

DOI: 10.20103/j.stxb.202404220899

侯东杰, 李楠, 曲孝云, 董劭琼, 韩蓓蕾, 郭柯, 刘长成. 青藏高原北部干旱区梭梭群落空间分布特征及其驱动因子. 生态学报, 2024, 44(24): 11307-11316.

Hou D J, Li N, Qu X Y, Dong S Q, Han B L, Guo K, Liu C C. The spatial pattern and driving factors of *Haloxylon ammodendron* community in the arid region of northern Qinghai-Tibet Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(24): 11307-11316.

青藏高原北部干旱区梭梭群落空间分布特征及其驱动因子

侯东杰¹, 李楠¹, 曲孝云², 董劭琼², 韩蓓蕾², 郭柯², 刘长成^{2,*}

1 内蒙古农业大学, 草原与资源环境学院, 呼和浩特 010019

2 中国科学院植物研究所, 植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093

摘要: 梭梭(*Haloxylon ammodendron*)群落是中国西北部干旱区主要分布的植被类型, 对防风固沙、维持生物多样性等生态方面具有重要作用。青藏高原北部干旱区也是梭梭群落重要的分布区域, 但该区域梭梭群落空间分布特征形成的驱动机制目前缺乏足够的关注。在柴达木盆地梭梭保护区设置了 31 个调查样地并对梭梭群落特征进行了调查, 结合气候因子揭示其空间分布格局形成的驱动因子。结果发现: 青藏高原干旱区梭梭群落仅有 27 种植物, 隶属于 21 属 8 科, 物种组成简单, 其中 51% 的植物属于灌木与半灌木, 70% 的植物为强旱生和旱生植物, 40% 的植物为戈壁-蒙古成分。梭梭群落的高度、盖度等数量特征在空间范围内变异大, 物种丰富度低, 草本层不发达。梭梭群落的数量特征随经度的增加呈显著的正相关关系($P < 0.05$)。随经度的增加和纬度的降低, 群落中幼龄梭梭的数量显著增加, 但成熟梭梭的数量显著降低。降水量的增加是形成这些群落空间分布特征的主要因素。研究为保护青藏高原干旱区梭梭群落提供基础数据, 也为区域荒漠化和沙漠化合理防治给予科学指导。

关键词: 梭梭群落; 柴达木盆地; 气候因子; 幼龄梭梭; 成熟梭梭

The spatial pattern and driving factors of *Haloxylon ammodendron* community in the arid region of northern Qinghai-Tibet Plateau

HOU Dongjie¹, LI Nan¹, QU Xiaoyun², DONG Shaoqiong², HAN Beilei², GUO Ke², LIU Changcheng^{2,*}

1 College of Grassland, Resource and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China

2 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

Abstract: *Haloxylon ammodendron* community is one of the dominant vegetation types in the arid region of northwest China, which has critical ecological functions such as windproof sand fixation and biodiversity protection. The arid region of the northern Qinghai-Tibet Plateau is also an important distribution area of *H. ammodendron* community, while the driving mechanism of the spatial pattern of *H. ammodendron* community characteristics in this region has not been paid enough attention. 31 sampling sites were set in *H. ammodendron* Nature Reserve of Qaidam Basin and the community characteristics of *H. ammodendron* were investigated in August, 2023. Combined with climate factors, the driving forces of the spatial pattern of *H. ammodendron* community were analyzed. The results showed that only 27 species were found in *H. ammodendron* community of the arid region of the northern Qinghai-Tibet Plateau, belonging to 21 Genera and 8 Families. 51%, 70%, and 40% of these species were shrub and subshrub types, strong xerophyte and xerophyte types, and Gobi-Mongolia types, respectively. The *H. ammodendron* community had large variations in height and cover, low plant diversity,

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0301); 内蒙古农业大学高层次人才引进科研启动项目(NDYB2020-2)

收稿日期: 2024-04-22; **网络出版日期:** 2024-09-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuchangcheng@ibcas.ac.cn

and an underdeveloped herb layer. The quantitative characteristics of *H. ammodendron* community had positive correlations with an increase in longitude gradient ($P < 0.05$). The number of young *H. ammodendron* populations significantly increased, while the number of mature *H. ammodendron* populations showed the opposite pattern with the increase in longitude or the decrease in latitude. The increase in precipitation was the one of driving forces to form these spatial patterns of community characteristics. This study provides basic data for the protection of *H. ammodendron* community in the arid region of the Qinghai-Tibet Plateau and provides scientific guidance for regional desertification and reasonable desertification control.

Key Words: *Haloxylon ammodendron* community; Qaidam Basin; climate factor; young *Haloxylon ammodendron* population; mature *Haloxylon ammodendron* population

干旱区在陆地表面分布广泛,其面积约占陆地表面的 40%,干旱区生态系统的稳定性对维持区域经济发展和生态安全具有重要作用,其结构和功能对环境变化非常敏感^[1]。荒漠化和沙漠化是干旱生态系统面临的主要生态环境问题,严重威胁人类生产与生活^[2]。干旱区太阳辐射强烈、降水稀少、土壤养分匮乏、土壤盐碱化严重等恶劣的自然环境使干旱区植物群落被破坏后恢复难度大^[3]。因此,保护天然植被是防止干旱区荒漠化的主要途径之一,也对维持干旱区生态系统稳定性具有重要作用^[4]。梭梭(*Haloxylon ammodendron*)是苋科梭梭属的小半乔木或灌木,具有耐寒、耐旱、耐盐碱、抗风沙的特征,在干旱区具有极强的生态适应能力^[5]。梭梭群落广泛分布于中国西北干旱区,具有防风固沙、维持生物多样性和减少水土流失等生态功能^[4],同时,梭梭群落也是中国西北地区促进沙化土地恢复、构建风沙区生态屏障的主要的人工造林类型^[6-7]。然而,受到人类活动和全球气候变化的影响,部分区域的梭梭群落特征、结构与功能发生明显改变^[8-9],这将降低干旱区生态系统的稳定性。

目前有关干旱区梭梭群落开展的研究虽然较多,但大多数研究集中在探究梭梭个体光合、蒸腾等生理特征和过程^[10-11]、梭梭种群年龄动态及空间分布格局^[12-13],还有部分学者探究了地形、土壤因子、土壤微生物和动物群落等对梭梭种群高度、盖度、株数等数量特征的影响^[14-16]。有关天然或人工梭梭群落结构、功能、动态和多样性等研究相对欠缺且数据资料时效性较差。例如,部分研究探究了新疆古尔班通古特沙漠、库姆塔格沙漠和准噶尔盆地、甘肃民勤、内蒙古阿拉善区域天然梭梭群落盖度、活株密度、幼龄植株密度和枯死植株密度等群落数量特征^[17-21]。也有学者通过在甘肃省民勤地区对人工梭梭群落特征进行调查,得出了该区域人工梭梭群落结构与功能较为稳定且群落具有良好的自然更新能力^[6, 22]。此外,前人的研究主要集中在新疆、甘肃和内蒙古地区,而青藏高原北部干旱区(柴达木盆地)也是天然梭梭群落的另一分布区^[4],该区域的高海拔、低温和特殊生物地理区系将如何影响梭梭群落特征?同时,随着地理空间的分异,梭梭群落数量特征将如何变化?这些在当前研究中相对薄弱。因此,明晰青藏高原干旱区梭梭群落特征是保护天然梭梭群落的重要基础。

气候因子通过直接影响植物的生理代谢活动、生长发育等过程改变种间关系^[23],也间接对土壤理化性质等生态过程产生影响^[24-25],综合改变群落植物多样性,最终驱动植物群落空间分布特征的形成。对于降水稀少和温差较大的干旱区来说,植物群落空间分布特征将受到哪些因素的调控?因此,阐明植物群落空间分布格局的驱动因素是深入了解干旱区植物群落空间格局形成机制的重要基础,更有利于全面理解干旱区生态系统的稳定性。

柴达木梭梭国家自然保护区位于青藏高原北部干旱区,也是青藏高原干旱区梭梭群落分布的核心区域。因此,本研究以柴达木梭梭国家自然保护区梭梭群落为研究对象,利用样带法进行植物群落调查并结合气象数据,拟探究:青藏高原北部干旱区梭梭群落空间分布特征是怎样的及形成这样的空间分布格局的驱动因子有哪些?本研究为保护青藏高原干旱区天然梭梭群落提供基础数据,也为青藏高原北部干旱区荒漠化和沙漠化合理防治提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于青藏高原北部柴达木盆地梭梭自然保护区(95.5°—97.5°E, 36.0°—37.2°N), 平均海拔为 3000 m, 地形复杂多样, 主要包括风蚀残丘、戈壁、沙地、沙丘等。研究区气候类型为高原大陆性气候, 太阳辐射强, 日照时间长, 年辐射总量 160×4.186 — 175×4.186 kJ/cm²。研究区年均温为 1.2—4.3℃, 年均降水量为 18—180 mm 且从研究区自东向西逐渐降低, 降水量变异大且多集中在夏季, 年蒸发量可达 2089—3298 mm, 蒸发量远大于降水量。土壤类型为盐化荒漠土、石膏荒漠土、棕钙土等, 土壤盐碱含量高, 养分含量低。区域植被类型主要为典型的温带荒漠, 群落物种组成简单, 建群种生活型以灌木为主且具有高度耐寒、耐旱和耐盐碱能力, 梭梭群落是该区域的主要群落类型。

1.2 野外调查

2023 年 8 月在研究区内自东向西设置多条样带(每条样带约 400 km), 在地形开阔、植被均匀且远离人为干扰的地带设置野外调查样地。本研究共设置 31 个梭梭群落典型调查样地(图 1)。在每个调查样地中, 首先记录样地的经度、纬度和海拔等地理环境信息, 随后在每个取样地随机设置 3 个 10 m×10 m 的样方, 在每个样方内先对灌木层使用目测法估测灌木层盖度并记录其物种组成, 随后对各灌木物种进行群落数量特征调查。使用胸径尺和卷尺进行每株调查, 调查指标主要包括: 每株灌木的基径、高度和冠幅, 最后记录样方内各灌木物种的株数。待灌木层调查结束后, 在样方的四角分别设置 4 个 1 m×1 m 的样方进行草本层调查。首先使用目测法估测草本层总盖度, 随后记录草本层的物种组成, 再测量各物种的平均高度、盖度和密度。

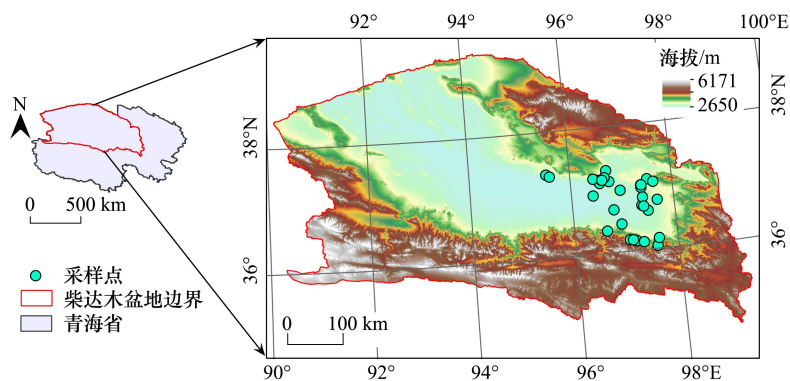


图 1 研究区域和野外调查样地 ($n=31$)

Fig.1 Study area and sampling sites ($n=31$)

1.3 气候因子的获取

本研究选取影响植物生长最重要的两个指标年均温和年均降水量进行分析。年均温和年降水量数据从 worldclim (<https://www.worldclim.org>) 中的 bioclimatic variables 中获取, 气象数据的时间段为 1970—2020 年, 数据的空间分辨率 0.0083×0.0083 (1 km×1 km)。各样地的年均温和年均降水使用 1970—2020 年的平均值表示。

1.4 数据分析

由于各样地的梭梭均呈丛生状, 无明显主干, 本研究将梭梭的生活型定为灌木。综合前人对梭梭年龄的划分方式^[6, 12], 本研究将梭梭基径 <1.2 cm 且高度低于 100 cm 的梭梭确定为幼龄梭梭, 其它梭梭则确定为成熟梭梭。植物中文名、拉丁学名依照《中国植物志》确定^[5], 科和属依照 APG IV 系统确定。植物生活型、水分生态类型和区系地理成分划分依照《内蒙古维管植物分类及其区系生态地理分布》确定^[26]。物种丰富度使用样方内物种总数表示。

使用独立样本 t 检验比较不同年龄梭梭种群数量特征的差异。使用一元线性回归分析群落数量特征和不同年龄梭梭数量随经度和纬度变化的规律和气候因子与梭梭群落数量特征及不同年龄梭梭数量的关系,以揭示群落特征地理分布格局形成的驱动因子。各样地的年均温和年均降水数据在 R 3.4.3 中使用线性插值法获得。本研究统计分析在 0.05 水平下进行,数据分析和图表绘制分别在 SPSS 24.0 和 Origin 14.0 中进行。

2 结果与分析

2.1 青藏高原干旱区梭梭群落特征

青藏高原干旱区梭梭群落物种构成相对简单。在群落中仅有 27 种植物,隶属于 21 属,8 科(表 1),其中灌木层植物物种数量多于草本层植物物种数量。

表 1 青藏高原干旱区 31 个梭梭群落调查样地物种组成分布特征

群落结构 Community structure	科数量 Number of family	属数量 Number of genus	种数量 Number of species
灌木层 Shrub layer	6	12	15
草本层 Herb layer	4	10	12
群落 Community	8	21	27

青藏高原干旱区梭梭群落植物生活型谱、水分生态类型谱和区系地理成分谱构成相对简单。梭梭群落共有 4 种生活型,其中灌木与半灌木包括的植物种类最多,常见的植物有梭梭、毛刺锦鸡儿(*Caragana tibetica*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)和猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)等(图 2)。草本层包括多年生禾草、多年生杂类草和一年生草本 3 种类型,其中一年生植物数量相对较多,主要包括:雾冰藜(*Grubovia dasyphylla*)、沙蓬(*Agriophyllum pungens*)和盐生草(*Halogeton glomeratus*)等(图 2)。多年生禾草主要包括:戈壁针茅(*Stipa tianschanica* var. *gobica*)、沙生针茅(*Stipa caucasica* subsp. *glareosa*)等。梭梭群落中共包含 5 种水分生态类型,其中旱生植物和强旱生植物相对较多,旱生植物主要有蒙古韭(*Allium mongolicum*)、沙鞭(*Psammochloa villosa*)和细枝盐爪爪(*Kalidium gracile*)等;强旱生植物主要有内蒙古旱蒿(*A. xerophytica*)、驼绒藜(*Krascheninnikovia ceratoides*)和米蒿(*A. dalai-lamae*)等(图 2)。旱中生植物仅有

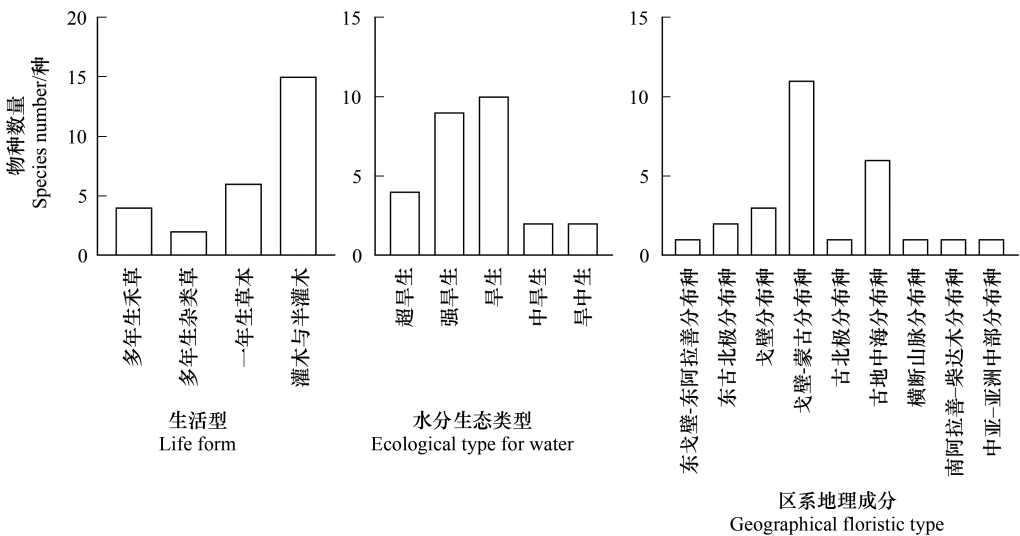


图 2 青藏高原干旱区梭梭群落植物生活型谱、水分生态类型谱和区系地理成分谱特征

Fig.2 Life form spectrum, spectrum of ecological type for water, and geographical floristic type spectrum of *Haloxylon ammodendron* community in the arid region of the Qinghai-Tibet Plateau

2 种,为蛛丝蓬(*H. arachnoideus*)和刺沙蓬(*Salsola tragus*)。梭梭群落中共包含 9 种区系地理成分,其中戈壁-蒙古分布种最多,达到 11 种,主要有蛛丝蓬、细枝盐爪爪、中亚早熟禾(*Poa litwinowiana*)(图 2)。

青藏高原干旱区不同梭梭样地间群落数量特征变化较大。梭梭群落灌木层中群落高度、群落盖度、物种丰富度较低,其中物种丰富度平均仅为 3.7 种/100 m²,灌木层群落物种组成匮乏,最低仅有 1 种/100 m²,最多可达 9 种/100 m²(表 2)。然而,不同样地间这些群落数量指标的变异系数极大,达到了 54.3%—65.5%,尤其是群落高度(表 2)。与灌木层相似,梭梭群落的草本层极不发达,仅有 12 个样地具有草本层。草本层的群落高度、株数、群落盖度和物种丰富度极低,其中群落高度和群落物种丰富度仅为 5.8 cm 和 2.5 种/m²(表 2)。然而,这些群落数量指标同样具有较大的变异系数,其中株数和群落盖度的甚至可达 119.2% 和 155.7%(表 2)。

表 2 青藏高原干旱区梭梭群落数量分布特征

Table 2 Community quantitative characteristics of *Haloxylon ammodendron* in the arid region of the Qinghai-Tibet Plateau

群落结构 Community structure	指标 Index	群落高度/cm Community height	株数/株 Density	群落盖度/% Community cover	物种丰富度/种 Species richness
灌木层 Shrub layer (100 m ²) n = 31	平均值	64	27.7	16.2	3.7
	标准误	7.5	2.7	1.8	0.4
	最小值	25.8	6	2	1
	最大值	151.7	70	37	9
	变异系数	65.50%	54.30%	61.70%	56.50%
草本层 Herb layer (1 m ²) n = 12	平均值	5.8	20.8	6.5	2.5
	标准误	1.2	6.6	2.7	0.4
	最小值	1	4	0.1	1
	最大值	15.5	94	28.3	5
	变异系数	77.90%	119.20%	155.70%	58.20%

2.2 青藏高原干旱区梭梭群落空间分布特征

青藏高原干旱区梭梭群落数量特征随经度的变化形成独特的地理分布格局。梭梭群落的总物种数、群落盖度和群落株数与经度的增加呈显著的正相关关系($P < 0.05$; 图 3),但群落高度与经度的增加无显著相关关系。与经度不同的是,群落总物种数、群落高度、群落盖度和群落株数与纬度的增加无显著的相关关系(图 4)。

2.3 青藏高原干旱区不同年龄梭梭群落空间分布特征

青藏高原干旱区不同年龄梭梭种群数量特征具有明显差异。成熟梭梭的基径、高度、冠幅显著高于幼龄梭梭的($P < 0.05$; 表 3),但样方内两种年龄梭梭的株数无显著差异。

表 3 不同年龄梭梭种群数量分布特征

Table 3 Population quantitative characteristics of *Haloxylon ammodendron* at different ages

类型 Type	基径/cm Basal diameter	高度/cm Height	冠幅/cm ² crown diameter	株数/(株/100 m ²) Density
幼龄梭梭种群 Young <i>Haloxylon ammodendron</i> population	0.75±0.01b	56.39±2.18b	5224.0±586.6b	4.0±0.6a
成熟梭梭种群 Mature <i>Haloxylon ammodendron</i> population	2.50±0.18a	145.1±4.30a	25989.0±2664.6a	4.8±0.6a

不同小写字母表示在 0.05 水平上两种年龄梭梭种群数量分布特征具有显著差异

青藏高原干旱区两种不同年龄的梭梭数量随经度和纬度的变化形成不同的地理分布格局。群落中成熟梭梭的相对数量随经度的增加而显著降低,但幼龄梭梭的相对数量随经度的增加而显著增加($P < 0.05$; 图 5)。然而,这在纬度梯度上则形成不同的格局。群落中成熟梭梭的相对数量随纬度的增加而显著增加,幼龄梭梭

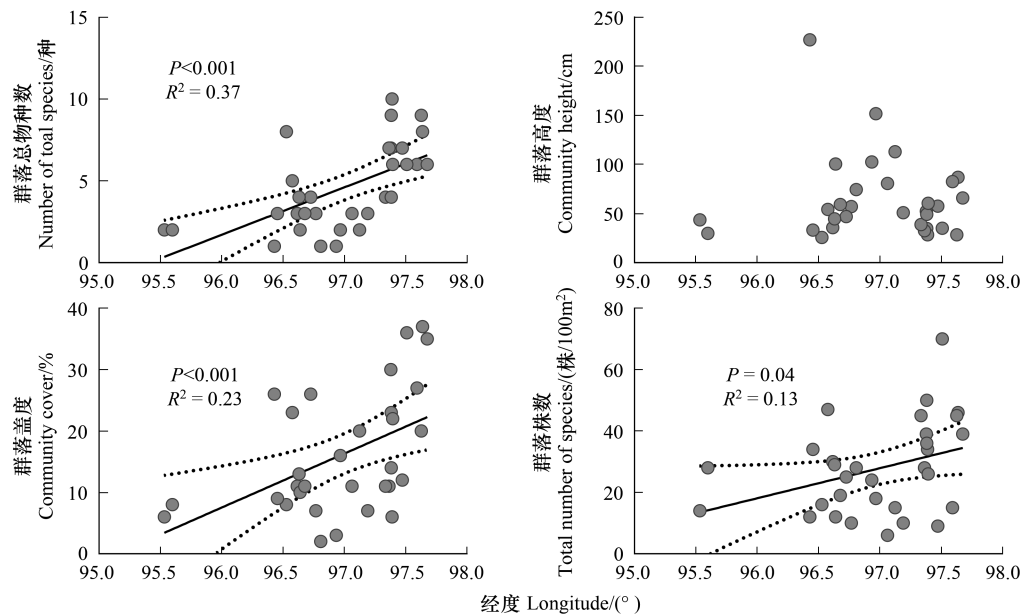


图3 青藏高原干旱区梭梭群落数量特征随经度变化的地理格局

Fig.3 Geography patterns of community quantitative characteristics of *Haloxylon ammodendron* along longitude gradient in the arid region of the Qinghai-Tibet Plateau
虚线点表示 95% 置信区间

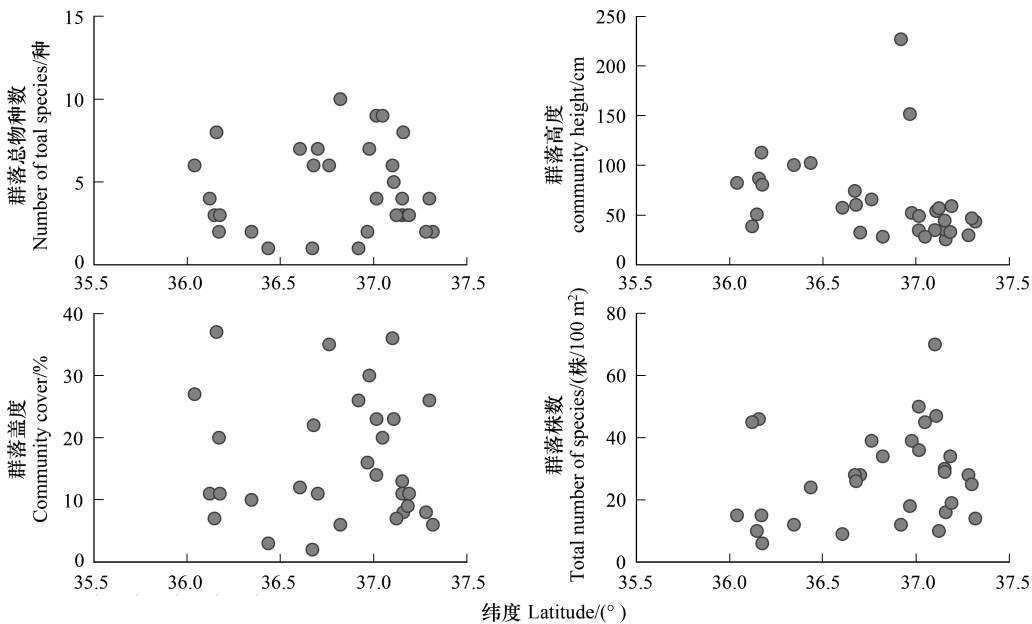


图4 青藏高原干旱区梭梭群落数量特征随纬度变化的地理格局

Fig.4 Geography patterns of community quantitative characteristics of *Haloxylon ammodendron* along latitude gradient in the arid region of the Qinghai-Tibet Plateau

的相对数量随纬度的增加而显著降低 ($P < 0.05$; 图 5)。

2.4 青藏高原干旱区梭梭群落空间分布特征形成的驱动因子

年均温和年降水量对青藏高原干旱区梭梭群落特征分异具有不同的影响。梭梭群落的高度随年均温的

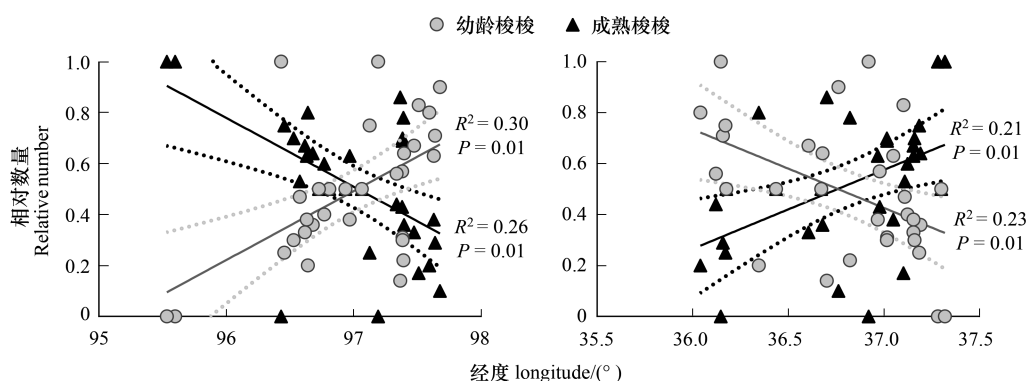


图5 青藏高原干旱区不同年龄梭梭种群数量随经纬度变化的地理格局

Fig.5 Geography patterns of quantitative characteristics of *Haloxylon ammodendron* at different ages along latitude gradient in the arid region of the Qinghai-Tibet Plateau

增加而显著增加 ($P < 0.05$; 图 6), 但群落总物种数量、群落盖度和群落株数与年均温的增加无显著关系 (图 6)。然而, 年均降水量对梭梭群落特征具有强烈的影响。随年均降水量的增加, 梭梭群落总物种数、群落盖度和群落株数显著增加 ($P < 0.05$; 图 7), 但群落高度与年均降水量的增加无显著相关 (图 7)。

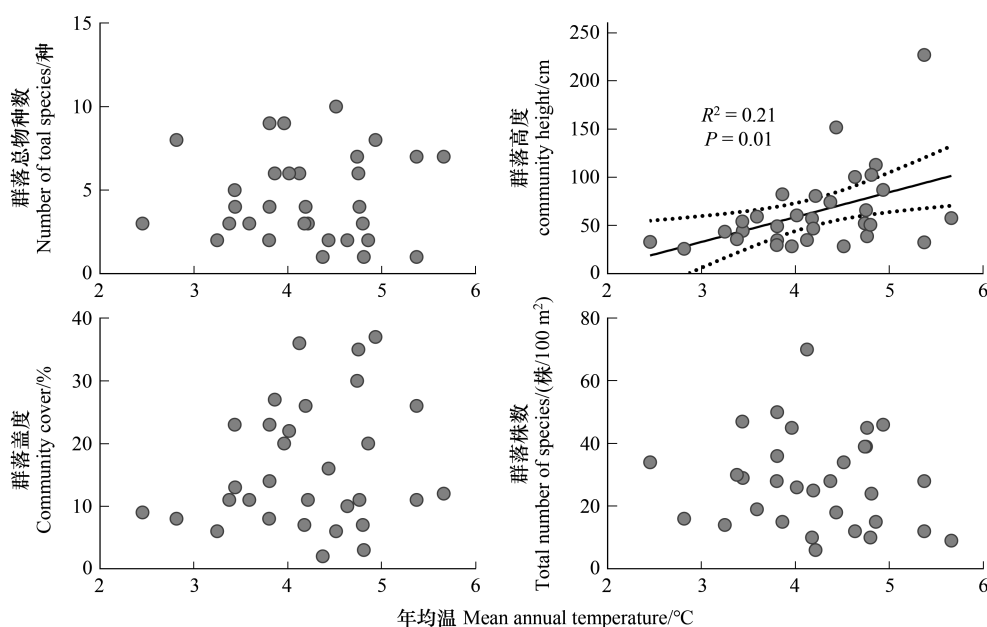


图6 气温与青藏高原干旱区梭梭群落特征的关系

Fig.6 Relationship between air temperature and community characteristics of *Haloxylon ammodendron* in the arid region of the Qinghai-Tibet Plateau

不同气候因子对青藏高原干旱区不同年龄梭梭的数量具有不同的影响。随着年均温和年均降水的增加, 幼龄梭梭的相对数量显著增加, 成熟梭梭的相对数量则显著降低 ($P < 0.05$; 图 8)。

3 讨论

3.1 青藏高原干旱区梭梭群落特征

植物群落是生态系统组成的关键, 其变化也是衡量生态系统稳定性的重要指标。物种组成是构成植物群落的基础, 能反映植物群落对环境的适应性。本研究发现青藏高原北部干旱区梭梭群落物种组成十分简单,

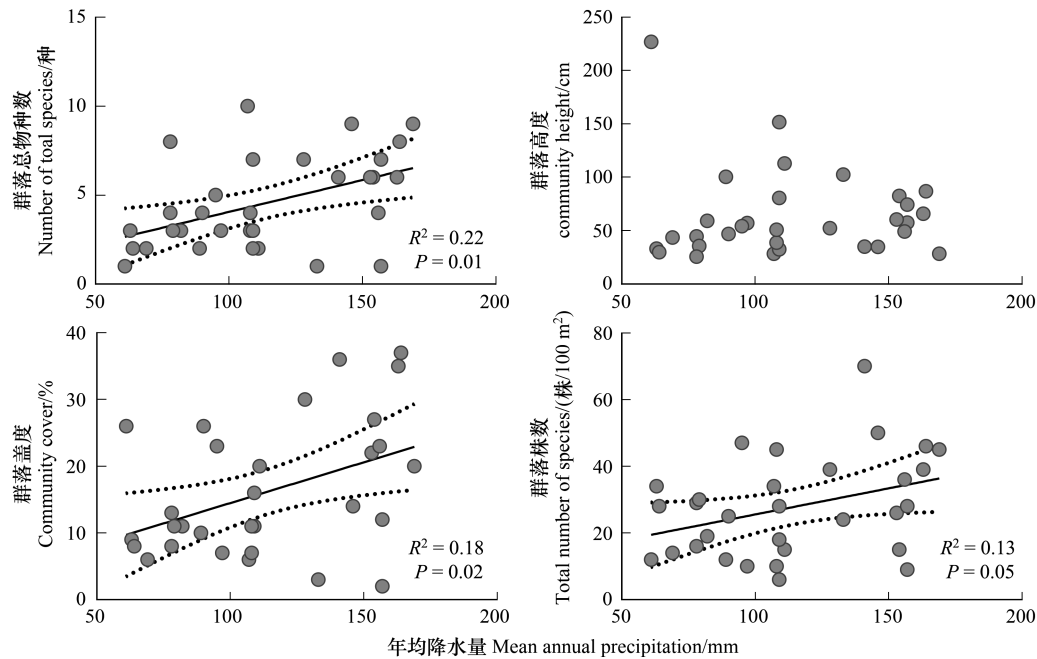


图7 降水量与青藏高原干旱区梭梭群落特征的关系

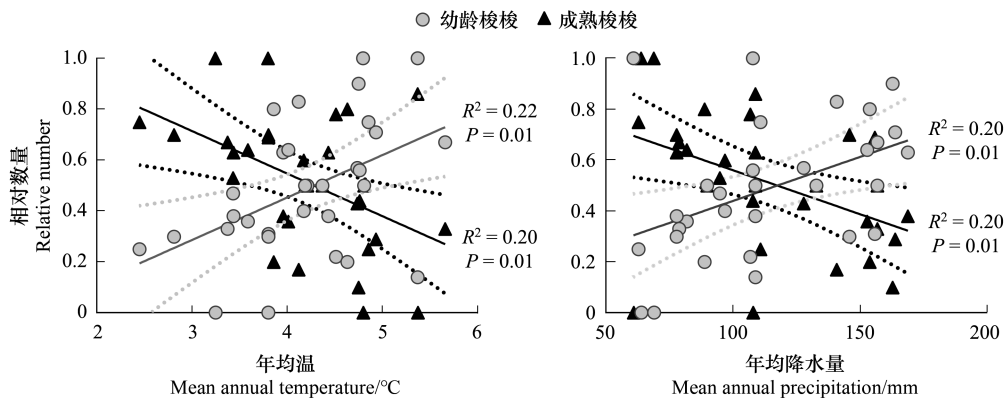
Fig.7 Relationship between precipitation and community characteristics of *Haloxylon ammodendron* in the arid region of the Qinghai-Tibet Plateau

图8 降水量和气温与青藏高原干旱区不同年龄梭梭数量的关系

Fig.8 Relationship between air temperature and precipitation and community characteristics of *Haloxylon ammodendron* at different ages in the arid region of the Qinghai-Tibet Plateau

仅有 8 科, 21 属, 27 种植物, 与新疆、甘肃等地区梭梭群落物种数量相似^[17, 22, 27]。梭梭群落主要分布在我国西北地区荒漠中, 这些区域自然环境恶劣 (降水稀少、土壤养分匮乏等), 植物生存和生长受到极大的限制, 仅有少数的植物可以适应这种干旱环境。这也表明荒漠植被构成简单, 但当群落被破坏后, 植被的恢复更加困难且在植被恢复中应从原生群落中选取适合的植物进行种植。虽然不同区域梭梭群落物种数量差异较小, 然而组成的物种组成则不同。本研究中梭梭群落的物种组成与甘肃地区的较为相似^[22], 主要包括: 沙拐枣、白刺 (*Nitraria sibirica*)、红砂、沙蓬、刺沙蓬、盐生草等, 但与新疆地区梭梭群落的物种组成截然不同^[27], 表明不同区域梭梭群落物种受到不同地理区域的影响。青藏高原干旱区梭梭群落中灌木和半灌木、旱生和强旱生植物的比例较高, 也与其所在的干旱环境相适应。群落草本层中有一定数量的一年生植物、中旱生植物和旱中生

植物。这主要是由于一年生植物为“机会主义者”,利用夏季短暂的降水快速完成生活史过程^[28],与其他干旱区域相似。本研究发现在青藏高原干旱区梭梭群落中戈壁—蒙古分布种和古地中海分布种的数量相对较多,表明本区域梭梭群落物种构成主要受到中亚荒漠区的影响,而受青藏高原的影响相对较小。

青藏高原梭梭群落具有群落结构简单、物种丰富度低、群落数量特征变异大和草本层不发达等特征,与新疆、甘肃等地区梭梭群落具有相似的特征^[18, 27, 29],干旱气候是导致这种情况的主要原因。此外,有研究发现立地条件也是影响梭梭群落数量特征的重要因素^[30–31]。沙地、沙丘和砾石质戈壁是青藏高原干旱区梭梭群落主要分布的位置。与砾石质戈壁相比,沙地、沙丘土壤水分相对较好,梭梭种群具有相对较高的高度、盖度、基径等数量特征和植物丰富度,同时其草本层也较为发达。这也表明沙地、沙丘更有利于梭梭群落的生长,与前人的研究一致^[7]。在未来荒漠化防治中,适宜在流动沙丘或土壤沙质化严重的地方进行人工梭梭群落种植,避免在砾石戈壁中种植梭梭。

3.2 青藏高原干旱区梭梭群落空间分布特征及其驱动因子

了解植物群落特征随地理梯度变化而形成的格局是深入了解生态系统结构与功能的重要基础。本研究发现在经度格局上,梭梭群落数量特征随经度的增加而显著增加,与前人的研究结果一致^[29]。随着经度的增加,相对适宜的环境(降水和温度增加)使植物生长受到的环境胁迫降低,植物生长速率增加,进而提高梭梭群落数量特征和植物多样性。然而,在纬度格局上,梭梭群落数量特征与纬度的增加无显著的相关,表明经度的变化对梭梭群落特征空间分布格局的影响高于纬度的。这与在新疆干旱区梭梭群落的分布格局不同^[32]。本研究较小的纬度变化,可能使得自然环境的差异并不明显。因此,梭梭群落特征沿纬度梯度无明显格局。这些研究结果表明地理跨度引起的自然环境的变化是驱动梭梭群落空间分布特征形成的主导因素。气温和降水量是影响植物群落特征最主要的非生物因子^[25]。本研究发现在干旱区内与气温相比,降水量对植物的生长发育具有更重要的作用^[18]。因此,年均降水量对青藏高原干旱区梭梭群落空间分布特征的形成起到决定性作用且随年均降水量的增加,梭梭群落数量特征显著增加,与影响新疆地区梭梭群落结构与功能的因素相同^[5]。年均温仅与群落高度呈显著的正相关,这可能由于较高的气温使得植物具有较快的生长速率,进而导致植物群落高度较高。明确青藏高原干旱区梭梭群落空间分布特征形成的驱动因子,有利于全面了解梭梭群落结构与功能的变化特征,对于预测全球气候影响下梭梭群落空间分布特征具有重要意义。

青藏高原干旱区梭梭群落中幼龄梭梭和成熟梭梭的种群数量特征具有显著差异,表明不同梭梭群落中梭梭均具有良好的更新状况。然而,幼龄梭梭和成熟梭梭的数量随地理梯度形成不同的空间格局。随经度的增加,幼龄梭梭的数量显著增加,但成熟梭梭的数量显著降低;随纬度的增加,幼龄梭梭的数量显著降低,成熟梭梭的数量显著增加,表明梭梭群落在研究区东部和南部的更新优于研究区的西部和北部。降水量的分异是引起不同年龄梭梭数量分异的主要因素^[18, 29]。在研究区东部和南部区域,较高的降水量促进了梭梭群落有性繁殖,提高种子的产生量,增加了幼龄梭梭的数量。在研究区的西部和北部,降水量相对较少,自然环境恶劣,不利于梭梭种群的更新,导致群落中梭梭种群主要以成熟梭梭为主。因此,在青藏高原干旱区的不同区域中对梭梭应采取不同的保护策略。

4 结论

梭梭群落对区域防风固沙和水土保持等方面具有重要生态功能。通过野外样带调查发现,青藏高原干旱区梭梭群落主要集中分布在柴达木盆地东部区域。梭梭群落物种组成、生活型和水分生态类型构成简单,但区系地理成分复杂的特征。梭梭群落具有群落数量特征变异大,物种丰富度低,群落垂直结构简单,草本层不发达的特征,这些群落特征与区域自然环境恶劣的特点相一致。在青藏高原干旱区内,沿经度梯度的增加,梭梭群落数量特征显著提高,但在纬度梯度的变化上无明显的空间分布格局。降水量的变化是驱动梭梭群落空间分布特征形成的主要因子。

参考文献 (References):

- [1] Delgado-Baquerizo M, Maestre F T, Gallardo A, Bowker M A, Wallenstein M D, Quero J L, Ochoa V, Gozalo B, García-Gómez M, Soliveres S, García-Palacios P, Berdugo M, Valencia E, Escolar C, Arredondo T, Barraza-Zepeda C, Bran D, Carreira J A, Chaieb M, Conceição A A, Derak M, Eldridge D J, Escudero A, Espinosa C I, Gaitán J, Gatica M G, Gómez-González S, Guzmán E, Gutiérrez J R, Florentino A, Hepper E, Hernández R M, Huber-Sannwald E, Jankju M, Liu J S, Mau R L, Miriti M, Moneris J, Naseri K, Noumi Z, Polo V, Prina A, Pucheta E, Ramírez E, Ramírez-Collantes D A, Romão R, Tighe M, Torres D, Torres-Díaz C, Ungar E D, Val J, Wamiti W, Wang D L, Zaady E. Decoupling of soil nutrient cycles as a function of aridity in global drylands. *Nature*, 2013, 502(7473): 672-676.
- [2] 马永欢, 樊胜岳, 姜德娟, 张明义, 张春花. 我国北方土地荒漠化成因与草业发展研究. *干旱区研究*, 2003, 20(3): 217-220.
- [3] Wei Y J, Zhen L, Du B Z. The evolution of desertification control and restoration technology in typical ecologically vulnerable regions. *Journal of Resources and Ecology*, 2022, 13(5): 775-785.
- [4] 郭泉水, 郭志华, 阎洪, 王春玲, 谭德远, 马超, 何红艳. 我国以梭梭属植物为优势的潜在荒漠植被分布. *生态学报*, 2005, 25(4): 848-853, 946.
- [5] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志-第七卷. 北京: 科学出版社, 1978.
- [6] 赵鹏, 徐先英, 张裕年, 段晓峰, 邱晓娜, 张雯, 张俊年. 民勤绿洲荒漠过渡带人工梭梭种群年龄结构及动态. *生态学报*, 2023, 43(14): 6069-6079.
- [7] 高利颖, 王海兵, 廖承贤, 杨皓钦, 郇博文, 刘军. 阿拉善戈壁区人工梭梭林保存率及生长状况研究. *干旱区资源与环境*, 2024, 38(6): 159-165.
- [8] 司朗明, 刘彤, 刘斌, 李磊. 古尔班通古特沙漠西部梭梭种群退化原因的对比分析. *生态学报*, 2011, 31(21): 6460-6468.
- [9] 李中赫. 古尔班通古特沙漠西部梭梭群落退化特征研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2018.
- [10] 贺晓慧, 司建华, 周冬蒙, 王春林, 赵春彦. 不同林龄梭梭(*Haloxylon ammodendron*)的光合特性和水分利用效率. *中国沙漠*, 2023, 43(1): 20-26.
- [11] 冯晓龙, 刘冉, 李从娟, 王玉刚, 孔璐, 王增如. 梭梭和多枝怪柳的枝干光合及其主要影响因子. *应用生态学报*, 2022, 33(2): 344-352.
- [12] 毛毛, 蒙仲举, 党晓宏, 赵飞燕, 王德慧, 柴享贤. 巴丹吉林沙漠东缘天然梭梭种群结构与动态特征. *干旱区研究*, 2023, 40(6): 971-978.
- [13] 张剑挥, 马全林, 李得禄, 袁宏波, 张元恺, 常丽. 乌兰布和沙漠天然梭梭种群动态及空间分布. *西北植物学报*, 2023, 43(7): 1198-1207.
- [14] 陈峰, 张静, 韩二牛, 温苏雅拉图, 李盛林, 王国林, 王磊, 王少昆. 乌拉特天然梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林土壤微生物多样性及其与土壤性质的关系. *中国沙漠*, 2022, 42(2): 207-214.
- [15] 安芳娇, 苏永中, 牛子儒, 刘婷娜. 干旱区荒漠绿洲过渡带建植梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林后土壤线虫群落演变. *中国沙漠*, 2024, 44(2): 133-142.
- [16] 安芳娇, 牛子儒, 刘婷娜, 苏永中. 西北荒漠绿洲过渡带土壤细菌结构和氮代谢对梭梭恢复的响应. *生态学报*, 2023, 43(20): 8454-8464.
- [17] 潘伟斌. 古尔班通古特沙漠南缘中段梭梭群落初步研究. *新疆环境保护*, 1997, 19(1): 38-40.
- [18] 王继和, 张锦春, 袁宏波, 廖空太, 刘虎俊, 张国中. 库姆塔格沙漠梭梭群落特征研究. *中国沙漠*, 2007, 27(5): 809-813.
- [19] 黄培祐, 李启剑, 袁勤芬. 准噶尔盆地南缘梭梭群落对气候变化的响应. *生态学报*, 2008, 28(12): 6051-6059.
- [20] 牛攀新, 宋于洋, 周朝彬. 准噶尔盆地梭梭群落生物量和碳储量. *生态学报*, 2014, 34(14): 3962-3968.
- [21] 张颖译, 王立, 徐先英, 刘虎俊, 张瑜忠, 李雪宁. 石羊河下游不同林龄梭梭(*Haloxylon ammodendron*)群落特征及健康度分析. *甘肃农业大学学报*, 2023, 58(2): 116-122.
- [22] 滕玉凤, 马力, 占玉芳, 甄伟玲, 钱万建, 穆刚, 鲁延芳, 田晓萍. 河西走廊民勤人工梭梭林群落的物种多样性研究. *中国水土保持*, 2019, (1): 43-46, 69.
- [23] Zhang J H, Li M X, Xu L, Zhu J X, Dai G H, He N P. C: N: P stoichiometry in terrestrial ecosystems in China. *The Science of the Total Environment*, 2021, 795: 148849.
- [24] Nie X Q, Wang D, Ren L N, Ma K L, Chen Y Z, Yang L C, Du Y G, Zhou G Y. Distribution characteristics and controlling factors of soil total nitrogen: phosphorus ratio across the northeast Tibetan Plateau shrublands. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 825817.
- [25] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(30): 11001-11006.
- [26] 赵一之. 内蒙古维管植物分类及其区系生态地理分布. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 2012.
- [27] 唐诚, 刘彤, 刘学录, 刘超. 古尔班通古特沙漠西南缘梭梭群落多样性和稳定性研究. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(8): 148-153.
- [28] 付晓玥, 闫建成, 梁存柱, 贾成朕, 史斌, 张景慧, 齐小军. 干旱与半干旱区-年生植物水势对模拟降水变化的响应. *内蒙古大学学报(自然版)*. 2012, 43(2): 160-167.
- [29] 李中赫, 刘彤. 古尔班通古特沙漠西部梭梭群落多样性与土壤理化性质的关系. *应用与环境生物学报*, 2018, 24(5): 1165-1170.
- [30] 杨更强, 严成, 陈军纪, 徐磊, 武晓亚, 曹秋梅. 砾漠区微地形下梭梭群落特征. *东北林业大学学报*, 2015, 43(5): 64-67.
- [31] 马扎雅泰, 赵晨光, 李慧瑛, 张斌武, 谢宗才, 李庆恩, 赵承华. 立地类型对于干旱沙区梭梭人工林群落特征的影响. *防护林科技*, 2022(1): 35-40.
- [32] 杨瑞红. 古尔班通古特沙漠梭梭种群及群落动态特征和稳定性评价[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2017.