

昆明市外来入侵植物种类及其种子传播方式特征

瞿路, 陆艳妃, 李双智, 覃家理* (西南林业大学, 云南昆明 650051)

摘要 为了探究昆明市外来入侵植物种类组成及其种子传播方式的特征, 通过实地调查和文献资料的查阅, 对昆明市外来入侵植物的科属种组成、生活型、原产地、果实类型、种子长度及其种子传播方式的特征进行统计分析。结果表明, 昆明市外来入侵植物现有 36 科 87 属 122 种。在科属组成中, 科以菊科、豆科、禾本科的种类最多, 在属方面则以茄科茄属、苋科苋属、菊科飞蓬属的种类较多。生活型则以草本植物为主, 占总外来入侵物种数的 84.4%。从原产地看, 原产美洲的物种数最多, 有 92 种。果实以瘦果和蒴果为主要类型; 有 53.8% 的物种种子长度为 A ($L < 2$ mm) 等级。种子传播方式有 5 种, 依靠自体传播的物种数最多, 其中又以蒴果和荚果的物种为主; 依靠自体传播的物种种子长度范围更广泛, 种子长度为 A 等级和 B 等级 ($2 \text{ mm} \leq L < 4 \text{ mm}$) 的物种在其中占多数。

关键词 昆明市; 外来入侵植物; 物种组成; 种子传播方式特征

中图分类号 Q 948 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)07-0103-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.07.024



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Species of Alien Invasive Plants and Characteristics of Their Seed Transmission Modes in Kunming City

QU Lu, LU Yan-fei, LI Shuang-zhi et al (Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650051)

Abstract In order to explore the species composition of alien invasive plants in Kunming City and the characteristics of their seed transmission modes, the characteristics of family, genus and species composition, life form, origin, fruit type, seed length and seed transmission mode of alien invasive plants in Kunming City were statistically analyzed through field investigation and literature review. The results showed that there were 122 species of alien invasive plants in 36 families, 56 genera in Kunming City. Compositae, Leguminosae and Gramineae were dominant in the composition of families and genera, while Solanaceae, Amaranthaceae and erigeron were dominant in genera. The living type was mainly herbaceous, accounting for 84.4% of the total invasive species. In terms of origin, there were 92 species native to America. The main types of fruit were achene and capsule; the seed length of 53.8% species was A ($L < 2$ mm). There were five ways of seed transmission, and the number of species relying on self transmission was the most, in which capsule and pod species were the main ones; the range of seed length of self propagating species was more extensive, and the species with seed length of grade A and grade B ($2 \text{ mm} \leq L < 4 \text{ mm}$) account for the majority.

Key words Kunming City; Alien invasive plants; Species composition; Characteristics of seed propagation mode

外来入侵植物是指由于自然或人为的原因, 由一个特定地域传入到另一个地域的生态系统, 并对传入地生态系统或其中的物种构成危害性的植物^[1]。外来种的入侵不仅会危害本地种群的生物多样性, 还会在与本地物种杂交后致使入侵种也具有本土植物的基因, 加强了入侵种在新环境的适应性, 从而引发生物同质化^[2]。近 30 年来我国经济始终处在高速发展期, 与世界各国和地区的物品和人员交流不断增多, 进一步加剧了外来植物入侵我国的数量和频率。

云南省是全国生物多样性的中心, 复杂多样的地理环境为生物多样性存在创造了极好的自然条件, 同时也使其成为我国外来入侵物种最多、受外来入侵物种危害最严重的省份之一。昆明市作为云南省的省会城市, 有亚洲最大的花卉交易中心, 也是全国旅游的热点地区, 频繁的国内外花卉进出口交易和大流量的物流及人口活动, 为外来植物的入侵和扩散增加了潜在的风险。近年来, 昆明市入侵植物种类呈明显的上升趋势。2010 年王焕冲等^[3]在实地调查中确定了裸冠菊 (*Gymnocoronis spilanthoides*) 和细叶旱芹 (*Cyclospermum leptophyllum*) 2 种入侵植物在昆明有分布; 2013 年中国科学院昆明植物研究所科研人员在对鼠尾草属植物研究过程中确认了一种近年来在昆明附近有分布的外来物种——椴叶鼠

尾草 (*Salvia tiliifolia*), 并发现其扩散速度在不断增加^[4]; 2021 年笔者在对昆明市外来入侵植物进行调查时发现了云南省一新归化植物——南美独行菜 (*Lepidium bonariense*)。虽然不同的学者已经对云南省的外来入侵植物展开了较为完善的研究, 但至今对昆明市外来入侵植物全面的研究鲜见报道。该研究对昆明市进行广泛的实地调查并结合文献资料整理出完整的昆明市入侵植物名录, 对其种类组成特征、果实类型、种子长度和传播方式等进行分析, 进一步为昆明市今后外来植物入侵的防治工作提供参考。同时在联合国《生物多样性公约》第十五次缔约方大会即将在我国昆明市召开的背景, 生物多样性及物种入侵越来越受重视的当下, 该研究有助于增强公众对生物多样性保护和物种入侵危害的意识。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况 昆明位于我国云贵高原中部, 是我国面向东南亚、南亚开放的门户城市。昆明大部分地区海拔在 1 500~2 800 m, 总体呈北部高、南部低的地势, 以湖盆岩溶高原地貌为主。昆明市年平均气温 15 °C, 年温差全国最小, 年均日照 2 200 h 左右, 年降水量约 1 035 mm, 日照长, 霜期短, 属北半球低纬度亚热带-高原山地季风气候; 由于地处低纬高原而形成“四季如春”的气候, 享有“春城”的美誉。昆明市地形复杂且海拔差异大, 具有十分丰富的生物多样性, 也因此为外来入侵植物提供了良好的入侵条件。

1.2 调查和研究方法 此次调查于 2020 年 9 月—2021 年 5

基金项目 国家药监督管理局中医药公共卫生服务补助专项 (GZY-KJS-2018-004)。

作者简介 瞿路 (1995—), 男, 贵州盘县人, 硕士研究生, 研究方向: 植物分类。* 通信作者, 副教授, 硕士, 硕士生导师, 从事植物分类研究。

收稿日期 2021-06-04

月进行,采用样方和样线的调查方法对昆明市进行多次实地调查,记录物种的种名、经纬度、生境、海拔、盖度、干扰强度等信息,对不确定的植物采集标本及拍照,参考植物智(<http://www.iplant.cn/>)、中国外来入侵物种数据库(<http://www.Chinaias.cn/wjPart/index.aspx>)等数据库和其他相关文献资料对其进行分类鉴定^[5-7],在此基础上依据《中国外来入侵植物名录》^[8]筛选出昆明市入侵植物目录,并对其进行相关统计分析。

依据《中国植物志》对所研究的外来入侵植物果实类型进行划分,其中喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、红花酢浆草(*Oxalis corymbosa*)、宽叶酢浆草(*Oxalis latifolia*)、紫叶酢浆草(*Oxalis triangularis* ‘Urpurea’)、落葵薯(*Anredera cordifolia*)5种植物未见果实或种子,不纳入果实类型、种子长度及传播方式研究范围。

将昆明市有种子外来入侵植物种子长度(L)进行划分,共分为6个长度等级,即A($L < 2$ mm)、B(2 mm $\leq L < 4$ mm)、C(4 mm $\leq L < 6$ mm)、D(6 mm $\leq L < 8$ mm)、E(8 mm $\leq L < 10$ mm)、F($L \geq 10$ mm)。

依据张明娟等^[9]对外来入侵植物种子传播方式的划分方法,对昆明市外来入侵植物的种子传播方式进行划分。

2 结果与分析

2.1 昆明市外来入侵植物种类特征

2.1.1 昆明市外来入侵植物种类及科属组成。调查结果显示,昆明市现有外来入侵植物36科87属122种。在科的组成中,菊科(Compositae)物种数最多,有30种,占昆明市外来入侵植物总种数的24.6%;其次是豆科(Leguminosae),有13种,占总种数的10.6%;禾本科(Poaceae)和茄科(Solanaceae)分别有10和8种,各占总种数的8.2%和6.6%,其余的科所包含的外来入侵植物种数均不大于5种(表1)。在属的组成中,茄属(*Solanum*)的物种数最多,有5种,占昆明市外来入侵植物总种数的4.1%;有2个属的种数有4个,分别为苋属(*Amaranthus*)和飞蓬属(*Erigeron*);而独行菜属(*Lepidium*)、黑麦草属(*Lolium*)、酢浆草属(*Oxalis*)、大戟属(*Euphorbia*)各有3种,其余属物种数均小于3种。由此可知,菊科是占比最多的入侵种,主要原因是菊科植物的种子一般种实量大且易于传播,从而有利于扩大分布面积,使其迅速蔓延^[10]。

2.1.2 昆明市外来入侵植物的生活型特征。调查结果显示(图1),昆明市入侵植物的生活型以一、二年生草本和多年生草本为主,其中一、二年生草本有67种,多年生草本有36种,共计103种,占昆明市外来入侵植物总种数(122种)的84.4%,其中常见种类有紫茎泽兰(*Ageratina adenophora*)、扁穗雀麦(*Bromus catharticus*)、白车轴草(*Trifolium repens*)等;灌木有9种,常见的有马缨丹(*Lantana camara*)、珊瑚樱(*Solanum pseudocapsicum*)、马利筋(*Asclepias curassavica*)等;藤本有5种,主要有落葵薯(*Anredera cordifolia*)、五叶地锦(*Parthenocissus quinquefolia*)和圆叶牵牛(*Ipomoea purpurea*)等;乔木有5种,主要有黑荆(*Acacia mearnsii*)、银荆(*Acacia dealbata*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、银合欢(*Leucaena leucocephala*)等。

由此表明草本入侵植物具有更强的生态适应能力,这归结于草本植物繁殖速度快、扩散方式多样,且具有较强的定殖能力^[11]。

表1 昆明市外来入侵植物主要科属种组成

Table 1 Composition of main families, genera and species of alien invasive plants in Kunming

| 科 Families | 属数 No. of genus | 种数 No. of species |
|--------------------|--------------------|----------------------|
| 菊科 Compositae | 21 | 30 |
| 豆科 Fabaceae | 9 | 13 |
| 禾本科 Poaceae | 7 | 10 |
| 茄科 Solanaceae | 4 | 8 |
| 苋科 Amaranthaceae | 2 | 5 |
| 大戟科 Euphorbiaceae | 2 | 4 |
| 十字花科 Brassicaceae | 2 | 4 |
| 石蒜科 Amaryllidaceae | 3 | 4 |
| 锦葵科 Malvaceae | 3 | 3 |
| 马鞭草科 Verbenaceae | 3 | 3 |
| 伞形科 Apiaceae | 3 | 3 |
| 旋花科 Convolvulaceae | 2 | 3 |

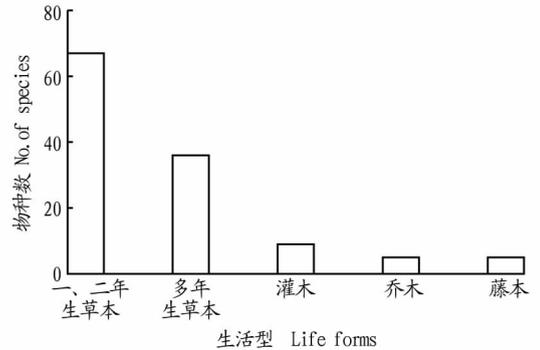


图1 昆明市外来入侵植物生活型

Fig. 1 Life forms of alien invasive plants in Kunming City

2.1.3 昆明市外来入侵植物的原产地特征。调查结果显示(图2),昆明市的外来入侵植物主要原产于美洲、亚洲、欧洲和非洲,少数种原产于大洋洲和地中海地区(部分种同时原产于不同的洲,均重复统计)。其中原产于美洲的物种数最多,有92种,占昆明市外来入侵植物总种数的75.4%,常见种有苏门白酒草(*Erigeron sumatrensis*)、扁穗雀麦、土荆芥(*Dysphania ambrosioides*)等;有17种原产于亚洲,占昆明市外来入侵植物总种数的13.9%,常见种有紫苜蓿(*Medicago sativa*)、阿拉伯婆婆纳(*Veronica persica*)等;原产于欧洲的有11种,占昆明市外来入侵植物总种数的9.0%,常见种为南欧大戟(*Euphorbia peplus*)、欧洲千里光(*Senecio vulgaris*)等;原产非洲的有10种,占昆明市外来入侵植物总种数的8.2%,常见种为蓖麻(*Ricinus communis*)、野西瓜苗(*Hibiscus trionmu*)等;原产于地中海地区和大洋洲的分别有4和3种,分别占昆明市外来入侵植物总种数的3.3%和2.5%。

2.2 昆明市外来入侵植物果实类型、种子长度和种子传播方式的特征

2.2.1 果实类型。从图3可以看出,昆明市外来入侵植物果实类型多样,对有果实的117个外来入侵种的果实类型均

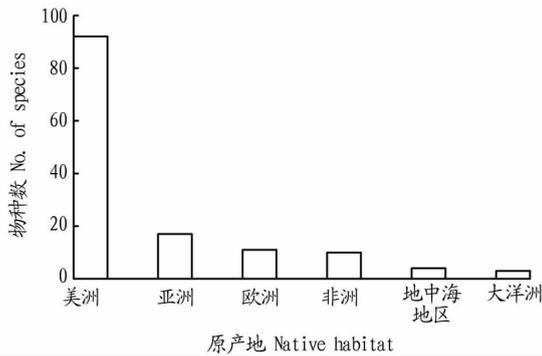


图2 昆明市外来入侵植物原产地

Fig. 2 Native habitat of alien invasive plants in Kunming City

进行了统计。其中果实为瘦果的物种最多,有 32 种,占有果实物种总数的 27.4%;其次果实为蒴果的物种有 31 种,占有果实物种总数的 26.5%;果实为荚果的有 13 种,占有果实物种总数的 11.1%,均为豆科植物;果实为浆果的有 11 种,占有果实物种总数的 9.4%;果实为颖果的有 10 种,占有果实物种总数的 8.5%,全部由禾本科植物组成;果实为胞果的有 6 种,占有果实物种总数的 5.1%;果实为角果的有 4 种,均为十字花科植物,占有果实物种总数的 3.4%;果实为坚果和骨荚果各有 3 种,各占有果实物种总数的 2.6%;果实为核果和双悬果的各有 2 种,各占有果实物种总数的 1.7%。

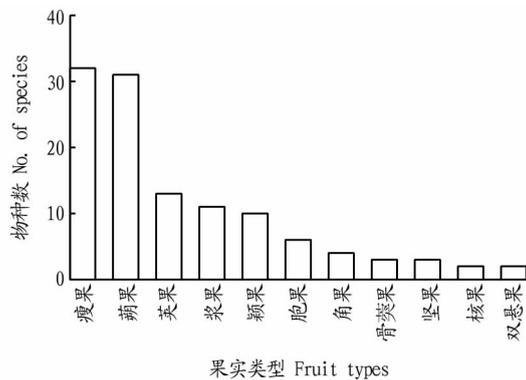


图3 昆明市外来入侵植物果实类型

Fig. 3 Fruit types of alien invasive plants in Kunming City

2.2.2 种子长度。由图 4 可知,在昆明市有种子的 117 种外来入侵植物中,随着种子长度的增加,外来入侵植物的物种数呈现递减最后趋于稳定的走势。其中种子长度为 A 等级的物种数最多,有 63 种,占有种子物种总数的 53.8%;B 等级的物种数有 31 种,占有种子物种总数的 26.5%;C 等级的物种数有 9 种,占有种子物种总数的 7.7%;D 等级的物种数有 3 种,占有种子物种总数的 2.6%;E 等级的物种数有 6 种,占有种子物种总数的 5.1%;F 等级的物种数有 5 种,占有种子物种总数的 4.3%。

2.2.3 种子传播方式。对主要以种子传播的 117 种外来入侵植物进行统计发现,其种子传播方式可分为 5 种,即自体传播、风力传播、动物传播、水力传播和混合传播(包括 2 种及 2 种以上的传播方式);其中依靠自体传播的物种最多,有 53 种,占有种子物种的 45.3%;混合传播的物种有 32 种,占

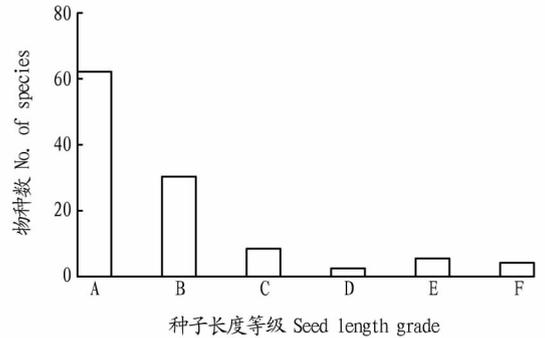


图4 昆明市外来入侵植物种子长度

Fig. 4 Seed length of alien invasive plants in Kunming City

有种子物种总数的 27.4%;靠风力传播的物种有 22 种,占有种子物种总数的 18.8%;靠水力和动物传播的物种分别有 6 和 4 种,各占有种子物种总数的 5.1%和 3.4%。

2.2.4 昆明市外来入侵植物种子传播方式与果实类型和种子长度的总体特征。从表 2 可看出,昆明市外来入侵植物的种子传播方式为自体传播的果实类型最多,有 10 种果实类型,其中果实为蒴果的物种数最多,有 22 种,荚果的物种数次之,有 11 种,且均为豆科植物,瘦果的物种数有 4 种,浆果、角果和骨荚果的物种数均有 3 种,颖果、坚果、双悬果的物种数均有 2 种,核果的物种数最少,只有 1 种;其次依靠混合传播的果实类型有 6 种,分别为瘦果、颖果、蒴果、浆果、荚果和胞果,其中瘦果和颖果的物种数较多,分别有 9 和 8 种,均为菊科和禾本科物种;依靠水力传播的果实类型有 6 种,分别为蒴果、荚果、浆果、角果、瘦果和坚果,物种数均为 1 种,物种均为水生植物;依靠风力传播的果实类型有 2 种,分别为瘦果和蒴果,其中瘦果的物种数最多,有 18 种,主要以菊科物种为主;依靠动物传播的果实类型仅有 1 种,为浆果,且均为茄科物种。

在种子传播方式与种子长度之间的关系中,依靠自体传播的种子长度范围最广,6 个种子长度等级均有,其中 A 等级和 B 等级的物种数最多,均有 19 种,C、D、E 和 F 等级的物种数分别为 5、3、4 和 3 种;依靠混合传播的种子长度等级有 5 个,其中 A 等级的物种数最多,有 21 种,B 和 C 等级的物种数分别为 4 和 3 种,E 和 F 等级的物种数均有 2 种;依靠风力传播的种子长度等级有 2 个,A 等级物种数最多,有 15 种,B 等级物种数则为 7 种;依靠水力传播的种子长度等级有 2 个,A 等级的物种数有 5 种,B 等级物种数为 1 种;依靠动物传播的种子长度等级有 2 个,A 等级的物种数有 3 种,C 等级的物种数为 1 种。

3 讨论

菊科、豆科和禾本科均为世界分布科,3 个科的入侵植物构成了我国外来入侵植物的主体^[12]。菊科、豆科和禾本科植物大多都有很强的适应性,能在新环境中迅速建立种群并稳定下来,它们具有的不同生物学特性均有利于它们的传播入侵^[13]。如菊科植物瘦果小而量多且部分具有冠毛,利于种子传播,此外还具有较强的繁殖能力和丰富的化感物质,更有利于它们在与其它植物的竞争中存活下来^[14];豆科

植因其根系庞大并具固氮能力,能适应多种环境^[15]。

草本入侵植物构成了昆明市入侵植物的主体,主要归结于生活周期短的草本植物生长发育快、成熟早,能较快地适

应新的环境^[16];此外,草本植物大部分是杂草,有研究认为草本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)有着密切的关系^[17]。

表 2 昆明市外来入侵植物种子传播方式与果实类型和种子长度的总体特征

Table 2 General characteristics of alien invasive plants seed transmission mode with fruit type and seed length in Kunming

| 种子传播方式 Mode of seed transmission | 果实类型(种数) Fruit type(No. of species) | 种子长度 L(种数) Seed length L(No. of species) |
|-------------------------------------|---|---|
| 自体传播 Autologous spread | 蒴果(22)、荚果(11)、浆果(3)、 角果(3)、瘦果(4)、颖果(2)、 坚果(2)、双悬果(2)、骨蕒果(3)、核果(1) | A(19)、B(19)、C(5)、D(3)、E(4)、F(3) |
| 混合传播 Mixed spread | 瘦果(9)、颖果(8)、蒴果(4)、 浆果(3)、荚果(2)、胞果(6) | A(21)、B(4)、C(3)、E(2)、F(2) |
| 风力传播 Wind spread | 瘦果(18)、蒴果(4) | A(15)、B(7) |
| 水力传播 Hydraulic spread | 蒴果(1)、荚果(1)、浆果(1)、 角果(1)、瘦果(1)、坚果(1) | A(5)、B(1) |
| 动物传播 Animal spread | 浆果(4) | A(3)、C(1) |

昆明市外来入侵植物的原产地比较集中,有超过 50% 来源于美洲,这与我国外来入侵植物原产地分布格局相符^[12]。分析其原因可能有 2 个:一个是由于东亚大陆与美洲大陆地理隔离时间长,导致两地物种之间交流少,缺乏相互制约的关系,从而有利于外来物种的传播和扩散^[18];第二是美洲与我国有着类似的气候环境和生物区系,两地区的物种互相迁移后能很快适应当地的环境,增加定殖的机会^[19]。

昆明市小种子的外来入侵植物占总数的大部分,主要是由于昆明市外来入侵植物大部分为草本植物,而种子大小与植物的生活型有关,一般情况下,灌木比草本植物生产的种子大,乔木和藤本比灌木的种子大^[20]。

植物的果实类型和种子大小等性状与植物种子的传播方式密切相关^[21]。由于蒴果、瘦果和荚果等都属于干果,对自然或人为介导的多途径扩散具有广泛的适应性^[16]。而果实为瘦果的多为菊科植物,菊科植物种子常有冠毛,适于风力传播^[22]。依靠水力传播的物种则常为水生或是湿生植物,能借助水力更有效地将种子传播到其他地方^[23];而茄科、葫芦科等植物则进化出了美味的肉果以便吸引动物来帮助其传播种子^[24]。

一般来说,种子重量小于 0.10 mg 的植物更倾向于无助力扩散,而种子重量大于 100.00 mg 的种子依靠脊椎动物的消化道传播居多,当重量介于二者之间的种子一般采用多种扩散模式^[25]。相对于大种子,小种子的数量较多,更容易被生物或非生物等各种传播媒介所携带或传播,因此具有更强的散播能力^[26]。这也是该研究中 A 等级种子传播方式多样的原因。种子依靠风力传播的原因主要与种子大小、种翅长宽以及是否具有冠毛等形态特征有关,种翅长、质量小的种子更容易被风远距离传播^[27-28]。由于动物对植物果实的取食方式多样,导致动物传播的种子大小的变化范围较大,这里主要是由果实的性状来决定种子的传播方式是否为动物传播。植物为了适应环境进化出了不同类型的果实和种子,从而形成了多样的种子传播方式,弄清楚外来入侵植物果实类型和种子大小与其种子传播方式之间的关系特征,会让在外来入侵植物的预警和防治方面的

工作有显著的成果。

4 结论

昆明市共调查得出外来入侵植物 36 科 87 属 122 种,其中菊科、豆科和禾本科的物种占多数,其中有 75.4% 的物种原产于美洲,少数产于亚洲、欧洲、非洲等地。从生活型来看,昆明市外来入侵植物以草本植物占绝对优势,占总物种数的 84.4%。

在昆明市的 117 种有果实的外来入侵植物中,其中果实为瘦果和蒴果的物种数量占总数的 53.9%,荚果、浆果和颖果的物种数量其次,其余果实类型的物种较少;在种子长度方面,种子长度为 A 等级和 B 等级的物种数占比高达有种子物种总数的 80.3%。

在昆明市外来入侵植物中,从果实类型和种子传播方式的关系来看,蒴果的种子传播方式更为多样;荚果的种子更倾向于自体传播;而瘦果则以风力传播为主;依靠水力传播的果实类型虽多,但物种数少;而浆果的种子主要以自体传播、混合传播和动物传播为主。在种子的长度和种子传播方式的关系方面,A 等级的种子 5 种传播方式均有,其中又以自体传播、混合传播和风力传播为主;B 等级的种子则拥有除动物传播外的其他 4 种传播方式,但物种数更多集中在自体传播当中;C 等级的种子大部分是自体传播和混合传播;D 等级的种子只有自体传播 1 种方式;E 等级和 F 等级的种子只存在于自体传播和混合传播 2 种传播方式之中。

参考文献

- [1] 朱峻耀.宁波市外来入侵植物调查及其入侵风险评估[D].杭州:浙江农林大学,2019.
- [2] 王苏铭,张楠,于琳倩,等.北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素[J].生态学报,2012,32(15):4618-4629.
- [3] 王焕冲,万玉华,王崇云,等.云南种子植物中的新入侵和新分布种[J].云南植物研究,2010,32(3):227-229.
- [4] 刘刚.我国科学家新发现一种外来入侵植物假叶鼠尾草[J].农药市场信息,2013(29):47.
- [5] 徐成东,陆树刚.云南的外来入侵植物[J].广西植物,2006,35(3):227-234.
- [6] 丁莉,杜凡,张大才.云南外来入侵植物研究[J].西部林业科学,2006(4):98-103,108.
- [7] 李乡旺,胡志浩,胡晓立,等.云南主要外来入侵植物初步研究[J].西南林学院学报,2007,27(6):5-10.

表 2 不同遮阴处理对蒙古栎植株苗高、地径的影响

Table 2 Effect of different shading treatments on seedling height and ground diameter of *Quercus mongolica*

| 处理 Treatment | 苗高 Seedling height//cm | 地径 Ground diameter//mm |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| T ₁ | 34.81±0.62 b | 4.71±0.08 b |
| T ₂ | 35.49±0.45 b | 4.92±0.10 a |
| T ₃ | 39.53±0.13 a | 4.55±0.05 b |
| CK | 28.83±0.90 c | 4.54±0.04 b |

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ($P<0.05$)

3 结论

通过调查结果可知,遮阴处理对蒙古栎幼苗黄叶、焦边现象均有一定程度的缓解作用,其中 T₂、T₃ 处理受害情况较轻,其次为 T₁、CK;综合苗高和地径可知,T₂、T₃ 处理的植株生长情况较好。综合分析表明,蒙古栎幼苗期遮阴,可以降低土壤温度,提高地表湿度,降低蒙古栎植株黄叶、焦边情况的发生,但要做到适度遮阴。综合来看,试验设计中 T₂ 处理[初始光照强度为 298.64 μmol/(m²·s)]更适宜蒙古栎幼苗生长。

4 讨论

(1)该研究结果表明,遮阴处理后重度受害情况呈现出 CK>T₁>T₃>T₂ 的趋势,T₂ 和 T₃ 处理受害情况无显著差异,但 T₂ 处理优于 T₃ 处理,说明可以通过适当遮阴降低地温,提高表层土壤湿度等措施创造更加适宜平原地区蒙古栎幼苗期正常生长的条件,从而提高植株长势及抗性,有效减弱植株受害程度,这与薛思雷等^[10-12]的研究一致。

(2)蒙古栎适宜海拔 800 m 以上环境条件,移栽区域海拔为 80~100 m,通过遮阴可有效提高植株生长状态,缓解黄叶、焦边现象发生。

参考文献

- LANG A C, HÄRDITL W, BRUELHEIDE H, et al. Tree morphology responds to neighbourhood competition and slope in species-rich forests of subtropical China [J]. *Forest ecology and management*, 2010, 260 (10): 1708-1715.
- 远皓, 杨传林. 蒙古栎的价值和作用 [J]. *中国林副特产*, 2016 (5): 97-98.
- BODÉNÈS C, JOANDET S, LAIGRET F, et al. Detection of genomic regions differentiating two closely related oak species *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L. [J]. *Heredity*, 1997, 78 (4): 433-444.
- LEFORT F, LALLY M, THOMPSON D, et al. Morphological traits, microsatellite fingerprinting and genetic relatedness of a stand of elite oaks (*Q. robur* L.) at Tullyally, Ireland [J]. *Silvae genetica*, 1998, 473 (176): 257-262.
- WATANABE M, KITAOKA S, EGUCHI N, et al. Photosynthetic traits and growth of *Quercus mongolica* var. *crispula* sprouts attacked by powdery mildew under free-air CO₂ enrichment [J]. *European journal of forest research*, 2014, 133 (4): 725-733.
- 马金山. 辽西蒙古栎林的群落结构及自然演替分析 [J]. *绿色科技*, 2017 (7): 14-15.
- 李文英, 顾万春. 蒙古栎天然群体等位酶遗传多样性研究 [J]. *林业科学研究*, 2003, 16 (3): 269-276.
- 李东胜, 白庆红, 李永杰, 等. 光照条件对蒙古栎幼苗生长特性和光合特征的影响 [J]. *生态学杂志*, 2017, 36 (10): 2744-2750.
- 薛思雷, 王臣, 王庆成, 等. 遮阴对蒙古栎苗木生理和光合特性的影响 [J]. *防护林科技*, 2017 (8): 27-29.
- 薛思雷, 董希文, 王庆成, 等. 不同光环境对蒙古栎苗木生长和形态特征的影响 [J]. *防护林科技*, 2017 (9): 21-23.
- 王俊峰, 冯玉龙. 光强对两种入侵植物生物量分配、叶片形态和相对生长速率的影响 [J]. *植物生态学报*, 2004, 28 (6): 781-786.
- WERNBERG T, GOLDBERG N. Short-term temporal dynamics of algal species in a subtidal kelp bed in relation to changes in environmental conditions and canopy biomass [J]. *Estuarine, coastal and shelf science*, 2008, 76 (2): 265-272.
- 郎金顶, 刘艳红, 苻伟. 北京市建成区绿地植物物种来源分析 [J]. *植物学通报*, 2008, 43 (2): 195-202.
- 于顺利, 陈宏伟, 李晖. 种子重量的生态学研究进展 [J]. *植物生态学报*, 2007, 31 (6): 989-997.
- WESTOBY M, JURADO E, LEISHMAN M. Comparative evolutionary ecology of seed size [J]. *Trends in ecology and evolution*, 1992, 7 (11): 368-372.
- 彭晓旭, 潘燕, 朱晓媛, 等. 云南 7 种常见菊科杂草植物具冠毛种子形态与风传播特征 [J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2018, 40 (5): 1024-1033.
- 杨期和, 杨和生, 刘惠娜. 植物种子的传播方式及其适应性 [J]. *嘉应学院学报*, 2013, 31 (5): 50-59.
- HONKAVAARA J, SIITARI H, VIITALA J. Fruit colour preferences of redwings (*Turdus iliacus*): Experiments with hand-raised juveniles and wild-caught adults [J]. *Ethology*, 2004, 110 (6): 445-457.
- 郭亚亚, 王树林, 车碧昭, 等. 132 种植物种子大小、生活型、传播方式的关系 [J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2020, 38 (1): 83-90.
- 王琳. 吉尔班通古特沙漠种子大小变异的适应意义 [D]. 石河子: 石河子大学, 2013.
- 白成科, 曹博, 李桂双. 植物种子传播途径与基因组值和千粒重的相关性 [J]. *生态学杂志*, 2013, 32 (4): 832-837.
- 花奕蕾, 田兴军. 9 种风传杂草种子的扩散能力及传播策略 [J]. *安徽农业科学*, 2017, 45 (15): 21-25.
- 马金双, 李惠茹. 中国外来入侵植物名录 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- 张明娟, 李青青, 李竹君. 南京市公园绿地中自生草本植物的种子传播方式及园林应用策略研究 [J]. *中国园林*, 2020, 36 (8): 119-123.
- 于永辉, 范小虎, 林建勇. 广西林业外来入侵植物组成与分布特征 [J]. *广西林业科学*, 2018, 47 (4): 482-486.
- 胡冬梅, 叶红, 邱艳霞, 等. 卧龙亚高山公路沿线外来植物入侵风险评估 [J]. *四川大学学报(自然科学版)*, 2020, 57 (5): 1002-1008.
- 闫小玲, 刘全儒, 寿海洋, 等. 中国外来入侵植物的等级划分与地理分布格局分析 [J]. *生物多样性*, 2014, 22 (5): 667-676.
- 侯新星, 辛建攀, 陆梦婷, 等. 江苏外来入侵植物区系、生活型及繁殖特性 [J]. *生态学杂志*, 2019, 38 (7): 1982-1990.
- 王德艳, 张大才, 胡世俊, 等. 云南菊科入侵植物入侵机制及其利用研究进展 [J]. *生物安全学报*, 2017, 26 (4): 259-265.
- 陈文新, 汪恩涛, 陈文峰. 根瘤菌-豆科植物共生多样性与地理环境的关系 [J]. *中国农业科学*, 2004, 37 (1): 81-86.
- 张秋霞. 云南入侵植物的主要生物学性状与分布研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2017.
- 张斯斯, 肖宜安. 中国外来入侵植物生活型与性系统多样性 [J]. *植物研究*, 2013, 33 (3): 351-359.
- 严靖, 闫小玲, 王樟华, 等. 安徽省外来入侵植物的分布格局及其等级划分 [J]. *植物科学学报*, 2017, 35 (5): 679-690.

(上接第 106 页)