



阿拉善雅布赖风沙区荒漠植物群落 结构和物种多样性研究

司建华¹,冯 起¹,常宗强¹,王耀斌¹,田永祯²,谢宗才²,高立平²

(1 中国科学院寒区环境与工程研究所,兰州 730000;2 阿拉善盟林业研究所,内蒙古自治区巴彦浩特 750306)

摘要:根据阿拉善雅布赖风沙区 30 个样地的调查资料,对该区荒漠植物群落物种多样性进行分析。结果表明:雅布赖风沙区天然植被物种组成简单,以旱生、盐生或超旱生的小灌木和多年生草本植物占主导地位,体现出荒漠半荒漠和草原化荒漠植物群落的特点。群落优势层片为灌木层,其物种组成以矮化的半灌木和小灌木为主(占 41%~90%),受环境变化的影响较小,结构比较稳定;草本层片组成中以多年生草本为主,但一年生草本的数量却占到 81.5%~98.8%,为不稳定层片。雅布赖风沙区荒漠植物群落多样性数量特征值差异较大,在植被生态建设时应关注不同生活型植被的防护效应与当地大风和沙尘暴在发生时间上的匹配性,针对半灌木、小灌木和多年生草本覆盖特有的防风性能,重视灌木和多年生草本的恢复与建设,以取得抵抗风沙、稳定当地生态环境的效果。

关键词:雅布赖风沙区;荒漠植物;群落结构特征;物种多样性

中图分类号:Q948.15⁺7 文献标志码:A

Community Structure and Species Diversity of Desert Plants in the Wind-sand Area of Yabulai

SI Jian-hua¹, FENG Qi¹, CHANG Zong-qiang¹, WANG Yao-bin¹,
TIAN Yong-zhen², XIE Zong-cai², GAO Li-ping²

(1 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China; 2 Research Institute of Forestry, Alxa League of Inner Mongolia Autonomous Region, Bayanhot 750306, China)

Abstract: Species diversity is an objective index that measures the abundant degree of biological resources in a certain region. This paper studied community characteristics and species diversity of Yabulai wind-sand area based on the investigation of 30 sampling plots. The results showed that the vegetative composition was simple and dominated by xeric, halophilic and hyper-xeric small shrubs and perennial herbage plants, which represented the characteristics of desert, half-desert and steppification? desert vegetative community. The predominant layer in the community was shrub, consisting of dwarf half shrubs and small ones, which the structure was more stable because of less effect of environmental variation. The herbage layer was mainly comprised of perennial herbage plants, but the quantity of annual herbage accounted for 81.5~98.8 percentage, belonging to the various layer. The diversity index and quantity of vegetative community in the wind-sand area of Yabulai had larger difference. Therefore, we should pay much attention to matching ability between the protective effect of different life form vegetation and the time of occurrence of local strong wind and sandstorm during vegetation ecological building, perennial shrub and perennial herb which

收稿日期:2010-11-03;修改稿收到日期:2011-01-25

基金项目:国家自然科学基金(91025024);中国科学院西部之光项目

作者简介:司建华(1979—),男(汉族),副研究员,主要从事干旱区生态水文与环境研究。E-mail:jianhuas@lzb.ac.cn

were adapted to improve the local environmental conditions should take preferential place in vegetation construction to combat desertification in the wind-sand belt of Yabulai, only this way can protect the ground more efficiently and achieve expected ecologically protective effects.

Key words: wind-sand area of Yabulai; desert plants; structure character in community; species diversity index

群落结构和物种多样性是一个群落功能复杂性的量度,表征着生物群落和生态系统的结构复杂性。体现了群落的结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境差异,是揭示植被组织水平的生态学基础^[1]。对植物群落结构和物种多样性进行研究可反映群落及其环境保护的状态,对控制和减少珍稀濒危物种的丧失具有重大意义^[2-3],可深入了解群落组成、结构、功能、演替动态和群落的稳定性^[4-6]。目前,国内外对物种多样性的研究主要集中在对不同地区物种多样性与群落结构上^[1,7];物种多样性与群落生境因子,包括海拔梯度变化^[8-9],水分因子的影响^[10-11];土壤因子的影响^[12],坡形坡位^[7];干扰对群落物种多样性的影响^[13-15];交错带物种多样性研究^[16-17]。但相关研究主要集中在对生物生产力较高的生态系统类型,在整个陆地生态系统中对干旱荒漠生物多样性研究报道不多^[1,3,8,18-19]。

阿拉善地区的植物群落属于典型的荒漠植物群落,主要植被群落有绵刺群落、白刺群落、霸王群落和红砂群落。有关该区域植物群落的研究报道较多^[20-22],但对风沙区荒漠植物群落结构和多样性的研究报道很少。然而,风沙区由于生态环境十分脆弱,强烈的人类活动加剧了区域生态系统的退化,生物多样性的丧失和消减是其必然的结果,并反馈作用于生态系统功能和生产力,这种发展趋势或结果因生境的继续恶化在很大的程度上是不可逆转的,对物种本来就稀少的荒漠生态系统来说,生物多样性的恢复将是十分困难的^[23]。本文以阿拉善雅布赖风沙区荒漠生态系统为例,对风沙危害严重的荒漠地区的植物群落结构特征和物种多样性进行分析,为进一步探讨风沙危害严重的荒漠地区的多样性保育提供实验依据,为指导风沙危害区人工植被配置和区域沙漠化防治提供理论支持。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

雅布赖风沙区地处阿拉善西南缘。东靠孟根布拉格苏木,南与甘肃省民勤县相连,北隔巴丹吉林沙漠。地形呈西高东低,平均海拔1 585 m左右。地

貌有沙漠戈壁、山地、沙漠丘陵、湖盆、滩涂等,土壤大多为砂砾土、灰漠土,在湖盆地有盐碱土。西北有著名的巴丹吉林沙漠,东南与腾格里沙漠相连,中部有雅布赖山横贯全境,西南部为低山、沙漠丘陵。该地区属温带荒漠干旱区,为典型干燥大陆性气候,常年热量丰富,日照充足,寒暑剧变,降水稀少,蒸发强烈,干燥多风。年平均气温9.6℃,1月平均气温-9.2℃,7月平均气温25.8℃,无霜期211 d,年平均降水量84 mm,年平均蒸发量3 226 mm,年均日照时数263 h,年均大风35 d。光、热、风能资源丰富,水资源贫乏,无长年性河流,地表缺水,水位较深。该地区分布着广袤荒漠,代表植物以绵刺(*Potaninia mongolica*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)、红砂(*Reaumuria soongorica*)、沙竹(*Psammochloa villosa*)、珍珠(*Salsola passerina*)等旱生和超旱生灌木、半灌木植物为主。

1.2 研究方法

1.2.1 调查方法 根据研究区荒漠植被的群落类型,采用样线、样方相结合的方法进行野外调查^[24],从雅布赖风沙口(孟根布拉格)到板滩井(图1),每隔2 km设置样地1个,共调查样地30个,每个样地设2个样方,共60个样方,样方面积为5 m×5 m。调查记录内容主要包括:灌木种的种类、株数、高度、南北冠幅和东西冠幅;草本植物的种类、多度、高度、盖度。在调查的同时,使用GPS对调查地点定位,并记录各样地的海拔高度、地貌等环境因子。

植物盖度计算首先采用椭圆面积的计算公式 $C = \pi XY/4$ (其中X和Y分别为十字交叉法所测的冠幅长短轴)求得单株植物的冠投影面积,然后对单株植物的冠投影面积求和算出盖度。

灌木和草本的重要值计算:分别统计主要群落灌木层、草本层的植物种类,并统计每个种在样方中的数量。在统计各样方的植物高度、盖度、密度及频度的基础上,分别按灌木和草本植被计算样方内各物种重要值。

$$\text{重要值} = \frac{\text{相对密度} + \text{相对优势度} + \text{相对频度}}{300}$$



图1 雅布赖风沙区考察区域示意图

Fig. 1 Investigation area arrangement in Yabulai wind sand area

1.2.2 多样性指数计算方法 群落多样性测度选用丰富度指数、物种多样性指数和均匀度指数3类。各指数计算公式如下：

(1) Margalef 丰富度指数：

$$Ma = \frac{S-1}{\ln N}$$

(2) Shannon-Wiener 多样性指数：

$$H = - \sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \ln \left(\frac{N_i}{N} \right)$$

(3) Pielou 均匀度指数：

$$E = H / \ln S = \frac{\ln N}{\ln N}$$

式中, S 表示样方内的种数; N 表示样方内全部种的个体总数; N_i 表示样方内每个种的个体数。

2 结果与分析

2.1 雅布赖风沙区荒漠植物组成和生活型

调查结果表明, 调查区自然植被共有 29 种, 分属 10 科 25 属。藜科 4 属 5 种, 菊科 3 属 4 种, 豆科 2 属 4 种, 蓼科 2 属 2 种, 蔷薇科 2 属 2 种, 百合科 2 属 2 种, 旋花科、柽柳科和罂粟科各 1 属 1 种, 禾本科 7 属 7 种。除多年生和一年生禾本科草本植物外, 该地区的植物大多数属于藜科、菊科、豆科、蓼科。藜科最多, 有驼绒藜 (*Ceratoides latens*)、珍珠 (Salsola passerina)、沙米 (*Agriophyllum squarrosum*)、猪毛菜 (*Salsola collina*)、虫实 (*Corispermum mongolicum*), 占总种数的 17.2%; 菊科有褐沙蒿 (*Artemisia intramontana*)、油蒿 (*Artemisia ordosica*)、灌木亚菊 (*Ajania fruticulosa*)、蓝刺头

(*Echinops sphaerocephalus*), 占种数的 13.8%; 豆科有锦鸡儿 (*Caragana opulenta*)、柠条锦鸡儿 (*Caragana korshinskii*)、猫头刺 (*Oxytropis aciphylla*)、棘豆 (*Oxytropis subfalcata*), 占种数的 13.8%; 蓼科有白刺 (*Nitraria tangutorum*)、霸王 (*Zygophyllum xanthoxylum*), 占种数的 6.9% (表 1)。这些种都属于旱生、盐生或超旱生的种。由于该地区降水稀少, 植被稀疏, 因而种属很少, 主要是超旱生和盐生、沙生的灌木、半灌木和小灌木、肉质植物和短命植物为主, 以强旱生多年生植物占优势的植被。在其植物组成中除了荒漠植物的小半灌木占优势外, 多年生草原草本植物(主要是丛状禾草)也占很重要的地位, 体现出了荒漠半荒漠和草原化荒漠植物群落的特点。

植物的生活型划分采用吴征镒提出的生态学的生活型分类系统^[28], 并结合阿拉善植被所采用的分类方法加以分类。从表 2 可以看出, 在调查区内 29 种荒漠植物中, 灌木有 5 种, 占总种数的 17.24%, 半灌木有 6 种, 占总种数的 20.68%, 小灌木有 4 种, 占总种数的 13.79%, 灌木、半灌木和小灌木共计 15 种, 占总种数的 51.7%, 处于优势地位; 多年生草本有 8 种, 占总种数的 27.6%, 一年生草本有 6 种, 占总种数的 20.68%, 草本植物种类共计 14 种, 占 48.27%。

2.2 雅布赖风沙区荒漠植物群落类型和结构特征

雅布赖风沙口地处内陆高原, 属温带荒漠干旱区, 植被以超旱生和盐生、沙生的灌木、半灌木和小灌木为主, 多年生草本植物也占很重要的地位。根

据中国植被分类系统和原则,结合调查样地物种重要值大小将雅布赖风沙区荒漠植被划分成4个大的典型群落类型:白刺群落、绵刺群落、霸王群落和红砂群落。

白刺群落(典型样地1~7)是荒漠、半荒漠草地植被的重要建群种之一,具有耐旱、喜盐碱、抗风、耐高温、耐瘠薄的特征,多生长在干燥、多风、盐碱重、土壤贫瘠、植物稀疏的严酷环境中,白刺的分布限于荒漠草原及荒漠,生于沙漠边缘、湖盆低地,河流阶地的微盐渍化沙地和堆积风积沙的龟裂土上。其生存的土壤包括半固定风沙土、草甸型沙土、结皮盐土以及山前的棕钙土等。本次调查从雅布赖风沙垭口开始,样地1~7处于雅布赖风沙垭口0~14 km处,这一地带多风、干燥、自然条件严酷。白刺自成群落,伴生植物较少,优势物种白刺重要值在0.24~1.0。绵刺群落(典型样地9~18)主要生长于具有薄层覆沙的沙砾质荒漠、山前洪积扇,土壤为灰荒漠土及灰棕荒漠土,对盐碱化土壤具有相当适应能力。因生境不同群落分布很广,物种数较多,优势物种较明显,优势种绵刺的重要值在0.18~0.60。霸王群落(典型样地8)位于盐碱化严重的地段,群落盖度低,植被稀疏,以单优势种居多,重要值为0.35。红砂群落(典型样地19~30)在盐渍化以至强盐渍化土壤上生长良好。作为荒漠生态系统的典型优势

种,其抗逆性强,生态可塑性大,具有很强的抗旱、耐盐和集沙能力,伴生种少,常与白刺伴生,优势种红砂的重要值在0.09~0.43(表3)。

从物种组成的数量特征来看,白刺群落灌木层片结构单一,几乎是单一物种,7个典型样方中只出现了霸王和刺旋花2种灌木,但数量占到了整个灌木层的53.1%,半灌木和小灌木占46.9%。白刺群落多与多年生草本相伴而生,但多年生草本数量仅占草本层片的1.4%,一年生草本占整个草本层片的98.6%;绵刺群落灌木层中,包括了白刺、霸王、锦鸡儿、柠条和蒙古扁桃等所有的灌木和几乎所有的半灌木和小灌木,其中,半灌木和小灌木的数量占86%。优势种与亚优势种的数量差值极其明显,几乎形成单一的建群种,绵刺群落中多年生草本主要有棘豆、沙葱,一年生草本主要有虫实和沙米,多年生草本的数量仅占3%,一年生草本数量占到整个草本层数量的97%;霸王群落灌木层片结构也较单一,半灌木和小灌木(主要有刺旋花、猫头刺和绵刺)的数量占整个灌木层数量的90.2%。草本层中,多年生草本仅占1.2%,主要植被有沙葱、棘豆、针茅,一年生的草本占草本层的98.8%,主要是虫实和画眉草。红砂群落灌木层片组成中,半灌木和小灌木占整个灌木层的41%。草本层中,多年生草本占18.5%,主要植被有无芒隐子草、沙葱、棘豆,一年生

表1 雅布赖风沙区天然荒漠植被科属种统计

Table 1 Questionnaire of natural desert vegetation in Yabulai wind sand area

科名 Family name	属数 No. of genus	占属百分数 Percentage/%	种数 Species number	占种百分比 Percentage/%
藜科 Chenopodiaceae	4	16.0	5	17.2
菊科 Compositae	3	12.0	4	13.8
豆科 Fabaceae	2	8.0	4	13.8
蒺藜科 Zygophyllaceae	2	8.0	2	6.9
蔷薇科 Rosaceae	2	8.0	2	6.9
百合科 Liliaceae	2	8.0	2	6.9
旋花科 Convolvulaceae	1	4.0	1	3.5
柽柳科 Tamaricaceae	1	4.0	1	3.5
罂粟科 Papaveraceae	1	4.0	1	3.5
禾本科 Gramineae	7	28.0	7	24.0
合计 Total	25	100.0	29	100.0

表2 雅布赖风沙区荒漠植物生活型

Table 2 Life form of desert vegetation in Yabulai wind sand area

生活型 Life form	灌木 Shrub	半灌木 Semishrub	小灌木 Undershrub	多年生草本 Perennial herbaceous	一年生草本 Annual herbaceous
种数 Species number	5	6	4	8	6
百分比 Percentage/%	17.24	20.68	13.79	27.59	20.68

的草本占草本层的 81.5%，植被主要是虫实。可以看出，灌木层片数量中，半灌木小灌木的数量占整个灌木层片数量的 41%~90%；草本层片中，多年生的草本数量仅占整个草本层片数量的 1.2%~18.5%，一年生草本的数量占到 81.5%~98.8%（表 4）。

2.3 雅布赖风沙区荒漠植物群落的生物多样性

群落的物种多样性指数可直接反映出群落的结构特征。通过雅布赖风沙区荒漠植被所调查的 30 个样地中，平均统计的 4 个植物群落物种（以重要值

为计算依据）物种多样性指数如表 5。根据调查资料，分别对灌木和草本应用丰富度指数、多样性指数和均匀度指数对 4 种群落的多样性特征进行计算，计算结果见表 5。由表 5 可以看出，4 种群落类型物种多样性数量特征值差异较大。4 种群落灌木层物种丰富度指数和多样性指数表现为绵刺群落和红砂群落较高，白刺群落和霸王群落相对较低。绵刺群落丰富度指数为 0.94；红砂群落丰富度指数为 0.98；白刺群落丰富度指数为 0.28；霸王群落丰富度指数为 0.54。绵刺群落物种多样性指数为 1.05；

表 3 雅布赖风沙口荒漠植被不同群落优势种重要值

Table 3 The information of desert plants in the Yabulai

群落类型 Type of community	样地 Sample plot	海拔 Altitude /m	盖度 Coverage	优势种重要值 Important value of dominant species			
				白刺 <i>N. tangutorum</i>	绵刺 <i>P. mongolica</i>	霸王 <i>Z. xanthoxylum</i>	红砂 <i>R. songarica</i>
白刺群落 <i>N. tangutorum</i> community	1~7	1 376~1 427	19.50~45.65	0.24~1.0			0.24
绵刺群落 <i>P. mongolica</i> community	9~18	1 302~1 341	21.24~53.21	0.05~0.40	0.18~0.60	0.17~0.24	0.04~0.12
霸王群落 <i>Z. xanthoxylum</i> community	8	1 325~1 326	42.73		0.33	0.35	
红砂群落 <i>R. songarica</i> community	19~30	1 223~1 302	8.81~33.81	0.06~0.49	0.07~0.62	0.08~0.28	0.09~0.43

表 4 雅布赖风沙区不同群落物种组成及数量

Table 4 The species composition and quantities of the different communities in Yabulai wind sand area

群落类型 Type of community	灌木 Shrub		半灌木和小灌木 Semishrub and undershrub		多年生草本 Perennial herbaceous		一年生草本 Annual herbaceous	
	组成 Composition	数量及比例 Quantity	组成 Composition	数量及比例 Quantity	组成 Composition	数量及比例 Quantity	组成 Composition	数量及比例 Quantity
白刺群落 <i>N. tangutorum</i> community	2	2.6(53.1%)	1	2.3(46.9%)	5	61.2(1.4%)	2	4 288(98.6%)
绵刺群落 <i>P. mongolica</i> community	6	14.4(14%)	10	88.4(86%)	6	86.4(3%)	5	2 884(97%)
霸王群落 <i>Z. xanthoxylum</i> community	1	4.5(9.8%)	3	41.5(90.2%)	4	16.5(1.2%)	2	1 353(98.8%)
红砂群落 <i>R. songarica</i> community	3	31.6(59.1%)	8	21.9(40.9%)	6	76.5(18.5%)	2	335.8(81.5%)

表 5 4 种主要荒漠群落类型的生物多样性数量特征

Table 5 Quantitative characteristics of species diversity on major plant community type

群落名称 Community name	层次 Synusia	Margalef 丰富度指数 Margalef index	Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon index	Pielou 均匀度指数 Pielou index
白刺群落 <i>N. tangutorum</i> community	灌木层 Shrub layer	0.28	0.23	0.39
	草本层 Herb layer	0.29	0.25	0.01
绵刺群落 <i>P. mongolica</i> community	灌木层 Shrub layer	0.94	1.05	0.07
	草本层 Herb layer	0.66	0.69	0.01
霸王群落 <i>Z. xanthoxylum</i> community	灌木层 Shrub layer	0.54	0.78	0.05
	草本层 Herb layer	0.77	1.09	0.00
红砂群落 <i>R. songarica</i> community	灌木层 Shrub layer	0.98	1.06	0.19
	草本层 Herb layer	0.88	1.01	0.01

红砂群落物种多样性指数为 1.06; 白刺群落物种多样性指数为 0.23; 霸王群落物种多样性指数为 0.78; 从均匀度指数来看, 白刺群落和红砂群落的均匀度指数高于绵刺群落和霸王群落。白刺群落均匀度指数为 0.39; 红砂群落均匀度指数为 0.19; 绵刺群落均匀度指数为 0.07; 霸王群落均匀度指数为 0.05。红砂群落相对其他 3 种群落其丰富度指数、物种多样性指数和均匀度指数都高, 说明相比较而言, 红砂群落灌木层的物种多样性要丰富一些, 且分布也较均匀。

4 种群落草本层物种丰富度指数和多样性指数霸王群落和红砂群落明显高于白刺和绵刺群落; 物种的均匀性指数也表现为霸王群落和红砂群落较高, 说明霸王群落和红砂群落草本层的物种多样性丰富, 而且草本物种的分布也均匀。

3 讨 论

在 30 个样地的调查中, 植被种类共有 29 种, 分属 10 科 25 属。植被物种多以藜科、菊科、豆科、蒺藜科为主。这一结果与库姆塔格沙漠东南缘天然植被调查^[25]和柴达木盆地荒漠地自然植被调查^[26]的结果一致, 显示了植被类型的荒漠化特征。雅布赖风沙区地处内陆高原, 研究区虽冬春有一定降水, 但因年降水量少, 且不稳定, 干旱仍旧是环境的主要特征, 特别是植物生长季节, 雨水不足是限制植物生长的主要因素。严酷的生态环境条件决定了荒漠植被组成简单, 类型单调。植物以旱生、超旱生、耐盐碱的亚洲中部荒漠成份占优势。在植物与环境的相互关系中, 环境影响和改变植物的形态结构和生理生化特性, 植物对环境也具有适应性。植物以自身的变异来适应外界环境的变化。生长在不同气候区域的植物对所生存的环境有相似的适应方式和途径, 并在外貌上具有相似特征。

雅布赖风沙区植物生活型以超旱生和盐生、沙生的灌木、半灌木和小灌木、肉质植物和短命植物为主。灌木、半灌木和小灌木所占比例达 51.7%, 年度变异性较小, 为群落稳定层片; 草本植物占 48.3%, 受降水影响, 在物种种类和数量方面具有较大年度变

异性^[1], 为群落的不稳定层片, 反映了植物生活型与生境相适应的关系。但一年生植物层片在干旱荒漠区的生态系统中构成高度顺应气候波动性的第一性生产层, 多是水资源利用效率很高的植物群体, 对水分胁迫和水分供应高度敏感。即使在最不利条件下, 一场只有几毫米, 几十毫米的降水, 也能迅速完成生活史。这一层片的大量繁生, 增加了植被覆盖度, 一定程度上减少了地表侵蚀和蒸发, 对抵抗风沙, 稳定当地生态环境具有重要的作用^[22]。

雅布赖风沙区荒漠群落物种的多样性偏低, 植物群落物种多样性在 0.23~1.09 之间, 在不同区域荒漠植物群落多样性的研究中, 库姆塔格沙漠东南缘荒漠植物群落物种多样性在 0.08~1.71 之间^[3]; 腾格里沙漠东南边缘荒漠植物群落的多样性为 0.60~1.63^[19]; 新疆阜康绿洲荒漠过渡带植物群落物种多样性在 0.48~1.57 之间^[18], 说明荒漠植物群落物种多样性水平普遍较低, 群落结构简单, 物种组成稀少, 这与荒漠生境条件恶劣、群落的组成种类少、且种的分布极不均匀有关^[3, 18~19]。根据稳定性与多样性假说理论, 缺乏冗余物种, 荒漠灌木群落的稳定性较差, 荒漠灌木群落的生态功能主要由优势种或建群种来实施, 其他物种数量稀少, 在群落中的生态位较低, 所以在无人为干扰的情况下, 优势种群或建群种群的稳定程度可以揭示群落的稳定程度^[1]。然而, 由于荒漠生境恶劣, 加之各种因素干扰, 多样性呈现复杂的变化, 对该地区荒漠植被仍需做深入研究。

风沙危害地区的生物多样性保育被认为是防风固沙、减少风蚀的一种有效途径。对物种稀少的荒漠生态系统来说, 风蚀最严重的季节是大多数植物尚未开始萌芽, 地表最需要植被覆盖保护的时期。而这些地区产生防护效益的主要物种是各种灌木以及多年生草本。因此, 在植被生态建设时应关注不同生活型植被的防护效应与当地大风和沙尘暴在发生时间上的匹配性, 针对多年生草本和灌木覆盖特有的防风性能, 重视当地多年生草本和灌木的恢复与建设, 以有效控制沙源, 使沙漠化防治实践取得比较理想的效果。

参考文献:

- [1] LI CH L(李昌龙), WANG J H(王继和), SUN K(孙 坤), et al. Community structure and species diversity in Liangucheng Nature Reserve of Minqin County[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.* (西北植物学报), 2006, 26(11): 2 338~2 344(in Chinese).

- [2] CHANG X L(常学礼), WU J G(邬建国). Species diversity during desertification on Kerqin Sandy Land[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 1997, 8(2): 151-156(in Chinese).
- [3] ZHANG J C(张锦春), WANG J H(王继和), ZHAO M(赵明), et al. Plant community and species diversity in the south fringe of Kumtag desert[J]. *Journal of Plant Ecology*(植物生态学报), 2006, 30(3): 375-382(in Chinese).
- [4] KVALSETH T O. Note on biological diversity, evenness, and homogeneity measures[J]. *Oikos*, 1991, 62: 123-127.
- [5] MCNAUGHTON S J. Stability and biodiversity of ecological communities[J]. *Nature*, 1978, 274: 251-253.
- [6] ODUM E P. The strategy of ecosystem development[J]. *Science*, 1969, 164: 262-270.
- [7] MA K M(马克明), FU B J(傅伯杰), ZHOU H F(周华锋), et al. Studies on species and pattern diversities of the forest landscapes of Donglingshan Mountain Region, Beijing, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 1999, 19(1): 1-7(in Chinese).
- [8] HE J SH(贺金生), CHEN W L(陈伟烈). A review of gradient changes in species diversity of land plant communities[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 1997, 17(1): 91-99(in Chinese).
- [9] XIE J Y(谢晋阳), CHEN L ZH(陈灵芝). Species diversity characteristics of deciduous forests in the warm temperate zone of north China [J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 1994, 14(4): 337-344(in Chinese).
- [10] LI X R(李新荣), HE M ZH(何明珠), JIA R L(贾荣亮), et al. The response of desert plant species diversity to the changes in soil water content in the middle-lower reaches of the Heihe River[J]. *Advances in Earth Science*(地球科学进展), 2008, 23(7): 685-691(in Chinese).
- [11] MOOK C D. Tree species diversity in the eastern deciduous forest with particular reference to north central Florida[J]. *Am. Nat.*, 1967, 101: 173-187.
- [12] GARTLAN J S, NEWBERY D M, et al. The influence of topography and soil phosphorous of the vegetation of Korup Forest Reserve[J]. *American Vegetation*, 1986; 131-148.
- [13] YANG L M(杨利民), HAN M(韩梅), LI J D(李建东), et al. Plant diversity change in grassland communities along a grazing disturbance gradient in the Northeast China transect[J]. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 2001, 25(1): 110-114.
- [14] ZHANG M R(张明如), WANG L M(王立明). The relationship between the composition structure of the understorey plant and cutting disturbance of *Larix gmelini* community[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*(内蒙古农业大学学报), 1999, 20(4): 19-23(in Chinese).
- [15] CONNELL J H. Diversity in the tropical rain forest and coral reefs[J]. *Science*, 1978, 199, 1: 302-1 310.
- [16] WANG Q S(王庆锁), WANG X P(王襄平), LUO J CH(罗菊春), et al. Ecotones and biodiversity[J]. *Chinese Biodiversity*(生物多样性), 1997, 5(2): 126-131(in Chinese).
- [17] SHI P L(石培礼), LI W H(李文华), WANG J X(王金锡), et al. Species-abundance relation of herb communities in subalpine timberline ecotone of Wolong Natural Reserve, Sichuan Province, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2000, 20(3): 384-389(in Chinese).
- [18] ZHANG L J(张林静), YUE M(岳明), ZHANG Y D(张远东), et al. Characteristics of plant community species diversity of oasis desert ecotone in Fukang, Xinjiang[J]. *Scientific Geographica Sinica*(地理科学), 2003, 23(3): 329-334(in Chinese).
- [19] KONG L J(孔丽娟), SHEN J Q(沈吉庆). Analysis on species diversity of plant communities in the Southeastern Tenggeri desert[J]. *Journal of Ningxia Agricultural College*(宁夏农学院学报), 2003, 24(4): 25-28(in Chinese).
- [20] MA B(马斌), ZHOU ZH Y(周志宇), ZHANG L L(张莉丽), et al. The spatial distribution characteristics of plant diversity in Alex Left Banner[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2008, 28(12): 6 009-6 106(in Chinese).
- [21] ZHOU ZH Y(周志宇), FU H(付华), CHEN Y M(陈亚明), et al. Changes of the species diversity and productivity of Alashan steppe area in restoration succession[J]. *Acta Prataculture Sinica*(草业学报), 2003, 12(1): 34-40(in Chinese).
- [22] LIANG C ZH(梁存柱), LIU ZH L(刘钟龄), ZHU Z Y(朱宗元), et al. Specific diversity and distribution characteristics of annual synusia in Alashan Desert[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2003, 14(6): 897-903(in Chinese).
- [23] LI X R(李新荣), CHEN Y W(陈应武), et al. Cryptogam diversity and formation of soil crusts in temperate desert[J]. *Annals of Arid Zone*, 2004, 43: 335-353.
- [24] 卢琦, 李新荣, 肖洪浪. 荒漠生态系统观测方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 66-75.
- [25] ZHANG J CH(张锦春), WANG J H(王继和), ZHAO M(赵明), et al. Investigation and research of natural vegetation in southeast edge of Kumtag Desert[J]. *Journal of Desert Research*(中国沙漠), 2005, 25(6): 916-921(in Chinese).
- [26] FAN G H(樊光辉), ZHANG G N(张广楠). Investigation and research of natural vegetation in Qaidam Basin[J]. *Science and Technology of Qinghai*(青海科技), 2005, 5: 33-37(in Chinese).