措施^[9-11]。在国际层面,《生物多样性公约》(Convention on Biological Diversity, CBD)要求缔约国采取措施防止外来物种的引入和扩散,其第8(h)条款明确要求各国防止引入、控制或消除威胁生态系统、生境或物种的外来物种^[12]。同时,还建立了80余个外来入侵的重要信息数据库和网站^[13],为发展外来入侵生物的最佳预防与管理策略提供了技术指导,为制定防控外来物种入侵的全球对策、组织实施国际合作项目研究和公众教育等方面提供了平台和支撑。在国家层面,党的二十大报告着重强调了完善生物安全监测预警与防控体系的重要性。2020年颁布的《中华人民共和国生物安全法》第二条明确规定防范外来物种入侵与保护生物多样性适用本法^[14]。此外,我国还颁布了《植物检疫条例》、《野生植物保护条例》、《进出境动植物检疫法实施条例》、《货物进出口管理条例》等行政法规^[15],这些法律法规的制定和实施为外来植物的管理提供了重要的法律依据和政策支持。

目前,我国外来入侵物种有近800种,入侵农林生态系统的有638种,其中包含植物381种,占总数的59.72%^[16]。由此可见,在中国的外来生物入侵格局中,植物类群的入侵现象占据主导地位,是入侵态势中带来具严重威胁的一部分。应对外来物种入侵是一项复杂且持久的系统性工程,需要加强科技创新,提升防控技术水平,建立科学的数据信息支持系统,从而逐步形成完整的外来物种入侵防控体系,有效维护国家的经济发展、生态平衡和生物安全^[17-18]。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 杂草和外来杂草的概述

杂草的产生与人类生产活动密切相关，最初杂草主要是指农田或农区杂草，而现在的农田，特别是新疆和兵团的农田，由于田间科学管控、地膜滴灌技术和机械化智能化技术的推广普及，农田中的杂草已经很少，甚至没有^[19]。迄今为止，尚未形成对杂草统一且明确的定义。Barker^[20]（1974）将杂草定义为特定地域中，主要或完全生长在人为干扰环境下的植物类群。李扬汉^[21]（1982）将杂草定义为既非人工栽培也非自然野生，且对农作物生长产生负面影响的田园植物。强胜^[22]认为杂草是在人工环境下，能够不依赖人类直接干预而自主形成种群并实现自行繁衍的植被类型。在此基础上，本研究将杂草定义为人类生产生活（人工）环境下，杂居非栽培（野生）的自然或半自然植物区系，而与天然的高山、草甸、草原、荒漠、湿地植被及其植物区系不同。杂草的形成相对比较复杂，它对农林牧业和城镇绿化的栽培植物、家禽家畜、自然与人居生态环境等均有一定的不良影响，有的甚至是严重危害^[23-24]。

本研究中外来杂草指从原来的分布区域扩展到一个新的地区，即北疆与东疆地区，其后代在该区可以进行繁殖、扩散，并进而造成危害的植物，包括逸生性、归化性、入侵性杂草。例如有些人工引种栽培植物逃离管控区在当地自然繁衍、适应归化生存下来，成为逸生性外来归化物种^[25]；还有一些入侵性较强或很强“不请自来”的植物通过各种方式传播到某地，在当地适应归化、自然繁衍生存下来，成为外来归化物种^[26]，若危害大入侵性强的则称其为入侵性外来物种或外来入侵物种。外来入侵植物很容易成为恶性有害杂草，对农牧业、林果业、养殖业、本土植被、生态环境和物种多样性等构成新的威胁或严重危害^[27-28]。

1.2.2 国内外外来杂草研究现状

随着全球化进程的加速和人类活动的频繁，外来杂草入侵已成为威胁全球生物多样性和生态系统稳定性的重大挑战之一^[29-30]。在 19 世纪至 20 世纪初的初始阶段，伴随国际贸易和交通运输的发展，大量物种被有意或无意地引入新区域。其中部分物种凭借其强大的环境适应性和繁殖能力，在新栖息地快速扩张，对本土物种构成严重威胁。进入 20 世纪 20 年代至 60 年代的发展阶段，科学界逐渐认识到外来杂草入侵的危害性，并着手开展相关生态学研究。这一时期主要采用物理防治（如机械除草）和生物防治（如引入天敌）相结合的方法，以遏制外来杂草的扩散。自 20 世纪 60 年代以来的现代防控阶段，随着对入侵机制的深入研究，防控策略得到进一步拓展。除传统方法外，化学防治和基因工程技术得到广泛应用。其中，广谱除草剂的研发显著提升了防控效率，特别是

在大面积入侵区域^[31]。

外来植物已在我国杂草生态系统中占据重要地位。我国学者对外来杂草种类的调查开始于 20 世纪 90 年代中期^[32]，郭水良等（1995）^[33]对浙江省境内外来杂草调查发现，共有 37 种外来杂草，其中 18 种是逸生性杂草。强胜及其研究团队（2000）^[34]的调查显示，我国外来杂草有 108 种，隶属 23 科 76 属。其中 58% 的外来杂草是作为资源植物被引入的，其余则随交通工具、进口农产品等途径无意传入。倪丽萍等（2007）^[35]调查发现金华市外来杂草有 24 科 54 属 73 种，其中优势科为菊科，原产地主要为美洲和欧洲。申时才等（2012）^[36]对云南省农田外来杂草调查结果显示，186 种外来杂草中菊科（37 种）和禾本科（35 种）物种数量最多，一年生和多年生外来杂草分别占比 42.5% 和 45.7%。在空间分布上，23 种为全省广布种，滇南和滇中地区分别分布 122 种和 102 种，为云南省外来杂草入侵的主要区域。董俊俊等（2019）^[37]对霍尔果斯口岸外来杂草进行野外实地调查发现该区共有外来杂草 33 种，主要集中在菊科和藜科，原产地以美洲和亚欧共同起源为主，主要入侵方式为无意引入。

1.2.3 北疆与东疆地区外来杂草研究现状

北疆与东疆地区属于寒温带大陆性干旱半干旱气候，盆地年均自然降水量 150-200 毫米^[38]，区内山脉融雪形成众多河流，连绵的新老绿洲分布于盆地边缘与河流两岸，具有典型的平原绿洲灌溉农业与山地牧业矿业为主的特点^[39]。地理复杂，景观多样，植物物种多样性比较丰富而远超南疆，汇集有新疆约 70% 的植物种类，不仅高山、草甸、草原、荒漠、湿地等天然植被及其植物区系独具特色，而且农牧区、城镇的杂草也是种类多样、分布广泛、区系复杂，影响巨大，与众不同。其周边与 3 个国家接壤，除俄罗斯外，与哈萨克斯坦、蒙古国建有 2 个铁路公路边境口岸（霍尔果斯、阿拉山口）和 9 个公路边境口岸，是面向中亚、西亚、中东、欧洲的重要门户，自古以来就是东西方文化交融、商贸交流的中心和重要枢纽与资源宝地。目前，铁路、高速公路已环绕盆地四周，乌鲁木齐、伊犁是新疆三大“自贸区”之二（另为喀什）。该区的工业、农业、牧业、林业、养殖业、能源、矿产、交通、商贸、边贸、旅游业等相对比较发达，在新疆经济建设与社会发展的同时，受到外来植物的入侵和扩散危害的可能也大大增加。

北疆与东疆近地区近 30 多年来的外来杂草呈现暴发态势：意大利苍耳、刺苍耳、粗毛牛膝菊、北美苋、原野菟丝子在整个北疆与东疆多数地区已迅速扩散，豚草、三裂叶豚草、假苍耳、大狼把草、刺萼龙葵等在北疆与东疆部分区域也已明显蔓延。本团队于 2019-2024 年在开展“北疆杂草”基金面上项目和“东疆外来杂草”自治区专项 2019-2024 年调研期间，在北疆和东疆新发现了 28 种（已见刊 20 种）新疆新记录植物，其中 24 种为外来入侵或逸生性杂草。2023 年 8-9 月又在北疆意外发现钻叶紫菀、毛马唐和瘤梗番薯等 3 种外来新杂草，为新疆新记录植物，同时也是北疆与东疆地区新近外来杂

草。

目前,针对北疆与东疆地区外来杂草的调查也在日益增加,引起了相关政府部门和科研单位高度关注。然而,有关该区外来杂草的研究目前主要集中在个别外来杂草的新发现、入侵机理、风险评估、危害现状、防治措施以及潜在适生区分析等方面。例如,杜珍珠^[40-41]、吴星月^[42]、马占仓^[43]、潘成南^[44]、王超^[45]等,2012-2023年分别报道了近些年北疆与东疆新发现的外来杂草。冯佳楠等^[46]预测了外来杂草假苍耳在新疆的潜在适生区并进行风险评估;李杰等^[47]研究了新疆意大利苍耳和刺苍耳种子的越冬性能;阿腾古丽·艾思木汗^[48]探究了小蓬草在新疆的群落特征及气候变化下的潜在分布估计;刘延等^[49]详细介绍了豚草和三裂叶豚草不同植株部位种子萌发与入侵扩散关系。而有关于北疆与东疆地区外来杂草的种类组成、地理分布现状等基础数据依然十分欠缺。

1.2.4 气候变化对外来杂草影响研究

气候变化对外来物种的传播、定殖、种群扩张和危害等阶段影响显著^[50],对已定殖的外来杂草而言,在气候变化下可能会扩大分布范围和种群数量^[51-52],而对受气候限制的外来杂草来说,由于气候变化可能会使其获得新的存活和定殖机会,特别是那些具有强抗逆性和强定殖能力的外来杂草,能够优先占领扰动造成的空缺生境并建立种群,进而对当地生态系统造成严重危害^[53-54],给综合治理外来杂草的入侵带来新的挑战。随着生物入侵问题日益受到关注,近年来国内外学者争对气候变化情景和外来物种间的联系做了大量研究。Guerra-Coss 等^[55]利用再生生态位方法对墨西哥入侵植物 *Schinus molle* 进行适生区预测,结果显示,该种适宜生境范围将缩小,且在气候情景变化下,其幼苗出苗率和存活率显著降低。苏静等^[56]基于 MaxEnt 模型对原产欧洲的外来种地中海大麦 (*Hordeum murinum subsp.*) 的潜在地理分布做预测,结果显示年温度和降水是影响地中海大麦潜在地理分布格局的两个主导生物环境变量,且未来气候情景下更利于地中海大麦扩张。Pandey 等^[57]研究发现温度影响外来种银胶菊 (*Tithonia diversifolia*) 的开花和结实,夏季的开花和结实量大于冬季。Sommer^[58]的研究表明全球气候变化对植物多样性分布格局的影响呈现出明显的空间异质性,即高纬度区域(如温带和北极地区)的植物物种多样性可能呈现上升趋势,而低纬度区域(如热带和亚热带地区)则可能出现物种丰富度减少的现象。吕佳佳等^[59]研究表明气候是决定植物及植被分布的关键因素,主要体现在两方面:热量为植物生命活动提供能量,水分则是植物生理活动的基础和组成部分。

1.2.5 物种分布模型及其应用现状

物种分布模型 (Species Distribution Models, SDMs) 可利用物种已知分布点位和环

境数据,模拟预测该物种在理想无约束情况下自由扩散能获得的最大生态位范围,是分析气候变化对物种分布影响的有力工具^[60-62]。物种分布模型的研究始于 20 世纪 70 年代,最初用于农作物的潜在分布区预测^[63]。随着计算机技术和地理信息系统(GIS)的发展,尤其是 20 世纪 90 年代以来,SDMs 得到了快速发展。生态学家开发了多种模型,如最大熵模型(MaxEnt)、广义线性模型(GLM)、广义加性模型(GAM)、随机森林(RF)等^[64],而研究表明:MaxEnt 模型即最大熵模型(maximum entropy model)的预测精度更高、效果更好^[65-68]。

MaxEnt 模型作为一种概率模型,其理论基础在于:在给定约束条件下,具有最大熵的事物最能够反映其真实状态^[69]。Phillips 研究团队基于 Java 语言开发了相应的 MaxEnt 软件。该模型与 ArcGis 软件相联合,为相关领域研究提供了有效工具。在 MaxEnt 模型的应用过程中,主要涉及三个关键要素:物种分布数据、环境变量以及模型算法本身^[70]。该模型的工作原理是通过整合目标物种的已知分布数据及其对应的环境变量,构建物种分布与环境变量之间的关系模型。基于气候相似性原理,在特定生态位约束条件下,模型通过计算熵最大化时的物种分布概率,从而预测目标物种在当前及未来气候情景下的潜在适生区^[71]。

在植物学研究领域,MaxEnt 模型被广泛运用于外来植物、资源植物、保护植物等的潜在适生区预测及影响因素研究。例如:瞿宇阳等^[72]基于 MaxEnt 模型和 ArcGis 预测 3 种菟丝子属植物的当前和未来潜在适生区,结果发现未来 3 种菟丝子属植物均表现出向我国北部扩张的趋势,为相关部门采取早期预警和防控措施提供理论依据。刘佳敏^[73]等采用 MaxEnt 模型研究了新疆特有树种小叶桦在全国的潜在适生区,结果表明分布中心有持续向西北方向移动趋势,为小叶桦资源保护与利用提供重要理论依据。Kumar^[74]等用 MaxEnt 模型预测了濒危植物 *Canacomyrica monticola* 的潜在适生区,为该物种的保护规划及监管管理提供了指导。施晨阳等^[75]通过 MaxEnt 模型预测了濒危植物水曲柳的潜在适生区分布,推测水曲柳可能更加适应未来的高温环境,为人工林的引种栽培规划提供了参考。Wang E^[76]等利用 MaxEnt 模型结合 GIS 分析了气候变化对 *Forsythia suspensa* 分布的潜在影响,结果表明该植物在 2070s 适生区面积显著扩大,降水和温度是影响其分布的主要环境变量,且未来适生区质心向北移动。

1.3 研究意义

外来杂草入侵已成为全球性生态问题,严重威胁着区域生态安全和生物多样性。北疆与东疆作为我国西北重要的生态屏障,在其经济建设与社会发展的同时,受到外来杂草的入侵和扩散危害的可能也大大增加。本研究系统调查了北疆与东疆地区 62 个县市的外来杂草,构建了完整的本底数据库,明确了外来杂草名录及其区系特征,并基于

MaxEnt 模型预测了未来气候变化情景下外来杂草在新疆的潜在适生区及其总适生区面积变化趋势。研究成果旨在为北疆与东疆外来杂草的基础植物学研究提供全新的基础资料与科学理论依据，也为城镇绿化和农林畜牧业的外来杂草识别监测与防控清除，为海关出入境植物检验检疫、生态安全与环境保护、“一带一路”建设战略等，提供有益的技术支持和参考依据，助力新疆生态文明建设和经济社会可持续发展。

1.4 研究内容

借助国家自然科学基金“新疆北疆杂草植物区系与地理分布研究”面上项目和新疆维吾尔自治区农业外来入侵物种普查（2022-2023 东疆专项）专项，本研究针对北疆与东疆地区 62 个县市的外来杂草，通过团队近六年全面、系统的野外实地考察，得到外来杂草照片 3500 余张、标本 1220 余号 4200 余份、地理分布信息 6600 余条。主要研究内容如下：

（1）通过野外实地调查，结合平台标本数据及文献资料分析，明确北疆与东疆地区外来入杂草名录。

（2）在北疆与东疆地区外来杂草名录基础上对其科属组成、生活型、生态型、原产地、入侵途径、入侵生境、入侵等级、区系地理成分、分布特性及分布格局等进行分析。

（3）通过 MaxEnt 模型分析，筛选影响北疆与东疆地区外来杂草分布的主导环境变量。

（4）基于 MaxEnt 模型对当前和未来气候变化情景下北疆与东疆地区主要外来杂草在新疆地区的潜在适生区进行预测并绘制潜在分布图，统计其各适生区面积大小及总适生区面积的变化趋势。