

赵文智,白雪莲,刘婵.巴丹吉林沙漠南缘的植物固沙问题[J].中国沙漠,2022,42(1):5-11.

巴丹吉林沙漠南缘的植物固沙问题

赵文智,白雪莲,刘婵

(中国科学院西北生态环境资源研究院 中国生态系统研究网络临泽内河流域研究站,甘肃 兰州 730000)

摘要:在野外考察的基础上,选择13个典型样地,研究了巴丹吉林沙漠南缘植被组成、群落特征和植被格局。结果表明:调查的样地中有荒漠植物31种,其中灌木12种,多年生草本11种,一二年生草本8种。种群密度3 000—14 000株·hm⁻²,优势种在群落中地位显著,群落稳定性较差;植被斑块面积小、最大斑块指数低。沙漠南缘年降水量虽然仅100 mm左右,但有霸王(*Zygophyllum xanthoxylon*)、红砂(*Reaumuria soongarica*)和沙蒿(*Artemisia desertorum*)等灌木和半灌木天然植物群落分布,有白刺(*Nitraria tangutorum*)和膜果麻黄(*Ephedra przewalskii*)灌丛沙堆,沙丘上生长着沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、沙鞭(*Psammochloa villosa*)等种群生存,且在沙漠延伸带流动沙丘上已成功建立了梭梭(*Haloxylon ammodendron*)人工固沙植被,表明在巴丹吉林沙漠南缘建立以乡土植物为主的固沙植被是可行的。在未来研究中,应在山水林田湖草沙生命共同体理念下加强从区域尺度上解析水、植被和沙的关系,系统了解生态系统的原真性、完整性和连通性及生态系统稳定性维持等问题,优化生态景观格局,确定生态保护目标和建设规模,同时要加强对乡土植物适应干旱风沙机制和扩繁保育技术研究,以便为区域生态建设和生态保护提供科技支撑。

关键词:巴丹吉林沙漠;植物组成;植被格局;植被土壤水分承载力;植物固沙

文章编号: 1000-694X(2022)01-005-07

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00159

中图分类号: Q948.11

文献标志码: A

0 引言

巴丹吉林沙漠位于内蒙古西部的阿拉善盟境内,东西长约442 km,南北宽约354 km,面积约5.21万km²,是中国第二大流动沙漠。沙漠北至拐子湖、古居延泽,西至弱水东岸、古日乃湖,沙漠南部的合黎山、北大山等将其与河西走廊分隔,东部以宗乃山、东南部以雅布赖山为界^[1-2]。高大沙山集中分布于沙漠东南部,高度大于200 m的沙山覆盖沙漠一半以上的面积,100多个湖泊分布于沙山之间,形成独特的沙山-湖泊景观。该区域年降水量100 mm左右,集中在6—8月,自东南向西北逐渐减小;年均气温为7—8℃。终年盛行西北风和西风,年平均风速2.8—4.6 m·s⁻¹,自南向北增大,年大风日数40—60 d^[3]。主要植被类型为荒漠植被,物种多样性水平较低,植被覆盖度随降水格局呈现由东南向西北逐渐递减的分布规律^[4-7]。巴丹吉林沙漠地区气候干燥、降水少、水资源短缺,地带性植被稀疏,在气候变化和人

类活动影响下,沙漠边缘的原生植被难以有效阻止沙漠扩张。因此,如何利用有限的降水资源和地带性植物长期适应干旱风沙环境的特点,建立合理的防沙体系来有效阻挡巴丹吉林沙漠扩张是维持河西走廊和阿拉善高原生态安全的关键。

1 巴丹吉林沙漠周边延伸带

受自然条件特别是地形条件的影响,巴丹吉林沙漠存在几条不同程度延伸到阿拉善高原和河西走廊的沙带^[8-9](图1)。沙带延伸增加了沙源的面积,埋压了荒漠植被,加剧了荒漠植被区风沙活动,直接威胁河西走廊的生态安全^[10-17]。

1.1 民勤绿洲西北部延伸带

民勤北部是巴丹吉林沙漠东南部与腾格里沙漠的交汇地,被形象地称为“两大沙漠握手”之处,目前已经形成3处“握手区”。一是雅布赖山东侧两大沙漠汇合带,宽8—15 km,长约60 km,呈西北-东

收稿日期:2021-11-20; 改回日期:2021-12-23

资助项目:中国科学院战略性科技先导专项(XDA23060303);中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDJ-SSW-DQC040)

作者简介:赵文智(1966—),男,陕西定边人,研究员,主要从事生态恢复和生态水文学研究。E-mail: zhaowzh@lzb.ac.cn

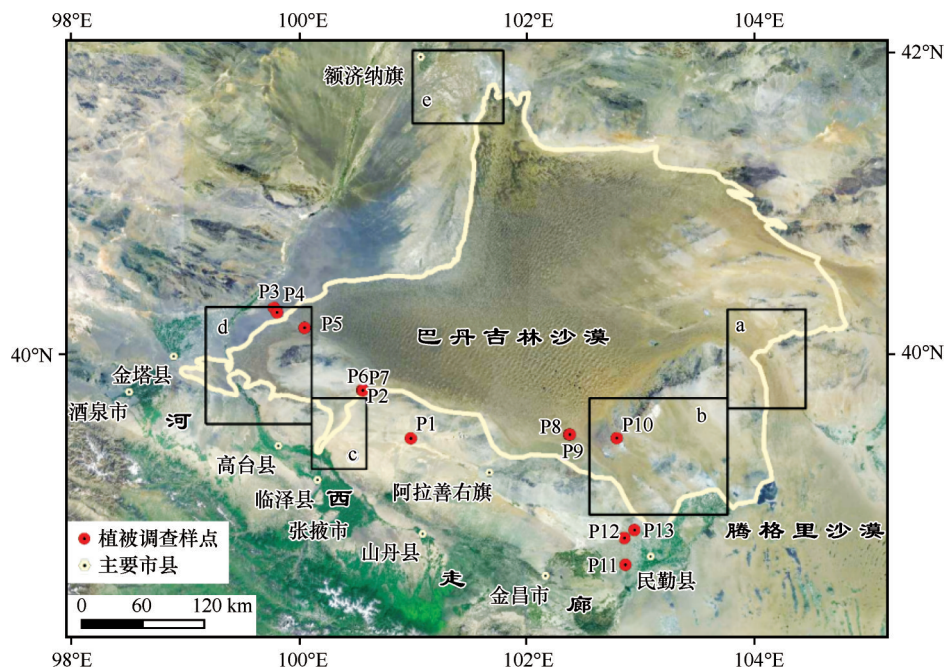


图1 巴丹吉林沙漠及其主要延伸带

Fig.1 The map of Badain Jaran Sand Sea, China

南走向;二是巴丹吉林沙漠翻越雅布赖山后延伸至民勤绿洲西北部,形成宽30—40 km,长80—100 km的沙带;三是巴丹吉林到民勤绿洲北部青土湖与腾格里沙漠交汇,形成了一条长80—100 km,宽30—40 km的沙带。

1.2 临泽、金塔绿洲延伸带

在河西走廊中部,巴丹吉林沙漠向临泽绿洲北部延伸出长约70 km,宽3—5 km的东北-西南向风沙带,该风沙带与绿洲镶嵌呈“U”字形态。巴丹吉林沙漠临泽延伸带在临泽境内有北-中-南三条风沙带,占全县面积三分之二。此外,沙漠在向西南部的金塔县和高台县延伸过程中,沙物质受到合黎山阻隔后在山体两侧堆积,形成南北长约80 km,宽10—30 km的弯月形延伸带,沙丘类型以锥形金字塔沙丘为主。在金塔绿洲东部,分布有以风蚀劣地和片状流沙为主的沙地。在高台县南部,分布有东西约80 km,南北约40 km的片状流沙地。

1.3 额济纳旗延伸带

地处内蒙古阿拉善高原的额济纳绿洲东部与沙漠之间,有南北20—40 km,东西约50 km的沙带,以新月形沙丘、片状沙丘以及风蚀劣地为主。此外,在绿洲东北部的居延海周围分布有以干涸湖床、流动沙丘等为主的沙地。

2 环巴丹吉林沙漠植被类型、组成和格局

沿巴丹吉林沙漠南缘选择了13个100 m×100 m天然植被样地进行群落调查(图1),在样地内设置10 m×10 m的天然植被样方5个,逐一测定灌木的高度和冠幅;1 m×1 m的草本样方9个,对每种植物的个体数和盖度逐一统计,并测量3个标准株高度,分析群落物种组成及数量特征。

2.1 植被组成

巴丹吉林沙漠南缘植被主要群落包括中亚紫菀木+绵刺+珍珠柴群落(*Asterothamnus centrali-asiaticus*+*Potania mongolica*+*Salsola passerina*)、沙蒿+白刺群落(*Artemisia desertorum*+*Nitraria tangutorum*)、红砂群落(*Reaumuria soongarica*)、沙拐枣群落(*Calligonum mongolicum*)、红砂+白刺群落(*Reaumuria soongarica*+*Nitraria tangutorum*)、红砂+泡泡刺群落(*Reaumuria soongarica*+*Nitraria sphaerocarpa*)、沙蒿群落(*Artemisia desertorum*)、霸王+沙蒿群落(*Zygophyllum xanthoxylon*+*Artemisia desertorum*)、红砂+碱蓬群落(*Reaumuria soongarica*+*Suaeda glauca*)、白刺群落(*Nitraria tangutorum*)、泡泡刺群落(*Nitraria sphaerocarpa*)、膜果麻

黄 + 泡泡刺群落 (*Ephedra przewalskii*+*Nitraria sphaerocarpa*)等 13 个群落。在调查的 13 个群落中,共有荒漠植物种 31 种,其中灌木 12 种,多年生草本 11 种,一、二年生草本 8 种,草本植物多于灌木(表 1)。主要分为半灌木+矮灌木荒漠(P1、P7 和 P8)、半灌木+小灌木荒漠(P3)、草原化灌木荒漠(P10)、灌木荒漠(P4—6、P9 和 P12—13)和温性落叶阔叶灌丛(P2 和 P11)等 5 个植被类型。

2.2 群落特征

在调查的 13 个群落中,种群密度以红砂+碱蓬群落中的碱蓬最大,达到了 13 900 株·hm⁻²,其次是沙蒿群落的沙蒿,为 6 000 株·hm⁻²,种群密度 3 000—5 000 株·hm⁻²的有中亚紫菀木+绵刺+珍珠柴群落的珍珠柴(5 000 株·hm⁻²)、红砂+白刺群落中的红砂(4 000 株·hm⁻²)以及沙蒿群落,沙蒿+霸王群落的沙蒿,密度分别为 3 600 株·hm⁻²和 3 000 株·hm⁻²。各

表 1 巴丹吉林沙漠周边群落优势种数量特征
Table 1 Dominant plant features of the communities around the south edge of Badain Jaran Sand Sea, China

样地 编号	植物群落类型	优势种	密度 /(株·hm ⁻²)	高度 /cm	冠幅 /m ²	盖度 /%	重要值
P1	中亚紫菀木+绵刺+珍珠柴群落	棉刺(<i>Potania mongolica</i>)	2 900	7±2	0.12	4±0.2	0.29
		珍珠柴(<i>Salsola passerina</i>)	5 000	12±4	0.06	3±0.1	0.58
		中亚紫菀木(<i>Asterothamnus centrali-asiaticus</i>)	2 300	24±7	0.19	4±0.1	0.58
P2	沙蒿+白刺群落	沙蒿(<i>Artemisia desertorum</i>)	2 300	44±15	0.58	13±0.6	0.67
		白刺(<i>Nitraria tangutorum</i>)	200	43±1	3.59	6±0.7	0.44
P3	红砂群落	红砂(<i>Reaumuria soongarica</i>)	1 600	29±9	0.30	5±0.3	0.74
		沙蒿(<i>Artemisia desertorum</i>)	400	43±3	0.17	1±0.1	0.54
P4	沙拐枣群落	沙拐枣(<i>Calligonum mongolicum</i>)	500	58±25	11.50	51±16	0.78
P5	红砂+白刺群落	红砂(<i>Reaumuria soongarica</i>)	4 000	20±9	0.12	5±0.2	0.74
		白刺(<i>Nitraria tangutorum</i>)	800	18±9	0.23	2±0.2	0.36
P6	红砂+泡泡刺群落	红砂(<i>Reaumuria soongarica</i>)	1 200	9±3	0.04	1±0.03	0.37
		泡泡刺(<i>Nitraria sphaerocarpa</i>)	1 000	27±5	0.80	8±0.4	0.86
P7	沙蒿群落	沙蒿(<i>Artemisia desertorum</i>)	3 600	54±21	0.42	14±0.4	0.85
P8	沙蒿+霸王群落	沙蒿(<i>Artemisia desertorum</i>)	6 000	42±11	0.58	33±0.4	0.78
		霸王(<i>Zygophyllum xanthoxylon</i>)	300	90±15	2.34	7±1.5	0.62
P9	沙蒿+霸王群落	沙蒿(<i>Artemisia desertorum</i>)	3 000	56±13	2.26	17±1	0.76
		霸王(<i>Zygophyllum xanthoxylon</i>)	200	76±8	2.73	7±1.3	0.48
P10	红砂+碱蓬群落	碱蓬(<i>Suaeda glauca</i>)	13 900	12±7	0.07	9±0.1	0.59
		蒙古虫实(<i>Corispermum mongolicum</i>)	2 000	5±2	0.02	0.3±0.01	0.15
		刺蓬(<i>Cornulaca alaschanica</i>)	800	7±2	0.03	0.2±0.01	0.18
		红砂(<i>Reaumuria soongarica</i>)	600	24±7	0.38	2±0.3	0.66
P11	白刺群落	红砂(<i>Reaumuria soongarica</i>)	500	27±6	0.46	1±0.2	0.50
		白刺(<i>Nitraria tangutorum</i>)	500	25±9	5.03	22±7	0.75
P12	泡泡刺群落	沙蒿(<i>Artemisia desertorum</i>)	800	41±22	0.16	1±0.2	0.60
		泡泡刺(<i>Nitraria sphaerocarpa</i>)	900	23±12	0.80	7±0.6	0.67
P13	膜果麻黄+泡泡刺群落	麻黄(<i>Ephedra przewalskii</i>)	1 100	29±13	0.29	4±0.2	0.43
		沙拐枣(<i>Calligonum mongolicum</i>)	1 000	26±9	0.25	3±0.2	0.37
		泡泡刺(<i>Nitraria sphaerocarpa</i>)	600	21±10	0.56	3±0.6	0.46

样地中高度最大的是沙蒿+霸王群落中的霸王,为 75—90 cm。沙拐枣群落+沙蒿群落和沙蒿+霸王群落中沙蒿高度为 50—60 cm。其余群落高度多在 40 cm 以下。沙拐枣群落盖度最高,达到了 50%,白刺群落中白刺盖度次之,约 22%,沙蒿种群中沙蒿盖度 13%—33%,在群落中优势明显。其余大部分群落的盖度均在 10% 以下。沙蒿群落沙蒿重要值最大,为 0.85;红砂+泡泡刺群落中泡泡刺重要值为 0.84。可以看出,优势种在群落中重要性凸显,单一物种地位显著,群落稳定性较差。

2.3 植物空间格局

通过无人机航拍获取了巴丹吉林沙漠南部边缘 13 个样区植被空间格局,每个样区提取 3 个 100 m×100 m 的样方,基于景观生态学的方法,计算植被的斑块面积(CA)、平均欧几里得距离(MENI)和最大斑块指数(LPI)等景观指数(表 2)。其中,CA 越大表明植物组分越大;LPI 表明某种景观组分中最大斑块优势度程度,LPI 越大表明大斑块

优势越明显;MENI 度量同一景观组分之间空间关系,其值越大说明同类型斑块间相隔距离越远,分布较离散;反之,说明同类型斑块间距小,呈团聚分布^[18]。研究发现半灌木+矮灌木荒漠和温性落叶阔叶灌丛 CA 较大,平均 CA 分别为 11±0.5 m² 和 12±0.3 m²,其中沙蒿+霸王和白刺群落 CA 最大,分别为 19±0.3 m² 和 14±0.4 m²;而半灌木+小灌木荒漠和灌木荒漠 CA 较小,分别为 1±0.1 m² 和 6±0.4 m²,其中红砂群落和红砂+白刺群落 CA 仅为 1±0.1 m² 和 3 ±0.2 m²,表明巴丹吉林沙漠周边霸王+沙蒿群落和白刺群落植被组分较大,而红砂群落和红砂+白刺群落植被组分相对较小。霸王+沙蒿群落和白刺群落 LPI 最大、沙蒿群落和霸王+沙蒿群落 MENI 最小,表明霸王+沙蒿群落群落类型中植被大斑块优势明显,植被斑块间距相近,呈团聚分布。红砂群落和红砂+白刺群落 LPI 最小、MENI 最大,表明红砂群落和红砂+白刺群落中植被大斑块优势度最不明显,且植被斑块间相隔距离越远,分布较离散。

表 2 巴丹吉林沙漠周边典型灌木群落植被格局

Table 2 The typical shrub vegetation patters around the south edge of Badain Jaran Sand Sea, China

植被类型	样方 编号	群落类型	斑块面积 CA/m ²	最大斑块指数 LPI/%	平均欧几里得 距离 MENI/m
半灌木+矮灌木荒漠	P1	中亚紫菀木+绵刺+珍珠柴群落	5±0.2	0.06	0.46±0.06
	P7	沙蒿群落	9±0.9	0.10	0.26±0.06
	P8	沙蒿+霸王群落	19±0.3	0.27	0.23±0.07
半灌木+小灌木荒漠	P3	红砂群落	1±0.1	0.01	0.98±0.16
草原化灌木荒漠	P10	红砂+碱蓬群落	10±0.2	0.04	0.30±0.06
灌木荒漠	P4	沙拐枣群落	4±0.4	0.16	0.67±0.16
	P5	红砂+白刺群落	3±0.2	0.02	0.74±0.09
	P6	红砂+泡泡刺群落	8±0.5	0.06	0.53±0.09
	P9	沙蒿+霸王群落	8±1.3	0.05	0.29±0.08
	P12	泡泡刺群落	6±0.02	0.08	0.51±0.11
	P13	膜果麻黄+泡泡刺群落	6±0.2	0.06	0.46±0.1
温性落叶阔叶灌丛	P2	沙蒿+白刺群落	10±0.2	0.25	0.31±0.09
	P11	白刺群落	14±0.4	0.46	0.36±0.07

3 巴丹吉林沙漠边缘的植物固沙问题

3.1 环巴丹吉林沙漠植物固沙

环巴丹吉林沙漠边缘气候干旱,年降水量多在 100 mm 左右,但周边分布着大量的如霸王、白刺、红

砂和沙蒿等灌木和半灌木天然植物群落^[19-21],存在着许多白刺和麻黄灌丛沙堆、在沙丘上生长着沙拐枣、沙鞭等种群^[22-25]。在沙漠延伸带的沙丘上营造的人工梭梭固沙植被,不仅可以有效固定流动沙丘,而且可以进行天然更新^[26-27]。天然植被生长分

布和人工固沙植被建设经验给我们的启示是,在环巴丹吉林沙漠边缘建设和完善以乡土植物为主的固沙植被不仅是可能的,也是可行的^[28-29]。但是固沙植被建设应以减缓沙丘扩张为目标,不应过分追求沙丘固定,更不应追求形成完整的植物固沙体系。首先固沙植物种必须来自乡土植物,应以植被土壤承载力为约束条件,坚持以天然植被抚育保护为主,适度补充人工固沙植被为辅的原则;在沙障材料选择上应就地就近取材,平茬的植物枝条、砾石都是理想的沙障材料,尽量避免采用黏土沙障和尼龙网沙障。根据调查,可供试验选择的植物种有霸王、白刺、沙蒿、绵刺、中亚紫菀木、膜果麻黄、沙鞭、沙拐枣。应充分利用局地降水径流再分配特点,在沙丘低凹水分和养分相对富集地段,建立近自然的斑块状或条带状植被格局。在交通沿线和村镇周边应根据风沙活动状况,可以适当建立梭梭、怪柳为主的人工固沙植被。应保护沙漠边缘分布的白刺、膜果麻黄灌丛沙堆,发挥它们的阻沙功能。还应充分挖掘禾本科植物如沙鞭、白草等适应流动沙丘生境的潜力,发挥禾本科植物的固沙作用。总之,抚育天然荒漠植被、维持灌丛沙堆稳定、保持荒漠植被的原真性、适当在工矿、村镇及交通线建立人工固沙植被是巴丹吉林沙漠南缘沙害治理的方向。

3.2 需要进一步关注的科学问题

巴丹吉林沙漠周边是典型的荒漠区,降水少叠加风沙活动频繁导致了生态系统稳定性差。既要从小尺度上在山水林田湖草沙生命共同体理念下解析水、植被、沙的关系,系统了解生态系统的原真性、完整性和连通性及其稳定性维持问题,又要加强对乡土植物适应干旱风沙机制的研究、加强乡土植物扩繁保育技术研究,在此基础上优化生态景观格局,确定生态系统保护目标、建设规模和结构,以便为区域生态建设和保护提供科技支撑。

3.2.1 风沙运移、沙漠扩张以及植被分异

研究沙漠外缘沙丘扩张过程及其空间分布特征,揭示环沙漠天然植被分异规律、植被对风沙环境适应性,以及植被与沙丘移动相互作用机制,研发环沙漠天然植被保护、人工阻沙植被带建设、荒漠植被与人工植被融合及过渡带生态保育等关键技术体系,构建防止沙丘扩张的植被体系,解析水、植被、沙的关系,系统了解生态系统的原真性、完整

性和连通性及其稳定性维持的关系与机理,确定降水量 100 mm 左右风沙区生态系统保护目标,人工生态系统规模的理论基础。重点关注:①巴丹吉林沙漠风沙活动规律及其对植被结构和功能的影响机理研究。研究风沙活动特征及规律,明确沙漠边缘风沙活动对植被结构、功能及稳定性的影响机理,阐明植物对风沙活动的适应机制,探索维持与提高植被稳定性的有效途径。②光电和风电场建设对局地风沙活动的影响研究。研究光电和风电场建设对局地风沙活动、地表植被的影响,研发生态保护技术,为区域新能源基地建设生态保护提供科学依据。③沙漠扩张过程及其对区域生态安全的影响研究。从宏观尺度上研究近千年、百年和十年等不同时间尺度沙漠扩张过程及其时空变化;阐明沙漠扩张的驱动因素,评价沙漠扩张过程对区域生态安全的影响。

3.2.2 雨养植被承载力及其对生态保护和建设的启示

针对沙漠扩张和风沙活动引起的天然荒漠植被退化、防沙功能降低等问题,开展:①植被承载力和植被防沙带建立模式研究。研究乡土植物的抗旱、抗风蚀沙埋能力,以及风沙活动与植被群落组成、空间格局、种间关系、稳定性的相互作用;确定植被土壤承载力,研究基于植被土壤承载力的天然植被保护目标和人工固沙植被建设范式。②天然植被稳定性维持机制研究。研究沙漠边缘天然植被的组成、多样性、稳定性及其与降水、降水再分配、土壤水的关系,研究降水及其再分配对土壤水和植被的影响,确定稀疏、斑块荒漠植被的分布格局和稳定性条件。③乡土植物种扩繁保育与植被建设技术。研究乡土植物的繁育、复壮与更新技术,研究风沙环境下利用局地地表径流再分配促进天然植被更新与复壮和斑块植被发育技术。

3.2.3 环巴丹吉林沙漠区域“山水林田湖草沙”景观优化和生态服务功能提升研究

针对环巴丹吉林沙漠边缘区风沙活动规律、沙漠扩张特点、社会经济状况和生物气候条件,基于“山水林田湖草沙”生命共同体理念,开展区域景观优化和生态服务功能提升研究。

沙漠边缘治理分区研究。应用遥感及野外调查的方法,考虑重点生态功能保护、两大沙漠交汇扩展地段治理、荒漠植被保护与恢复、人工绿洲生

态建设、线状交通基础设施和片状工矿综合治理、新能源基地建设生态保护等,开展治理区划方案研究。

沙漠边缘区景观格局优化与生态服务功能提升研究。基于分区成果,针对各类型区风沙活动特征,基于风沙治理“阻、固、输、防”的思路,研究新材料、新技术和新工艺,评价防沙体系效益,创新景观优化理论,集成生态服务提升技术与模式,提出维持区域生态系统稳定的适应性管理策略。

4 结论

巴丹吉林沙漠虽然是干旱区的自然景观,但南缘沙漠扩张及其形成的沙丘延伸带对河西走廊绿洲和荒漠生态环境造成的影响应引起重视。掌握乡土植物适应干旱和风沙环境的机制,研发扩繁保育技术,从中选择出理想植物种,将有望在100 mm降水量区域建成相对稳定的稀疏固沙植被,可以有效减缓沙漠扩张。未来应加强对土壤植被承载力研究,据此确定天然生态系统保护目标和人工生态系统建设规模和范式。

致谢:研究生王宇昕、魏乐民和吕王亦庄参加了野外工作,并协助处理了部分数据,在此一并感谢!

参考文献:

- [1] 朱金峰,王乃昂,陈红宝,等.基于遥感的巴丹吉林沙漠范围与面积分析[J].地理科学进展,2010,29(9):1087-1094.
- [2] 王涛.巴丹吉林沙漠形成演变的若干问题[J].中国沙漠,1990,10(1):32-43.
- [3] 刘璐,武志博,郝思鸣,等.巴丹吉林沙漠南部湖滨带天然植被特征研究[J].草原与草业,2021,33(2):40-44.
- [4] 萨日娜,董治宝,南维鸽.巴丹吉林沙漠高大沙山地貌的线条美[J].中国沙漠,2021,41(2):221-230.
- [5] 刘婵,赵文智,刘冰,等.基于无人机和MODIS数据的巴丹吉林沙漠植被分布特征与动态变化研究[J].中国沙漠,2019,39(4):92-102.
- [6] 王蒙,董治宝,逯军峰,等.巴丹吉林沙漠周边植被特征和物种多样性[J].中国沙漠,2015,35(5):1226-1233.
- [7] 刘铮瑶,董治宝,王建博,等.巴丹吉林沙漠边缘地区植被特征[J].中国沙漠,2016,36(5):1348-1356.
- [8] 刘羽,王秀红,张雪芹,等.巴丹吉林-腾格里沙漠间沙丘活化带发展过程及其驱动力分析[J].干旱区研究,2011,28(6):957-966.
- [9] 何鹏杰,张恒嘉,王玉才,等.河西地区临泽县土地荒漠化影响因素分析[J].环境工程,2016,34(增刊1):1111-1116.
- [10] 黄鹏展,阿布都热西提·阿布都外力,赵建平.沙丘移动的研究现状与未来研究思路[J].沙漠与绿洲气象,2010,4(1):1-5.
- [11] 张虎,刘贤德,张亚光,等.黑河流域中游荒漠区沙尘暴、扬沙和浮尘监测及其与气候因子的关系[J].水土保持通报,2020,40(5):106-111,124.
- [12] 罗晓玲,李岩瑛,严志明,等.近60年河西走廊地区沙尘暴发生演变特征及其气象影响因子[J].水土保持研究,2021,28(5):254-260,267.
- [13] 邱新法,曾燕,缪启龙.我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J].地理学报,2001(3):316-322.
- [14] 郭萍萍,殷雪莲,刘秀兰,等.河西走廊中部一次特强沙尘暴天气特征及预报方法研究[J].干旱气象,2011,29(1):110-115.
- [15] 王训明,李吉均,董光荣,等.近50 a来中国北方沙区风沙气候演变与沙漠化响应[J].科学通报,2007(24):2882-2888.
- [16] 刘洪兰,张强,张俊国,等.1960—2012年河西走廊中部沙尘暴空间分布特征和变化规律[J].中国沙漠,2014,34(4):1102-1108.
- [17] 罗晓玲,胡丽莉,杨梅.近30年石羊河流域气象灾害特征及风险评估技术研究[J].中国农学通报,2015,31(32):205-210.
- [18] 白雪莲,王理想,季树新,等.鄂尔多斯草原沙漠交错区生态系统健康评价:以十大孔兑为例[J].中国沙漠,2020,40(1):187-194.
- [19] Li Q, Zhao W, Fang H. Adaptation of *Nitraria sphaerocarpa* to wind-blown sand environments at the edge of a desert oasis[J]. Journal of Environmental Sciences, 2007, 19(4):482-487.
- [20] Li F, Zhao W. Hydrologic thresholds and changes in ANPP of artificial sand-fixing vegetation in a desert-oasis ecotone in Northwest China[J]. Journal of Arid Environments, 2017, 146:44-52.
- [21] Zhang G, Zhao L, Yang Q, et al. Effect of desert shrubs on fine-scale spatial patterns of understory vegetation in a dry-land[J]. Plant Ecology, 2016, 217(9):1141-1155.
- [22] Luo W, Zhao W. Burial depth and diameter of the rhizome fragments affect the regenerative capacity of a clonal shrub[J]. Ecological Complexity, 2015, 23:34-40.
- [23] Luo W, Zhao W, Zeng F, et al. Water but not photosynthates integration exists between mother and daughter ramets of a root-derived clonal shrub[J]. Plant Ecology, 2014, 216(2):331-342.
- [24] He Z, Zhao W, Chang X, et al. Scale dependence in desert plant diversity[J]. Biodiversity and Conservation, 2006, 15(9):3055-3064.
- [25] He Z, Zhao W, Chang X. The modifiable areal unit problem of spatial heterogeneity of plant community in the transitional zone between oasis and desert using semivariance analysis[J]. Landscape Ecology, 2006, 22(1):95-104.
- [26] Wang G, Zhao W, Liu H, et al. Changes in soil and vegetation with stabilization of dunes in a desert-oasis ecotone[J]. Ecological Research, 2015, 30(4):639-650.
- [27] Yang Q, Zhao W, Liu B, et al. Physiological responses of *Haloxylon ammodendron* to rainfall pulses in temperate desert regions, Northwestern China[J]. Trees, 2014, 28(3):709-722.
- [28] Zheng Y, Zhao W, Zhang G. Spatial analysis of a *Haloxylon am-*

modendron plantation in an oasis-desert ecotone in the Hexi Corridor, Northwestern China[J]. *Forests*, 2017, 8(6):200.

[29] 赵文智,郑颖,张格非.2018.绿洲边缘人工固沙植被自组织过程[J]. *中国沙漠*, 2018, 38(1):1-7.

Research on vegetation sand control around the south edge of Badain Jaran Sand Sea, China

Zhao Wenzhi, Bai Xuelian, Liu Chan

(Linze Inland River Basin Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to explore the composition, characteristics and patterns of the plant community, and to serve the sand-fixing and ecological construction better, we investigated natural and artificial vegetation in both individual and community scale around the south edge of Badain Jaran Sand Sea, a desert with high shifting sand dunes in northern China., The results shows that there were 31 species of desert plants, including 12 species of shrubs, 11 species of perennial herbs, and 8 species of annual or biennial herbs, based on the 13 investigated plots data. The population density was from 3 000 to 14 000 hm^{-2} , and the vegetation patterns were characterized by small patch area and low largest patch index (LPI). The dominant species were prominent in the areas, indicating a relatively poor community stability. Because of the growth and distribution of natural vegetation communities and the construction of sand-fixing plantation successfully along the extension zones of the desert, it should be possible and feasible to establish and benefit sand-fixing vegetation by means of establishment of native plants plantation on the edge. In the future, under the concept of the Full-array ecosystems (mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands-deserts), it is necessary to strengthen the analysis of the relationships between water, vegetation and desert on a regional scale, as well as the questions in authenticity, integrity and connectivity of the ecosystem and the maintenance of ecosystem stability. Meanwhile, it is of great importance on optimizing the ecological landscape pattern and determining the ecological protection targets and construction scales. In order to provide scientific and technological support for regional ecological construction and protection, the research on the native plants about adaptation mechanism to arid climate and the reproduction and conservation technology should be processed scientifically.

Key words: Badain Jaran Sand Sea; vegetation composition; vegetation pattern; vegetation soil moisture bearing capacity; vegetation sand control